

A A E

ARQUITETURA E ENGENHARIA

ATAS DO CONGRESSO LUSO BRASILEIRO EM ARQUITETURA E ENGENHARIA

Belo Horizonte - Brasil. 13 a 14 de julho de 2023

EDITORES

João Paulo Correia
Rodrigues

Maria Luíza C.
Moreira

Paulo Gustavo von
Krüger

Congresso Luso-Brasileiro em Arquitetura e Engenharia

Belo Horizonte, MG
13 e 14 de julho de 2023



CLBAE - Congresso Luso-Brasileiro em Arquitetura e
Engenharia

João Paulo Correia Rodrigues
Maria Luiza Calderaro Moreira
Paulo Gustavo von Krüger

Belo Horizonte, MG
13 e 14 de julho

Atas do CLBAE – Congresso Luso-Brasileiro em Arquitetura e Engenharia

João Paulo Correia Rodrigues, Maria Luiza Calderaro Moreira e Paulo Gustavo von Krüger

Primeira edição.

Julho, 2023.

Copyright © 2023 João Paulo Correia Rodrigues, Maria Luiza Calderaro Moreira e Paulo Gustavo von Krüger

Nenhuma parte desta obra pode ser reproduzida, armazenada em um sistema de recuperação, ou transmitida sob qualquer forma, ou por qualquer meio, eletrônico, mecânico, fotocópia, microfilmagem, gravação ou outro, sem autorização escrita da editora.

ISBN: 978-65-00-79633-9

Escola de Arquitetura, UFMG - R. Paraíba, 697 - Savassi, Belo Horizonte - MG, 30130-141, Brasil

Prefácio

A construção é hoje cada vez mais complexa e engloba diferentes áreas que vão desde a arquitetura às engenharias, destacando-se as engenharias civil, elétrica, eletrônica e mecânica. Assim, somente com pesquisa e ensino de forma integrada nestas áreas, poderão se construir obras mais belas, seguras, econômicas, eficientes, sustentáveis, entre outros requisitos.

O Congresso Luso-Brasileiro em Arquitetura + Engenharia (CLB_A+E_2023) é o primeiro de uma série de congressos na interface entre a arquitetura e a engenharia que serão realizados no futuro. O objetivo principal destes congressos é a integração das áreas da engenharia com a arquitetura, para o desenvolvimento da construção. As diferentes áreas da construção, na maior parte das vezes, caminham em separado e as soluções desenvolvidas são boas para um determinado aspecto específico, mas não tão boas ou são mesmo ruins para outros aspectos. Estes congressos pretendem ser fóruns de discussão, onde especialistas de diferentes áreas da arquitetura e engenharia discutirão os avanços nas áreas e apresentarão novas soluções integradoras aplicadas ao setor da construção.

O Congresso Luso-Brasileiro em Arquitetura + Engenharia (CLB_A+E_2023), aspira cobrir diferentes tópicos da arquitetura e engenharia que vão desde o projeto arquitetônico, passando pelas estruturas, até a física e tecnologia das construções, entre outras temáticas. Se trata de um congresso bastante abrangente, mas, ao mesmo tempo, integrador das diferentes áreas.

Este Congresso, sediado em Belo Horizonte, em Minas Gerais, Brasil, em julho de 2023. É uma organização conjunta entre a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Brasil, através dos seus programas de pós-graduação em Engenharia de Estruturas (PROPEEs) e de Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável (PPG-ACPS), a Universidade de Coimbra, em Portugal e o International Council for Research and Innovation in Building and Construction (CIB)

A Comissão Organizadora do CLBAE 2023

Comissão Organizadora

Carolina Moreira Amaral, UFMG – Univ. Federal de Minas Gerais

Clara Rodrigues Pereira, UFMG – Univ. Federal de Minas Gerais

Fernanda Assunção Valim, UFMG – Univ. Federal de Minas Gerais

João Paulo Correia Rodrigues (*Coordenador*), UC – Univ. de Coimbra,
Portugal e UFMG - Univ. Federal de Minas Gerais

João Pedro Schriefer, UFMG – Univ. Federal de Minas Gerais

Leandro Lopes da Silva, UFMG – Univ. Federal de Minas Gerais

Maria Luiza Calderaro Moreira, UFMG – Univ. Federal de Minas Gerais

Matheus Pereira Porto, UFMG – Univ. Federal de Minas Gerais

Micaella Soares Baccoli, UFMG – Univ. Federal de Minas Gerais

Paulo Gustavo von Krüger, UFMG – Univ. Federal de Minas Gerais

Thayssa Barbosa da Silva Neves, UFMG – Univ. Federal de Minas Gerais

Tiago de Castro Hardy, UFMG – Univ. Federal de Minas Gerais

Vitor Dias Corrêa, UFMG – Univ. Federal de Minas Gerais

Comissão Científica

Alexandre Landesmann, UFRJ - Univ. Federal do Rio de Janeiro, Brasil

Aline Lopes Camargo, UC - Univ. de Coimbra, Portugal

Aline Pires Veról, UFRJ - Univ. Federal do Rio de Janeiro, Brasil

António José Barreto Tadeu, UC - Univ. de Coimbra, Portugal

Bruno Figueiredo, UMinho - Univ. do Minho, Portugal

Carlos Alberto Cimini Junior, UFMG - Univ. Federal de Minas Gerais, Brasil

Cynara Fiedler Bremer, UFMG - Univ. Federal de Minas Gerais, Brasil

Edgar Vladimiro M. Carrasco, UFMG - Univ. Federal de Minas Gerais, Brasil

Edna Moura Pinto, UFRN - Univ. Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

Eduardo Linhares Qualharini, UFRJ - Univ. Federal do Rio de Janeiro, Brasil

Felício Bruzzi Barros, UFMG - Univ. Federal de Minas Gerais, Brasil

Fernando Pedro S. S. Dias Simão, UC - Univ. de Coimbra, Portugal

João Paulo C. Rodrigues (*Coordenador*), UC – Univ. de Coimbra, Portugal e

UFMG - Univ. Federal de Minas Gerais, Brasil

João Paulo F. de Almeida P. Delgado, UBI - Univ. da Beira Interior, Portugal

José António Oliveira Bandeirinha, UC - Univ. de Coimbra, Portugal

Leandro Lopes da Silva, UFMG - Univ. Federal de Minas Gerais, Brasil

Leonardo Marques Monteiro, USP - Univ. de São Paulo, Brasil

Luciana Maria B. Figueiredo, UFRJ - Univ. Federal do Rio de Janeiro, Brasil

Marcelo de Andrade Romero, USP - Univ. de São Paulo, Brasil

Márcio Minto Fabrício, USP - Univ. de São Paulo, Brasil

Maria Clara de Carvalho Pimenta do Vale, UP - Univ. do Porto, Portugal

Maria Teresa Paulino Aguiar, UFMG - Univ. Federal de Minas Gerais, Brasil

Matheus Pereira Porto, UFMG - Univ. Federal de Minas Gerais, Brasil

Paulo Gustavo von Krüger, UFMG - Univ. Federal de Minas Gerais, Brasil

Paulo Jorge de Sousa Cruz, UMinho - Univ. do Minho, Portugal

Poliana Dias de Moraes, UFSC - Univ. Federal de Santa Catarina, Brasil

Ricardo Hallal Fakury, UFMG - Univ. Federal de Minas Gerais, Brasil

Roberta Vieira G. de Souza, UFMG - Univ. Federal de Minas Gerais, Brasil

Roberto Márcio da Silva, UFMG - Univ. Federal de Minas Gerais, Brasil
Rodrigo Espinha Baeta, UFBA - Univ. Federal da Bahia, Brasil
Rui Fernandes Póvoas, UP - Univ. do Porto, Portugal
Sheila Walbe Ornstein, USP – Univ. de São Paulo, Brasil
Sofia Araújo Lima Bessa, UFMG - Univ. Federal de Minas Gerais, Brasil
Vivian Karla C. B. L. M. Balthar, UFRJ - Univ. Federal do Rio de Janeiro,
Brasil

Organização

UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais

UC - Universidade de Coimbra

CIB - International Council for Research and Innovation in Building and Construction



Índice

I PALESTRAS	1
SISTEMA CONSTRUTIVO LIGHT STEEL FRAME - DO PROJETO À	
CONSTRUÇÃO (<i>Francisco Carlos Rodrigues</i>)	3
CONSTRUÇÃO E EXPRESSÃO TECTÔNICA NA ARQUITETURA	
DE TRÊS MUSEUS BRASILEIROS (<i>Bruno Santa Cecília</i>)	5
TERMOGRAFIA NA ENGENHARIA E ARQUITETURA: DESAFIOS	
E PERSPECTIVAS DE FUTURO (<i>Matheus Porto</i>)	7
EDIFÍCIOS COMERCIAIS E O CONSUMO DE ENERGIA (<i>Tatiana Alves</i>)	9
A RELAÇÃO ENTRE ARQUITETURA E ESTRUTURA (<i>Aline Camargo</i>)	11
URBANIZAÇÃO DISPERSA E CIDADE CONTEMPORÂNEA (<i>Gisela</i>	
<i>Barcellos</i>)	13
AVALIAÇÃO DE RISCO DE INCÊNDIO NO PATRIMÔNIO CULTU-	
RAL (<i>Paulo von Krüger</i>)	15
REFLEXÕES PARA O ENSINO E PESQUISA INTEGRADOS EM AR-	
QUITETURA E ENGENHARIA (<i>João Paulo C. Rodrigues</i>)	17
II ARTIGOS	19
ANÁLISE E OBSERVAÇÃO DE ESTRUTURAS	21
DANOS EM ESTRUTURAS SUJEITAS AS AÇÕES EXTREMAS (<i>Mica-</i>	
<i>ella Soares Baccoli; João Paulo C. Rodrigues</i>)	23
MONITORAMENTO DE PATOLOGIAS PREDIAIS ATRAVÉS DE MÉTODOS	
FOTOGRAFÉTRICOS E GEORREFERENCIADOS UTILIZANDO	
AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS (<i>Tiago de Castro Hardy;</i>	
<i>Willi de Barros Gonçalves</i>)	37

ARQUITETURA	45
SISTEMAS ESTRUTURAIS DE AÇO E MISTOS PARA EDIFÍCIOS DE GRANDE ALTURA E SUA INTEGRAÇÃO ARQUITETÔNICA (<i>João Pedro A. Schriefer; Carolina M. Amaral; João Paulo C. Rodrigues</i>) .	47
CONCEITOS DO ARQUITETO JOÃO FILGUEIRAS LIMA (LELÉ) APLICADOS A HUMANIZAÇÃO DOS HOSPITAIS (<i>Luciana Nemer Diniz; Amanda Pereira Rodrigues Moura</i>)	61
OTIMIZAÇÃO DE PROJETOS DE ARQUITETURA PARA LIGHT STEEL FRAMING: ESTUDO DE CASO E ORIENTAÇÕES (<i>Alexandre Kokke Santiago; Francisco Carlos Rodrigues; Richard Brito Braga</i>)	73
TORRE RIO SUL: TESTEMUNHO MATERIAL DE INTERCONEXÕES CULTURAIS NAS DÉCADAS DE 1960-70 (<i>Monica Aguiar; Marcos Favero</i>)	87
BUILDING INFORMATION MODELLING (BIM)	99
INTERFACE DE INTEROPERABILIDADE PARA SIMULAÇÃO DE ILUMINAÇÃO NATURAL E ARTIFICIAL EM MODELOS BIM (<i>Yuri Scatrut Ribeiro de Andrade; Leonardo de Oliveira Gomes</i>)	101
BIM NO ENSINO DE PROJETO DE REABILITAÇÃO ARQUITETÔNICA: Estudo de caso do Museu Integrado de Roraima (<i>Daniel Luiz Oliveira; Marcos Martinez Silvano</i>)	113
BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) APLICADO À GESTÃO DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO HABITACIONAL EM VITÓRIA - ES (<i>Luciana Nemer Diniz; Felipe Gustavo Silva</i>)	123
AEROFOTOGRAMETRIA REALIZADA POR AERONAVES REMO-TAMENTE PILOTADAS (RPA), APLICADAS A METODOLOGIA HBIM. (<i>Tiago de Castro Hardy; Willi de Barros Gonçalves</i>)	135
BIM MODELING OF URBAN ROAD INTERVENTIONS FROM TRAFFIC SIMULATIONS (<i>Marcelo Franco Porto; Israel Gustavo Freitas Figueiredo; Gabriela Buitrago Frainz; Renata Maria Abrantes Baracho</i>)	145

APLICAÇÃO DE BUILDING INFORMATION MODELING - BIM NO	
PLANEJAMENTO E CONSTRUÇÃO DE UMA EDIFICAÇÃO	
<i>(Renata Maria Abrantes Baracho; Luiz Gustavo da Silva Santiago; Antonio</i>	
<i>Tagore Assumpção Mendoza e Silva; Marcelo Franco Porto)</i>	157
UMA NOVA CULTURA DIGITAL NAS AULAS DE ARQUITETURA E	
URBANISMO FRENTE AOS AVANÇOS TECNOLÓGICOS <i>(Mo-</i>	
<i>zart Joaquim Magalhães Vidigal; Renata Maria Abrantes Baracho; Marcelo</i>	
<i>Franco Porto)</i>	165
NOVOS MATERIAIS	181
CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DE MICROCONCRETOS	
LEVES REFORÇADOS COM FIBRAS PET RESIDUAIS PARA	
APLICAÇÃO EM ELEMENTOS ARQUITETÔNICOS <i>(Nathália</i>	
<i>Pacheco Teixeira; Vivian Karla Castelo Branco Louback Machado Balthar)</i> .	183
PATOLOGIAS DA CONSTRUÇÃO	195
BAMBU – MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NA UTILIZAÇÃO EM	
CONSTRUÇÃO CIVIL <i>(Karolina Maria Poznyakov; Carina Mariane</i>	
<i>Stolz Eduardo Qualharini3)</i>	197
ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO DAS	
FACHADAS DO EDIFÍCIO-SEDE DA ESCOLA DE ARQUITE-	
TURA DA UFMG <i>(Clara Rodrigues Pereira; Mateus Rosada)</i>	209
PROCESSOS DE CONSTRUÇÃO	221
SISTEMAS MODULARES NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS E SUA	
INTEGRAÇÃO ARQUITETÔNICA <i>(Carolina M. Amaral; João Pedro</i>	
<i>A. Schriefer; João Paulo C. Rodrigues)</i>	223
PAREDES DE CONCRETO MOLDADAS NO LOCAL: A REPRESENTAÇÃO	
DA TECNOLOGIA POR ENTIDADES REPRESENTATIVAS DO	
SETOR DA CONSTRUÇÃO <i>(Euarda Alberto; Thiago M. Grabois; Mar-</i>	
<i>cos M. Silvano)</i>	237
REABILITAÇÃO E REFORÇO DE ESTRUTURAS	251

REPARAÇÃO DE ESTRUTURAS APÓS SUJEIÇÃO A AÇÕES EX-	
TREMAS (<i>Micaella Soares Baccoli; João Paulo C. Rodrigues</i>)	253
ESTUDO EXPERIMENTAL DA INFLUÊNCIA DE DIFERENTES TI-	
POS DE TRATAMENTOS DE SUPERFÍCIE NA RECUPERAÇÃO	
LOCALIZADA DE PILARES POR ENCAMISAMENTO (<i>Adriely</i>	
<i>Henriques Miranda; Leandro Lopes da Silva</i>)	265
RECUPERAÇÃO E REFORÇO ESTRUTURAL EM ESTEIO DE MA-	
DEIRA EM EDIFÍCIO HISTÓRICO (<i>Adriano Luís de Souza; Mauricio</i>	
<i>Torres; Paula Silva Sampaio; João Paulo C. Rodrigues</i>)	279
SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS	291
AVALIAÇÃO DO RISCO DE INCÊNDIO EM EDIFICAÇÕES QUE COMPÕEM	
O PATRIMÔNIO CULTURAL NA CIDADE DE ITABIRA-MG	
UTILIZANDO A METODOLOGIA DE ANÁLISE GLOBAL DE	
RISCO (<i>Anna Rita Tomich M. Felipe; Larissa Costa Perucci; Paulo G.</i>	
<i>von Krüger</i>)	293
PROTEÇÃO AO FOGO DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS DE EDIFÍCIOS	
INDUSTRIAIS EM ZONAS DE INTERFACE URBANO - FLO-	
RESTAL (<i>Maria Luiza Calderaro Moreira; João Paulo C. Rodrigues; Deives</i>	
<i>de Paula</i>)	307
INCONFORMIDADES E VULNERABILIDADES DAS SAÍDAS DE	
EMERGÊNCIA: CAUSAS DE FERIMENTOS E ÓBITOS NO INCÊNDIO	
DA BOATE KISS (<i>Rodrigo Almeida Freitas; João Paulo Correia Rodrigues</i>)	319
AVALIAÇÃO DO RISCO DE INCÊNDIO DE EDIFÍCIOS EXISTEN-	
TES: O caso do Mercado Central de BH (<i>Michelle Teodoro Coutinho</i>)	333
ALTERNATIVAS DE PROJETO PARA PROTEÇÃO PASSIVA NOS	
EDIFÍCIOS INDUSTRIAIS (<i>Deives de Paula; João Paulo C. Rodrigues;</i>	
<i>Aline L. Camargo; Rúben F. R. Lopes; Maria Luiza C. Moreira</i>)	345
MEDIDAS ATIVAS DE PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO PARA EDIFÍCIOS	
INDUSTRIAIS (<i>Deives de Paula; João Paulo C. Rodrigues; Aline L. Ca-</i>	
<i>margo; Rúben F. R. Lopes; Maria Luiza C. Moreira</i>)	361

ESTUDO COMPARATIVO DO RISCO DE INCÊNDIO EM EDIFÍCIOS	
DE SERVIÇOS PROFISSIONAIS APLICANDO ALGUMAS	
REGULAMENTAÇÕES DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO	
BRASILEIRAS E A PORTUGUESA (<i>Bernardete de Lourdes Ferreira</i>	
<i>Minervino; Cristina Calmeiro dos Santos; Paulo Gustavo von Krüger; João</i>	
<i>Paulo C. Rodrigues</i>)	373
ANÁLISE DOS CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO DOS EDIFÍCIOS	
NAS REGULAMENTAÇÕES DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO	
NOS ESTADOS DO BRASIL (<i>Bernardete de Lourdes Ferreira Miner-</i>	
<i>vino; Cristina Calmeiro dos Santos; Paulo Gustavo von Krüger; João Paulo</i>	
<i>C. Rodrigues</i>)	387
SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO	401
BAMBU - IMPACTO AMBIENTAL COMO SEQUESTRADOR DE GÁS	
CARBÔNICO (<i>Karolina Maria Poznyakov; Carina Mariane Stolz; Edu-</i>	
<i>ardo Qualharini</i>)	403
TRILHANDO A PEGADA DE CARBONO DA CONSTRUÇÃO EM	
BUSCA DO FATOR BRASILEIRO DE EMISSÃO DE GASES DE	
EFEITO ESTUFA (<i>Mateus Paulo Beck</i>)	415
CONFORTO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS	427
PROPOSTA PARA MELHOR DESEMPENHO TÉRMICO DO BLOCO	
“B” DO IFRO – CAMPUS VILHENA (<i>Fabricio Barbosa dos Anjos;</i>	
<i>Camila Antônia C. De Andrade; Lucas Gabriel da Silva Aires; Ariane Zam-</i>	
<i>bon Miranda</i>)	429
Índice Remissivo	441

Parte I

PALESTRAS

CONCEITOS ARQUITETÔNICOS E ESTRUTURAIS DO SISTEMA LIGHT STEEL FRAMING



Francisco Carlos Rodrigues*

Professor de Engenharia de Estruturas
da Univ Federal de Minas Gerais, Brasil

Palavras-chave: projeto, sistema de construção leve, aço formado a frio

Diante do crescimento populacional e dos avanços tecnológicos, a indústria da construção civil no mundo tem buscado sistemas mais eficientes de construção com o objetivo de aumentar a produtividade, diminuir o desperdício e atender a uma demanda crescente. No Brasil, a construção civil ainda é predominantemente artesanal caracterizada pela baixa produtividade e principalmente pelo grande desperdício. Porém, o mercado tem sinalizado que essa situação deve ser alterada e que o uso de novas tecnologias é a melhor forma de permitir a industrialização e a racionalização dos processos. Nesse aspecto, o uso do aço na construção civil vem aparecendo como uma das alternativas para mudar o panorama do setor.

O sistema construtivo conhecido mundialmente como “Light Steel Framing (LSF)”, também designado como sistema autoportante de construção a seco estruturado em perfis formados a frio (PFF) de aço galvanizado, vem se consolidando nos últimos anos no mercado da construção civil brasileira podendo ser encontrado nas várias regiões do país em obras como residências, escolas, hospitais e prédios em geral [1].

A utilização de sistemas construtivos industrializados como o “LSF” demanda profissionais capacitados, projetos detalhados e integrados de modo a se minimizar as perdas e os prazos na construção. Sob este aspecto o arquiteto e o engenheiro têm um papel fundamental como indutor da utilização de novas técnicas e produtos.

A presente palestra, com detalhes construtivos do sistema LSF, visa orientar arquitetos, engenheiros e profissionais da área para a concepção de projetos de edificações em geral, sobretudo as residenciais, escolas, centros de saúde, incluindo as edificações de interesse social do País. São apresentadas diversas orientações constantes dos Manual “Steel Framing: Engenharia” [2] e do Manual “Steel Framing: Arquitetura” [3], ambos publicados pelo Centro Brasileiro da Construção em Aço (CBCA) do Instituto Aço Brasil (IABR).

*Autor correspondente – e-mail: francisco@dees.ufmg.br

Esses manuais apresentam os principais conceitos arquitetônicos e estruturais relativos ao Sistema LSF. O Manual "Steel Framing: Engenharia" também apresenta os principais conceitos e formulações referentes ao dimensionamento dos perfis formados a frio, incluindo o dimensionamento das ligações entre os perfis do sistema segundo os critérios da ABNT NBR 14762/2010 – Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio – Procedimento [4].

Com a disponibilização no Manual "Steel Framing: Engenharia" de tabelas e ábacos para o pré-dimensionamento das barras estruturais (montantes, vigas e elementos das tesouras do telhado) dos subsistemas de paredes, pisos e de cobertura para determinados edifícios residenciais com até dois pavimentos, os profissionais interessados passam a contar com mais uma ferramenta para a utilização do sistema LSF

As tabelas de pré-dimensionamento e os detalhes construtivos constantes no Manual "Steel Framing: Engenharia" são compatíveis para estruturas de aço com revestimento metálico de determinados edifícios residenciais com até dois pavimentos, sendo que as informações contidas nesse manual não devem ser assumidas como a posição única e definitiva dos autores com respeito ao sistema e nem restritiva ao uso de outros tipos de barras, elementos, ligações ou técnicas de projeto.

Uma ação indutora para maior utilização de sistemas construtivos em aço é o acesso à informação de qualidade e direcionada aos arquitetos, engenheiros e técnicos da área o que é a premissa dos manuais citados anteriormente.

Resumindo, a presente palestra com base nos manuais citados anteriormente e embasada na experiência do autor da palestra, tem como objetivo orientar arquitetos, engenheiros e profissionais da área na concepção de projetos de edificações com o sistema Light Steel Framing (LSF) e apresenta os aspectos de projeto e montagem para edificações com o sistema.

Centro dinâmico de serviços, com foco exclusivamente técnico e capacitado para conduzir uma política de promoção do uso do aço na construção, destaca-se que o CBCA está seguro de que referidos manuais se enquadram no objetivo de contribuir para a difusão de competência técnica e empresarial do Sistema LSF no País.

REFERÊNCIAS

- [1.] ABNT NBR 15253:2014 - Perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico, para painéis reticulados em edificações - Requisitos gerais. (Perfis Light steel Framing).
- [2.] Rodrigues, Francisco Carlos; Caldas, Rodrigo Barreto – Manual da Construção em aço – Steel Framing: Engenharia. Centro Brasileiro da Construção em Aço, Rio de Janeiro, 2016.
- [3.] Freitas, Arlene Maria Sarmanho; de Crasto, Renata Cristina Moraes; Santiago, Alexandre Kokke - Manual da Construção em aço – Steel Framing: Arquitetura. Centro Brasileiro da Construção em Aço, Rio de Janeiro, 2012.
- [4.] ABNT NBR 14762:2010 - Dimensionamento de Estruturas de Aço Constituídas por Perfis Formados a Frio. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2010.

CONSTRUÇÃO E EXPRESSÃO TECTÔNICA NA ARQUITETURA DE TRÊS MUSEUS BRASILEIROS



Bruno Santa Cecília

Doutor e Mestre em
Arquitetura pela
UFMG
Professor Adjunto do
Departamento de
Projetos da EA-
UFMG
Sócio fundador do
escritório Arquitetos
Associados

Palavras-chave: arquitetura brasileira, tectônica, construção, projeto de arquitetura

RESUMO

O caráter singular da Arquitetura Moderna Brasileira decorre amplamente da habilidade de seus arquitetos em adaptar as ideais surgidas em outros contextos a uma realidade completamente diferente. Essa adaptação foi necessária pelo desnivelamento entre as proposições das vanguardas modernas, originadas na Europa, e as reais condições de produção no Brasil no início do século XX. A distância entre um certo aparato ideal de construção e as condições disponíveis para sua realização é uma condição cultural permanente que modela inteiramente a arquitetura brasileira, ainda hoje.

O trabalho que venho desenvolvendo há mais de duas décadas com meus sócios* no escritório Arquitetos Associados busca interpretar a modernidade arquitetônica brasileira, expressa na

* Alexandre Brasil, André Luiz Prado, Carlos Alberto Maciel e Paula Zasnicoff

ênfase sobre o desenho das estruturas, a partir de uma abordagem crítica que considera as tradições construtivas locais. Ilustrando essa produção, foram apresentados quatro projetos para três museus brasileiros: as Galerias Miguel Rio Branco e Cláudia Andujar, em Inhotim, Minas Gerais; o Museu do Pontal, no Rio de Janeiro; e a Pina Contemporânea, em São Paulo. Nesses trabalhos, procurei demonstrar como a expressão tectônica[†] emerge da ênfase no conteúdo construtivo dos edifícios, assegurando-lhes uma expressão plástica marcante e uma permanência digna. Esse modo de se fazer arquitetura pode ser interpretado como uma atitude de resistência contra a lógica das aparências e da obsolescência prematura das construções, que reduz a arquitetura a mero produto no qual o valor de troca se sobrepõe ao valor de uso.

A rigorosa limitação de recursos financeiros e tecnológicos demanda uma pesquisa permanente de soluções construtivas inventivas, a exemplo do modo singular de assentamento dos tijolos da Galeria Cláudia Andujar, admitindo até mesmo certo nível de improvisação, como na execução da fachada metálica da Galeria Miguel Rio Branco. A busca por uma simplificação máxima das soluções técnicas e dos detalhes construtivos, viável graças ao clima ameno, explica a razão pela qual em alguns de nossos trabalhos a própria estrutura constitui a expressão arquitetônica, como no Museu do Pontal. Em outros, a pesquisa construtiva se faz por meio da exploração da natureza das técnicas e dos materiais, cada qual empregado em sua melhor condição, a exemplo do projeto para a Pina Contemporânea, onde coexistem estruturas de concreto, aço e madeira.

CONCLUSÃO

Para o pintor Alfredo Volpi, a inspiração inicial do fazer artístico não poderia ter outra função se não a de resolver um problema. Volpi pintava para resolver os problemas inerentes da pintura. Para ele, “resolver um quadro” significava descobrir as relações formais e cromáticas que proporcionassem as soluções mais expressivas dentro da maior economia de meios. Volpi nos lembra que a arte, qualquer que seja sua expressão, se realiza no encontro entre a ideia e a matéria. Creio que o mesmo pode ser dito da arquitetura, se pudermos entender-la como a “arte da construção”. Ou seja, fazer arquitetura é resolver os problemas inerentes da construção. Em outras palavras: a invenção da forma arquitetônica é, em última instância, a invenção de sua própria construção.

REFERÊNCIAS

[1] FRAMPTON, Keneth. **Studies in tectonic culture**. Cambridge: MIT Press, 2001.

[†] O termo tectônica abrange tanto a manifestação do conteúdo construtivo dos edifícios, como a expressão do seu potencial poético. Cf. FRAMPTON, 2001

TERMOGRAFIA NA ENGENHARIA E ARQUITETURA: DESAFIOS E PERSPECTIVAS DE FUTURO



Matheus Pereira

Porto

Professor da UFMG,
Coordenador do
CEMTEC (Centro
Multiusuário de
Termografia
Científica) e
Acadêmico da
Academia Brasileira
de Ciências (ABC) –
Belo Horizonte,
Brasil

Palavras-chave: Termografia; pesquisa e extensão; Centro Multiusuário de Termografia Científica (CEMTEC)..

1. INTRODUÇÃO

Há quase dez anos, o professor Matheus P. Porto assumiu a coordenação do Laboratório de Termometria (LabTerm), da UFMG. O LabTerm é um laboratório tradicional da Escola de Engenharia da UFMG, especializado em termografia.

Ao analisar o cenário do uso da termografia, o professor observou que ela era utilizada de forma limitada, apenas para a observação de pontos quentes e frios, sem rigor metrológico ou metodológico, ou seja, com um escopo científico restrito. Diante dessa constatação, ele concluiu que o LabTerm tinha uma missão importante a cumprir: expandir e aperfeiçoar o uso da técnica. Para atingir esse objetivo, o professor criou a linha de pesquisa intitulada "Termografia Científica".

Após quase dez anos, a falta de rigor científico no uso da termografia ainda persiste, tornando essa linha de pesquisa cada vez mais atual e relevante. As duas perguntas que orientam essa pesquisa são: como extrair o máximo potencial da termografia por meio da ciência e como disseminar o potencial da termografia para a sociedade? Para responder à primeira pergunta, o professor realiza pesquisas avançadas na área de termografia. Já para responder à segunda pergunta, ele fundou o Centro Multiusuário de Termografia Científica (CEMTEC), um laboratório multiusuário de excelência aberto para toda a sociedade.

2. O FUTURO DA TERMOGRAFIA

O professor Matheus P. Porto acredita que a termografia está sendo subutilizada no meio acadêmico e na indústria, de forma geral. Como sugestão para aprofundar o uso da termografia, o professor sugere que sejam realizadas pesquisas em subáreas, incluindo termografia espectral [1-3], multiespectral, hiperespectral, de baixa incerteza, de alta velocidade, termodinâmica, de alta definição e em escala micro. Algumas destas subáreas são inéditas e protegidas por patentes.

REFERÊNCIAS

- [1] M. Ferreira, Rafael A. ; L.F. Pottie, Daniel ; C. Dias, Leonardo H. ; J. Cardoso Filho, Braz ; P. Porto, Matheus . A directional-spectral approach to estimate temperature of outdoor PV panels. SOLAR ENERGY, v. 183, p. 782-790, 2019.
- [2] Moreira, Matheus de Oliveira; Abrão, Alexandre M. ; Ferreira, A.M. ; Porto, Matheus P. . Temperature monitoring of milling processes using a directional-spectral thermal radiation heat transfer formulation and thermography. INTERNATIONAL JOURNAL OF HEAT AND MASS TRANSFER, v. 171, p. 121051, 2021.
- [3] F. Paes, Vitor ; A. Mueller, Barbara ; B. Costa, Pedro ; M. Ferreira, Rafael A. ; P. Porto, Matheus. Calibration uncertainty of MEMS thermopile imagers for quantitative temperature measurement. INFRARED PHYSICS & TECHNOLOGY, v. 120, p. 103978, 2022.

EDIFÍCIOS COMERCIAIS E O CONSUMO DE ENERGIA



Tatina Paula Alves*
Professora
IBMEC/Dom Helder–
Belo Horizonte,
Brasil

Palavras-chave: padrão de consumo de energia, edifícios comerciais

1. INTRODUÇÃO

O setor de edificações (residencial, comercial e público) está entre os maiores consumidores de energia elétrica no país, sendo sua representatividade de aproximadamente 50% do consumo geral de energia elétrica no Brasil[1].

O tema da palestra edifícios comerciais e o consumo de energia nos convida a refletir sobre os edifícios comerciais, sua evolução e seus consumos de energia elétrica. O recorte da tipologia comercial proposta nesta palestra é a do edifício vertical de escritórios.

2. EDIFÍCIOS COMERCIAIS E O CONSUMO DE ENERGIA

Os avanços tecnológicos na construção civil, a evolução dos elevadores juntamente com o surgimento da luz elétrica aliado ao crescimento econômico foi decisivo para dar início, no final do século XIX, à construção de edifícios dedicados ao uso de escritórios [2].

O edifício de escritório reflete na sua organização espacial as relações de trabalho da sociedade a que pertence. Os edifícios do final do XIX e início do século XX refletiram os preceitos do trabalho administrativo cuja ideia dominante era a padronização de métodos e ambientes de trabalho. Já as décadas de 1910 e 1920 trouxeram mudanças nos processos de trabalho empresarial estabelecendo organizações hierárquicas e otimizadas em prol de um

*Autor correspondente – Departamento de Arquitetura e Urbanismo Ibmecc BH / Dom Helder Câmara, email: Alvestatianapaula@gmail.com

aumento da eficiência. Essa organização se traduziu na compartimentação interna do edifício e no surgimento de salas cuja localização e dimensão iam ao encontro da hierarquia funcional da instituição. Os principais desafios envolvendo estas tipologias era a preservação de relações dimensionais pouco profundas para acesso a luz natural e a necessidade de acoplar ao edifício um sistema de ventilação mecânica capaz de proporcionar uma renovação do ar interno.

A década de 60 redireciona o olhar para as relações humanas que envolvem o trabalho. O conceito de escritório panorâmico passa a ser predominante. A era da energia barata vivida até o meio da década de 70 serviria de incentivo para a proliferação das grandes torres de escritório envidraçadas cuja qualidade e conforto térmico do ambiente interno se tornaria independente do meio ambiente externo e diretamente dependente dos sistemas mecânicos de condicionamento ambiental [2]. Consolida-se os padrões de consumo de energia elétrica destas tipologias centrados em iluminação artificial, ar-condicionado e equipamentos.

Os anos 80 e 90 chegam trazendo uma visão corporativa baseada em redução dos custos, agilidade nos processos de trabalho e aumento da capacidade de produção. Ao encontro a esta mentalidade vimos surgir os computadores pessoais e as redes de comunicação. Os espaços de escritório passam a trazer como premissa a flexibilidade. O final dos anos 90 e os anos 2000 trazem uma evolução capaz de modificar ainda mais a estrutura da organização espacial interna dos edifícios de escritórios. A criação do “Wi-Fi” libera as atividades da necessidade de uma rede de conexão física e possibilita que em qualquer lugar e a qualquer momento o trabalho seja realizado. Os sistemas de iluminação e condicionamento térmico acompanham esta evolução se tornando cada vez mais integrados e flexíveis.

Assim como a crise de energia da década de 70 realinhou os parâmetros construtivos e de uso dos edifícios, os recorrentes aumentos do preço do petróleo do século XXI desencadearam uma busca por formas mais sustentáveis de produção e consumo de energia. Assim vimos surgir pelo mundo regulamentações e selos de sustentabilidade de edificações. No entanto, é importante pontuar que o progresso tecnológico aumenta a eficiência com que o edifício consome energia, mas não impede que a demanda geral por energia aumente.[3].

4. CONCLUSÕES

O edifício de escritório reflete na sua organização espacial as relações de trabalho da sociedade a que pertence. A evolução histórica dos edifícios verticais de escritório revela como foi consolidado os padrões de consumo de energia elétrica da tipologia, sendo estes bastante centrados em iluminação artificial, ar-condicionado e equipamentos.

REFERÊNCIAS

- [1] MME, Balanço Energético Nacional 2021: Ano base 2022, Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro, 2021.
- [2] ARNOLD, David, The Evolution of Modern Office Buildings and Air Conditioning, ASHRAE J. (junho de 1999b) 40–53.
- [3] H. Herring, R. Roy, Technological innovation, energy efficient design and the rebound effect, Technovation. 27 (2007) 194–203.

A RELAÇÃO ENTRE ARQUITETURA E ESTRUTURA



Aline L. Camargo*
Pós-doutorada e
pesquisadora na
Universidade de
Coimbra, CERIS,
Itecons, Coimbra,
Portugal

Palavras-chave: arquitetura; estrutura; relação histórica.

1. INTRODUÇÃO

A arquitetura consiste na apropriação do espaço, ao organizar e delimitá-lo, para criar ambientes propícios às atividades humanas. Uma obra arquitetônica deve ser pensada como um todo formal, funcional e técnico. A estrutura desempenha um papel crucial, pois sustenta a composição tanto de estaticamente quanto esteticamente [1]. Sua concretização ocorre por meio da construção e pode assumir diversas configurações, dependendo do arranjo funcional e arquitetônico desejado, sendo visualmente expressa pela tectônica [2].

É fundamental compreender que a estrutura não deve ser concebida como um elemento isolado da obra arquitetônica, mas sim como uma parte indivisível dela. Uma forma arquitetônica sempre necessitará de uma estrutura, assim como uma estrutura sempre estará relacionada a uma forma. A concepção da forma implica na concepção da estrutura, bem como na seleção dos materiais e dos processos necessários para sua realização. Dessa forma, a forma e a estrutura estão intrinsecamente conectadas, sendo um único objeto. Conceber uma implica automaticamente conceber a outra, e vice-versa [3].

*Autor correspondente –. e-mail: aline.camargo@itecons.uc.pt

2. ARQUITETURA E ESTRUTURA AO LONGO DA HISTÓRIA

Desde tempos antigos, a arquitetura sempre esteve associada à estrutura. O homem precisava moldar materiais e usá-los de maneira adequada para suportar diferentes ações e criar espaços apropriados para suas atividades [4]. Os primeiros arquitetos também atuavam como construtores, integrando a estrutura ao edifício e baseando-se em experiências de projetos anteriores. Somente no fim da idade média é que o arquiteto deixa de ser um artesão e passa a ser um intelectual, a função de quem projeta se separa da de quem constrói. Também ocorre a primeira grande separação entre arquitetura e engenharia (estrutura). Enquanto o arquiteto buscava a estética e as formas no passado (nos gregos, romanos e bizantinos), a engenharia avançava em conhecimento técnico (cálculo diferencial e integral, Leis de Newton e Lei de Hooke, entre outros). O arquiteto procurava a beleza e o engenheiro desenvolvia a técnica. Somente em 1863, com Viollet-Le-Duc, ocorre uma reaproximação entre a arquitetura e a estrutura - segundo ele a arquitetura deveria refletir as soluções construtivas de seu tempo. Esse conceito evolui com Louis Sullivan e a Escola de Chicago, "a forma segue a função". Finalmente com Perret tem-se que "a técnica falada poeticamente nos leva à arquitetura" [5]. Atualmente, a arquitetura contemporânea combina diversas influências e tendências, destacando-se pela utilização de materiais industriais, como aço e concreto, aliados à funcionalidade, ao conforto térmico e ao design orgânico. A estrutura é muitas vezes evidenciada como parte essencial do projeto, contribuindo para a expressão escultural de algumas obras [3].

3. CONCLUSÕES

A história da arquitetura e da estrutura é marcada por uma relação de constante evolução e interdependência. Desde suas origens, essas disciplinas caminharam juntas, se afastaram e se reaproximaram em diferentes momentos. Atualmente, na arquitetura contemporânea, a estrutura pode assumir diferentes papéis, desde um elemento discreto e funcional até uma expressão escultural. Essa abordagem pluralista evidencia a riqueza e complexidade da relação entre arquitetura e estrutura, que continua a se reinventar ao longo do tempo.

REFERÊNCIAS

- [1] Camargo, Aline Lopes. *Pilares mistos de aço e concreto com duplo-tubo: arquitetura e construção na segurança ao fogo*. Tese de doutorado, Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais e Escola de Arquitetura da Universidade de Coimbra, Portugal, 2019.
- [2] Sekler, E. F. *Structure, Constructio, Tectonics*. In: Kepes, Gyorgy. *The Structure of Art and Science*. New York: George Braziller, 1965.
- [3] Rebello, Yopanan C. *A concepção estrutural e a arquitetura*. São Paulo, Editora Zigurate, 2000.
- [4] Diez, G. *Projeto Estrutural na Arquitetura*. Porto Alegre: Coedição Masquatro Editora Ltda. e Nobuko S. A., 2012.
- [5] Frampton, K. *Studies in Tectonic Culture: The Poetics of Construction in Nineteenth and Twentieth Century Architecture*. Massachusetts: The MIT Press Cambridge, 1995.

URBANIZAÇÃO DISPERSA E CIDADE CONTEMPORÂNEA



Gisela Barcellos de Souza
Profa. Dra. do
Departamento de Urbanismo da
UFMG, Belo Horizonte, Brasil

Palavras-chave: Urbanização Dispersa; Cidades contemporâneas; forma urbana.

1. INTRODUÇÃO

Dentre as surpresas reveladas pela divulgação dos dados parciais do Censo 2022, está a diminuição, nos últimos doze anos, da população de sedes de importantes regiões metropolitanas brasileiras, bem como de cidades pertencentes a estas mesmas regiões. Se por um lado, verifica-se a redução populacional, por outro, os empreendimentos imobiliários nestas cidades parecem não acompanhar esta tendência. Coloca-se, portanto, a questão corrente do porquê da continuidade do crescimento em extensão e da verticalização, quando se verifica o oposto em termos populacionais. A urbanização em extensão territorial e populacional dissocia-se dos limites da cidade.

2. RUMO À URBANIZAÇÃO COMPLETA?

Ainda que Bernardo Secchi [1] reconheça que o século XX é uma longa transição à cidade contemporânea, na qual se verifica a emergência da condição dispersa, os arquitetos e urbanistas, de modo geral, irão reconhecer este fenômeno apenas na virada para o novo século. Passa-se, por conseguinte, praticamente cem anos construindo alternativas que viabilizassem a descentralização da cidade densa e concentrada – aquela que crescia em mancha de óleo – para se reconhecer, ao final deste período, que essa cidade não já existia mais.

Muito antes de os arquitetos terem percebido a implosão e a explosão da cidade, no entanto, Henri Lefebvre já havia descrito este fenômeno tendencial em *La Révolution Urbaine*. Em 1970, o filósofo francês afirmava que estaríamos em um campo cego, rumo à urbanização completa na qual haveria a subordinação completa do agrário ao urbano.

Mais do que um fenômeno vinculado a um estágio avançado do capitalismo, no entanto, as explicações iniciais dos urbanistas sobre a urbanização dispersa, tenderam a dar importância demasiada à contribuição da evolução dos meios de transporte e comunicação, o que François Ascher nomeia como o sistema BIP [2]. Neste contexto, é relevante a construção de Secchi que

pondera a importância desses meios, apontando para a emergência, ao longo do século XX, de transformações que evidenciam contínua destruição dos valores posicionais e emergência da busca pela condição dispersa.

3. COMO COMPREENDER AS LÓGICAS DA FORMA URBANA DA CIDADE CONTEMPORÂNEA?

O crescimento espalhado e caótico das cidades deixou de ser uma preocupação apenas de áreas de urbanização intensa e recente e passou a ser visto como um fenômeno global. Comparamos aqui dois estudos que buscaram compreender, sobre a perspectiva disciplinar, as lógicas subjacentes à forma da urbanização dispersa, um oriundo da Europa Ocidental, de David Mangin [4], outro do sul global, de Nestor Goulart Reis [5].

A cidade contemporânea não para Mangin é apenas um produto do urbanismo comercial: houve também uma contribuição significativa da produção intelectual ao longo do século vinte que criou as bases para o que nomeia o urbanismo de setores. O setor urbano, definido por rodovias e vias expressas – recinto dentro do qual se entre mesclam espaços corporativos, grandes superfícies comerciais, áreas residenciais e rurais – seria, portanto, a unidade do tecido urbano da cidade das franquias. Para Mangin, não se trata de uma Cidade Genérica; há um condicionamento topográfico na forma em que se dá a espacialização da urbanização dispersa.

Nestor Goulart Reis também verifica uma diferenciação na ocorrência da urbanização dispersa nas regiões metropolitana do estado de São Paulo. Para além do condicionamento topográfico, Goulart acrescenta também o aspecto temporal e a relação com os meios de transporte que conduziram esta urbanização. No seu entendimento, a regionalização do mercado de trabalho, a dispersão industrial, do comércio e dos serviços, estariam entre as motivações para a mobilidade e organização do cotidiano em escala regional.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ainda que se verifiquem semelhanças entre a abordagem e descrição da urbanização dispersa em contextos tão distintos, há que se perguntar até que ponto estas podem ser comparadas. Se, dentro do contexto de urbanização latino-americana atual, é possível verificar a subversão da antiga oposição centro-periferia, não se pode afirmar a destruição dos valores posicionais de forma efetiva. Espaços urbanos vizinhos na cidade contemporânea latino-americana diferenciam-se na liberdade de escolha do local de moradia, na capacidade de mobilidade e de acesso a informações e serviços.

REFERÊNCIAS

- [1] Secchi, Bernardo. *Primeira Lição de Urbanismo*. São Paulo: Perspectiva, 2006.
- [2] Ascher, François Ascher. *Les Nouveaux Principes de l'Urbanisme*. Paris: L'Aube, 2001.
- [4] Mangin, David. *La ville Franchisée. Formes et structures de la ville contemporaine*. Paris: Éditions de la Villette, 2004.
- [5] Nestor Goulart Reis. *Notas sobre Urbanização dispersa e novas formas de tecido urbano*. São Paulo: Via das Artes, 2006.

AVALIAÇÃO DE RISCO DE INCÊNDIO NO PATRIMÔNIO CULTURAL



**Paulo Gustavo von
Krüger***
Professor
UFMG – Belo
Horizonte,
Brasil

Palavras-chave: Incêndio, Patrimônio Cultural, avaliação de risco.

1. INTRODUÇÃO

A avaliação de risco de incêndio no Patrimônio Cultural lida, fundamentalmente, com duas questões que se inter-relacionam a fim de preservar a vida humana, tanto sob o aspecto da integridade física, quanto da cultura que integra sua personalidade: a Engenharia de Segurança contra o Incêndio e o Patrimônio Cultural Edificado.

2. APRESENTAÇÃO

Ao se analisarem os riscos e consequências de ocorrência de um incêndio em patrimônio cultural edificado, notam-se alguns aspectos característicos deste tipo de edificação que

*Autor correspondente – Departamento de Tecnologia do Design, da Arquitetura e do Urbanismo da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais. Rua paraíba, 697, Savassi, Belo Horizonte – MG/CEP 30130-141, BRASIL,. Telef.: +55 31 99973-1089. e-mail: paulovonkruger@gmail.com.

podem potencializar os riscos de um incêndio, dificultando ou impedindo seu combate e extinção e até mesmo provocando seu colapso estrutural.

Estes aspectos podem ser: as características construtivas da edificação, que muitas vezes possuem tais elementos (assoalhos, forros, escadas) constituídos de madeira; a implantação das edificações nos centros urbanos que, por vezes, não possuem afastamentos entre edifícios, ou ainda, ampliações ou ocupações irregulares nos miolos das quadras (propiciando o alastramento rápido das chamas); a falta de manutenção adequada das edificações e de suas instalações; o tipo de ocupação que, em alguns casos, é alterada, sem que haja as devidas adequações para sua adaptação ao novo uso; e adaptações para as instalações elétricas e de gás liquefeito de petróleo – GLP, para que haja a adequação da edificação ao uso atual.

Os incêndios em patrimônio cultural edificado sempre provocam impactos, seja pelas perdas materiais irreparáveis, seja pelo que esse patrimônio representa para a comunidade local, nacional ou até mesmo internacional, isso sem contar a possibilidade de perdas de vidas humanas, cuja proteção é o principal objetivo da segurança contra incêndio.

Incêndios como o ocorrido em 1968 na biblioteca do Colégio do Caraça, no município de Catas Altas e Santa Bárbara, MG, na igreja Nossa Senhora do Carmo em Mariana, MG (1999), no antigo Hotel Pilião, Ouro Preto, MG (2003), no Mercado Público de Florianópolis, SC (2005), ou ainda no Museu da Língua Portuguesa, São Paulo (2015), representaram alguns exemplos de perdas irremediáveis, sendo que a Engenharia de Segurança contra Incêndio poderia contribuir de forma efetiva para se evitar ou minimizar os prejuízos provocados por este tipo de sinistro.

Desta forma, urge estudos relacionados à área, pois questões de extrema importância para o aumento da segurança contra incêndio, tais como a intervenção mínima para evitar a descaracterização do bem, a possibilidade de reversibilidade de forma a permitir que determinada intervenção possa ser futuramente removida e a previsão de procedimentos preventivos adequados, poderão evitar ou minimizar danos causados por um incêndio.

3. CONCLUSÕES

Garantir a segurança contra incêndio do patrimônio cultural edificado extrapola a questão do salvaguardo do bem, atingindo o auxílio na preservação da memória cultural: o bem imaterial, sendo esse parte indissociável da vida humana, que é o principal objeto da proteção contra incêndio.

AGRADECIMENTOS

À Fapemig pelo apoio de viabilização da pesquisa relatada na palestra.

REFLEXÕES PARA O ENSINO E PESQUISA INTEGRADOS EM ARQUITETURA E ENGENHARIA



João Paulo C. Rodrigues*
Professor da Univ Federal de Minas
Gerais, Brasil e Univ Coimbra, Portugal

Palavras-chave: arquitetura; engenharia; ensino; pesquisa

1. INTRODUÇÃO

A construção é hoje cada vez mais complexa e engloba diferentes áreas que vão desde a arquitetura às engenharias, destacando-se as engenharias civil, elétrica, eletrônica e mecânica. Assim, somente com pesquisa e ensino de forma integrada nestas áreas, poderão se construir obras mais belas, seguras, econômicas, eficientes, sustentáveis, entre outros requisitos.

As diferentes áreas da construção, na maior parte das vezes, caminham em separado e as soluções que são desenvolvidas são boas para um determinado aspeto específico, mas não tão boas ou são mesmo ruins para outros aspectos.

Um engenheiro ou arquiteto para ser um bom profissional na área do projeto de edifícios tem de dominar diferentes áreas que passam por diferentes tópicos como a acústica, manufatura aditiva, projecto arquitetural, automação e edifícios inteligentes, componentes de fachadas, modelação da informação da construção (BIM), instalações de edifícios, materiais de construção, patologias de edifícios, física e tecnologia das construções, automação na construção, edifícios inteligentes, gestão da construção, fabricação digital, energia solar e iluminação natural, segurança contra incêndio, tectónica, sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado, história e teoria da arquitetura, dimensionamento de estruturas, análise do ciclo de vida, reabilitação e reforço de estruturas, sistemas estruturais, sustentabilidade na construção, entre outros [1].

A área que ultimamente veio permitir a integração das diferentes áreas do projeto de edifícios, desde a arquitetura a engenharia, foi o BIM. O BIM constitui um modelo virtual equivalente a uma edificação real, que engloba diferentes detalhes referentes a composição dos materiais de cada elemento, como portas, janelas, instalações elétricas, móveis, entre outras. Isto permite simular

*Autor correspondente – e-mail: jpaulocrod@ufmg.br

aquilo que será edificação mesmo antes da sua construção. O modelo BIM pode ser utilizado para visualizações tridimensionais, auxiliar nas decisões de projeto e comparar as várias alternativas de projeto a serem avaliados por arquitetos, engenheiros e clientes. No BIM todos os dados são armazenados em um único arquivo, de tal forma que cada modificação na modelagem da edificação será automaticamente replicada nos demais elementos do projeto.

2. O ENSINO EM ARQUITETURA E ENGENHARIA

O ensino em arquitetura, em algumas universidades do mundo, principalmente na Europa do Sul e no Brasil, tem estado muito ligado ao projeto arquitectónico, história da arquitetura e urbanismo. Embora nestes cursos existam algumas matérias e disciplinas na área da engenharia, o ensino é muito abstrato com reflexos negativos na construção.

Em outros países, de onde se destaca os Estados Unidos América, o ensino em arquitetura está cada vez mais ligado com a engenharia, surgindo até cursos de engenharia arquitetural. Nestes cursos se destacam os do Massachusetts Institute of Technology (MIT), onde o ensino em arquitetura é ligado com as estruturas e construção, com apoio de softwares na área da engenharia e arquitetura e laboratórios de ensino em sistemas construtivos. Na Europa este tipo de ensino, começa a ser cada vez mais presente, sendo uma realidade na Universidade de Delft, na Holanda, em algumas universidades da Bélgica e na Suíça, como por exemplo na École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) [2].

3. A PESQUISA EM ARQUITETURA E ENGENHARIA

A pesquisa tem também sido realizada de forma desintegrada, do lado da arquitetura muito virada para o projeto e para a história, estudando casos práticos de obras e do lado da engenharia para casos muito específicos de cada área sem ter em conta a influência na arquitetura. Alguns desenvolvimentos em engenharia são muito criticados pelos arquitetos e encontram até resistência destes porque não se teve o cuidado de os estudar de forma integrada vendo a suas consequências. Mesmo dentro da engenharia a pesquisa é feita de forma desintegrada e as melhores soluções para uma determinada coisa não o serão para outra.

4. CONCLUSÕES

A arquitetura e engenharia tem assim no futuro de caminhar lado a lado, tanto no ensino como na pesquisa. Os cursos de arquitetura tem de ter uma maior componente, principalmente ao nível da construção e as engenharias ficarem com aspetos mais especializadas como o dimensionamento de estruturas, equipamentos e instalações e outras temáticas do género. Os projetos de pesquisa devem ser mais abrangentes e não tão direcionados para o estudo de um problema particular. A pesquisa têm sido muito focada para aspetos particulares, principalmente pelo direcionamento que tem sido dado pelos órgãos de fomento e pelos painéis de avaliadores que os mesmos escolhem para avaliação dos projetos de pesquisa.

REFERÊNCIAS

[1] Saint, A., *Architect and Engineer: A Study in Sibling Rivalry*, Yale University Press, 2008, 541 pp.

[2] Rebello, Y. C. *A concepção estrutural e a arquitetura*. São Paulo, Editora Zigurate, 2000.

Parte II
ARTIGOS

ANÁLISE E OBSERVAÇÃO DE ESTRUTURAS

DANOS EM ESTRUTURAS SUJEITAS AS AÇÕES EXTREMAS



Micaella Soares Baccoli
Aluna de graduação de
Engenharia Civil da
UFMG – Belo Horizonte,
Brasil



**João Paulo C.
Rodrigues***
Professor UFMG – Belo
Horizonte, Brasil e UC –
Coimbra, Portugal

Resumo: Eventualmente edifícios são atingidos por ações extremas que podem causar danos estruturais imensuráveis. Incêndios, abalos sísmicos, deslizamentos de terra e tornados são apenas alguns exemplos de ações extremas que podem provocar imensos estragos sociais, ambientais e estruturais. Assim, tem-se desenvolvido estudos para averiguar as proporções destes danos na edificação e para desenvolver maneiras de como a engenharia pode ajudar na diminuição dos impactos. Desta maneira, este trabalho propõe identificar as causas provocadas por cada uma dessas ações e descrever os danos estruturais provocados por estas ações. Ademais, são descritas análises técnicas que podem avaliar os impactos causados nas estruturas. Um exemplo é uma situação pós deslizamento de terra na qual a estrutura foi trágicamente afetada, assim é necessário tomar algumas medidas para avaliar sua estabilidade, como o uso do esclerômetro, que tem como principal função medir a dureza das superfícies feitas em concreto. A partir deste estudo, pode-se concluir que algumas ações extremas, como as catástrofes naturais, não podem ser evitadas, mas, efetivamente, a engenharia pode diminuir os impactos.

Palavras-chave: riscos, estruturas, ações extremas, sismos, incêndio

*Autor correspondente – Departamento de Engenharia de Estruturas da Universidade Federal de Minas Gerais. Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha, Belo Horizonte – MG/CEP 31270-901, BRASIL., Telef.: +55 31 999888777. e-mail: jpaolocrod@ufmg.br

1. INTRODUÇÃO

Após a ocorrência de ações extremas é de suma importância fazer a avaliação dos danos causados. Deve haver um acompanhamento de profissionais ao local, não apenas imediatamente após a ocorrência mas seguir com uma assistência, visto que algumas características só se manifestam após alguns dias. Assim, inicialmente deve ser feita uma identificação visual no local a fim de observar os elementos da estrutura e outros materiais, logo, deve ser feita uma análise crítica da situação local. Esta análise dos danos pode ser qualitativa ou quantitativa, aquela é feita através de ensaios in situ, ou seja, realizada através de informações obtidas através de observação visual em campo, enquanto a quantitativa é feita em laboratórios.

Ainda mais há outros detalhes que são de suma importância para uma análise completa, como observação detalhada do projeto estrutural e dos materiais que o compõe e análise do grau do tipo da ação ocorrida.

2. AÇÕES EXTREMAS E SEUS DANOS

2.1. INCÊNDIO

O incêndio pode afetar diretamente a estrutura de uma edificação e pode-se afirmar que a preocupação principal é garantir e preservar sua estabilidade. Assim, é de suma importância ao fazer a análise do acontecimento para saber quando iniciou o incêndio, quanto tempo durou e se houve alguma tentativa de extinção do mesmo, visto que estas informações influenciam diretamente na exposição de cada material estrutural da edificação.

Deste modo, ao verificar o tempo de incêndio e da exposição às chamas, é possível realizar uma análise mais aprofundada pelo gráfico das curvas de temperatura x tempo.

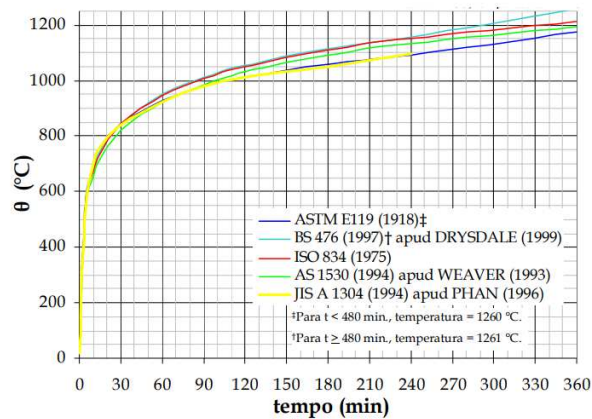


Figura 1: Curvas de incêndio de materiais celulósicos mais usadas no meio técnico internacional [1].

2.1.1. EFEITOS DA TEMPERATURA NOS MATERIAIS

a. Materias Estruturais

i. Concreto

O comportamento do concreto exposto a altas temperaturas está associado a vários fatores que influenciam no seu comportamento dada situação. Com o calor, o concreto pode apresentar redução de suas propriedades mecânicas, indicado pela decomposição da pasta de cimento e dos agregados, o que provoca a alteração da sua cor, como indicado na Figura 2 e Figura 3. Além disso, ainda há o aumento de pressões internas devido a porosidade do concreto, que não permite a liberação de vapor proveniente do aumento da temperatura, e assim provocam um fenômeno conhecido como lascamento ou “spalling” do concreto. Este comportamento procede de reações físico-químicas devido ao fluxo de calor e a distribuição de temperatura no interior da peça do concreto que está associada ao tipo de cimento, aos agregados, as adições, as dimensões da seção transversal, a relação água/cimento e também da porosidade do elemento de concreto. [2]

TEMPERATURA	COLORAÇÃO
Entre 300 e 600 °C	Rosa
Entre 600 e 900 °C	Vermelho para cinzento
Entre 900 e 1000 °C	Amarelo-claro
Acima de 1000 °C	Amarelo

Figura 2: Alteração na coloração do concreto submetido ao aumento de temperatura. [3]

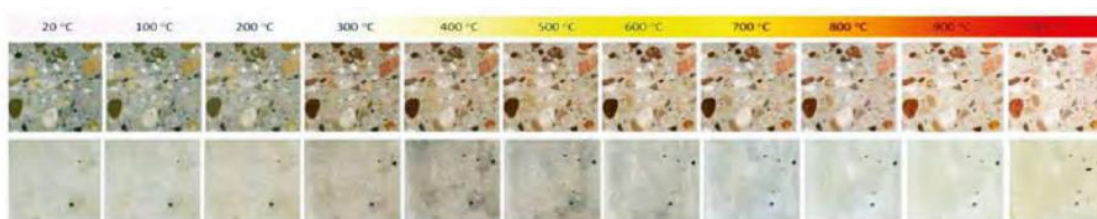


Figura 3: Alteração na coloração de um concreto e pasta submetidos a variadas temperaturas [4]

A alteração da cor do concreto é devido a adição dos agregados, que pode ser mais intensa em agregados silicosos, quando submetidos a temperaturas próximas de 300°C, o ferro presente no concreto oxida e provoca a mudança da coloração para rosa ou vermelha. Esta alteração de cor geralmente é permanente, assim, pode indicar a perda de resistência, conforme a Figura 4.

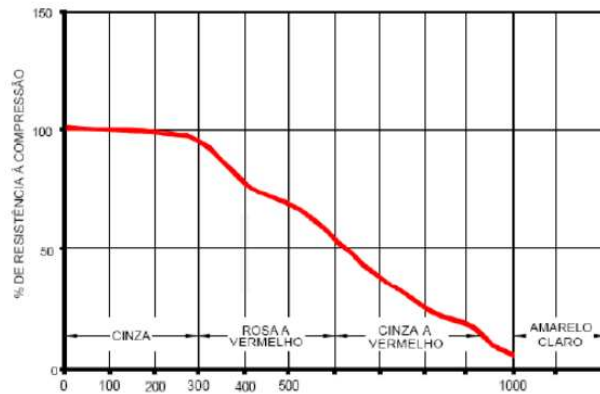


Figura 4: Relação entre a coloração e a perda de resistência de um concreto submetido a elevadas temperaturas. [6]

Além disso, ainda é possível fazer uma comparação do aumento da temperatura com causas e efeitos sofridos pelo concreto conforme a Figura 5 apresentada por Carvalho 2001. [7]

Característica	Efeito	Causa
Dureza superficial	Fissuração, fragmentação, fragilização	Desidratação a 100°C, remove a água livre; a desidratação se completa em 540°C; $Ca(OH)_2 \Rightarrow CaO$ em 450 a 500°C A pasta primeiro expande, depois retrai.
Fissuração	Fissuração superficial a 290°C; Fissuração profunda a 540°C	Perpendicular à face, e interna; pode assemelhar-se a fissuras de retração
Mudança de cor (sem lascamento)	Cor normal até 230°C Avermelhada de 290 a 590°C Vermelho/cinza de 590 a 900°C Cinza/camurça acima de 900°C O calcário se torna branco	Rochas sedimentares e metamórficas podem incorporar calor de forma estável em temperaturas baixas, tornam-se instáveis em maiores temperaturas e mostram permanente mudança de cor sob aquecimento.
Comportamento do agregado	Lascamento explosivo para concretos com alto teor de agregados silicosos próximos à superfície, acima de 573°C	Agregados diferem em difusibilidade, condutividade, coeficiente de dilatação; a transmissão de calor decresce para concretos feitos com agregados altamente silicosos, areia basáltica, calcário, agregados leves. Baixo quartzo inverte para alto quartzo em 573°C com expansão de 0,85% do volume.
Lascamento	Ocorre paralelamente à superfície livre seguido por quebra em lascas finas nos cantos e quinas (assemelha-se à esfoliação)	Redução da resistência

Figura 5: Efeitos do fogo nas características do concreto [7]

ii. Aço

O aço, diferente do concreto, é um material que conduz bem o calor, isto é, a temperatura uniformiza rapidamente em toda peça. Assim, em situações de altas temperaturas, pode haver elevadas dilatações dos elementos de aço o que causa danos estruturais críticos. Logo, a

presença do concreto em situações de incêndio é importantíssima, pois ele agirá como uma barreira de proteção das armaduras.

Conforme Ferreira [8], as estruturas feitas de concreto armado dificilmente se fundirão, visto que o aço se funde à temperatura de 1550°C e os incêndios raramente chegam a esta temperatura.

As ligações nas estruturas metálicas geralmente são regiões afetadas pelas altas temperaturas. Em ligações aparafusadas, principalmente com parafusos de aço temperado, é perceptível uma diminuição do grau de aperto devido a perda de resistência destes. Além disso, é possível haver ruptura das ligações por corte dos parafusos, dada elevada dilatação térmica que as peças de aço sofrem.

iii. Madeira

A madeira é um material com uma boa resistência a altas temperaturas, ou seja, é capaz de manter suas propriedades mecânicas por mais tempo do que outros materiais estruturais, como o aço e o alumínio.

Durante o incêndio, é formado uma camada carbonizada na superfície do elemento de madeira, devido à sua baixa condutibilidade térmica, isolando em até oito vezes mais do que a madeira natural. Assim, essa camada retarda a combustão de todo material, conservando a integridade física do elemento por mais tempo.

Ademais, os elementos de madeira possuem uma alta porcentagem de umidade na sua composição, o que é benéfico em situações de incêndio, visto que a temperatura inicial servirá para evaporar a água, evitando o aumento da temperatura de outros elementos.

Após o incêndio, as peças de madeira apresentam um forte cheiro de queimado, o que pode ser crucial para a reutilização destes elementos, mesmo que ainda estejam com uma boa resistência às ações de serviço.

iv. Alvenaria

A alvenaria estrutural é composta por um conjunto de materiais: blocos cerâmicos ou de concreto, argamassa, armadura de aço e revestimentos. Logo, seu comportamento quanto a resistência a altas temperaturas está sujeito aos comportamentos de diferentes materiais de modo isolado ou simultaneamente. [11]

Conforme Ingham [12], o incêndio sob temperaturas baixas (250°C a 300°C) afetam apenas a coloração da alvenaria estrutural, deixando as rochas e argamassa composta por ferro com um tom avermelhado. Já com uma carga calorífica maior, a alvenaria perde parte da sua resistência à compressão, devido a deterioração da argamassa de assentamento, o que pode comprometer a estabilidade estrutural.

Ademais, ainda é válido ressaltar que há alvenaria de pedra e de tijolo. Essas apresentam um comportamento relativamente bom dadas altas temperaturas, sendo as juntas de assentamento de argamassa as mais afetadas. Isso se dá pelo fato de um incêndio chegar a temperaturas próximas aquela na qual é atingida na fabricação do tijolo. Já as alvenarias de pedra apresentam uma reação mais significativa, devido a perda da resistência à compressão, o que provoca a fissuração interna e externa do elemento, e provoca instabilidade na estrutura.

2.2. DESLIZAMENTO DE TERRAS

O deslizamento de terra é um fenômeno natural que ocorre devido a movimentação de massa de solo ou de rocha em um plano de terreno inclinado. Esta superfície, conhecida como talude,

pode ser natural ou artificial, sendo a primeira originada pela ação do intemperismo e a segunda é resultante de processos de escavação, dando origem a taludes de aterro e de corte. Assim, para analisar um talude é necessário observar algumas características como geometria (inclinação, amplitude, comprimento horizontal), cargas externas, cursos d'água, trincas aparentes, incidência de chuva, sistema de drenagem, entre outros, para que por fim possa obter o fator de segurança do talude. Deste modo, há algumas maneiras de estabelecer formas de contenção do talude por meio de muros de arrimo ou de pedra.

2.2.1 MECANISMOS DOS MOVIMENTOS DE TERRA

Tipo de condicionante	Características condicionantes
Clima	Pluviosidade, temperatura e sazonalidade.
Substrato	Tipo de material (rochas, solos, depósitos e sedimentos), as propriedades físico-químicas dos materiais e estruturas geológicas internas (foliação, xistosidade, juntas, fraturas), relações geométricas entre perfis de alteração e horizonte de solos.
Relevo	Declividade, tipo do perfil da encosta e amplitude.
Águas superficiais e sub-superficiais	Escoamento, infiltração, nível d'água, dinâmica e geometria do fluxo de água em subsuperfície.
Vegetação	Cobertura e proteção superficial, evapotranspiração, ação radicular e peso.
Uso e ocupação da terra	Tipos de ocupação urbana – densidade de ocupação; Agricultura; e Obras de engenharia.

Figura 6 – Descrição de diversos tipos de condicionante [13]

I. AUMENTO DAS TENSÕES CISALHANTES

Este mecanismo ocorre quando há a remoção de forças laterais por escavações, erosões e fluxo d'água; a adição de materiais na crista do talude provocando sobregarga no solo; a ocorrência de explosões ou/e abalos sísmicos.

II. CONTRIBUIÇÃO PARA BAIXAS RESISTÊNCIAS AO CISALHAMENTO

Relacionado diretamente ao material do talude, solo ou rocha, homogêneo ou heterogêneo, presença de fissuras ou rachaduras na crista da encosta.

III. REDUÇÃO NA RESISTÊNCIA DO MATERIAL

Este tópico diz principalmente a respeito de materiais argilosos que estão suscetíveis ao intemperismo, a reações físico-químicas e a saturação.

2.2.2 AVALIAÇÃO RISCO DE DESLIZAMENTO TERRA

a. ABNT NBR 13752

A norma responsável pelas perícias de engenharia na construção civil é a ABNT 13752. Esta norma concede aos profissionais habilitados a realização de perícias, vistorias e laudos. Com isso, o trabalho pericial deve analisar e classificar o objeto quanto a natureza, apresentando as dimensões, áreas e materiais construtivos, entre outros fatores, para que finalmente possa estabelecer as possíveis causas e consequências, e porventura propor uma intervenção no local.

b. ABNT NBR 11682

Já a ABNT 11682 apresenta os requisitos exigíveis para a análise e gerenciamento da estabilidade de taludes. Por meio de um sistema cronológico, a norma propõe etapas que devem ser adotadas diante de um projeto, execução, manutenção, acompanhamento de obra ou até mesmo de monitoramento de um talude. Inicialmente, é proposto alguns procedimentos preliminares por meio do levantamento de informações, como investigação geológica, levantamento topográfico, verificação de restrições ambientais, avaliação e vistoria geotécnica, dados hidrológicos, análise do projeto, execução e acompanhamento da obra, manutenção e monitoramento dos parâmetros de resistência da estrutura do talude. [14]

2.2.3 AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DEVIDO À INSTABILIDADE DO TALUDE

Conforme Schneider [15], para que seja feita uma boa análise nos danos causados às edificações é necessário ter conhecimento de técnicas de construção (concreto armado, metálica, alvenaria) e do tipo de fundação (sapata, tubulação, estacas), visto que uma mesma situação pode ter diferentes resultados a estrutura.

Assim, construções em uma mesma encosta instável podem ser afetadas de diferentes maneiras dependendo da sua posição no talude. Geralmente, obras construídas no pé do talude são as mais propícias a sofrerem danos, enquanto as edificações no corpo do talude sofrem danos leves.

De acordo com Pinheiro [16], foram estabelecidos critérios para classificar as principais causas das patologias por meio da inclinação das trincas, quantidade e posição dessas, abertura e altura da fissura.

Além disso, Chiocchio et al [17] construíram dois quadros de danos, recalque e trincas, devido a movimentação de terra no qual estabelece medidas imediatas a serem realizadas no local. Ademais, fica claro que para haver a reconstrução dos danos causados, deve-se analisar a capacidade de deter, drenas e estabilizar o movimento.

Grau	Nível de dano	Estrutura resist. à carga	Recalque (cm)	Medidas imediatas
0	sem dano	alvenaria	0	sem
		conc. armado	0	sem
1	negligenciável	alvenaria	0	sem
		conc. armado	0	sem
2	leve	alvenaria	2-3	sem
		conc. armado	2-3	sem
3	moderado	alvenaria	10-15	evacuação sugerida
		concreto armado	10-15	evacuação sugerida
4	sério	alvenaria	15-20	evacuação e escoramento
		concreto armado	15-20	evacuação
5	muito sério	alvenaria	> 25	evacuação e isolamento
		concreto armado	>20	evacuação e isolamento
6	colapso parcial	alvenaria	s.i.	isolamento
		conc. armado	s.i.	isolamento
7	colapso total	alvenaria	s.i.	isolamento
		conc. armado	s.i.	isolamento

Observação: s.i. = sem informação.

Figura 7 – Classificação de danos em estruturas provocadas pela movimentação de taludes – Recalque [17]

Grau	Estrutura resist. à carga	Trincas	Esmagamento
0	ambas	sem	sem
1	ambas	finas fissuras no reboco	sem
2	ambas	pequenas trincas em paredes	sem
3	alvenaria	trincas abertas e disjunção em paredes, deformação de vergas	em áreas significativas
	concreto armado	trincas significativas nas vigas, paredes divisórias deformadas e esmigalhadas	não generalizado
4	alvenaria	considerável disjunção de paredes, deformação espacial, colapso de paredes divisórias	generalizado e importante
	concreto armado	paredes divisórias e externas parcialmente colapsadas, estruturas deformadas, espalhamento de trincas	generalizado e importante
5	alvenaria	abertura de trincas no piso, paredes divisórias totalmente colapsadas, vergas rompidas	muito generalizado
6 e 7	ambas	s.i.	s.i.

Observação: s.i. = sem informação.

Figura 8 -Classificação de danos em estruturas provocados pela movimentação de taludes – Trincas [17]

2.3. ABALOS SÍSMICOS

Os abalos sísmicos geralmente ocorrem com a movimentação de placas tectônicas, devido a grandes pressões vindas do interior do planeta. As falhas geológicas presentes nas zonas entre duas ou mais placas são altamente favoráveis a dissipação dessa pressão. Com isso a superfície pode sofrer diversas consequências, como um tremor, o que pode acarretar prejuízos econômicos, sociais, ambientais e humanos.

2.3.1. ANÁLISE DA ESTRUTURA PÓS ABALO SÍSMICOS

Os abalos sísmicos podem causar efeitos devastadores com alto potencial destrutivo, no qual depende de vários fatores como distância do epicentro e profundidade focal. Assim, tem-se estudado e avaliado danos estruturais após terremotos.

a. Análise de estruturas

- Mecanismo de andar macio e fraco: em alguns edifícios de concreto armado, as paredes podem não ser contínuas ao longo dos andares por diversas razões arquitetônicas e funcionais. Logo, em situação de abalos sísmicos, há rupturas nas extremidades dos pilares, e essas falhas podem ocorrer em qualquer andar, no qual é conhecido como andar fraco, onde a resistência lateral é alterada repentinamente entre os andares devido a falta ou remoção de paredes divisórias ou diminuição da seção transversal das colunas, conforme representado na Figura 9. Geralmente o modo de falha mais comum é o mecanismo de piso mole que acontece no primeiro andar.



Figura 9 - Desvio entre andares inesperado devido ao piso mole durante o terremoto de Van. [19]

- Armadura transversal inadequada em pilares e vigas de concreto armado: durante a ocorrência deste tipo de ação extrema, as forças de cisalhamento aumentam, principalmente em colunas e juntas de viga e coluna. Assim, projetos que não dão atenção especial ao aumento da ductilidade das estruturas e outras técnicas de dimensionamento de vigas e pilares podem apresentar baixo desempenho e estabilidade.



Figura 10 - Estrutura danificada devido a espaçamento inadequado entre reforços de cisalhamento durante (a) terremoto de Van e (b) terremoto de Bingöl. [19]

- Coluna curta: este mecanismo ocorre devido a forças laterais causadas pelos abalos, que são transportadas por colunas e paredes de cisalhamento. A coluna torna-se mais rígida e frágil, devido a diminuição do comprimento dela, assim, atraindo mais forças de cisalhamento. Logo, ocorre a falha por cisalhamento, que geralmente ocorre em pilares de concreto, conforme e Figura 11.



Figura 11 - Danos de colunas curtas durante o terremoto de Bingöl em 2003.
[19]

- Vãos inadequados entre edifícios adjacentes: acontece quando edifícios são construídos muito próximos ou em contato com outra edificação. Logo, quando há a ocorrência de um abalo sísmico, os edifícios não têm espaço para um deslocamento, o que acaba provocando batidas uns com os outros.



Figura 12 - Colapso de edifícios adjacentes durante o terremoto de Bingö.
[19]

- Viga forte mas coluna fraca: em algumas construções são projetadas vigas profundas e rígidas junto com colunas flexíveis. Então, durante o abalo, as vigas podem apresentar comportamento elástico, falha por cisalhamento ou esmagamento por compressão. Levando assim a instabilidade total do edifício, conforme mostrado na Figura 13.



Figura 13: Falha de um edifício devido ao forte efeito viga-coluna fraca durante o terremoto de Van. [19]

2.4. TORNADOS

- **Cobertura do telhado:** A estrutura do telhado deve suportar cargas constantes que incluem o peso do telhado e cargas variáveis, como pessoas andando sobre o telhado, neve e forças de vento. Os danos causados pelo vento à estrutura do telhado podem ser sutis ou catastróficos, dependendo da qualidade e de como foi colocado. A flexão do telhado pode romper as conexões pregadas onde os suportes ou vigas de colarinho estão presos aos caibros. As vigas também podem se quebrar no meio do vão ou onde estão conectadas à viga da cumeeira, aos suportes ou às placas superiores.
- **Estrutura da parede exterior:** As paredes exteriores estão sujeitas a influências internas e pressões do vento externo. Pressões de atuação interna empurram as paredes exteriores. Edifícios bem projetados geralmente têm paredes de cisalhamento (paredes interiores que são perpendiculares às paredes exteriores) para transferir as forças do vento. No entanto, paredes externas adequadas sem cisalhamento e contraventamento estão sujeitas a falhas catastróficas.
- **Tijolo de alvenaria:** Tijolos normalmente são moldados a partir de argila e secos em um forno. Suas características podem ser definidas na fabricação, como rachaduras de retração, que se formam no material antes que ele seque. Eventualmente, as faces dos tijolos se desprendem e sofrem erosão. É de suma importância fazer uma análise estrutural após a ocorrência de um tornado, pois estes efeitos podem ser mascarados e desprezados.
- **Fundação:** A fundação é normalmente o último lugar a ser danificado em um edifício após um tornado. A fundação deve suportar o peso do edifício e também resistir a qualquer movimento do solo abaixo ou em torno dele. As fundações de concreto tendem formar rachaduras durante ou após a cura à medida que encolhem. A extensão da fissuração por retração depende principalmente do teor de água da mistura e colocação de juntas de controle. Fatores ambientais como a taxa de hidratação e evaporação pode afetar a gravidade da fissuração por retração. Por estas razões, trincas de retração são bastante comuns em concreto de fundações. Uma análise pode revelar deficiências inerentes à fundação, como vigas em

balanço ou mal suportadas, pilares inclinados, das quais podem ou não serem causados pelos ventos durante o tornado. [18]

4. CONCLUSÃO

Após a ocorrência de ações externas é de grande importância a realização de avaliações das consequências provocadas por cada tipo de ação extrema. Além disso, é de suma importância que este seja feito por profissionais, visto que há inúmeros detalhes e ensaios que só podem ser feitos por mão de obra especializada.

Os danos causados nas estruturas podem ser de leves até gravíssimos para a estabilidade estrutural. Esses danos podem variar dependendo das causas que afetaram o ambiente, por exemplo se for um incêndio há grandes chances de afetar a estrutura tanto fisicamente quanto quimicamente, enquanto outros tipo de causas podem não ter interferência na estrutura molecular do sistema. Logo, deve ser feita uma análise inicial da origem dos danos para ter consciência de quais serão as análises e onde estas serão feitas.

Deste modo, é evidente que ações extremas como abalos sísmicos e incêndios podem causar danos sociais, econômicos, ambientais e estruturais. Assim, é dever do engenheiro planejar, projetar e executar uma obra da melhor forma possível para que os danos sejam mínimos. Ademais, este deve ser capacitado para analisar e diagnosticar um edifício comprometido além de oferecer soluções para o problema ocorrido.

Conclui-se que é necessário a realização de estudos diante de um caso específico, e que existem métodos de reforço e recuperação de estruturas, que podem ser úteis na reconstrução do ambiente danificado.

REFERÊNCIAS

- [1] COSTA, Carla Neves; SILVA, Valdir Pignatta. REVISÃO HISTÓRICA DAS CURVAS PADRONIZADAS DE INCÊNDIO. Seminário internacional NUTAU, [S. l.], 2006. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/340682840_Revisao_historica_das_curvas_padronizadas_de_incendio. Acesso em: 17 maio 2023.
- [2] BRITZ, Carlos Amado. Avaliação de pilares de concreto armado colorido de alta resistência, submetidos a elevadas temperaturas. Tese USP, [S. l.], p. 1, 17 maio 2011. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-31052011-170216/pt-br.php>. Acesso em: 17 maio 2023.
- [3] ROCHA, Rochanna Alves. EFEITO DA ALTA TEMPERATURA EM CONCRETOS: UMA REVISÃO DA LITERATURA. INTERSCIENTIA, 2018.
- [4] HAGER, I. Fire Technology: Colour Change in Heated Concrete, v. 50, n. 4, 2013.
- [5] WENDT, S. C. Análise da mudança de cor em concretos submetidos a altas temperaturas como indicativo de temperaturas alcançadas e da degradação térmica. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.
- [6] LIMA, R. C. A. Investigação do comportamento de concreto em temperaturas elevadas. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005
- [7] CARVALHO, E. F. T. Contribuição ao estudo da resistência residual do concreto submetido ao tratamento térmico padrão para situações de incêndio. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Civil da

- Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2001.
- [8] FERREIRA, A. P. G. Modelagem dos fenômenos de transporte termo-hídricos em meios porosos submetidos a temperaturas elevadas: aplicação a uma bicamada rocha-concreto. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Modelagem Computacional da Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2011.
- [9] NBR 15200:2012- Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [10] EN 1992-1-2:2010 - Eurocódigo 2 – Projeto de estruturas de betão. Parte 1-2: Regras gerais. Verificação da resistência ao fogo, Comité Europeu de Normalização, Bruxelas.
- [11] LEITE, Helena Arias Lara; MORENO, Armando Lopes Júnior; TORRES, Daniel Luis. Dimensionamento da alvenaria estrutural em situação de incêndio: contribuição à futura normatização nacional. 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/NrPZPGszVDdxdp7H3ntRFz8y/?lang=pt>. Acesso em: 17 maio 2023.
- [12] INGHAM, J. Forensic Engineering of Fire-Damaged Structures. ICE, v. 162, p. 12-17, 2009.
- [13] CARVALHO, CS. Prevenção de riscos de deslizamentos em encostas em áreas, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/9613/1/Preven%C3%A7%C3%A3o%20de%20riscos.pdf>. Acesso em: 17 maio 2023.
- [14] BRUM, A. C. A.; VENEROSO, E. A.; MELLO, E. T. P. V.; SOUZA, L. E.; FILIPE, I. Perícia De Engenharia Para Análise De Deslizamento De Talude Urbano. Trabalho de Perícia, [s. l.], 2021. Disponível em: <https://ibape-nacional.com.br/biblioteca/wp-content/uploads/2021/11/64-PER%C3%8DCIA-DE-ENGENHARIA-PARA-AN%C3%81LISE-DE-DESLIZAMENTO-DE-TALUDE-URBANO.pdf>. Acesso em: 17 maio 2023.
- [15] SCHNEIDER, PATRÍCIA ADRIANE. Patologias de edificações devido à movimentação de encostas na cidade de Santa Cruz do Sul - RS. 2010, 83p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, 2010.
- [16] PINHEIRO, R. J. B.; SOARES, J. M. D.; BICAR, A. V. D.; BRESSANI, L. A.; EISENBERGER, C. N. Patologia de edificações devido à movimentação de encostas na cidade de Santa Cruz do Sul-RS. Tecno-Lógica (REVISTA UNISC), UNISC / Santa Cruz, v. 10, p. 1-15, 2006
- [17] CHIOCCHIO, C.; IOVINE, G.; PARISE, M. A proposal for surveying and classifying landslide damage to buildings in urban areas. Engineering Geology and the Environment, Rotterdam, p. 553-558, 1997
- [18] MARSHALL, Timothy P. BUILDING DAMAGE ISSUES IN TORNADOES, 2004. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/327022726_BUILDING_DAMAGE_ISSUES_IN_TORNADOES. Acesso em: 17 maio 2023.
- [19] YÖN, Burak; SAYIN , Erkut; ONAT, Onur. Earthquakes and Structural Damages. 1 fev. 2017. Disponível em: <https://www.intechopen.com/chapters/52524>. Acesso em: 17 maio 2023.
- [20] Ballio, G.; Mazzolani, F.M. – Theory and Design of Steel Structures. Chapman and Hall, 1983, 632 p.
- [21] ZIEGLER, Guilherme La Flor. AVALIAÇÃO DO RISCO A ESCORREGAMENTOS

- DEVIDO A OCUPAÇÃO URBANA NA VILA BELA VISTA EM SANTA MARIA-RS. 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/7819>. Acesso em: 17 maio 2023.
- [22] U.S. Geological Survey, Reston, Virginia. O Manual de Deslizamento – Um Guia para a Compreensão de Deslizamentos. 2008. Disponível em: https://www.gfdr.org/sites/default/files/publication/Deslizamentos_M5DS_0.pdf. Acesso em: 17 maio 2023.

**MONITORAMENTO DE PATOLOGIAS PREDIAIS ATRAVÉS DE MÉTODOS
FOTOGRAMÉTRICOS E GEORREFERENCIADOS UTILIZANDO AERONAVES
REMOTAMENTE PILOTADAS**



Tiago de Castro Hardy¹
Doutorando e Mestre –
Ambiente Construído e
patrimônio Sustentável
UFMG



**Willi de Barros
Gonçalves**
Professor UFMG – Belo
Horizonte, Brasil

Resumo:

Este artigo apresenta um método para monitorar trincas em edificações, baseado em técnicas de processamento de imagem e geoprocessamento utilizando aeronaves remotamente pilotadas. O estudo de caso é a Igreja São Francisco de Assis (ícone da arquitetura moderna brasileira), integrante do Conjunto Moderno da Pampulha, patrimônio mundial da humanidade localizado em Belo Horizonte, Brasil. O método proposto envolve técnicas de fotogrametria realizadas com aeronaves pilotadas remotamente e análise de imagens digitais usando ferramentas de software GIS, através da marcação de pontos georreferenciados em fissuras na cúpula do edifício, possibilitando o monitoramento de seu deslocamento, devido a patologias estruturais. Os resultados preliminares indicam a utilização do método como uma técnica de Inspeção Não Intrusiva, adequada para circunstâncias de difícil acesso, rápida, segura e útil para gestão e tomada de decisão. Os resultados obtidos foram considerados satisfatórios e minimamente invasivos, salientando-se a possibilidade de utilização de aeronaves pilotadas remotamente como ferramentas de documentação científica, em protocolos de monitoramento e avaliação para preservação do patrimônio cultural arquitetônico.

Palavras-chave: Preservação do patrimônio arquitetônico, Conservação preventiva de bens culturais imóveis, Monitorização de patologias de edifícios, Fotogrametria

¹ Aluno de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável, Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, Brasil.

1. Documentação científica aplicada ao monitoramento de manifestações patológicas construtivas

As tecnologias de sistemas CAD e metodologia BIM demonstram uma mudança de paradigma no uso das ferramentas de projeto e desenho por computador, possibilitam realizar a modelagem tridimensional a partir dos levantamentos, sejam eles por fotogrametria, escaneamento a laser ou Sensoriamento Remoto realizado por RPAs. A modelagem assume características e níveis distintos de detalhamento de acordo com as informações obtidas no levantamento e na tecnologia escolhida.

Conforme Grussenmeyer, Boehm e Barazzetti (2020), a digitalização a *laser* e a fotogrametria têm um papel fundamental no levantamento das instalações existentes, especialmente para a geração de modelos paramétricos executados de forma precisa e detalhada. A integração da fotogrametria e digitalização a *laser* com a metodologia HBIM, é um excelente recurso para documentar a condição de uma edificação.

López et al (2018) descrevem que o procedimento de reconstrução virtual do patrimônio histórico-cultural não é uma tarefa fácil, pois geralmente os objetos são possuem características e morfologias heterogêneas, complexas e irregulares. Ainda segundo López *et al* (2018). o modelo 3D digital deve ser convertido em um quadro de referência, que servirá para o entendimento e monitoramento da documentação, gerando uma fonte de dados que auxiliam em projetos de conservação, restauração e reconstrução.

Ainda Segundo López *et al* (2008), a digitalização 3D e tecnologias de fotogrametria juntamente com análises bibliográficas históricas associadas as ferramentas BIM e GIS veem se demonstrando eficazes para gerenciar e modelar dados gráficos (nuvens de pontos) e semânticos (informações histórico-construtivas).

2. Fotogrametria e Aerofotogrametria

A palavra fotogrametria é formada da junção de três palavras de origem grega "*photon*" (luz), "*grafos*" (descrição) e "*metron*", podendo ser definida como a ciência aplicada, a técnica e a arte de extrair de fotografias métricas, a forma, as feições, as dimensões e a posição dos objetos nelas contidos.

Segundo Oliveira (2008), os "fundamentos da fotogrametria repousam sobre a geometria da projeção central e da perspectiva", onde a percepção da visão tridimensional é produzida através visão estereoscópica², obtida a partir de duas imagens de um mesmo objeto, com pontos de vista distintos e observadas simultaneamente por apenas um dos olhos. O estereoscópio, é um aparelho que facilita a interpretação do cérebro a obter esta sensação de volume obtidas por meio de duas imagens planas e seus princípios físicos.

A possibilidade de retificar as imagens fotográficas é outro procedimento empregado na fotogrametria a qual a técnica envolve em remover a deformação da perspectiva baseados no conhecimento de pelo menos uma verdadeira grandeza da parte de uma imagem.

O estado da arte das técnicas de fotogramétricas digitais incluem a obtenção de "nuvens de pontos", seja por imagens fotográficas ou por varredura a laser, recriando objetos 3D e estruturas a partir de uma grande quantidade de pontos referenciados baseados na captação da estrutura real, "essas técnicas têm permitido

o levantamento de grande quantidade de informações, de modo mais preciso e rápido se comparado com os métodos tradicionais” (GROETELAARS, 2015, p. 49).

3. Fotogrametria Digital

A fotogrametria digital pode ser executada utilizando Estações Fotogramétricas Digitais (*DPW-Digital Photogrammetric Workstation*) para a representação e a criação do espaço-objeto tridimensional), derivado de imagens retificadas (BRANDALIZE, 2001). Essa técnica pode ser considerada de fácil acesso e baixo custo, podendo ser também executada utilizando-se câmeras digitais portáteis e até mesmo as câmeras fotográficas dos telefones celulares, resultando em produtos de diferentes qualidades, em termos de resolução e detalhamento.

O método fotogramétrico é útil para situações em que usar equipamentos tradicionais é demorado ou mesmo impossível, e nos casos em que a digitalização a laser é menos indicada devido ao tamanho do local ou locais inacessíveis (ROCHA, MATEUS, *et al.*, 2020).

4. Escaneamento a Laser (light amplification by stimulated emission of radiation)

Assim como a fotogrametria digital, esta técnica passa pela obtenção de nuvens de pontos, neste caso obtidas a partir da varredura das superfícies dos objetos por feixes de raios laser, empregando aparatos específicos. Permite a captura automática de grande quantidade de dados em curto espaço de tempo, e possibilita a conversão do modelo básico de “nuvem de pontos” em modelos tridimensionais (GROTELARS e AMORIM, 2011).

Rocha *et al* (2020) explicam que ambas as técnicas (escaneamento a laser e fotogrametria), geram arquivos de nuvem de pontos os quais representam a geometria capturada de todo o edifício.

As principais diferenças entre Fotogrametria e Escaneamento a Laser (Quadro 1) - No escaneamento a Laser a geração dos dados 3D é automática enquanto a fotogrametria possui um baixo custo, mas a modelagem é manual (BRANDALIZE, 2001).

Critério de comparação	Fotogrametria	Laser
Tipo de sistema	Sistema Passivo	Sistema Ativo
Tipo de Sensor	Sensor linear ou com quadro negativo fixo com geometria de perspectiva	Sensor pontual com geometria polar
Tipo de cobertura de informação	Cobertura em área	Informação pontual
Modo de aquisição de informação	Aquisição de informação de forma indireta	Aquisição direta de coordenadas X, Y e Z
Tipo e qualidade de imagem	Imagens de qualidade geométrica e radiométrica alta	Nenhuma imagem ou de qualidade inferior

Aquisição de dados	Objetos pequenos são de difícil interpretação conforme escala - não existe imagem abaixo da vegetação	Habilidade de posicionamento de objetos de pequenas dimensões, penetração na vegetação ...
--------------------	---	--

Quadro 1 – Comparativo entre fotogrametria e escaneamento a laser
Fonte: adaptado de (BALTSAVIAS, 1999 apud. BRANDALIZE 2001 pg.14).

5. Aerofotogrametria

Conforme conta Oliveira (2008), a primeira foto aérea reconhecida, foi obtida a partir de um balão de ar quente a sobrevoar Paris, em 1858, pelo jornalista e fotógrafo Félix Nadar, já em 1983 foi desenvolvida uma técnica cartográfica obtida a partir de fotos aéreas, hoje conhecida como aerofotogrametria.

A aerofotogrametria é uma técnica cartográfica que consiste na utilização de registros fotográficos aéreos para a obtenção de informações referentes a um determinado local. Atualmente o voo fotogramétrico é realizado por uma aeronave, na qual é acoplada uma câmera de alta resolução, onde as imagens obtidas são processadas com porcentagens de sobreposição o ortomosaico.

Aerofotogrametria por RPA

Nesta modalidade o registro fotográfico é realizado por RPAs, popularmente conhecidos como *drones* (ARAUJO, 2017). Eles são equipados com câmeras de alta resolução, proporcionando, além das análises de fotografias e filmagens, a geração precisa de produtos cartográficos em ambiente Sistema de Interação Geográfica (SIG). As imagens geradas pelos RPAs são baseadas nos princípios da fotogrametria, obtidas a partir do mesmo ponto, e permitem a visualização de todo o contexto, podendo ser convertidas em imagens 360°, panorâmicas, ortomosaicos georreferenciados, nuvem de pontos e até imagens térmicas, sendo assim resultados semelhantes seriam impossíveis de se obter por meio de um satélite, de um avião convencional ou por um observador no solo (SANTOS, HENRIQUES, *et al.*, 2016). A utilização das Aeronaves Remotamente Pilotadas, para diversos segmentos da engenharia, estão cada vez mais comuns no Brasil e estão demonstrando um ótimo custo-benefício diante, as inúmeras aplicabilidades da ferramenta.

Equipados com câmeras especiais, os RPAs podem gerar imagens que podem contribuir para o monitoramento do patrimônio como inspeções aéreas de coberturas e fachadas sendo acessadas remotamente por um profissional evitando desta forma, riscos operacionais.

A aerofotogrametria obtida por RPA se baseia normalmente na utilização do “drone” para se fazer um levantamento aero fotográfico em diferentes posições, o voo deve ser realizado em linha, para que um software de fotogrametria possa sobrepor as imagens a uma taxa média de 70%, que irá gerar um ortomosaico a partir das fotos obtidas e um modelo 3D em nuvens de pontos. Estes softwares identificam pontos que consideram idênticos em mais de uma fotografia e calculam sua posição estimada, atribuindo para cada ponto, coordenadas X, Y e Z. As RPAs normalmente operam com um Sistema de posicionamento Geográfico (GPS) que identifica as fotografias com coordenadas geográficas proporcionando resultados georreferenciados. O voo pode ser totalmente pré-programado previamente com a utilização de aplicativos

específicos para voos autônomos, restando ao piloto conferir o trajeto definido e estando preparado para qualquer eventualidade que possa acontecer, como a perda de sinal, pássaros e ventos fortes.

O estado da arte da documentação científica aplicada ao monitoramento de patologias construtivas, permite embarcar em um RPA, câmeras termográficas para realizar uma técnica não destrutiva para medir temperaturas ou observar os padrões de distribuição de calor a partir da radiação infravermelha, a inspeção termográfica. Sendo assim, as ferramentas de Inspeção Não Intrusiva - INI, mais utilizadas, que possuem métodos de longo alcance para levantamentos arquitetônicos são: a digitalização a *laser* terrestre, a fotogrametria e a aerofotogrametria (ROCHA, *et al.*, 2020).

6. Utilização do RPA para o monitoramento e inspeção de edifícios

A inspeção visual é a primeira etapa de qualquer verificação de patologias em edifícios, a qual o observador deve ser qualificado e compreenda as técnicas construtivas e os materiais do estudo de caso. Para registro de informações é comum a utilização de recursos fotográficos os quais servem como material de apoio e documentação. As imagens obtidas na inspeção podem transmitir a escala da manifestação patológica e facilitar, compreensão e o monitoramento.

Procedimentos metodológicos

O método consiste em marcar pontos georreferenciados em Software GIS com a intenção de monitorar o deslocamento ou a estabilização dos pontos. Para que se obtenha uma acurácia neste procedimento é necessária uma aferição dos pontos de controle com (GPS/RTK) e os equipamentos utilizados nesta pesquisa (GPS GARMIN e o Phantom 3 pró) possuem uma variação de 1 a 3 metros de precisão na locação geográfica. Sendo assim, este estudo, demonstra a experimentação da possibilidade de monitorar a fissura em camadas de pontos georreferenciados.

O aerolevantamento, foi realizado no dia 03/03/2021, as imagens capturadas foram processadas no programa Agisoft metashape na nuvem de pontos (Figura 1) a qual possibilitou a geração da ortofoto (Figura 2).

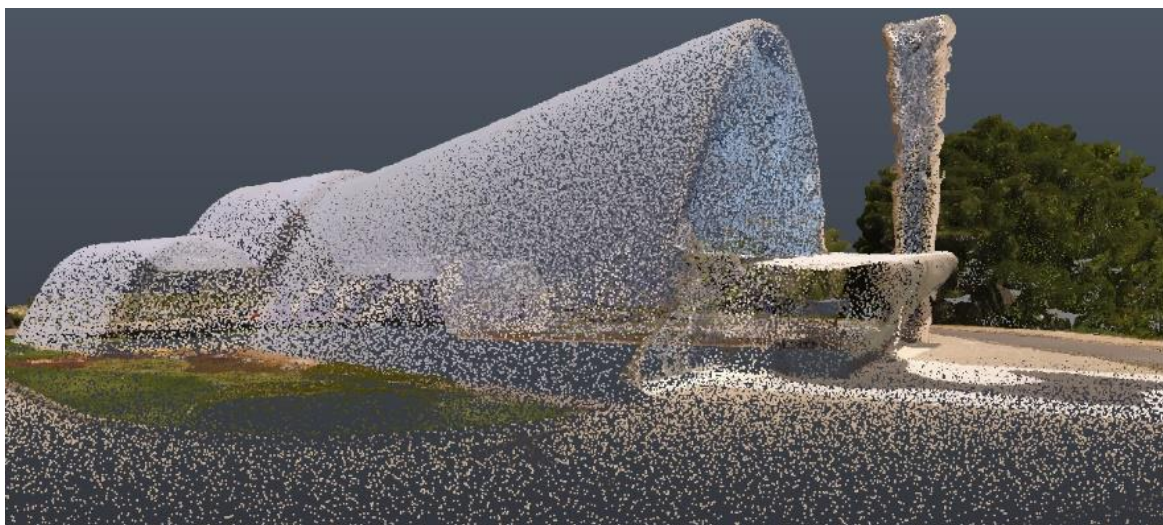


Figura 1 – Resultado da nuvem de pontos da Igreja da Pampulha no software *Agisoft Metashape*.
Fonte: autores

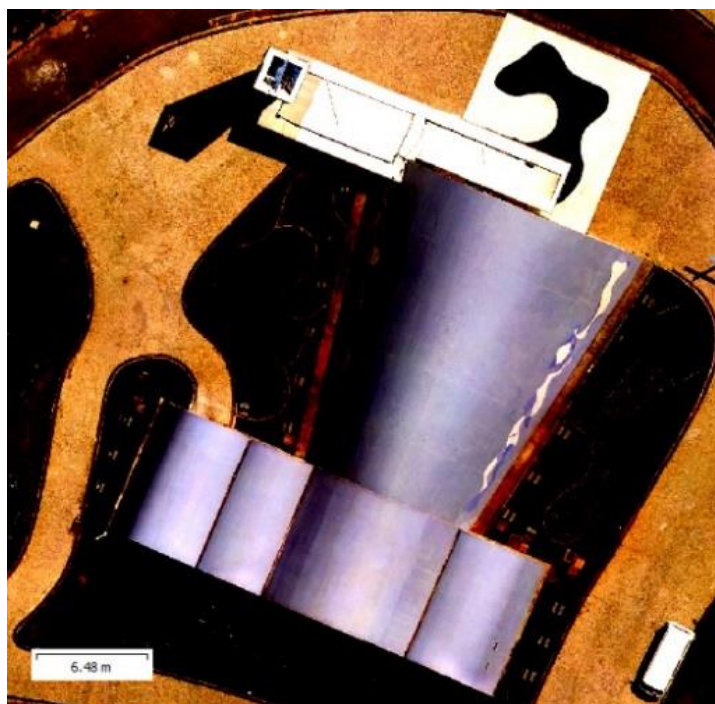


Figura 2 – Resultado da ortofoto da Igreja da Pampulha após processamento de imagens capturadas no dia 03/03/2021. Fonte: autores

Com a aproximação da imagem da ortofoto gerada, foi possível visualizar uma aparente anomalia construtiva na cúpula da igreja, entre a segunda junta de dilatação e a terceira junta de dilatação (Figura 3 e 4).

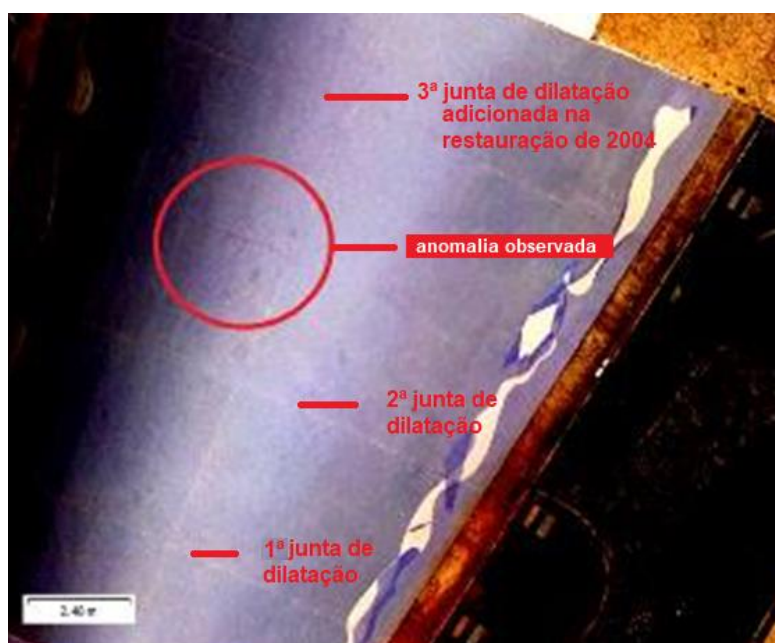


Figura 3 - Ortofoto, localização de patologia. Fonte: autor



Figura 4– Detalhe da fissura após a geração da ortofoto. Fonte: autores

7. Resultado Preliminar do procedimento para o monitoramento obtenção de métricas de fissuras utilizando pontos georreferenciados no programa QGIS

A ortofoto gerada, foi exportada para o software Qgis onde foram demarcados os pontos georreferenciados (Figura 5) e (Tabela 2).



Figura 5 –Marcação de pontos de coordenadas nas extremidades da fissura. Fonte: autores

PONTO	COORDENADAS GEOGRÁFICAS
P1	-43.97899919, -19.85832357
P2	-43.97899754, -19.85832451
P3	-43.97899546, -19.85832807
P4	-43.97899312, -19.85832493
P5	-43.97898917, -19.85832547
P6	-43.97898757, -19.85832766
P7	-43.97898530, -19.85832880
P8	-43.97898331, -19.85832872
P9	-43.97898132, -19.85832937
P10	-43.97897954, -19.85833062

Tabela 2 – Coordenadas geográficas dos pontos marcados na borda da fissura

Fonte: autores

Foi verificado que a falta de acurácia dos equipamentos inviabilizou a comparação de resultados obtidos em um futuro levantamento, devido à grande divergência no georreferenciamento.

8. Considerações Finais

O artigo apresentou um experimento da utilização de RPA e programas de georreferenciamento como forma de monitoramento de patologias. Embora a continuidade do trabalho tenha que ter sido interrompida devido a acurácia dos equipamentos utilizados, espera-se em uma futura pesquisa poder utilizar equipamentos mais precisos para validar ou não o método

Este texto faz parte dos resultados da pesquisa em nível de mestrado realizada pelo autor 1, sob a orientação do autor 2. Os estudos estão em continuidade no grupo de pesquisa ArCHE – *Art and Cultural Heritage Environment*, em nível de Doutorado do autor 1 e com a orientação do autor 2.

Agradecimentos

Os autores agradecem a organização do Congresso Luso Brasileiro em Arquitetura e Engenharia, a Universidade Federal de Minas Gerais, o Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Escola de Arquitetura da UFMG e ao CNPq pelo apoio e divulgação da pesquisa.

Referências

ARAÚJO, C. A. Á. **Novo quadro conceitual para a ciência da informação: informação, mediação e cultura**. XVII Encontro Nacional de Pesquisa em Ciência da Informação. Salvador: UFBA: [s.n.]. 2016. p. 1402-1417.

BRANDALIZE, A. A. **Perfilamento a LASER : Comparação com Métodos Fotogramétricos**. Esteio, 2001. Disponível em: <<https://www.esteio.com.br/download/trabalhos-e-artigos/>>. Acesso em: 02 nov. 2019.

GROETELAARS, N. J. **Criação de Modelos BIM a partir de “nuvens de pontos”: estudo de métodos e técnicas para documentação arquitetônica**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura, Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia. Salvador : [s.n.]. 2015. p. 372.

GRUSSENMEYER, P.; BOEHM, J.; BARAZZETTI, L. ISPRS International Journal of Geo-Information - **special_issues- HBIM. mdpi, 2020**. Disponível em: <https://www.mdpi.com/journal/ijgi/special_issues/HBIM>. Acesso em: 22 abril 2021.

ROCHA, G. et al. **A Scan-to-BIM Methodology Applied to Heritage Buildings**. MDPI, 2020. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/journal/heritage>>. Acesso em: 21 abril 2021.

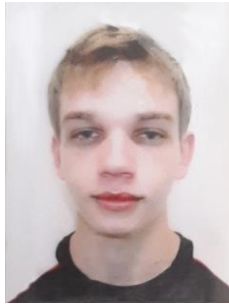
RODRIGUES -MORENO . J. F. et al. **Da nuvem de pontos ao BIM: um fluxo de trabalho integrado para documentação, pesquisa e modelagem de patrimônio arquitetônico**, Survey Review, DOI:10.1080 / 00396265.2016.12597 . 2016

RODRIGUES, M. **Introdução ao Geoprocessamento**. Simpósio brasileiro de geoprocessamento. São Paulo: Curso Introdutório São Paulo: EPUSP. 1990. p. 1-26.

SANTOS, M. S. D. **Imprensa da Universidade de Coimbra**; Annablume, 2021. ISSN DOI:<http://dx.doi.org/10.14195/978-989-26-1135-8>. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10316.2/38339>>. Acesso em: 05 jan 2021.

ARQUITETURA

SISTEMAS ESTRUTURAIS DE AÇO E MISTOS PARA EDIFÍCIOS DE GRANDE ALTURA E SUA INTEGRAÇÃO ARQUITETÔNICA



João Pedro A. Schriefer*
Aluno de Arquitetura e Urbanismo
UFMG – Belo Horizonte, Brasil



Carolina M. Amaral
Aluna de Arquitetura e Urbanismo
UFMG – Belo Horizonte, Brasil



João Paulo C. Rodrigues
Professor
UFMG – Belo Horizonte, Brasil e UC – Coimbra, Portugal

Resumo:

A construção de arranha-céus tem sido uma parte icônica do desenvolvimento urbano em todo o mundo há muitas décadas. A busca por edifícios cada vez mais altos trouxe desafios únicos para arquitetos e engenheiros. Os desafios estruturais associados aos edifícios de grande altura em aço e mistos de aço e concreto são complexos e suas soluções são acompanhadas de muita responsabilidade. Para superar esses desafios, os projetistas empregam uma variedade de sistemas estruturais que garantem a segurança e a estabilidade dos edifícios. No entanto, decisões nos âmbitos econômico e estrutural podem empobrecer o projeto arquitetônico se esse não for integrado desde as etapas iniciais de concepção. A necessidade do conhecimento das características principais dos diversos sistemas estruturais é de grande importância para que um projeto seja bem executado. A integração estrutural e arquitetônica em edifícios de grande altura é fundamental para a criação de estruturas seguras, funcionais e belas.

Palavras-chave: Estruturas de aço, estruturas mistas, edifícios de grande altura, integração arquitetônica, sistemas estruturais

*Autor correspondente – Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais. Rua Paraíba, 697, Savassi, Belo Horizonte – MG/CEP 30130-141, BRASIL., Telef.: +55 31 997856728. e-mail: jpschriefer@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

O atual contexto demográfico, caracterizado pelo crescimento populacional e pela escassez de espaço em muitos centros urbanos, torna quase inevitável a opção pela construção de edifícios de grande altura nas grandes cidades. Ao longo do tempo, a construção desses edifícios teve que lidar com uma variedade diversificada de variáveis, que ainda existem atualmente, mas agora são abordadas nos projetos por meio de tecnologias que proporcionam maior flexibilidade e oferecem novas soluções estruturais e arquitetônicas.

A história do desenvolvimento construtivo tem um período fundamental quando se trata dos arranha-céus: a segunda metade do século XIX. Até então, as maiores edificações eram suportadas majoritariamente por alvenaria e madeira e não apresentavam grande altura – com exceção de templos religiosos e torres militares. O cenário foi muito modificado a partir do momento em que importantes avanços foram realizados, especialmente a invenção de um sistema de segurança para elevadores de passageiros, a melhoria dos sistemas de tubulação de água, novas técnicas aplicadas no estudo do solo, e materiais que atuam de forma mais eficaz na prevenção de incêndios [1]. Em conjunto a isso, a utilização de um sistema híbrido de esqueleto metálico composto por ferro fundido para pilares e ferro forjado para vigas envolto num envelope de alvenaria estrutural, isto é, *cage construction* [2], foi um aperfeiçoamento importante que resultou ao fim do século, nos Estados Unidos, nos primeiros edifícios em completa estrutura de aço. Durante o século XX, outros aperfeiçoamentos nas estruturas de aço e de concreto armado aconteceram, assim como a invenção das lâmpadas fluorescentes e do ar condicionado, modificando mais uma vez a morfologia dos edifícios e os deixando mais parecidos com os que estamos acostumados atualmente. Projetos arquitetônicos moldados a partir de outros fatores de interesse é, portanto, uma ocorrência natural.

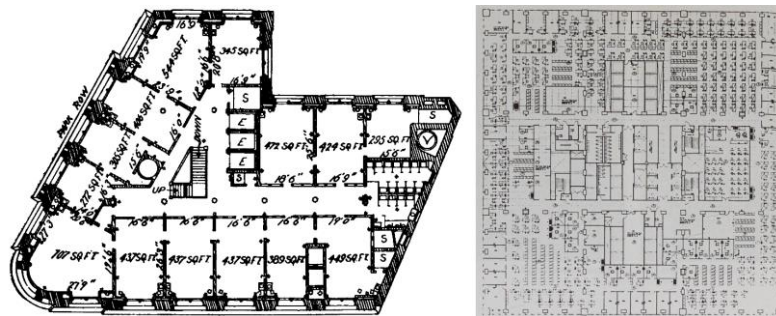


Figura 1: Planta de edifício no sistema *cage construction* de 1890 com 20 pavimentos (esq.) [3] e no sistema metálico tubular em aço de 1970 com 108 pavimentos (dir.)

O aspecto econômico é um dos mais importantes a se considerar para o erguimento de arranha-céus. Cass Gilbert, importante arquiteto americano nos séculos XIX e XX, definiu esses edifícios ainda em 1900 como simplesmente máquinas que fazem a terra render [4] – uma descrição adequada levando-se em consideração a então enorme especulação em cima desses empreendimentos em Chicago e Nova York. No entanto, o fator econômico deve considerar não somente a demanda local para o uso da edificação, mas também a escolha de

materiais adequados, a melhor relação custo/área para quem constrói, os layouts mais eficientes para o uso pretendido e, naturalmente, a morfologia genérica do edifício.

O fato de que o interesse econômico no empreendimento funciona como a locomotiva do processo de projeto e execução indica que, conseqüentemente, o projeto arquitetônico precisa se adequar ao planejamento de custos. O pre-estabelecimento de várias características do edifício a partir de requisitos econômicos e estruturais tem o potencial de deixar o projeto arquitetônico muito enrijecido se esse for pensado somente em etapas posteriores. É extremamente desejável, nesse contexto, que nos edifícios altos realizados em aço e concreto haja a melhor integração possível desde o início dos projetos entre essa realidade econômica – com suas diversas especificidades relacionadas à estabilidade e ao equilíbrio estrutural - e o projeto arquitetônico, especialmente a partir das dimensões dos elementos estruturais.

2. DESAFIOS ESTRUTURAIS

A estrutura desempenha um papel crucial na construção de edifícios, sendo responsável por suportar não apenas seu próprio peso, mas também toda a carga vertical das paredes, pessoas e objetos que repousam sobre ela, bem como todas as cargas horizontais externas, como movimentos tectônicos, impactos e, principalmente, forças do vento. Ao projetar edifícios de grande altura, é essencial ter consciência de que as cargas laterais se tornam mais intensas à medida que o prédio se eleva. Por esse motivo, é comum que essas estruturas sejam construídas com materiais resistentes e duráveis, como aço, concreto armado ou uma combinação de ambos. A estrutura deve ser projetada de modo a permitir comportamentos adequados para as situações nas quais ela será solicitada. Assim, torna-se de grande importância que o projeto estrutural considere e permita a flexibilidade e a capacidade de deformação necessárias nos elementos da superestrutura para, no mínimo, os piores cenários previstos de acordo com as normas e a legislação local.

A carga lateral nos edifícios é resistida por meio de elementos rígidos, como o próprio concreto armado com suas ferragens, ou por meio de contraventamentos em forma de X, Y, K e barras diagonais em aço. Esses elementos redirecionam as cargas laterais para os pilares do edifício, que por sua vez as transferem para as fundações juntamente com as cargas de gravidade já presentes. O projeto das fundações é uma tarefa de grande complexidade e responsabilidade, uma vez que é necessário garantir que elas suportem todas as cargas atuantes no prédio antes mesmo do início das obras, pois as fundações são a primeira etapa do processo de construção. A escolha do tipo de fundação adequada é feita de acordo com o carregamento a ser suportado e as características do solo local. Para a análise do terreno, existem diversos métodos de sondagem para serem utilizados. Em geral, para edifícios de grande altura são utilizadas fundações do tipo profundas - mais especificamente tubulões a céu aberto, tubulões pneumáticos e estacas.

Outros desafios relacionados às estruturas incluem a legislação, o transporte, a logística, a prevenção e combate a incêndios e, posteriormente, a manutenção. O fator legal se soma ao fator econômico na concepção dos projetos, uma vez que é ele que definirá afastamentos mínimos, coeficientes de área construída, coeficientes de área permeável, altura máxima,

dentre outros, influenciando no envelope da edificação. O transporte e a logística dos materiais de construção exigem um planejamento cuidadoso para cumprir prazos e evitar problemas no canteiro de obras com conseqüente prejuízo financeiro com o atraso da construção. Estratégias de prevenção e combate a incêndios devem ser realizadas a partir do momento em que se escolhem os materiais do sistema estrutural, e é necessário considerar desde as etapas de projeto que, após a finalização das obras, a manutenção de diversas partes do edifício precisará ser realizada de alguma forma, e, a depender da morfologia da edificação, sistemas complementares ou elementos customizados deverão ser adicionados.

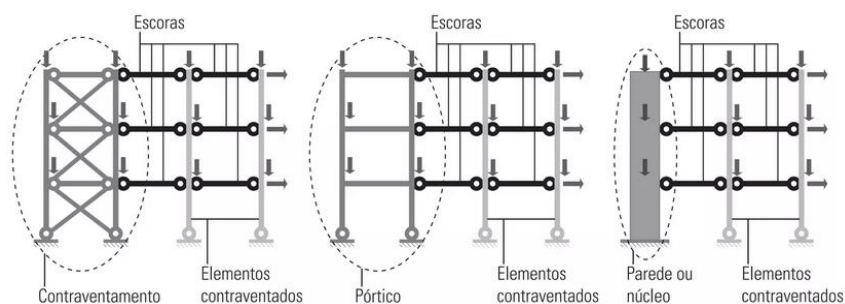


Figura 2: Subestruturas de contraventamento e elementos contraventados [5]

Com exceção dos tipos de fundações a serem utilizados, todos esses fatores influenciam significativamente no projeto arquitetônico. Por exemplo, edificações em aço e mistas de aço e concreto, em geral, contam com pilares e vigas mais esbeltas em relação aos de concreto armado, assim como é notório que edifícios realizados com pórticos em conexões rígidas dão maior liberdade para o dimensionamento de aberturas em relação aos realizados com contraventamentos. Estratégias de combate a incêndios num edifício de concreto armado são menos custosas do que em um edifício em estrutura metálica. Nesse último, a definição se serão utilizados sprays anti-incêndio ou pintura intumescente nos elementos pode também modificar significativamente o projeto de arquitetura, uma vez que os *sprays* deixam um aspecto desagradável e, em geral, tendem a ser escondidos por revestimentos, enquanto a pintura intumescente pode ficar aparente.

3. SISTEMAS ESTRUTURAIS

Ao abordar estruturas de aço e estruturas mistas de aço e concreto, é importante destacar que não há uma definição precisa desses conceitos, sendo aceitável considerar um ou outro dependendo da predominância dos materiais. Quando há predominância de aço na estrutura, uma das principais vantagens passa a ser a sua leveza, o que é especialmente útil em locais que necessitem de grandes vãos livres. Além disso, a construção com estruturas metálicas pode ser mais rápida em comparação com outros materiais, pois as peças são pré-fabricadas com precisão e transportadas para o local da construção somente para montagem. No entanto, apesar de ser um material excelente para resistir a esforços de tração e compressão, é

importante considerar que elementos de aço muito esbeltos podem apresentar problemas de flambagem sob compressão axial extrema.

As estruturas mistas combinam o aço e o concreto. Sendo o aço um dos materiais mais resistentes utilizados na construção civil, com uma relação entre resistência e peso específico elevada, as seções transversais de seus elementos são mais finas do que as de outros materiais, e quando é combinado com o concreto em estruturas mistas, o perfil metálico se torna ainda menor enquanto a seção transversal aumenta. Assim, o pilar se tornará mais esbelto ao mesmo tempo em que seu peso e sua seção transversal aumentarão devido às adições de concreto, enquanto as vigas podem ter suas dimensões reduzidas e até 30% de peso a menos [5]. A esbelteza atingida com a mistura desses dois materiais é possível devido à grande capacidade de resistir à tração do aço em conjunto com a grande capacidade de resistir à compressão do concreto.

Enquanto nos arranha-céus de aço os pilares, vigas e contraventamentos são, em geral, metálicos, suas lajes são na maior parte das vezes mistas, como as lajes *steel deck* compostas por chapas de aço e concreto armado. Já nos edifícios com estrutura mista é muito comum a utilização de pilares tubulares de aço preenchidos com concreto a fim de se atingir grande esbelteza, mas também podem haver vigas mistas e paredes de cisalhamento de concreto envolvendo treliças de aço. As edificações de grande altura erguidas com superestrutura composta por esses elementos de aço ou mistos de aço e concreto podem utilizar diversos sistemas a fim de resistir às cargas de grande intensidade que atuarão sobre elas, especialmente as cargas de vento. São eles: pórticos rígidos, pórticos contraventados, sistema de *outrigger*, mega coluna, mega núcleo e sistemas de tubo [6].

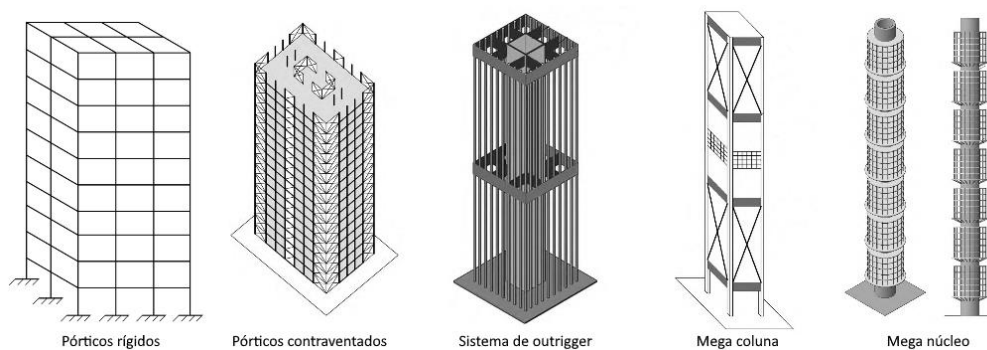


Figura 3: Principais sistemas estruturais para edifícios de grande altura de aço e mistos com exceção de sistemas de tubo [6]

3.1 Sistema de pórticos rígidos

Os sistemas de pórticos rígidos são utilizados em edifícios de concreto armado e aço, e são compostos majoritariamente por vigas e pilares com conexões rígidas, sem contraventamentos. Dessa forma, esse sistema suporta todas as cargas através da flexão dos seus elementos estruturais, já que as ligações são rígidas o suficiente para que os ângulos entre eles permaneça virtualmente inalterado. A rigidez estrutural desses pórticos é diretamente proporcional à seção transversal e à rigidez à flexão dos seus elementos, e inversamente proporcional ao comprimento e espaçamento das vigas e pilares. Assim, a fim de minimizar as restrições no projeto arquitetônico, as colunas são posicionadas de forma estratégica. Os espaçamentos, porém, ainda devem ser longos o suficiente para garantir uma profundidade mínima do andar, já que para obter o comportamento ideal do pórtico rígido, é importante ter colunas espaçadas e vigas suficientemente profundas que as conectem. A utilização desse sistema se mostra efetiva para edificações de até 25 pavimentos.

3.2 Sistema de pórticos contraventados

Os sistemas de pórticos contraventados podem ser realizados em estrutura de aço ou estrutura mista de aço e concreto. Nas estruturas de aço, são compostos por pórticos rígidos com contraventamentos que formam uma espécie de treliça vertical, enquanto nas estruturas mistas é comum a utilização de paredes de cisalhamento em concreto armado nos pavimentos mais baixos e contraventamentos metálicos nos mais altos. A combinação de pórticos rígidos e contraventamentos cria um sistema de estrutura de cisalhamento que exibe um comportamento altamente eficaz contra cargas laterais, proporcionando maior rigidez à estrutura do que um sistema autônomo de pórticos de conexões articuladas contraventadas ou de pórticos rígidos.

Estruturalmente, os contraventamentos são classificados em concêntricos e excêntricos. Nos concêntricos, os diversos elementos estruturais encontram-se em único ponto, fazendo com que as forças nos elementos sejam axiais e a estrutura seja mais rígida lateralmente trabalhando nos limites elásticos. Nos excêntricos, os contraventamentos não encontram necessariamente o ponto comum do pórtico, gerando flexão nas vigas e rigidez alcançada com trabalho tanto no limite elástico quanto no inelástico. Já arquitetonicamente, os contraventamentos podem ser divididos em contraventamento diagonal, contraventamento em X, contraventamento em K, e *knee-bracing*. Em relação ao contraventamento em K e *knee-bracing*, os elementos em X e em diagonal são, arquitetonicamente, um obstáculo, já que tomam espaços adequados para a instalação de portas e janelas. Por isso, são mais desejáveis em locais que não necessitem de aberturas, como paredes divisórias, caixas de escada e poços de elevadores. Os edifícios que usam esse sistema podem apresentar plantas arquitetônicas com menos pilares internos e ultrapassar 40 pavimentos.

3.3 Sistema de *outrigger*

O sistema de *outrigger* pode ser aplicado em edifícios de aço e mistos de aço e concreto. Consiste na conexão entre o núcleo estrutural do edifício à sua estrutura perimetral através de

elementos estabilizadores de grandes dimensões em um ou mais níveis. Esses elementos são geralmente treliças de aço com pelo menos o equivalente a um pavimento de altura. Os outriggers que saem do núcleo estrutural devem ser conectados à estrutura perimetral, idealmente, através de conexões articuladas, pois a ausência de transferência de momento fletor dos estabilizadores para as colunas externas aumenta a capacidade de carga axial das últimas e o sistema se beneficia significativamente da capacidade de resistir às cargas de momento do núcleo estrutural.

A fim de reduzir o deslocamento lateral no topo dos edifícios de grande altura que utilizam esse sistema, podem ser adicionados estabilizadores em diversos níveis da estrutura, sendo alguns em posições ideais calculadas. Quando é adicionado somente um estabilizador no topo da edificação, o deslocamento lateral é reduzido em 67%, enquanto quando se adiciona apenas um estabilizador na posição ideal – calculada para cada caso – essa redução alcança 88%. A mesma lógica se aplica na utilização de *outriggers* em dois níveis, mas com uma diferença de redução menos drástica: para um outrigger no topo do edifício e um em posição ideal, a redução é de 92%, enquanto se ambos estiverem em posições ideais a redução do deslocamento lateral passa a ser de 96%.

Esse sistema consegue fornecer rigidez à cargas laterais nas edificações de forma eficiente e econômica em edifícios de mais de 40 pavimentos. Arquitetonicamente, é preciso planejamento em relação aos pavimentos que abrigarão as grandes estruturas de estabilização, uma vez que elas podem interferir de forma significativa na planta desses. É recomendável, assim, que nos locais onde esses elementos se encontrarem presentes sejam posicionados, por exemplo, andares exclusivos de equipamentos mecânicos, enquanto outros pavimentos apresentarão plantas livres entre o núcleo e as fachadas.

3.4 Sistema de mega coluna

O sistema de mega coluna consiste na utilização de pilares em concreto armado ou misto de aço e concreto armado com seções transversais substancialmente maiores do que o habitual. Essas mega colunas percorrem o edifício ao longo de toda a sua altura e conseguem resistir a todas as cargas horizontais e verticais. Nesse sistema, as conexões horizontais são de grande importância, uma vez que as lajes de piso em geral não são suficientes para servir de diafragmas rígidos e conter os pilares laterais, sendo necessária a adição de anéis reforçados – geralmente em treliças – em diversos níveis, pórticos em vierendeel e mega contraventamentos. Com esses elementos conectando as mega colunas, é garantida a rigidez lateral de toda a estrutura e o sistema consegue suportar edifícios com mais de 40 pavimentos.

O sistema também é referido como sistema de mega pórticos quando utilizado com vierendeel e anéis, assim como quando apresenta mega contraventamentos pode ser referido como sistema de treliças espaciais. Na arquitetura, esses edifícios fornecem pavimentos com grandes vãos livres e vistas amplas, mas que serão em alguns poucos pontos interrompidas ou pelos elementos verticais de vierendeel, ou pelos elementos diagonais de mega contraventamentos e anéis em treliça.

3.5 Sistema de mega núcleo

O sistema estrutural de mega núcleo é composto por um núcleo rígido de concreto armado ou misto de aço e concreto e que possui seções transversais maiores que o usual presentes em toda a extensão vertical do edifício. Como essa estrutura central é pensada para resistir a todas as cargas verticais e horizontais atuantes, não são necessárias estruturas perimetrais no edifícios se não as de fixação de elementos de fachada. No sistema, as lajes se encontram em balanço apoiadas nas paredes de cisalhamento do núcleo, mas podem também apresentar pilares descontínuos perimetrais em seções do edifício que servem como um segundo apoio, reforçando as lajes. As edificações com sistema de mega núcleo também fornecem de forma eficiente e econômica rigidez para resistir a cargas laterais em edifícios de mais de 40 pavimentos, sendo sua consequência arquitetônica plantas livres de pilares e vistas panorâmicas, mas com um núcleo de área, muitas vezes, consideravelmente grande.

3.6 Sistemas de tubo

O sistema de tubo foi desenvolvido na década de 1960 pelo engenheiro Fazlur Khan, muitas vezes chamado de “pai do sistema de tubo” [8] e pode ser definido como um tubo engastado e em balanço a partir do solo. No sistema, toda a estrutura perimetral do edifício é responsável por resistir às cargas tanto laterais quanto verticais, mas pode também apresentar um núcleo rígido que ajudará no suporte de cargas de gravidade. A adição de um segundo tubo no lugar de um núcleo rígido pode ajudar na resistência dos tipos de cargas. No quesito da arquitetura, os edifícios nesse sistema apresentam maiores áreas livres devido às reduzidas dimensões dos elementos estruturais e ausência de pilares entre o núcleo e as fachadas, podendo atingir mais de 40 pavimentos. Esse sistema pode ser dividido em três categorias: sistemas em tubo perfurado, em tubo contraventado, e tubo em tubo, e é geralmente realizado em aço ou estrutura mista de aço e concreto.

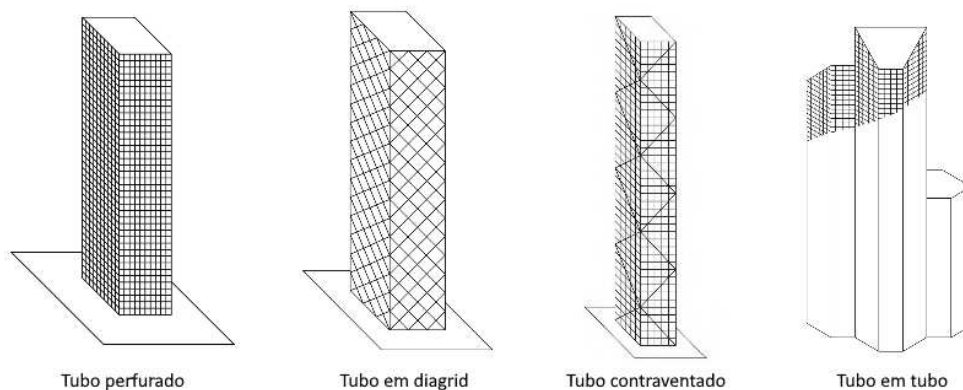


Figura 4: Sistemas de tubo para edifícios de grande altura [6]

3.6.1 Sistema de tubo perfurado

O sistema de tubo perfurado foi o primeiro a ser desenvolvido. Nele, o perímetro é bastante afastado do núcleo e as colunas exteriores são, em geral, afastadas entre si de 1,5 a 4,5 metros. Essas colunas da fachada são conectadas por vigas de reforço em todos os pavimentos. A limitada rigidez à flexão das vigas de reforço causa aumento de tensão axial nos pilares de canto do perímetro ao mesmo tempo em que diminui essa tensão nos pilares internos do perímetro, fazendo com que a distribuição de tensões axiais de tração e compressão não seja linear e, conseqüentemente, cause o fenômeno de *shear-lag*. Para mitigar o fenômeno, as vigas de reforço podem ser de maiores dimensões, assim como o espaçamento entre as colunas pode ser diminuído. É perceptível, portanto, que a necessidade de colunas pouco espaçadas pode resultar em aberturas de janelas muito estreitas, podendo impedir certos usos ou pelo menos desagradar contratantes.

Uma das formas encontradas para sanar essa inconveniência é a do uso de estrutura perimetral em *diagrid*, isto é, em *grid* diagonal. Nele, há maior eficiência na resistência às cargas laterais, pois, para neutralizar as forças de cisalhamento causadas por essas cargas, há dependência somente da compressão e tração axial das barras diagonais. Nessa adaptação do sistema, as aberturas de janelas nos pavimentos se torna bem maior, sendo obstruída somente em locais onde passam os elementos diagonais.

3.6.2 Sistema de tubo contraventado

O sistema de tubo contraventado surgiu após o de tubo perfurado e, assim como o *diagrid*, é um sistema que permite aberturas maiores na estrutura de perímetro, mas utilizando novamente os pilares de fachada, dessa vez contraventados por grandes barras diagonais. Esses elementos aumentam a rigidez e a eficácia estrutural ao mesmo tempo em que endereça o efeito do *shear-lag* das vigas de reforço. Fazlur Khan enfatizou que os contraventamentos externos se comportam como colunas inclinadas e redistribuem tensões para os pilares de forma quase uniforme, permitindo a construção de edifícios ainda mais altos. Em sua dimensão na arquitetura, o sistema possui a vantagem de oferecer amplas vistas, mas que são obstruídas em todos os pavimentos pelos pilares de perímetro e em alguns pontos pelas barras diagonais de contraventamento.

3.6.3 Sistema de tubo em tubo

O sistema de tubo em tubo se trata da combinação de vários tubos que se comportam como se fossem um único. Esse sistema oferece maior liberdade arquitetônica ao permitir a criação de tubos com diferentes alturas e diferentes plantas de pavimento, além de possibilitar a construção de edifícios mais altos e espaços entre coluna mais amplos em comparação com os sistemas de tubos tradicionais. Eles também permitem controlar a proporção do edifício, ajustando as dimensões da seção transversal ao longo da altura, e são uma opção vantajosa em termos de design e eficiência estrutural.

4. INTEGRAÇÃO ARQUITETÔNICA

Para ilustrar de maneira concreta a relevância da integração arquitetônica às outras esferas de importância no erguimento de edifícios de grande altura, serão apresentadas três edificações notáveis: New York Times Tower, Commerzbank Tower e Hearst Tower.

4.1 New York Times Tower

Com 319 metros de altura e 52 pavimentos, o edifício se localiza na cidade de Nova York e foi projetado por Renzo Piano utilizando sistema de *outrigger*. Como uma alusão aos ideais jornalísticos de transparência e abertura, o arquiteto propôs um design que privilegiasse a transparência estrutural e também arquitetônica, deixando contraventamentos aparentes e conectando o ambiente interno ao externo a partir da fácil comunicação visual entre ambos. Essa comunicação é natural nas porções do edifício onde há somente vedação em vidros, mas há porções em que foi necessária também a presença de proteção solar. Dessa forma, Piano pensou em um sistema de hastes horizontais que funcionam como brises ao mesmo tempo em que permitem algum nível de transparência devido à distância de uma haste à outra.

O núcleo estrutural possui dimensões de cerca de 27 x 20 metros, permitindo um vão livre de até 12 metros entre ele e as fachadas e considerável iluminação natural. Os pilares exteriores do edifício são de perfil tubular quadrado de 76x76cm, sendo alguns deles com seção sólida nos pavimentos mais baixos a fim de fornecer maior rigidez lateral à estrutura. Já as colunas interiores são compostas por elementos de seção I. Porções nos lados leste e oeste do edifício se destacam da estrutura perimetral ao se projetarem fora do plano dessas fachadas como estruturas em balanço, sendo suportadas pelos pilares de seção quadrada com a utilização de hastes, uma vez que as colunas de seção I presentes nessas lajes não atingem o solo. O edifício conta com *outriggers* nos pavimentos 28 e 51, isto é, aproximadamente na metade do edifício e no topo, onde estão localizados espaços para equipamentos mecânicos. Os contraventamentos são feitos de aço pré-tensionado, permitindo que seus elementos trabalhem ao mesmo tempo sem grande influência de forças de compressão.

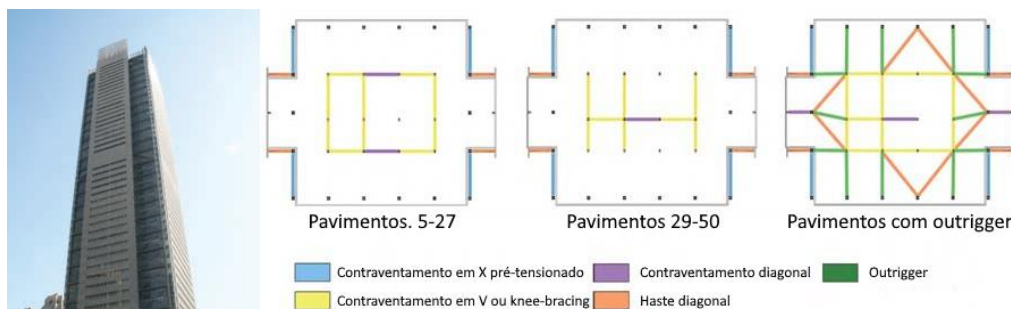


Figura 5: New York Times Tower e elementos estruturais [6]

4.2 Commerzbank Tower

Localizado na cidade de Frankfurt, Alemanha, o edifício comercial foi projetado por Norman Foster + Partners. Com seus 259 metros de altura e sistema estrutural de mega colunas, os princípios que guiaram a concepção do arranha-céu foram a transparência ideal das aberturas para obtenção de boas vistas e iluminação natural, e também a incorporação da natureza em seus ambientes internos.

Como em todo edifício de grande altura, um dos principais pontos a ser pensado foi o de mitigação das forças dos ventos. Esse fator foi endereçado com a criação de uma planta triangular com cantos arredondados e lados levemente curvos, resultando numa boa performance contra as ações do vento se comparado a edifícios retangulares. Na área central do edifício está a sua característica mais marcante: um átrio triangular ao longo da extensão de toda a torre. O objetivo desse elemento é materializar a solução para o princípio de incorporação da natureza, uma vez que ele é cercado por jardins suspensos em diversos patamares e serve para humanizar o local de trabalho. O átrio consequentemente serve também como um sistema vertical para ventilação, pois contribui no efeito chaminé do edifício, que consome 20% menos energia do que o planejado. Esse átrio é suportado por colunas triangulares de aço que possuem 160cm na base e 60cm no topo, e o fato de sua estrutura não ser suficiente para agir como um núcleo central para todo o edifício faz com que o arranha-céu conte com três núcleos, um em cada ponta da planta triangular. Esses núcleos são compostos por mega colunas mistas de perfis H de aço envoltos em concreto com seções transversais de 1,2 x 7,5 metros, e são conectados entre si através de vigas vierendeel nas fachadas externas.

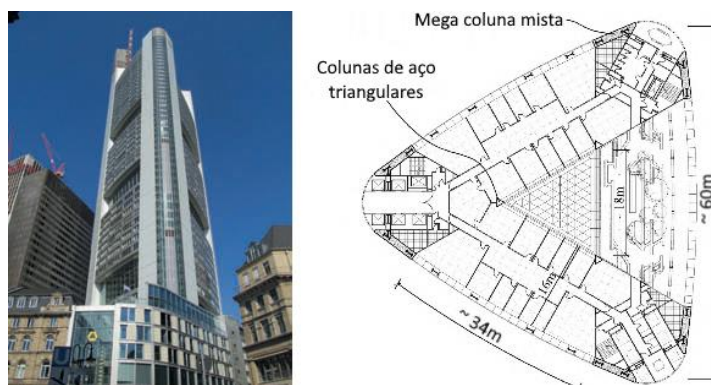


Figura 6: Commerzbank Tower e sua planta baixa com indicação de colunas [6]

4.3 Hearst Tower

Localizada em Nova York, a torre de 182 metros de altura é simbólica por ser o primeiro arranha-céu a ser inaugurado na cidade após os atentados de 11 de Setembro. Também pensada por Norman Foster, o projeto da sede de um dos maiores grupos midiáticos dos Estados Unidos revela como diversos fatores moldaram seu envelope final. O lote retangular

onde se localiza é cercado por três vias e conta com o antigo edifício art deco da Hearst Corporation, que possui fachadas protegidas como um patrimônio da cidade. Decidiu-se por demolir todo o interior do antigo edifício para a construção de um grande átrio de onde se teria a impressão de que a torre nasceria em direção ao céu. No único lado onde o lote faz divisa com o vizinho, um grande edifício já havia sido erguido em sua linha de limite, fazendo com que Foster decidisse que ali seria o melhor local para ser implantado o núcleo estrutural e de serviços da torre, uma vez que esse ambiente não necessitaria de aberturas para iluminação natural. Tal decisão culminou na escolha de um sistema estrutural tubular, já que esse permitiria de forma mais eficiente a posição não isométrica do núcleo estrutural.

A sustentabilidade foi outro importante fator na construção da Hearst Tower. Com isso em mente, Foster optou pela utilização de um sistema perimetral em *diagrid* a fim de reduzir o consumo de aço - já que esse sistema é mais eficiente na distribuição de cargas - prover redundância estrutural, amplificar as aberturas para iluminação natural, e, por fim, dar identidade visual única no tão disputado *skyline* de Manhattan. A escolha desse sistema de estrutura de fachada resultou na economia de 20% de aço [9] em comparação à opção de realizá-la em pórticos, além de ter como consequência quase natural a presença dos apelidados “bicos de pássaro” em suas quatro quinas. A torre é estruturada pelo seu núcleo misto de pórticos contraventados envoltos em concreto armado para redirecionar cargas de gravidade e parte das cargas horizontais para as fundações, e por elementos em perfil W para vigas e diagonais do diagrid responsáveis por absorver as cargas laterais. Suas lajes mistas em steel deck servem como diafragmas na estrutura, transferindo parte das forças laterais para o núcleo. A torre é erguida até a altura equivalente ao décimo andar por mega colunas e mega diagonais mistas com tubos de aço quadrados preenchidos com concreto armado, o que permitiu colunas esbeltas no átrio de grandes proporções.

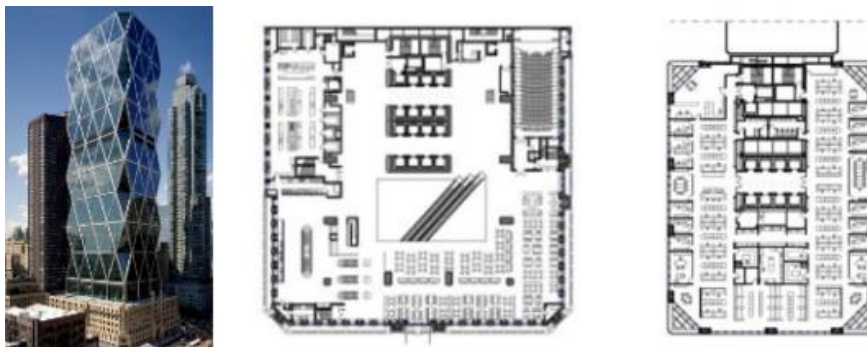


Figura 7: Hearst Tower e sua planta do átrio e da torre [10]

5. CONCLUSÃO

A integração arquitetônica, considerando os aspectos econômicos, funcionais e estruturais previamente abordados, revela sua importância fundamental na concepção de qualquer projeto, mas é evidente o quanto esses fatores se tornam ainda mais importantes para edifícios

de grande altura devido ao impacto econômico e responsabilidade de segurança que esses empreendimentos estão sujeitos. Ao alinhar esses elementos de maneira sinérgica, a arquitetura se torna uma ferramenta poderosa para a eficiência operacional e criação de espaços que atendam plenamente às necessidades dos usuários.

A integração econômica permite a busca por soluções arquitetônicas viáveis financeiramente, levando em consideração o custo de construção, manutenção e operação do edifício. A integração funcional assegura que a arquitetura atenda aos objetivos e requisitos do espaço, contemplando fluxos de circulação, ergonomia e funcionalidade dos ambientes. Já a integração estrutural desempenha um papel fundamental na garantia da estabilidade e segurança de um edifício. Por meio de soluções arquitetônicas cuidadosamente desenvolvidas e compatíveis com os sistemas estruturais adotados, é possível assegurar que a estrutura do edifício funcione de maneira eficiente e confiável. A integração estrutural envolve a colaboração entre arquitetos e engenheiros, buscando um equilíbrio entre a estética e a funcionalidade, a fim de criar espaços que sejam visualmente agradáveis e, ao mesmo tempo, capazes de resistir às forças físicas e ambientais a que estão sujeitos. Com essa abordagem integrada, é possível alcançar edifícios que não apenas atendam às necessidades de seus ocupantes, mas também proporcionem tranquilidade e segurança em relação à sua estrutura. Com isso, a integração arquitetônica se mostra essencial na criação de projetos bem-sucedidos, que agregam valor estético e prático de forma harmoniosa com a estrutura, isto é, *utilitas*, *venustas* e *firmitas* – utilidade, beleza e solidez – a tríade vitruviana para uma boa arquitetura que é válida há séculos.

REFERÊNCIAS

- [1] Landau, S. B. – *Rise of the New York Skyscraper, 1865-1913*. Yale University Press, 1996, 478 p.
- [2] Korom, J. J. – *The American Skyscraper, 1850-1940: A Celebration of Height*. Branden Books, 2008, 540 p.
- [3] Sem autor – *The New York World Building, The Engineering and Building Record*, vol. 22, no. 22, 1890, p. 342-343.
- [4] Gilbert, C. – *Building Skyscrapers, Real Estate Record and Builders' Guide*, vol. 65, no. 1684, 1900, p. 1087-1091.
- [5] Fakury R. H. *et al.* – *Dimensionamento Básico de Elementos Estruturais de Aço e Mistos de Aço e Concreto*. Pearson Universidades, 2015, 496 p.
- [6] Günel, M. H., Ilgin, H. E. – *Tall Buildings - Structural Systems and Aerodynamic Form*. Routledge, 2014, 203 p.
- [8] Weingardt R. G. - *Fazlur Rahman Khan – The Einstein of Structural Engineering, Structure Magazine*, 2011, p. 44-46.
- [9] Ahmad R., Eilon, Y. – *New York's Hearst Tower – A Restoration, an Adaptive Reuse, and a Modern Steel Tower Rolled into One, Structure Magazine*, 2006, p. 25-29.
- [10] Fritzinger, M. *et al.* – *Analyse Structurelle et Architecturale - Hearst Tower, NYC, École Polytechnique Fédérale de Lausanne*, 2016, 32 p.

**CONCEITOS DO ARQUITETO JOÃO FILGUEIRAS LIMA (LELÉ)
APLICADOS A HUMANIZAÇÃO DOS HOSPITAIS**



**Luciana Nemer
Diniz***
Professora
UFF – Niterói, Brasil



**Amanda Pereira
Rodrigues Moura****
Mestranda
UFF – Niterói, Brasil

Resumo:

O trabalho foca em estudos dos Hospitais da Rede Sarah Kubistchek, em especial: Sarah Brasília, Sarah Salvador e Sarah Rio de Janeiro. O objetivo principal é avaliar as estratégias adotadas por Lelé em relação a humanização arquitetônica dos hospitais da Rede Sarah apresentados neste texto, observando a criação de espaços com soluções de design que tornam os setores de saúde menos agressivos e intimidadores. A metodologia está baseada em pesquisa às fontes secundárias das quais destacam-se os autores: Goés, Lima, Menezes, Rocha e Toledo. A investigação também foi elaborada a partir de fontes primárias sendo possível levantar, através de imagens externas e internas, detalhes dos setores hospitalares e suas principais configurações. A relevância dessa pesquisa contribui para evitar o aspecto hostil e institucional que o ambiente hospitalar muitas vezes vem apresentando ao longo da história, com intuito de aprimorar o espaço, melhorando a qualidade de vida dos usuários.

Palavras-chave: arquitetura hospitalar; humanização; Lelé; paciente; projeto.

*Autor correspondente – Departamento de Arquitetura - Escola de Arquitetura e Urbanismo. Rua Passo da Pátria n° 156 - Casarão - 2° andar - Campus da Praia, São Domingos, Niterói – RJ/CEP 24210-240, BRASIL,. Telef.: +55 21 9980-68108. e-mail: luciananemerdiniz@gmail

**Autor correspondente – Departamento de Arquitetura - Escola de Arquitetura e Urbanismo. Rua Passo da Pátria n° 156 - Casarão - 2° andar - Campus da Praia, São Domingos, Niterói – RJ/CEP 24210-240, BRASIL,. Telef.: +55 32 98869-1747. e-mail: amanda.moura@hotmail.com

1. INTRODUÇÃO

Para análise dos hospitais que serão apresentados ao decorrer deste artigo, primeiro é necessário entender como nasceu à Rede Hospitalar Sarah. A Rede se destaca pelo inovador sistema de tratamento denominado “*progressive care*” que significa cuidado progressivo, em que os pacientes mudam de quarto de acordo com sua evolução, o que também melhora seu estado psicológico, por meio de tratamento com equipamentos e procedimentos médicos específicos e adequados. Esses ambientes estão justamente no centro da pesquisa que será apresentada neste trabalho, ilustrando as soluções arquitetônicas que Lelé utilizou para tornar os hospitais mais humanizados através de suas soluções projetivas.

Através do financiamento do Ministério da Saúde, a Rede Sarah nasceu de um plano elaborado por Lelé, Aloysio Campos da Paz, Eduardo Kertész e Fernando Minho. Inicialmente, a proposta incluía a construção do Sarah de Brasília, ainda sem intenção expressa de expansão para o restante do país.

Em 1963, quando Lelé e sua esposa foram vítimas de um acidente de carro, o arquiteto precisou ficar dois meses internado e passou a ter contato regular com o Dr. Aloysio Campos da Paz, que na época acabava de chegar da Inglaterra e ficou responsável pelo seu tratamento como médico ortopedista.

Através dessa experiência, Lelé diz que aprendeu bastante sobre os tratamentos, principalmente sobre as alas de ortopedia, onde esteve internado. Discutiu extensivamente sobre o funcionamento dos espaços de recuperação e fisioterapia, bem como desenvolveu um excelente conhecimento dos métodos de tratamento em medicina hospitalar. Portanto, nota-se que o arquiteto não está apenas ligado à arquitetura, mas também conta com a opinião de outros especialistas para construir seus projetos. Isso é válido, na medida em que Lelé pensa sobre para quem o espaço é construído.

O arquiteto considera todas as fases do projeto de um edifício, do programa ao projeto do espaço, da estrutura à racionalidade da construção, do detalhamento rigoroso das peças ao processo, construção, incluindo materiais e mão de obra, manutenção e conservação, raridade na arquitetura contemporânea em geral [3].

Neste trabalho será realizada uma breve análise dos hospitais da Rede Sarah, destacando seus pontos mais fortes relacionados à humanização através do projeto arquitetônico. Os hospitais analisados serão os de: Brasília, Salvador e Rio de Janeiro. As três unidades foram construídas em um intervalo de aproximadamente dez anos, possuindo suas particularidades e aprimoramento de técnicas utilizadas pelo arquiteto. A escolha do Sarah Brasília se deu pelo fato de ter sido o primeiro projeto da Rede, no qual serviu de referência para a elaboração dos demais, Sarah Salvador, que além de possuir características arquitetônicas consideráveis, tornou-se um embrião do Centro de Tecnologia da Rede Sarah Kubitschek - CTRS, dando suporte para a implantação das outras unidades, por fim, o Sarah Rio de Janeiro, por ser o mais recente hospital da Rede, sendo possível observar os conceitos de humanização mais atuais adotados por Lelé.

2. ANÁLISE DOS HOSPITAIS DA REDE SARAH KUBISTCHEK

A Rede Sarah Kubitschek iniciou suas atividades em 1980, quando foi inaugurado o primeiro hospital na cidade de Brasília - DF. A Rede se expandiu para oito unidades, sendo elas: São Luís (1993), Salvador (1994), Belo Horizonte (1997), Fortaleza (2001), Lago Norte/Brasília (2003), Macapá (2005), Belém (2007) e, por fim, Rio de Janeiro (2009).

As unidades que compõem a Rede Sarah são projetos de autoria de Lelé (exceto a unidade de Belo Horizonte, onde o arquiteto realizou uma reforma), que buscou caracterizar a singularidade dos projetos e dos diferentes programas de reabilitação propostos para cada unidade.

2.1 Sarah Brasília

O Hospital Sarah Brasília surgiu a partir do Centro de Reabilitação Sarah Kubitschek, projetado em 1960 pelo arquiteto carioca Glauco Campello. Foi um projeto fruto da Fundação Pioneiro Social, criada em 22 de março de 1960 pela primeira dama da época, Sarah Kubitschek, com o objetivo de dotar a capital federal e seus arredores de um centro de reabilitação de padrão internacional.

A inauguração da unidade Brasília ocorreu em 1980, sendo o primeiro hospital da Rede. O edifício foi projetado para 300 leitos e concebido como um centro de referência de subsistema de saúde no campo do aparelho locomotor, está localizado em uma área eminentemente urbana (Setor Hospitalar Sul) e em terreno relativamente pequeno. Deste modo, o partido adotado para o projeto é compacto, de maneira a garantir uma reserva de áreas externas ao seu redor para possíveis acréscimos futuros [4].

Ao projetar este edifício, o arquiteto trabalhou elementos arquitetônicos direcionados aos tratamentos dos pacientes, baseados em técnicas construtivas e conceitos de espaço humanizado, tornando o hospital um centro internacional de apoio à reabilitação motora. A abordagem arquitetônica dessa obra difere de outros hospitais da Rede Sarah, pois a maioria dos serviços e todo atendimento médico e internação são realizados em um bloco vertical, e suas características físicas refletem a arquitetura da própria capital brasileira [5].



Figura 1: Hospital Rede Sarah Kubitschek - Brasília.
Fonte: LIMA, 2012.p. 91 | [4].

No Hospital Sarah Kubitschek de Brasília foi incorporado o sistema “progressive care”, que inclui uma equação construída para a relação entre as necessidades reais do paciente e a prestação de cuidados com equipamentos e atendimento médico [6]. O tratamento seria organizado em três fases e a transferência de pacientes era contínua para locais de recursos específicos, de acordo com a evolução do quadro clínico dos mesmos, a fim de proporcionar as condições necessárias à recuperação dos pacientes e racionalizar razoavelmente o gasto de recursos [6]. Os estágios do tratamento se organizam da seguinte forma: primeiro estágio (alta concentração de recursos humanos e materiais), segundo estágio (intermediária, com salas de cuidado hospitalar) e terceiro estágio (pacientes diurnos, ambulatório e reabilitação).

Para atender essas condições, Lelé também desenvolve equipamentos para o hospital, como macas, para acompanhar os internos, o que é essencial para a mobilidade do paciente com a técnica “progressive care”.

Um ponto forte do projeto do hospital é a integração dos ambientes às áreas verdes. Sobre as lajes dos pavimentos, implementou terraços ajardinados, onde os pacientes internados utilizam essa área ao ar livre como um local para socializar e tomar banho de sol. Deste modo, os espaços das enfermarias são amenizados, contribuindo para o equilíbrio psicológico dos pacientes. Além disso, o deslocamento para esses terraços esvazia completamente as enfermarias, permitindo uma limpeza e desinfecção rigorosa.

Outro o objetivo do arquiteto é sempre maximizar o aproveitamento da ventilação e da luz natural em quase todo o edifício. Para isso, são utilizadas soluções arquitetônicas simples e funcionais, que garantem ótimas condições de conforto (térmico e lumínico) por meio de ambientes e elementos que se integram com o mundo exterior, proporcionando bem-estar físico e psicológico aos pacientes. Os exemplos incluem *sheds* e brises para controlar a radiação solar, reciclagem de ar e dutos de resfriamento, grandes áreas verdes, terraços e solários que permitem que o paciente se mova para o exterior.

Além de buscar soluções confortáveis para o Sarah Brasília, Lelé conecta a arte com o ambiente hospitalar com o objetivo de garantir a beleza da instituição, melhorando sua aparência e, conseqüentemente, o bem estar dos pacientes.

Para isso, o profissional firma parceria com o artista plástico Athos Bulcão, responsável por proporcionar cor e vida às superfícies das paredes dos hospitais da Rede, na qual o arquiteto acredita e aposta nas cores vibrantes como alternativas para deixar os ambientes mais alegres, se posicionando contra à psicologia hospitalar, que ditava a predominância de cores neutras para acalmar o paciente.

Na Rede em análise, as obras de Bulcão têm como objetivo, além da valorização do espaço, atenuar o peso do ambiente, aumentando a vibração das cores e criando uma relação mais saudável com o espaço.

Uma iniciativa interessante dentro dessa temática é a integração do paciente com a arte, através de algumas atividades oferecidas pela Rede, os mesmos podem desenvolver seu lado criativo. Nos corredores do hospital, quadros criados pelos próprios pacientes são expostos como obras de arte. Essa iniciativa traz benefícios positivos tanto para o hospital quanto para o paciente, que, além da distração dessa atividade, sente que seu trabalho é valorizado.

Ao longo de trinta anos de atuação, a Rede Sarah Brasília tornou-se um laboratório para o aprimoramento das técnicas de tratamento em sua área específica. A flexibilidade e capacidade de expansão do design foram usadas de forma lógica e inteligente. Assim, a incorporação de novas tecnologias e as consequentes alterações na organização dos espaços físicos do hospital, vem sendo realizadas para preservar a integridade do conceito básico do projeto original. O conjunto hospitalar tem cerca de 60.000 m² de área construída, dos quais cerca de 10.000 m² são destinados ao treinamento e ensino, além disso, alguns acréscimos já foram realizados desde sua construção.

2.2 Sarah Salvador

O Sarah Salvador foi concebido como o primeiro projeto de hospital satélite (juntamente com a Rede São Luís) e foi projetado por Lelé quando estava na direção da Companhia de Renovação Urbana de Salvador (RENURB) em 1987, porém sua construção só foi realizada em 1991. Diferentemente da Rede de Brasília, devido às grades áreas de terreno destinadas à construção da Rede de Salvador, foi possível adotar uma implantação tipicamente horizontal em apenas dois níveis: inferior e superior. Sendo o primeiro para os setores de serviços gerais e apoio técnico e logístico e o segundo para o restante do programa (ambulatório, centro cirúrgico, enfermarias, fisioterapia e infraestrutura e serviços).

Lelé, em seu livro “uma experiência na área da saúde”, afirma que neste projeto foi possível aperfeiçoar suas técnicas em relação ao projeto de Brasília, tornando o edifício mais eficiente além de proporcionar maior conforto a seus usuários [4].

Essa unidade da Rede Sarah foi inaugurada em 1994 e tinha capacidade original para 157 leitos e destaca-se entre outros exemplos da Rede, por abrigar o Centro Tecnológico da Rede Sarah – CTRS. Os objetivos principais do CTRS são: projetar e executar as obras destinadas à implantação da Rede visando economia, rapidez de execução e criação de uma unidade construtiva entre elas; articular com as equipas médicas da associação para melhorar as instalações e equipamentos hospitalares existentes e adaptá-los às novas tecnologias de tratamento introduzidas nos hospitais da Rede; projetar e fabricar equipamentos hospitalares convencionais sempre que for observada vantagem econômica ou de qualidade em relação aos equipamentos oferecidos no mercado e realizar a manutenção dos edifícios, equipamentos e instalações de todas as unidades da Rede [4].



Figura 2: Hospital Rede Sarah Kubitscheck - Salvador.
Fonte: LIMA, 2012.p. 119 | [4].

Envolto pela natureza, o edifício também é permeado pela arte de Athos Bulcão, que foi o responsável por criar diversos tipos de painéis multicoloridos, sendo utilizados para delimitar o terreno, compostos de argamassa armada; painéis metálicos nos corredores em tons de azul e laranja; no refeitório, painéis de madeira pintados de azul, verde e vermelho, perfurados com desenhos geométricos. A extrema qualidade da estrutura se confunde nesta obra com sua indissociável relação com a arte.

Assim como no Sarah Brasília, neste edifício o paciente também é aproximado à arte, e com intuito de proporcionar incentivo aos mesmos e dar seguimento à ideia, foi criado um centro de criatividade, no qual os pacientes desenvolvem suas pinturas, que posteriormente serão expostas nos diversos ambientes do hospital.

O projeto de Sarah Salvador, é privilegiado devido a grande área que o envolve, favorecendo a integração dos ambientes internos às áreas verdes. Na prática, todo o hospital, com exceção dos ambientes que requerem maior cuidado asséptico, possui espaços verdes associados às suas dependências, se fazendo presente nos corredores, enfermarias, biblioteca, recepção, hidroterapia, possibilitando que o paciente se sinta ao mesmo tempo, dentro e fora do ambiente hospitalar.

Por meio de seu efeito terapêutico, o verde melhora a saúde do paciente e o atendimento das equipes que atuam no ambiente hospitalar. Além disso, confere um aspecto agradável e favorece a atenuação do clima nos espaços.

A ideia de que jardins ou a presença de plantas beneficiam pacientes em ambientes de saúde e bem-estar tem mais de mil anos. *Florence Nightingale* mencionou que os hospitais europeus e americanos geralmente tinham jardins no século XIX [8]. Mas no início do século XX, a presença dos jardins na arquitetura hospitalar diminuiu, porém, Lelé manteve essa prerrogativa.

O arquiteto também adotou a utilização dos *sheds*, com o objetivo de aproveitar a luz e ventilação naturais, segundo ele, a solução aplicada em Salvador é muito mais eficiente do que a de Brasília, o sistema foi implantado com abertura em posição contrária aos ventos

dominantes. Dessa forma, o ar quente pode ser retirado do interior do hospital por meio dessas estruturas que funcionam como uma espécie de exaustor e contribuem para a renovação do ar.

Lelé sempre demonstrou em seus projetos a importância de se conceber um espaço digno e de qualidade para os usuários, e, além disso, foi capaz de pensar não só na relação hospital e paciente, mas na sua condição humana e vulnerabilidade. Visando facilitar a locomoção, foram projetados e implantados veículos especiais para acomodar pacientes em camas-maca ou cadeiras de roda, facilmente acessíveis por meio de uma rampa acionada hidráulicamente. Esses veículos transportam pacientes e visitantes e são também utilizados para levar os pacientes para zonas desportivas e de lazer próximas ao hospital [4].

No hospital da Rede Sarah Salvador, é possível perceber o êxito de Lelé ao conceber este projeto. O arquiteto foi capaz de fazer a junção da estética e funcionalidade, proporcionado aos pacientes e demais usuários, uma relação saudável com o edifício e seu entorno.

O conjunto hospitalar tem cerca de 27.000 m² de área construída em um terreno de 128.395,84 m², algumas modificações foram realizadas após a construção inicial, cerca de 400 m² foram ampliados próximo a enfermaria para o setor de fisioterapia, destinada exclusivamente aos pacientes internados, mantendo a área original para o atendimento de pacientes externos [4].

É importante destacar que as referidas soluções arquitetônicas só foram possíveis graças ao amplo terreno do edifício hospitalar, que favoreceu o desenvolvimento da horizontalidade, a qualidade promovida por Lelé, aberturas, com acessibilidades, vistas, paisagismo, ventilação e luz natural são muito bem aproveitadas. Com melhor contato com o mundo externo, essa estrutura permite maior segurança do paciente em caso de incêndio. O uso de rampas para conectar vários andares economiza custos de manutenção de elevadores, que geralmente são muito caros para um edifício. Essa qualidade segue a mesma lógica de evitar o uso desnecessário de iluminação e ventilação artificial, tornando a edificação mais econômica graças à redução dos custos de manutenção. Concebido como um hospital de recuperação de pessoas com mobilidade reduzida é totalmente acessível aos doentes, incentivando-os a deslocarem-se pelo hospital com muletas, andadores, cadeiras de rodas ou macas especialmente concebidas na própria unidade.

2.3 Sarah Rio de Janeiro

Esta nova unidade, a última da Rede que foi construída, teve a inauguração em maio de 2009. Seu conjunto hospitalar tem cerca de 54.376 m² de área construída em um terreno de 87.000 m².

O projeto Sarah Rio não é apenas a permanência ou preservação do sistema construtivo aplicado em outros hospitais Sarah, mas a concretização do poder da arquitetura, que em relação a cada projeto, reforça sua capacidade de renovação [9]. Lelé ainda afirma que o processo evolui na criação de cada hospital, mas não com o objetivo de criar uma marca arquitetônica e sim de humanizar o espaço.

Assim como no projeto do Sarah Salvador, o partido básico arquitetônico adotou uma solução horizontal, composta por quatro edifícios interligados. O arquiteto priorizou a integração dos diversos setores do hospital a espaços verdes, seguindo o padrão da Rede, buscou também aumentar o potencial flexível dos espaços internos, em comparação aos demais projetos, devido a maior complexibilidade desta unidade que deveria atender a demanda de toda a região sul do país; adotou soluções para o aproveitamento da luz natural para todos os setores, exceto nos ambientes nos quais não são recomendados (centro cirúrgico, sala de equipamentos, entre outros) e implementou sistemas alternativos de ventilação natural e ar condicionado [4].



Figura 3: Hospital Rede Sarah Kubitscheck – Rio de Janeiro.
Fonte: LIMA, 2012.p. 288 | [4].

Em relação ao sistema de ventilação natural, no Sarah Rio a medida adotada foi diferente comparada aos outros hospitais da Rede, devido ao clima excessivamente quente e úmido, se fez necessário a adesão de sistemas mais eficientes.

Apesar do uso do ar condicionado ter sido necessário em quase todo o hospital, Lelé procurou adotar nos ambientes soluções que favorecem o uso de luz e ventilação natural.

Deste modo, foram projetadas grandes coberturas com diferentes pés-direitos com mais de oito metros, formando grandes *sheds*, cuja disposição é totalmente independente da organização dos setores internos. Os tetos dos ambientes são constituídos por peças basculantes e o espaço resultante entre os tetos e coberturas, cujo pé-direito é sempre superior quatro a metros, forma simultaneamente um grande colchão de ar ventilado e difusor de luz solar que penetra pela abertura dos *sheds*. A cobertura curva é equipada com caixilhos de policarbonato que se abre com sistema motorizado de correr, permitindo a ventilação de todo o ambiente [4].

É importante destacar, que Lelé diz que em cidades com clima semelhante ao do Rio de Janeiro, a instalação do ar-condicionado é fundamental. No entanto, o uso desse dispositivo deve ser sempre moderado, devido ao seu alto custo e ao potencial de problemas respiratórios. Sendo assim, ele adotou três alternativas distintas: ventilação natural – pelos basculantes do teto ou pelas grandes aberturas do teto em arco; ventilação natural forçada – através de dutos visitáveis que insuflam nos ambientes o ar captado por unidades fan-coil no piso técnico, de modo que a extração do ar é feita através dos basculantes do teto parcialmente abertos; e ar refrigerado.




Além dessas medidas, para amenizar o calor dos ambientes e proporcionar conforto térmico, foram projetados espelhos d'água ao redor da edificação, que, também servem para captar a água da chuva, funcionando como uma espécie de reservatório, evitando alagamentos.

Os diversos setores do hospital também são integrados pelo verde, tornando os ambientes mais agradáveis e amenizando o calor intenso da cidade do Rio de Janeiro. Essa integração também ocorre com o exterior, através das superfícies e laterais translúcidas é possível manter constante contato dos usuários do hospital com o externo.

3. PRINCIPAIS ESTRATÉGIAS ADOTAS POR LELÉ NOS HOSPITAIS

Todas essas estratégias impactam positivamente no acolhimento de pacientes no ambiente hospitalar e humanizam ainda mais essas instalações, melhorando a qualidade do atendimento e a recuperação do paciente. Portanto, cabe ao arquiteto conjugar esses recursos da melhor forma possível, e aplicá-los no projeto e qualificar os locais hospitalares para que as funções necessárias sejam executadas com êxito, segurança e satisfação.

Quadro 1: Estratégias humanizadoras adotadas nos hospitais da Rede Sarah Kubistchek.

Estratégias	Descrição	Exemplos
Jardins internos	Adiciona vivacidade ao ambiente. A junção de luz e verde melhora o microclima. Além do conforto ambiental auxiliam no tratamento, porque permitem o convívio com a natureza e ajudam a passar o tempo, o que é muito importante para pacientes que permanecem longos períodos no hospital.	
Uso de obras de arte	Despertam conforto visual e estimulam o estado psicológico dos pacientes, a beleza de cores e obras transmite alegria e vida.	
Relação Interior x Exterior	Proporciona bem-estar psicológico, ambientes de hospitais podem ser monótonos e essa relação auxilia na passagem do tempo e melhora a capacidade de lidar com rotinas. Leva momentos de descontração e troca de experiências.	

Iluminação natural

Concede instalações mais agradáveis e saudáveis. Economia de energia e noção de passagem do tempo (dia/noite).



Ventilação natural

Auxilia na desinfecção do ar devido à constante renovação, promovendo um ambiente mais agradável, além de proporcionar economia de eletricidade.



4. Arquitetura Hospitalar no Brasil

O arquiteto Oscar Niemeyer também contribuiu significativamente para a arquitetura hospitalar no Brasil. Suas experiências em projetos de saúde apresentaram estilos distintos em relação às obras de Lelé, porém com algumas abordagens e características semelhantes.

Seu estilo modernista, marcado por formas curvas, ousadia e monumentalidade foram evidenciados em suas obras hospitalares, que buscavam trazer uma visão humanizada, mas com uma estética singular. Embora alguns de seus projetos possam parecer menos acolhedores em comparação com as obras de Lelé, Niemeyer também se preocupa com aspectos como a ventilação, iluminação natural e criação de espaços abertos para o convívio social.

O Hospital Sul América, projetado pelos arquitetos Oscar Niemeyer e Hélio Uchôa, teve sua obra concluída em 1959 e está localizado na cidade do Rio de Janeiro. É um exemplo da contribuição para a arquitetura hospitalar. Este hospital tornou-se um modelo de tratamento para a época e significou pioneirismo na abordagem de conforto ambiental e humanização, incluindo os painéis de azulejos de Athos Bulcão e os jardins de Burle Marx [2].

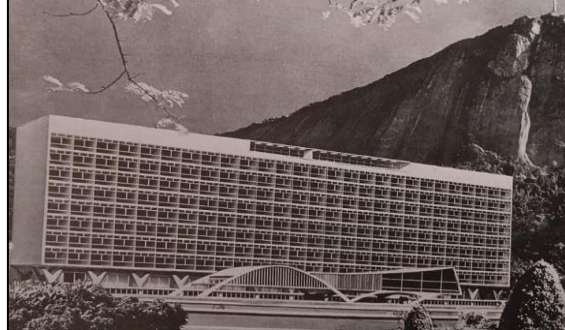


Figura 4: Hospital Sul América – Rio de Janeiro.

Fonte: CAVALCANTI, 2001.p. 290 | [1].

O projeto é caracterizado por grandes áreas envidraçadas, que permitem a entrada de luz natural. Essa integração com o ambiente externo busca criar uma atmosfera mais agradável e reduzir a sensação de confinamento. Além disso, o concreto aparente, outro elemento característico da arquitetura de Niemeyer, confere uma identidade visual forte e duradoura ao edifício. Elementos como cobogós, brises e terraços ajardinados também foram utilizados, a fim de proporcionar maior conforto ambiental.

É importante destacar que as obras de cada arquiteto refletem suas próprias visões estéticas e filosofias. Lelé priorizou a criação de espaços acolhedores e integrados à natureza, enquanto Niemeyer buscava a criação de edifícios icônicos que se destacassem na paisagem urbana. Ambos valorizando a humanização dos hospitais, mas por meio de abordagens arquitetônicas distintas.

5. CONCLUSÃO

O papel do arquiteto na criação de ambientes orientados para a saúde torna-se essencial na concepção de espaços que criem uma relação saudável com os usuários, visto que influenciam positivamente no processo de cura dos pacientes. O próprio Lelé já afirmava que o espaço hospitalar não deve ser visto unicamente como um espaço tecnológico, antes de tudo o arquiteto deve olhar o hospital através da função humana, para que o paciente se sinta bem a ponto de se preparar psicologicamente para ser curado.

Como visto na presente pesquisa, o ambiente hospitalar pode, através das mãos do arquiteto, se tornar um ambiente agradável, generoso e rico em volume e cores, de forma a humanizar o processo de tratamento dos enfermos. Os hospitais projetados por Lelé incorporam o significado da palavra “reabilitação”, porque, diferentemente dos tradicionais ambientes hospitalares desconfortáveis espaços de sofrimento.

Através dos hospitais apresentados, podemos observar que a Rede Sarah é uma das provas de que os edifícios hospitalares, operações médicas, ambientes humanizados, arquitetura, arte e tecnologia podem ser combinados e implementados com maestria.

Podemos observar, mesmo que os três hospitais estejam em linhas temporais distintas, os conceitos iniciais adotados por Lelé em seu primeiro hospital da Rede não só foram aplicados nos projetos seguintes, mas aprimorados, encarando cada novo projeto como uma oportunidade de dar continuidade ao anterior.

É inegável que vale a pena seguir o exemplo de Lelé. Independente do conhecimento como arquitetos, a participação de profissionais de saúde, administradores hospitalares e dos próprios pacientes é fundamental para que se possa humanizar o edifício hospitalar por meio da boa arquitetura.

Por fim, os atributos utilizados na concepção dos projetos da Rede Sarah discutidos neste artigo, fornecem subsídios importantes para a elaboração de projetos hospitalares integrando a humanização e funcionalidade, visando uma arquitetura concebida para o usuário.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem ao Congresso Luso – Brasileiro em Arquitetura e Engenharia pela oportunidade de participação e submissão do presente trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] CAVALCANTI, L. – *Quando o Brasil era moderno: guia de Arquitetura 1928-1960*, Organização de Lauro Cavalcanti – Rio de Janeiro: Aeroplano, 2001, 290 p.
- [2] COSTEIRA, E.M.A – *O Hospital Sul América e o projeto moderno na arquitetura de saúde*, Instituto de Pesquisas Hospitalares Arquiteto Jarbas Karman, Nº 18, 2020, 48 p.
- [3] SAMPAIO, A.V.C.D.F. – *A Arquitetura Hospitalar: projetos ambientalmente sustentáveis, conforto e qualidade*, Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 2005, 396 p.
- [4] LIMA, J. F. – *Arquitetura: uma experiência na área da saúde*. Romano Guerra, 2012, 324 p.
- [5] LATORRACA, G. – *João Filgueiras Lima, Lelé. Série Arquitetos Brasileiros*, Blau, 2000, 20 p.
- [6] PEIXOTO, E. R. – *Lelé: o arquiteto João da Gama Filgueiras Lima*, Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, 1996, 47 p.
- [7] MINIOLI, A. R. B. – *Arquitetura do Movimento: Uma Leitura do Projeto para o Hospital do Aparelho Locomotor Sarah Centro, em Brasília - DF*, Autoria do Arquiteto João Filgueiras Lima, Lelé, 2007, 05 p.
- [8] NIGHTINGALE, F. – *Notes on nursing*. Ballière Tindall, 1860, 23 p.
- [9] ROCHA, M. E. – *Humanização do Edifício Hospitalar: análise dos hospitais da Rede Sarah kubitschek de João Filgueiras Lima (Lelé)*, Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, 2011, 74 p.

OTIMIZAÇÃO DE PROJETOS DE ARQUITETURA PARA *LIGHT STEEL FRAMING*: ESTUDO DE CASO E ORIENTAÇÕES



**Alexandre Kokke
Santiago**

Professor
PUC-Minas – Belo
Horizonte, Brasil



**Francisco Carlos
Rodrigues**

Professor Titular
UFMG – Belo
Horizonte, Brasil



Richard Brito Braga

Arquiteto e Urbanista
– Belo Horizonte,
Brasil

Resumo:

O sistema construtivo *Light Steel Framing* (LSF) tem seu emprego consolidado em todo o mundo, como uma importante opção para construção de edificações de usos, tipologias e formas arquitetônicas bastante variados. Há, entretanto, uma gama de possibilidades de soluções de arquitetura que conseguem tirar partido de modo mais eficiente das características do sistema construtivo, contribuindo para sua viabilidade técnica e econômica. O presente artigo apresenta o estudo de caso do processo de adaptação e otimização de um projeto de arquitetura de uma residência com 2 pavimentos – inicialmente concebido sem levar em conta o sistema construtivo – para a sua construção em *Light Steel Framing*. O artigo descreve os ajustes propostos, explicando e justificando as mudanças e suas implicações para o projeto estrutural e a viabilidade do empreendimento. Durante o curso do estudo de caso são apresentados, ainda, aspectos estruturais e construtivos do LSF – como perfis, materiais de plaqueamento e detalhes construtivos – relacionando-os com a concepção arquitetônica e ajustes aplicados no estudo de caso, para que resultem em facilidade de desenvolvimento dos projetos complementares, otimização de custos e qualidade de execução da obra no canteiro.

Palavras-chave: *Light Steel Framing*; Arquitetura; Construção Metálica; Projeto

1. INTRODUÇÃO

A concepção do projeto arquitetônico é o ponto de partida para a materialização de uma construção, o que passa, também, pela solução estrutural. Rebello 2006 [1] afirma que “a criação de uma forma implica a criação de uma estrutura e, em consequência, a escolha dos materiais e processos construtivos que permitem materializá-la. A estrutura e a forma, ou a estrutura e a arquitetura, são um só objeto, e, assim sendo, conceber uma implica conceber a outra. Arquitetura e estrutura nascem juntas”.

Os profissionais responsáveis pelo desenvolvimento do projeto de arquitetura são aqueles essencialmente responsáveis também pela solução estrutural adotada e sua viabilidade. O *Light Steel Framing* (LSF), sistema construtivo que se consolidou no Brasil nas últimas décadas como uma opção importante para execução de edificações de usos e tipologias construtivas bastante variados (de habitações de pequeno porte a prédios de até 4 pavimentos, passando por escolas e hospitais), não foge desta regra, demandando bom conhecimento de suas características pelos arquitetos responsáveis pela concepção da forma e funcionalidade daquela construção.

O presente artigo tem como objetivo apresentar o estudo de caso do processo de adaptação e otimização de um projeto arquitetônico residencial, concebido sem definição do sistema construtivo, para execução utilizando LSF. O trabalho mostra e justifica as decisões tomadas durante esse processo, de maneira a permitir o entendimento do processo e prover informações relevantes para uma concepção otimizada para o LSF, de novos projetos de arquitetura.

O *Light Steel Framing* é um sistema construtivo, usualmente autoportante, composto por vários elementos industrializados que possibilitam uma construção com rapidez de execução e precisão. O sistema se caracteriza pelo seu esqueleto estrutural cuja função é absorver as solicitações impostas à edificação e direcionar as cargas para as fundações. A montagem desse esqueleto estrutural utiliza perfis Ue (U enrijecido) e U (U simples) na composição de painéis estruturais de paredes, vigas de piso, treliças, tesouras de telhado, entre outros componentes (Figura 2).

O dimensionamento do conjunto estrutural de LSF tem, segundo Rodrigues, Caldas, 2016 [2], como referência a norma brasileira ABNT NBR 14762:2010 [3], com emprego de perfis estruturais que devem atender às normas ABNT NBR 6355:2012 [4] e ABNT NBR 15253:2014 [5]. O conjunto construtivo da edificação em LSF, que abrange a concepção da estrutura, as interfaces entre subsistemas e seu desempenho, tem como referência a ABNT NBR 16970:2022 [6], norma recente e moderna específica sobre o sistema construtivo.

Para fechamento vertical e horizontal da construção em LSF, são empregados, em geral, placas parafusadas à estrutura. Estas placas são elementos leves e compatíveis com o conceito do sistema, formando um conjunto eficiente e de baixo peso próprio. De acordo com Santiago et al. 2012 [7], as principais placas empregadas como revestimento para o LSF, no mercado nacional, são as placas de OSB ou *plywood* (combinadas com *basecoat*, EIFS ou *siding*), as placas cimentícias e o gesso acartonado, complementados com barreiras de vapor e mantas de isolamento termoacústico (Figura 2).

De acordo com Santiago et. al. 2012 [7], alguns dos principais benefícios e vantagens no uso do sistema LSF são: emprego de insumos industrializados e padronizados; facilidade de montagem, manuseio e transporte devido a leveza dos elementos; durabilidade e longevidade; redução do uso de recursos naturais e do desperdício; facilidade de execução das instalações prediais; rapidez de construção; leveza da construção, permitindo economia na fundação; além de grande flexibilidade no projeto arquitetônico. Mesmo com todas essas vantagens frente ao sistema de alvenaria convencional, a construção em LSF, quando finalizada, apresenta aspecto final que não se difere do sistema construtivo mais popular no Brasil (Figura 2).

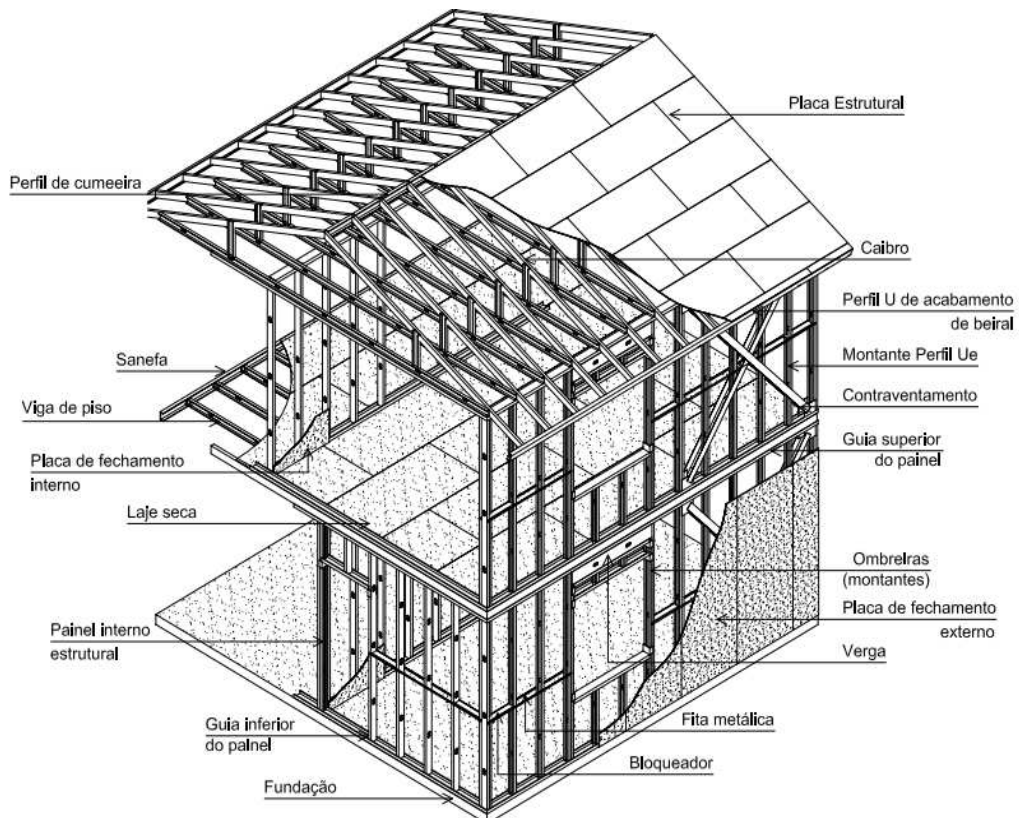


Figura 1 - Elementos construtivos principais de uma edificação em LSF (Adaptado de Santiago et al., 2012 [7])



Figura 2 - Residência em LSF: esqueleto estrutural e aspecto final da construção

2. ESTUDO DE CASO – OTIMIZAÇÃO DE PROJETO ARQUITETÔNICO PARA LSF

Para desenvolvimento do estudo de caso no presente artigo, foi adotado o projeto arquitetônico de uma residência unifamiliar concebida, inicialmente, indiferente ao sistema construtivo, prática corriqueira em diversos escritórios de arquitetura.

A apresentação do estudo de caso pretende demonstrar que, apesar dos ajustes indicados para que o projeto se torne mais interessante para o emprego do LSF, o partido arquitetônico e suas propostas são preservados.

Os ajustes propostos e apresentados para o projeto arquitetônico trabalhado neste estudo de caso, ilustram diretrizes que, quando fazem parte da concepção da arquitetura desde o seu início, resultam em projetos eficientes para o sistema *Light Steel Framing*. Tais ajustes e diretrizes foram baseados nas experiências de projeto dos autores deste artigo, bem como nas diretrizes propostas por Santiago, Rodrigues, 2019 [8].

2.1 Objeto de estudo: projeto arquitetônico original: indiferente ao sistema construtivo

A residência analisada no presente estudo de caso (Figura 3) possui área de 105 m², dividida em 2 pavimentos, com programa incluindo sala, cozinha, área de serviço, lavabo e varandas no pavimento inferior e 2 quartos, banheiro social, varanda e sacada no pavimento superior. Há, ainda, previsão de laje técnica descoberta para caixa d'água acima da escada e cobertura com um trecho em telhado embutido e outro em telhado aparente, ambos com telhas metálicas tipo sanduíche.

2.2 Processo de otimização do projeto arquitetônico para execução em LSF

O projeto arquitetônico analisado, apesar de ter sido concebido indiferente ao sistema construtivo, possui características favoráveis ao emprego do LSF.

Para um sistema construtivo autoportante, como o LSF, é sempre favorável a sobreposição entre paredes dos pavimentos superior e inferior. Em função dos diferentes programas usualmente presente nos pavimentos de residências (salas e áreas mais livres em baixo e quartos com espaços compartimentados em cima), a sobreposição de todas as paredes é algo difícil de existir. No projeto analisado há a sobreposição da maioria das paredes externas, o que é um fator favorável à eficiência do *Light Steel Framing*.

Além disso, há vãos de lajes menores que 4 m e balanços de lajes menores que 2 m, medidas que são atendidas por soluções econômicas de estruturas para lajes (Santiago, Rodrigues, 2019 [8]). É relevante ainda, observar que há sobreposição das áreas molhadas (lavabo e área de serviço no pavimento inferior e banho no pavimento superior), o que favorece a execução de instalações hidráulicas, sem necessidade de rebaixamento parcial de forro de um cômodo do pavimento inferior, o que ocorreria caso o banheiro estivesse sobreposto à sala, por exemplo.

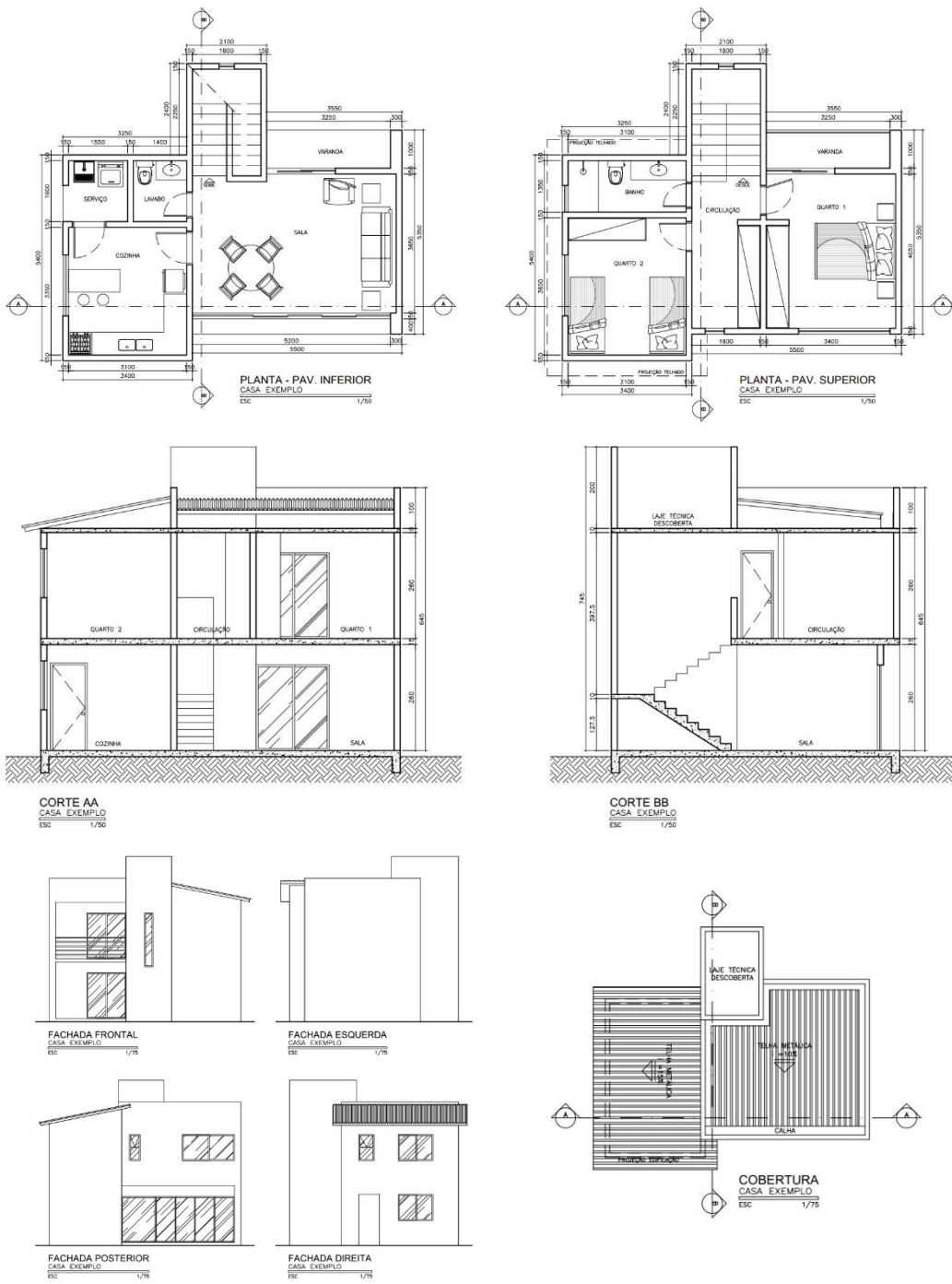


Figura 3 - Projeto arquitetônico original, trabalhando no estudo de caso do presente artigo

Segundo Santiago, Rodrigues, 2019 [8], em um projeto arquitetônico, concebido para execução em *Light Steel Framing*, deve-se considerar as dimensões e a composição real das paredes, lajes e coberturas do sistema, desde as primeiras etapas de projeto, ao invés de representá-los com dimensões genéricas, como é comum na maioria dos projetos arquitetônicos, principalmente em etapas de anteprojeto ou projeto legal. Essa consideração é importante, pois cada composição de paredes ou lajes (dimensões de perfis e placas, bem como dos acabamentos empregados) resulta em uma espessura distinta destes elementos, que podem ser diferentes, também, das espessuras geralmente utilizadas em construções de alvenaria.

No projeto em análise, as paredes foram originalmente representadas com 150 mm de espessura, tanto em paredes internas quanto externas. Essa medida tem origem em dimensões típicas de paredes em alvenaria, com espessuras usuais de 150 mm ou 200 mm.

Para a determinação da espessura final de cada parede em projeto, deve-se avaliar os materiais de revestimento a serem usados, considerando-se as características da edificação e aplicabilidade de cada material. Para a solução em LSF proposta, optou-se pelo emprego de sistema EIFS (*Exterior Insulation and Finishing System*) nas faces externas das paredes, por ser uma boa solução para paredes que vão receber pintura. Essa solução é composta por uma placa de substrato em OSB (*Oriented Strand Board*) ou *plywood* parafusada à estrutura LSF, barreira de vapor sobreposta à placa de substrato, placas de EPS (poliestireno expandido) e acabamento com basecoat (argamassa com aditivos flexíveis armada com tela de fibra de vidro), resultando em uma espessura total do sistema de 40 mm. Já nas faces internas de paredes externas e nas duas faces de paredes internas optou-se pelo emprego de placas em gesso acartonado (espessura 12,5 mm), solução mais comum e econômica para o sistema LSF. A estrutura prevista emprega perfis Ue com medida da alma de 90 mm, perfil típico da construção autoportante em *Light Steel Framing*.

A partir dessa especificação, as paredes do projeto em análise passaram a ser representadas nas plantas e cortes com as camadas previstas para sua composição (placas e estrutura), sendo a espessura total daquelas externas de 142,5 mm e das internas de 115 mm (Figura 4).

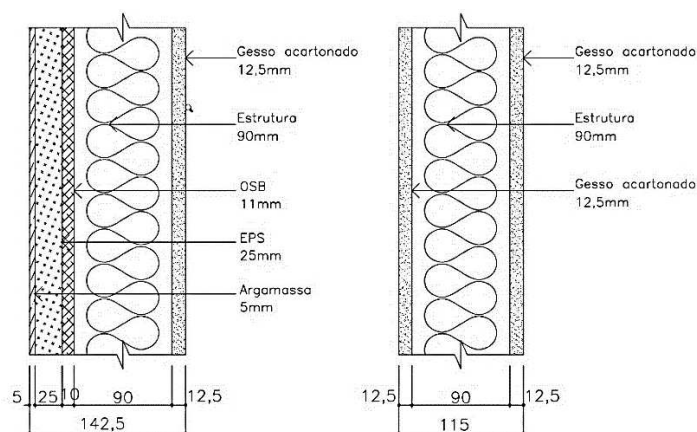


Figura 4 - Composição de paredes de LSF - externas com EIFS e gesso acartonado (esquerda) e internas com gesso acartonado nas duas faces (direita)

Os projetos de arquitetura geralmente apresentam, abaixo da cobertura das edificações, a representação de uma laje de forro, além do telhado, seja ele embutido ou aparente, prática também herdada das construções em alvenaria e concreto. Segundo Santiago et al. 2012 [7], no sistema LSF, não é necessário, considerando aspectos estruturais e construtivos, a presença dessa laje. É suficiente, e mais econômico, a execução de uma estrutura de telhado com tesouras ou caibros em perfis de LSF e a fixação, nesta, de um forro em gesso acartonado, com objetivo somente de acabamento da construção. A demanda pelo emprego de lajes na cobertura ocorre apenas onde há lajes técnicas (cobertas ou não) necessárias para o apoio de caixas d'água, ar condicionado e outras utilidades.

As lajes são, tipicamente, representadas nos projetos de arquitetura com espessuras de 100 ou 150 mm (já englobando o elemento estrutural e o acabamento na face superior do piso). Novamente as medidas citadas têm origem na tectonia de edificações em alvenaria e concreto. Assim como ocorre com as paredes em *Light Steel Framing*, é importante representar toda a composição de uma laje em LSF e sua espessura real desde a concepção inicial do projeto, pois, como a sua espessura final é superior às medidas comuns de concreto armado, uma adaptação posterior do projeto pode implicar em necessidade de acréscimo de degraus na escada ou redução do pé-direito livre.

A espessura típica de uma laje de LSF completa, segundo Santiago, Rodrigues, 2019 [8], considerando os perfis de 200 mm, substrato em OSB ou *plywood* com espessuras de 18,3 mm e 20 mm respectivamente, contrapiso e acabamento (estes últimos soluções comuns em projeto, cuja espessura pode ser considerada de cerca de 50 mm) é de 268 mm. Tal espessura pode variar conforme o perfil calculado, a placa de substrato e o acabamento do piso a serem empregados. É desejável, ainda, considerar espaço mínimo de 50 mm (recomendado de 150 mm) para entreforro abaixo do perfil da laje, permitindo a passagem de instalações e a colocação de luminárias embutidas no forro de gesso (Figura 5).

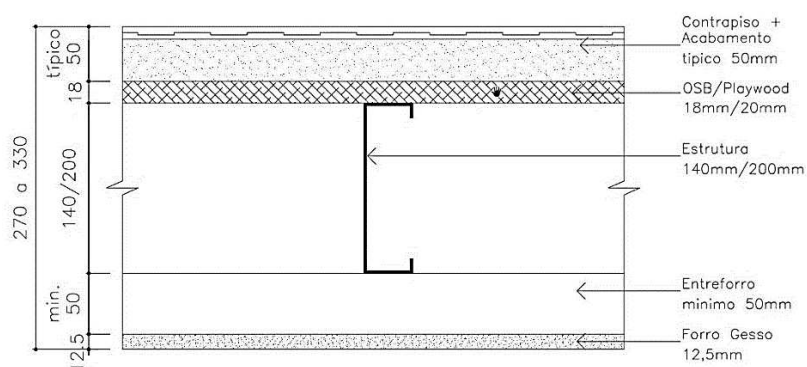


Figura 5 - Composição típica de laje seca em LSF (Santiago, Rodrigues, 2019 [8])

No processo de adaptação do projeto em análise, o primeiro ponto de ajuste relativo a lajes, foi a retirada da laje de forro dos trechos abaixo das coberturas com telhado, sendo mantida apenas no trecho de laje técnica descoberta. Em seguida, todas as lajes foram representadas com sua composição completa (perfis 200 mm, substrato em OSB 18,3 mm e camada de acabamento de

50 mm). Também foi importante representar a camada de acabamento (50 mm) sobre a laje de fundação, o que, apesar de não influenciar diretamente na solução em LSF, melhorou a representação dos elementos construtivos da edificação (Figura 6).

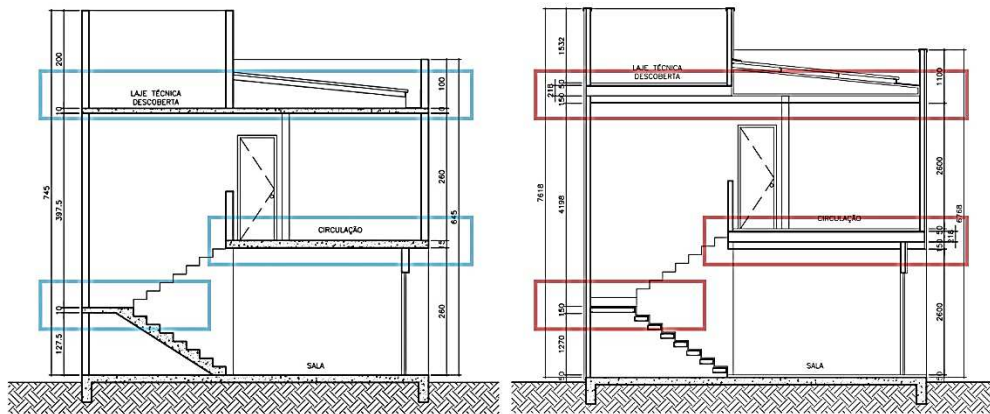


Figura 6 - Comparativo entre corte da arquitetura original (esquerda) e ajustada para LSF (direita)

Além disso, os forros em gesso acartonado foram introduzidos em todo o projeto, tanto abaixo das estruturas de cobertura, quanto sob as lajes de entepiso e laje técnica. Optou-se por criar um entreferro com altura de 150 mm, provendo espaço confortável para execução de instalações e utilidades da residência.

O aumento da espessura da laje (fruto da representação adequada de seus componentes), aliado à manutenção do pé-direito proposto de 260 cm livre abaixo do forro no primeiro pavimento, implicou em incremento no desnível entre os pisos inferior e superior da casa do projeto em análise. A diferença de níveis, originalmente de 2750 mm, passou a ser de 3018 mm. Tal incremento demandou o acréscimo de um degrau na escada e a redivisão da altura dos

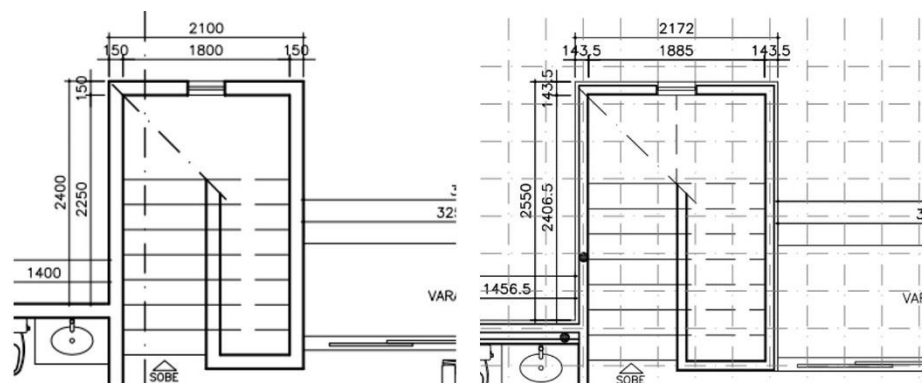


Figura 7 - Comparativo entre escada da arquitetura original (esquerda) e proposta no LSF (direita) – Plantas do térreo (detalhe da escada)

demais degraus, para sua altura continuasse com medida adequada aos usuários. O degrau extra foi criado dividindo-se o patamar intermediário em dois níveis (Figura 6).

Uma alteração significativa de projeto foi a altura total da construção, que sofreu aumento de 268 mm, em função, especialmente, do acréscimo de espessura da laje de entepiso e consequente mudança no desnível entre os pisos. Porém, tal mudança não prejudicou a proposta arquitetônica inicial em suas proporções e volumetria. Como, em alguns casos, a altura total da construção pode estar próxima do gabarito permitido para o terreno, a adoção, no projeto de arquitetura, das dimensões fiéis dos elementos construtivos evita que ocorram mudanças das medidas em canteiro, sob risco de não atendimento a esse parâmetro urbanístico.

O uso de malhas modulares, segundo Crasto 2005 [9], permite relacionar as medidas de projeto às medidas modulares, cujos valores típicos no LSF são de 400 mm ou 600 mm, estes relacionados à distribuição dos perfis e às dimensões das placas de fechamento. A coordenação modular e o uso de malhas construtivas são importantes para otimizar o consumo de material, assegurando o seu não desperdício, além de evitar adaptações em canteiros de obras. É possível a execução em LSF de edificações que não considerem as malhas modulares, porém seu custo é menos competitivo comparado à edificação pensada sob tal ótica.

Assim, um ponto de grande relevância na adaptação do projeto de arquitetura para sua otimização ao *Light Steel Framing* foi a introdução de uma malha modular de 400 x 400 mm no projeto. Com o emprego da malha modular no projeto, em planta, buscou-se posicionar os eixos da estrutura das paredes sobre os eixos da malha, de modo a criar espaços que possuíssem dimensões múltiplas e submúltiplas das medidas dessa malha (Figura 7).

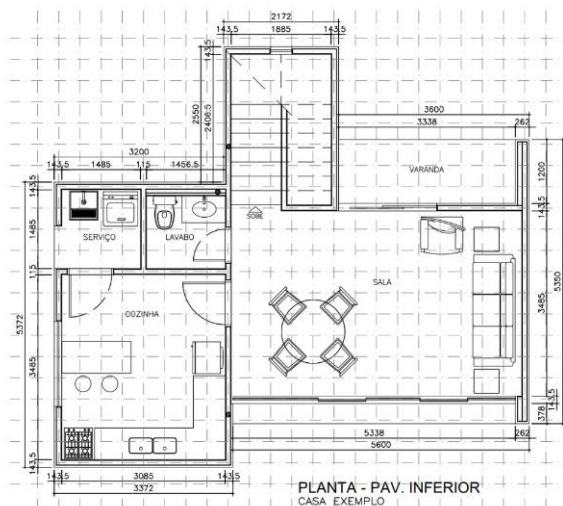


Figura 8 - Planta do pavimento inferior com a introdução da malha modular

A introdução da malha modular no projeto em estudo resultou em poucas alterações nas dimensões totais da construção, porém com ajustes internos relevantes. Um deles foi a

sobreposição da parede entre o banheiro e o quarto do segundo pavimento com a parede entre a área de serviço e a cozinha no primeiro pavimento, situação desejável para o sistema LSF.

Além disso, a parede de fechamento abaixo do segundo lance da escada, originalmente desalinhada da porta de acesso à varanda, foi alinhada a esta, favorecendo construtivamente a solução em LSF desta residência sem impacto relevante na arquitetura (Figura 8 e Figura 9)

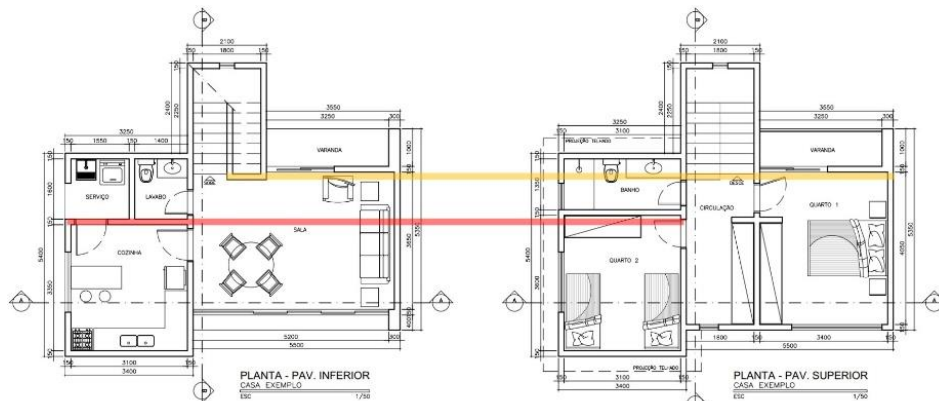


Figura 9 - Plantas do projeto de arquitetura original, de ambos os pavimentos, demonstrando paredes desalinhadas

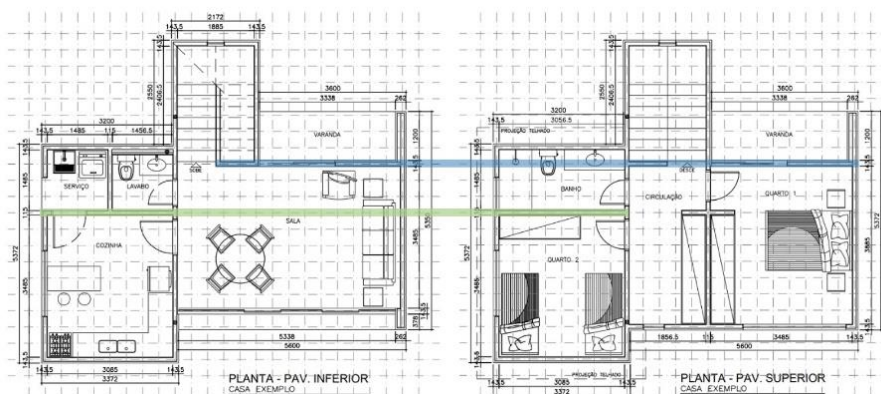


Figura 10 - Planta de ambos os pavimentos ajustados para LSF, demonstrando paredes alinhadas após otimização

Vale destacar que a parede externa da edificação localizada próxima ao patamar da escada não foi alinhada à malha modular por uma decisão proposital (Figura 10). O alinhamento dessa parede criaria uma largura para o patamar diferente do restante da escada, algo que não é desejável do ponto de vista da funcionalidade e também da estética.

O fato de, em uma construção, apenas umas poucas paredes não acompanharem a malha modular, não compromete a sua viabilidade técnica e econômica e é aceitável quando há uma justificativa funcional, como na situação relatada.



Figura 11 - Planta do pavimento inferior (detalhe da escada), com desalinhamento em relação a malha

2.3 Projeto otimizado: resultado final sem comprometimento da proposta arquitetônica

Apesar de pouco destacados em uma comparação inicial entre a versão original e a versão otimizada do projeto arquitetônico em análise, os ajustes propostos para a arquitetura contribuem para a utilização do LSF de forma mais otimizada e econômica.

O partido arquitetônico, a área construída, as proporções da forma da casa e as relações e articulações dos espaços internos foram preservados, conforme pode ser percebido na Figura 11 e na Figura 13 em comparação à Figura 3.

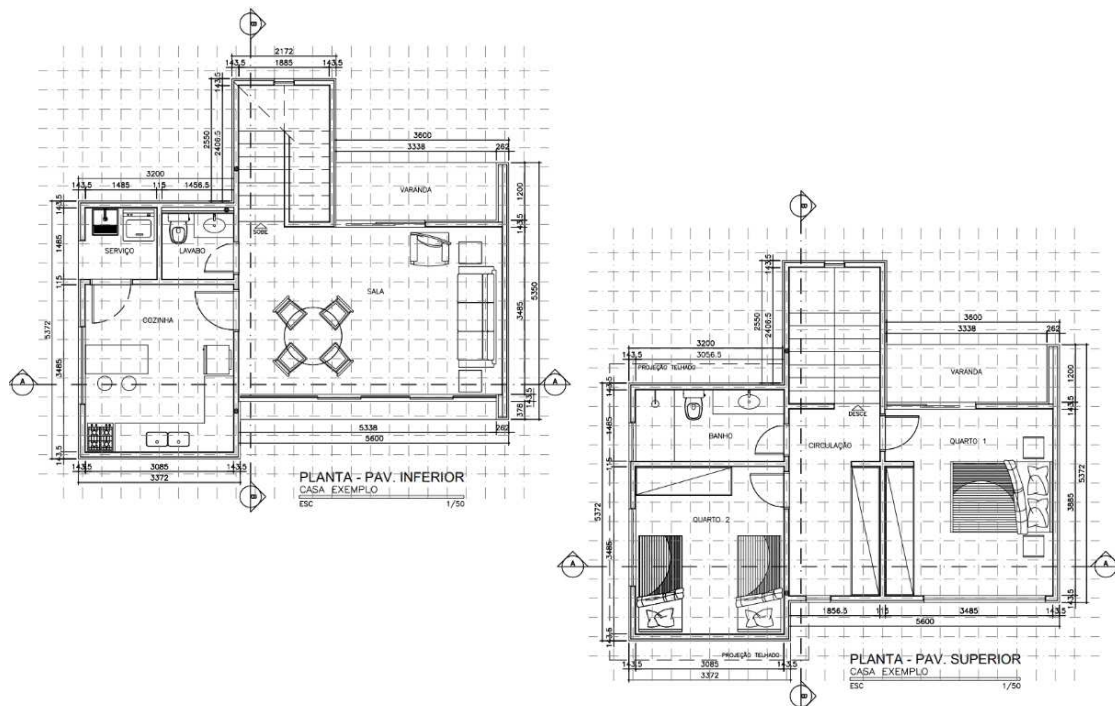


Figura 12 - Projeto arquitetônico otimizado para LSF durante estudo de caso- Resultado final – Plantas

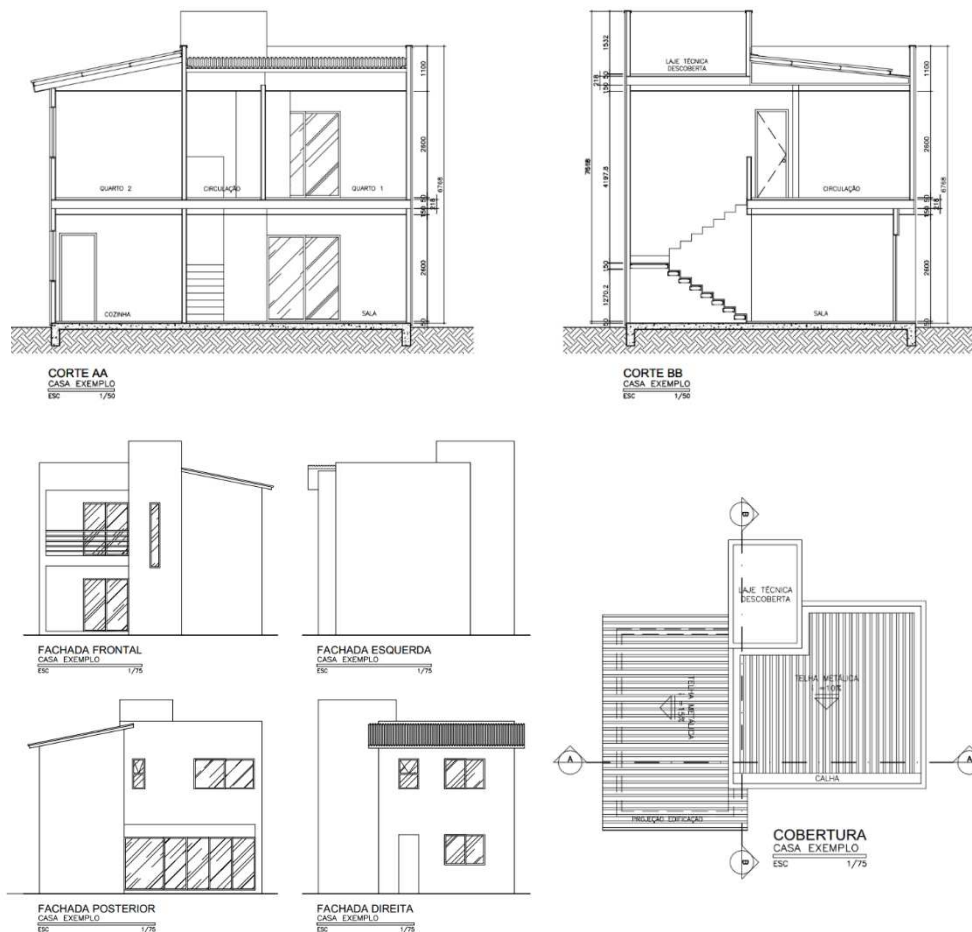


Figura 13 - Projeto arquitetônico otimizado para LSF durante estudo de caso– Resultado final – Cortes, fachadas e diagrama de cobertura

4. CONCLUSÕES

O estudo de caso desenvolvido no presente artigo demonstra que as ações de otimização do projeto arquitetônico para execução em LSF, apesar de relevantes para sua viabilização técnica econômica, representaram impactos muito pequenos na proposta inicial da edificação. Assim, são demonstradas a versatilidade do sistema LSF e sua capacidade de adaptação a partidos arquitetônicos variados, mesmo quando os projetos são resolvidos de forma bastante detalhada para favorecer o sistema construtivo.

Além disso, as mudanças propostas para o projeto de arquitetura em estudo, e as diretrizes que as justificaram, demonstram pontos chave para o desenvolvimento de projetos arquitetônicos eficientes para o *Light Steel Framing*, sem comprometer, entretanto, a liberdade de criação dos arquitetos.

REFERÊNCIAS

- [1] Rebello, Y. C. P. Algumas questões sobre o processo de concepção da arquitetura e da estrutura. *Integração-Ensino, Pesquisa, Extensão*, Universidade São Judas Tadeu, p. 315 - 321, 01 dez. 2006.
- [2] Rodrigues, F. C., Caldas, R. B. – *Steel Framing: Engenharia*. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2016. (Série Manual da Construção em Aço).
- [3] ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – *NBR 14762: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio*. Rio de Janeiro, 2010.
- [4] ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS *NBR 6355: Perfis estruturais de aço formados a frio – Padronização*. Rio de Janeiro: ABNT; 2012.
- [5] ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15253: Perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico para painéis estruturais reticulados em edificações - Requisitos gerais*. Rio de Janeiro, 2014.
- [6] ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 16970: Sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço formados a frio, com fechamentos em chapas delgadas*. Rio de Janeiro, 2022.
- [7] Santiago, A. K. *et al.* – *Steel Framing: Arquitetura*. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2012. (Série Manuais da Construção em Aço).
- [8] Santiago, A. K.; Rodrigues, F. C. – *Diretrizes para projetos arquitetônicos eficientes em Light Steel Framing*. In: 8º Congresso Latino-Americano da Construção Metálica – Construmetal. Anais eletrônicos. São Paulo, ABCEM, 2019. Disponível em <<https://www.abcem.org.br/construmetal/contribuicoes-tecnocientificas.php>>. Acesso em 07/05/2023.
- [9] Crasto, R. C. M. *Arquitetura e tecnologia em sistemas construtivos industrializados: Light Steel Framing*. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2005. 231p.

TORRE RIO SUL: BRUTALISMO ANALÍTICO E TESTEMUNHO MATERIAL DE INTERCONEXÕES CULTURAIS NAS DÉCADAS DE 1960-70.



Monica Aguiar*
Professora
PUC-Rio– Rio de
Janeiro, Brasil



Marcos Favero
Professor
PUC-Rio– Rio de
Janeiro, Brasil

Resumo:

Por meio de análise que busca evidenciar um contexto de interconexões culturais no campo da arquitetura, procura-se comprovar um estado de coisas desconsiderado pela historiografia do período, possivelmente pautada por parâmetros insuficientes para debater certo posicionamento da arquitetura moderna carioca ao contexto pós-Brasília nas décadas de 1960-70, qual seja o brutalismo, porém de caráter analítico. Objeto dessa análise, a Torre Rio Sul destaca-se por sua inserção no debate arquitetônico internacional a ela contemporâneo, pela inovação de seu processo construtivo, pela integração interdisciplinar necessária ao projeto, por seu impacto na paisagem e apropriação simbólica até o ponto de reconfiguração da noção de endereço. Trata-se de testemunho material a se contrapor a certo discurso historiográfico permeado pela retórica da decadência, que desestimula a pesquisa e o ensino sobre a arquitetura desse período. Situação que este trabalho procura reverter.

Palavras-chave: Torre do Rio Sul; Brutalismo Analítico; Interconexões culturais; Retórica da decadência; Revisão historiográfica.

* Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. R. Marquês de São Vicente, 124, Gávea, Rio de Janeiro – RJ/CEP 22451-040, BRASIL. Telef: +55 21 98228-2669.
Email: monicaaguiar@puc-rio.br.

1. INTRODUÇÃO

Em contraposição à retórica da decadência, que perpassa a historiografia da Arquitetura Moderna Brasileira dedicada às décadas de 1960-70, procura-se aqui trazer à luz uma prática arquitetônica que, nesse período, esteve inserida em uma rede de socialização permeada por intensa e pulsante troca de ideias [1]. Prática que se deu em um conturbado contexto sociopolítico e econômico, em meio à instauração de uma segunda ditadura no país, ocorrida após o período de distensão de apenas 18 anos que se deu entre 1946 e 1964, após o fim da ditadura Vargas, quando se consolidou a Arquitetura Moderna no Brasil. No campo disciplinar da arquitetura, as décadas de 1960-70 foram caracterizadas pelo debate em torno do impacto da construção de Brasília, considerado por muitos o fim de um ciclo. Período que, de fato, mostrou-se o início de outro ciclo, atravessado pelo desenvolvimento de novas tecnologias e a modificação do papel do arquiteto que, em alguns casos, passava a integrar equipes multidisciplinares, no contexto de realizações de grandes projetos inseridos na política desenvolvimentista vigente no país. Esse novo ciclo parece não ter sido suficientemente analisado pela historiografia do período.

Entende-se aqui que a arquitetura brutalista, que se difundiu praticamente em todos os continentes no período em questão, não é caracterizada por uma coerência estilística imune aos diversos contextos culturais. O estilo arquitetônico que ganhou força com o movimento cultural *The New Brutalism*, no início da década de 1950, na Inglaterra, fundamentado pela proposta de relação ética-estética que subsidiava os projetos do casal Alison e Peter Smithson, acabou por gerar em outros locais estratégias projetuais específicas, que puderam tensionar a ética e a estética de modos particulares e próprios ao contexto arquitetônico, sociopolítico e econômico em que estavam inseridas. No Brasil não foi diferente, haja vista as diferenças notáveis entre estratégias projetuais adotadas por arquitetos de formação paulista e de formação carioca. Estes elaboraram projetos alinhados com as estratégias brutalistas de sua contemporaneidade, veiculadas em publicações internacionais especializadas, que circulavam no meio arquitetônico tanto nas universidades quanto nas instituições de representação da categoria e também nos escritórios de projeto. Ousaram direcionar o olhar “para fora”, pensar novas possibilidades e reprocessar repertórios em um campo dinâmico de interconexões culturais. Elaboraram projetos que, na década de 1980, Jorge Czajkowski qualificou como Brutalismo Analítico [2], em contraposição ao que qualificou como o Brutalismo Sintético paulista – movimentos que, segundo o autor, tentaram, sem sucesso, preencher o vazio deixado pela crise na Arquitetura Moderna Brasileira. Czajkowski tomava como referência parâmetros de qualidade que pautaram a atuação da primeira geração de arquitetos modernos brasileiros sem se dar conta de que o que se passava nas décadas de 1960-70 constituía-se sobre novos fundamentos ainda em processo de transposição para o campo conceitual. Em sua formulação sobre a história dos conceitos Reinhardt Koselleck, propõe que “a realidade pode ter mudado muito antes de a transformação ser conceitualizada”, ou seja, os testemunhos linguísticos que subjazem a historiografia apenas permitem determinar *post eventum* o que esteve entrelaçado *in evento* [3]. Na medida em que na década de 1980 a crítica arquitetônica no país já se considerava mobilizada pelo pós-modernismo, o interesse pelas décadas de 1960-70 diminuiu consideravelmente e muitas lacunas deixaram de ser preenchidas.

Na realidade, compensando o período de agonia pelo qual passaram as revistas brasileiras de arquitetura nas décadas de 1960-70, instaurou-se nessa época uma intensa circulação de revistas importadas especializadas nos escritórios de projeto, universidades e associações profissionais, que acabou por possibilitar a formação de uma rede de socialização onde se davam trocas de conhecimento, formação de novos repertórios e incorporação de um *modus vivendi* cosmopolita com o qual certo grupo de arquitetos cariocas passaram a operar. A produção brutalista desses arquitetos, além da adoção de materiais *in natura* e de uma lógica construtiva em diálogo com a arquitetura internacional de sua época, parece ser o resultado de um *modus operandi* caracterizado pela operação combinatória e analítica oriunda da articulação de componentes e sua vinculação com a produção industrial, em identificação com o que Giulio Carlo Argan formula como a relação dialética entre módulo objeto e módulo medida [4]. Tecendo considerações sobre os processos construtivos históricos, Argan chama atenção para o surgimento da noção de módulo, que como medida é conceito vitruviano, para pensar também o módulo objeto, componente com virtualidade formal que é princípio de projeção e potência combinatória com valor de construtividade. A formulação de Argan aponta para a estratégia projetual que caracteriza o Brutalismo Analítico.

Nesse sentido, considera-se a Torre Rio Sul uma produção brutalista de caráter analítico com atributos evidentes de uma tradição racionalista e cosmopolita, em consonância com a arquitetura moderna contemporânea de países como a Inglaterra, a França, a Alemanha e os Estados Unidos. Arquitetura que divergia do que foi chancelado pela historiografia como Escola Carioca de Arquitetura Moderna, cujos preceitos foram estratificados como referência conceitual, vinculada a uma certa qualidade reconhecida nacional e internacionalmente. A Torre Rio Sul é, de fato, produto de uma arquitetura que se pautava por novas estratégias para lidar com as demandas de seu próprio tempo e lugar e que a historiografia do período não conseguiu identificar. Divergências que podem ser apontadas por uma análise tectônica dessa edificação.

2. TORRE RIO SUL : UMA ANÁLISE TECTÔNICA

Em 1971 a empresa Empreendimentos Imobiliários Capri começou a desenvolver um projeto de grande impacto para um terreno de 48.000 m², de sua propriedade, situado num trecho entre dois túneis que fazem a ligação entre os bairros de Botafogo e Copacabana, na zona sul da cidade do Rio de Janeiro. O potencial comercial desse terreno era enorme e, conscientes disso, os executivos da Capri contrataram especialistas internacionais para consultoria de marketing com o intuito de estabelecer o que seria a “vocação” do lugar, além de começarem a buscar parceiros investidores. Logo ficou constatado que a construção de um centro comercial e uma torre de escritórios seria, do ponto de vista do mercado imobiliário, a melhor opção. Formou-se um grupo composto pela Capri, empresa incorporadora, a *Nordal & Associates*, empresa norte-americana de planejamento de shopping centers e a empresa *Cox & Nichols*, também norte-americana, especializada em planejamento de sistemas viários, para dar assessoria ao trabalho da empresa de engenharia de tráfego do comandante Celso Franco, que já vinha estudando soluções para a implantação do projeto. Totalizando 270.000 m² de área construída, o empreendimento era composto de 230 lojas, 2773 vagas de estacionamento

rotativo para o shopping, uma torre de 40 pavimentos dedicada à implantação de escritórios e, a eles vinculadas, 1182 vagas de garagem. Os pavimentos de escritórios foram pensados em módulos de 100, 200 e 300 m², podendo também ser comercializados pavimentos inteiros. A obra teve início em maio de 1976, a cargo da Construtora Norberto Odebrecht, o shopping center foi inaugurado em 1980 e a previsão de entrega da torre estaria assegurada para o mês de março de 1982. O conceito do empreendimento previa um caráter monumental para o conjunto, com características semelhantes aos edifícios icônicos dos grandes centros urbanos do mundo, sendo o conjunto do World Trade Center, em Nova York, uma das referências.

O tema dos edifícios altos vinha se tornando recorrente no debate arquitetônico da década de 1970. A chegada das fachadas de vidro, fixadas em estruturas portantes cada vez mais esbeltas e submetidas a relevante carregamento horizontal, proveniente da incidência de vento, era um tema de preocupação. O impacto arquitetônico dessas fachadas, aliado às consequentes questões construtivas e estruturais, foi objeto de artigos publicados em revistas como *Progressive Architecture* (1972), *Architectural Record* (1972), *L'Architecture d'Aujourd'hui* (1975) e até mesmo a revista *Módulo* (1978). As características inovadoras do projeto acabariam por reconfigurar a área destinada à sua implantação e a própria noção de endereço, segundo Sérgio Andrade de Carvalho, diretor superintendente da Holding Ancar S.A., especializada na área de shopping centers. Ele não estava errado. Atualmente, 50 anos depois da declaração de Carvalho, o edifício é ponto de referência na cidade do Rio de Janeiro.

O projeto, elaborado pelos arquitetos Ulysses Burlamaqui e Alexandre Chan, consistia em uma torre de 160,00 m de altura conjugada a um shopping center com 2 subsolos destinados a estacionamento de veículos e áreas técnicas, 4 pavimentos de lojas, e 4 pavimentos para estacionamento de veículos destinado ao shopping center. Sem experiência em projetos semelhantes, Burlamaqui conta que fez pesquisa “rápida, mas minuciosa – coletando dados e elementos que nos servissem de ajuda ao pleno exercício da criatividade” [5]. Considerando a rede de socialização e interconexões culturais materializada pela circulação de revistas, é possível inferir que os dados e elementos mencionados por Burlamaqui tenham vindo dessas fontes. Os temas *Shopping Centers* e *Office Buildings* já vinham sendo tratados em várias publicações internacionais desde a década de 1960. Direcionando o foco apenas para uma das revistas, por exemplo, basta ver algumas das edições anteriores ao ano de 1973 da revista *Architectural Record*, em sua seção *Building Types Study*, como a de abril de 1966 dedicada aos shopping centers, a de novembro de 1966 dedicada aos edifícios de escritórios e a de abril de 1969, cujo tema eram os edifícios altos.

O conjunto composto pelo shopping center, no embasamento, e a torre a ele conjugada, situa-se em terreno delimitado por 3 vias de circulação de veículos. A Av. Lauro Sodré, que liga o Túnel André dos Santos Dias Filho (Túnel do Pasmado) ao Túnel do Leme (Túnel Novo), a Rua Lauro Müller e a Av. Carlos Peixoto. Segundo Burlamaqui, desde os estudos iniciais a “inovadora concepção plástica” [5] foi um dos princípios norteadores do projeto. Segundo o arquiteto, o edifício destinado aos escritórios seria uma torre alta, com planta quadrada de modo a se relacionar com as edificações do entorno, no caso, as torres do Condomínio Morada do Sol, construído em 1973, pela empresa Contal Engenharia Ltda. (Figura 1).



Figura 1: Torre Rio Sul. Canteiro de obras, no início da construção.
Ao fundo, as torres do Condomínio Morada do Sol. Fonte: Acervo Rio Sul Shopping Center.

2.1 Coordenação Modular e Sistêmica

A proposta inicial para o projeto já partia dos princípios de coordenação modular e sistêmica, em função do elevado grau de complexidade que caracterizava o que seria, na época, o edifício mais alto da América Latina. O projeto foi pautado pela relação entre os sistemas, estrutural, de vedações, de instalações gerais e o sistema construtivo. Segundo o arquiteto, o desenvolvimento de soluções e alternativas, visando custos e rendimentos, formavam um “sistema tecnológico”. No que diz respeito ao programa da torre, a demanda estava atualizada com os novos conceitos de edifícios corporativos, que vinham sendo debatidos desde a década de 1960 nas revistas internacionais em circulação nos escritórios do Rio de Janeiro.

Coerente com as estratégias projetuais adotadas internacionalmente em projetos de torres corporativas – e consagradas pelo arquiteto Louis Kahn em vários projetos de sua autoria –, a constituição de espaços servidores concentrados em núcleos foi determinante no projeto da Torre Rio Sul. O posicionamento do núcleo agregador de circulações verticais no centro do edifício, além de otimizar a circulação em planta, foi estratégico do ponto de vista estrutural e construtivo. Os 160,00 m de altura da torre demandavam um sistema de contraventamento robusto, que garantisse tanto a estabilidade lateral da edificação quanto a existência de pequenas e controladas deformações em seu topo, uma vez que a estrutura estaria submetida à incidência de cargas elevadas de vento em suas quatro fachadas. A solução para esse problema surgiu a partir do debate contemporâneo internacional que se dava no mundo da arquitetura e da engenharia estrutural e era também veiculado nas revistas especializadas. Fazlur Kahn, um dos proeminentes engenheiros estruturais à frente desse debate, responsável pelo projeto estrutural das torres do World Trade Center, teve um de seus artigos publicados na revista *Progressive Architecture*, em outubro de 1972.

A solução estrutural adotada para a Torre Rio Sul contemplou um pouco de cada um dos modelos vigentes à época e publicados no artigo de Fazlur Kahn. A estrutura é de concreto armado e protendido, sendo composta por um núcleo rígido central formado pelas caixas de elevadores e escadas, e um conjunto periférico de 8 pilones, 2 em cada fachada, solidarizados por treliças que também suportam as lajes dos pavimentos. A planta baixa dos pavimentos,

que tem o formato de um quadrado cujo lado (útil) é de 42,00 m, pode ser analisada em dois segmentos: um núcleo central servidor e a área periférica a esse núcleo, onde são implantados os escritórios. O núcleo central concentra duas escadas enclausuradas, 16 elevadores sociais, 1 elevador de carga e 1 elevador de serviço. Nem todos os elevadores sociais servem todos os pavimentos, de modo que ao longo da prumada de caixas de elevadores surgem casas de máquinas intermediárias. Nesse núcleo central distribuem-se também espaços destinados a instalações diversas. A distribuição desses espaços é ligeiramente assimétrica, se considerarmos um sistema de eixos perpendiculares entre si, cujo ponto central coincide com o centro da área quadrada dos pavimentos. A área periférica ao núcleo é praticamente simétrica a esse sistema de eixos, surgindo, ocasionalmente, trechos pouco relevantes de assimetria, dependendo do pavimento, uma vez que existem diferentes layouts em diferentes pavimentos. O limite externo dos pavimentos possui uma pele formada por discretas esquadrias metálicas para fixação dos painéis de vidro e, depois dessa pele, do lado externo, um prosseguimento da laje, formando uma espécie de passarela de manutenção, que permite a limpeza da fachada pavimento a pavimento, além de atender às especificações de combate e prevenção contra incêndio estipuladas pela legislação. À frente dessa passarela desenvolve-se uma treliça de concreto protendido que liga os 8 pilones nas 4 fachadas da torre, suportando, cada treliça, as cargas verticais provenientes de 2 pavimentos, um pavimento apoiando-se no banzo inferior e outro pavimento apoiando-se no banzo superior da mesma treliça (Figura 2).

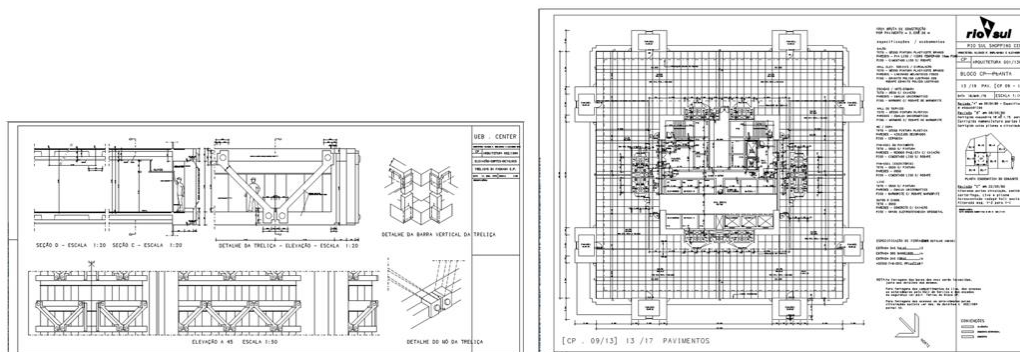


Figura 2: Torre Rio Sul. À esquerda: Detalhes da treliça de fachada. À direita: Planta do 13º/19º Pavimentos, sem treliça na fachada. Fonte: Acervo Rio Sul Shopping Center.

O desenvolvimento do projeto evidencia a coordenação sistêmica envolvendo o elemento mais marcante da torre: as treliças de concreto. Esse elemento do sistema estrutural também faz parte do sistema de vedações e do sistema de combate a incêndios. Segundo o engenheiro Bruno Contarini, fundador da Projectum Engenharia, que participou da elaboração do projeto estrutural do edifício, as treliças surgiram também da necessidade de se manter a vista panorâmica em todos os pavimentos. Como os grandes vãos entre os pilones demandariam vigas de apoio dos pavimentos no plano das fachadas com pelo menos 1,5 m de altura em cada pavimento, a solução inviabilizaria tal demanda. A equipe da Projectum, com Bruno Contarini à frente, solucionou o problema com a proposta da treliça. Nesse sentido vale reforçar aqui a parceria entre Burlamaqui e Contarini que gerou a solução de forma-estrutura responsável pela identidade visual da torre. O projeto elaborado para a Torre Rio Sul teve, como ponto de partida, o que de mais atualizado havia no que concerne aos conceitos

arquitetônicos e estruturais vigentes. As soluções disponíveis na rede de conhecimento arquitetônico e estrutural, nos meios técnico e acadêmico do período histórico em que o projeto foi desenvolvido, foram devidamente adaptadas para os novos desafios propostos, principalmente com relação à altura do edifício (Figura 3).

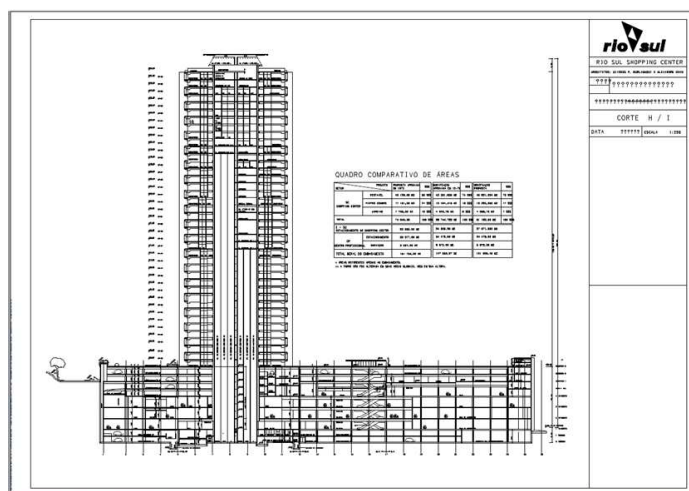


Figura 3: Torre Rio Sul. Corte H/I.
Fonte: Acervo Rio Sul Shopping Center.

A opção de formar um núcleo aglutinador de circulações verticais, bem como de espaços destinados a todo tipo de instalações no centro do edifício foi estratégica pois permitiu gerar pavimentos livres em todo o seu entorno, uma vez que os apoios dos pavimentos se dão apenas em dois pontos: no centro e na fachada. No centro estão posicionados os pilares que envolvem as caixas de escadas e elevadores, formando o núcleo rígido de contraventamento. Essa operação específica de coordenação sistêmica entre núcleo arquitetônico servidor e núcleo estrutural contraventante é exemplar no que diz respeito ao projeto de edifícios altos. Esse núcleo é delimitado por 4 pilares em formato de cantoneira, cujo lado mede 4,20 m, possuindo espessura de 1,00 m, e por paredes de concreto, que possuem algumas aberturas que possibilitam a circulação em torno das caixas de escadas e elevadores, com espessuras que variam de 20cm a 25 cm. As dimensões dos pilares do núcleo sofrem pequenas variações ao longo da altura do edifício. A torre é separada dos pavimentos destinados ao shopping center por juntas de dilatação de 2cm. A decisão de utilizar apenas 2 pilones por fachada, totalizando 8 apoios periféricos, gerou a necessidade de uma seção transversal compatível com as elevadas cargas verticais provenientes dos pavimentos suportados. À esquerda e à direita de cada pilone, nas extremidades do edifício há um prolongamento em balanço que mede 7,05 m e a distância entre os pilones mede 18,00 m. O vão livre entre os pilones, na fachada, e o núcleo contraventante, no centro, mede 10,80 m. Os pilones têm variações nas dimensões da seção transversal ao longo da altura da torre, mantendo-se, porém, seus limites externos, com lados de 3,60 m, perpendiculares à fachada, e 6,00 m, paralelos à fachada, sendo que há um nicho central nos lados externos de 6,00 m, fechado por uma grelha metálica de barras horizontais em toda a altura do edifício. Por sua vez, a estrutura dos pavimentos, apoiada no núcleo e nos pilones, é composta por vigas protendidas paralelas cuja altura é de

35 cm, espaçadas a cada 3,00 m entre eixos, sendo que nas 4 extremidades da planta quadrada existem 4 grelhas formadas por vigas perpendiculares entre si, com altura de 30 cm, e espaçamento de 2,40 m entre eixos. Essa modulação, além de solucionar os desafios estruturais provenientes de vãos grandes, permitiu a racionalização das fôrmas otimizando o seu reaproveitamento durante a construção. Na área interna delimitada pelo formato dos pilones foram criados espaços destinados a dutos de instalações de ar-condicionado, em uma coordenação entre sistema estrutural e sistema de instalações prediais (Figura 4).

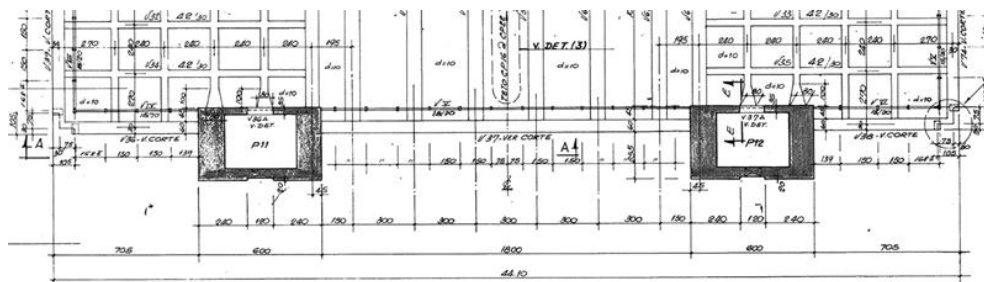


Figura 4: Torre Rio Sul. Trecho da planta de Fôrmas do Teto Tipo, trecho periférico ao núcleo.
Fonte: Acervo Rio Sul Shopping Center.

O sistema construtivo da torre também foi inovador. A execução da estrutura de concreto demandava grande cuidado, tanto no que diz respeito ao acabamento das superfícies, uma vez que seria utilizado o concreto aparente, quanto no controle de prumadas dos pilones e do núcleo contraventante, devido à grande altura do edifício. O planejamento da construção da estrutura foi feito de modo que o núcleo fosse executado antes da periferia. Esse fato gerou bastante complexidade para o projeto estrutural pois demandou um detalhamento específico que permitisse sua execução de modo independente dos demais elementos estruturais do edifício. Os desenhos do projeto estrutural foram elaborados de modo a representar esse processo, ou seja, existem plantas de fôrmas separadas para o núcleo, que possui variações de seções transversais ao longo dos pavimentos da torre, e uma planta de fôrmas separada para a periferia, que se mantém inalterada em todos os pavimentos. Para execução do núcleo rígido, foi utilizado um sistema de fôrmas deslizantes que, sem a tradicional necessidade de sua retirada e recolocação durante o processo, ia sendo elevado por mecanismos à medida que cada nível ia sendo concretado. Devido ao grande volume de concreto necessário para a execução do núcleo, o material precisou ser resfriado com gelo adicionado à mistura, para evitar a fissuração devido ao aumento de temperatura enquanto se desenvolvem as reações químicas do concreto em seu processo de endurecimento. As treliças foram concretadas em fôrmas metálicas pivotantes, fixadas nos pilones. À medida que os pilones eram finalizados, e deles retiradas as suas fôrmas, as fôrmas das treliças eram a eles fixadas, na posição horizontal. Após o despejo, cura e endurecimento do concreto das treliças, as formas eram rotacionadas para a posição vertical para o posicionamento e fixação da treliça nas vigas dos pavimentos inferior e superior. Nas placas da treliça eram deixados furos de $\frac{1}{2}$ " e $1\frac{1}{2}$ " de diâmetro, para que sua fixação nas vigas fosse feita com chumbadores de aço. O processo era repetido à medida que a estrutura da periferia ia sendo concretada (Figura 5).



Figura 5: Torre Rio Sul. Fases da construção.
Fonte: Acervo Rio Sul Shopping Center.

A pele de vidro que envolve a planta quadrada e se localiza em um plano recuado 60 cm com relação ao plano das treliças, foi fixada na estrutura por meio de uma viga intermediária entre as lajes de piso e teto. Essa viga é suspensa por tirantes de concreto com seção transversal de 15 cm x 10 cm fixados na estrutura do teto (Figura 6).

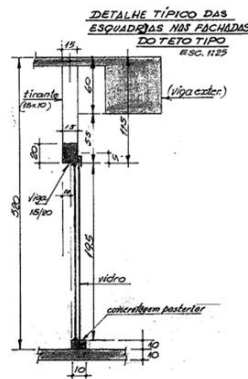


Figura 6: Torre Rio Sul. À esquerda: esquadrias de alumínio e painéis de vidro recuados da fachada. Fonte: Acervo da autora. À direita: Detalhe da estrutura de fixação das esquadrias e painéis de vidro. Fonte: Acervo Rio Sul Shopping Center.

A estratégia adotada para o sistema de vedações e sua vinculação ao sistema estrutural composto pelos pilones enfatiza a articulação de componentes na fachada, como um dos elementos de linguagem que caracteriza o Brutalismo Analítico.

2.2 Materialidade

Concreto aparente e vidro fumê foram, basicamente, os dois materiais utilizados na Torre Rio Sul. São vários os tratamentos de superfície que dão ao concreto da torre as suas

características brutalistas, no que, à época, já fazia parte de um certo repertório de possibilidades. Possibilidades que vinham sendo veiculadas nas revistas da rede de socialização do meio arquitetônico, tanto nas matérias publicitárias, quanto na publicação de projetos. Na Torre Rio Sul, o concreto apicoado é utilizado nos pilones e o concreto liso é utilizado nas treliças, fazendo um jogo de texturas. A superfície apicoada dos pilones é trabalhada de modo que sejam marcados, em baixo relevo, ranhuras horizontais e verticais. As ranhuras verticais possuem um traçado descontínuo e as horizontais um traçado contínuo, o que remete à expressão tectônica da estereotomia em pedra. A profundidade das ranhuras verticais é menor do que a das ranhuras horizontais, o que dá para as ranhuras horizontais uma maior presença no campo visual. As ranhuras foram especificadas no projeto de fôrmas, assim como o apicoamento das superfícies (Figura 7).

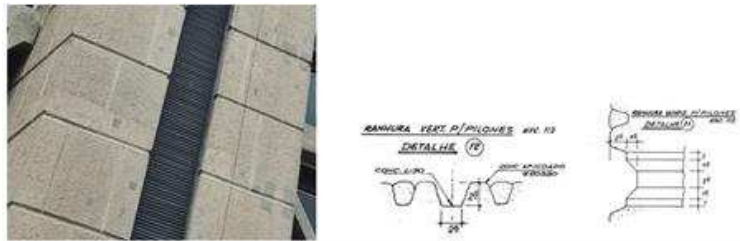


Figura 7: Torre Rio Sul. À esquerda vista ampliada das ranhuras e apicoamento dos pilones. Fonte: Acervo da autora. À direita ampliação do desenho de elevação e fôrmas da fachada. Fonte: Acervo Rio Sul Shopping Center

A superfície lisa das treliças foi obtida por meio da utilização de fôrmas metálicas. A rugosidade dos pilones foi obtida por apicoamento do concreto endurecido, após a retirada das fôrmas. Na fachada do embasamento na Rua Lauro Müller também foi feito um tratamento diferenciado nas superfícies de concreto aparente. Um outro detalhe dá ao conjunto uma camada adicional de textura. As placas de fixação das treliças nas vigas dos pavimentos foram projetadas para abraçá-las, expressando, desse modo, seu processo de encaixe, como foi descrito no processo construtivo. Os furos para o posicionamento das barras de aço, que fixam e consolidam as treliças nas vigas do pavimento previamente executado e temporariamente escorado, foram fechados com concreto e não são perceptíveis. A coexistência desses diferentes tipos de superfície, provenientes de diferentes técnicas construtivas aplicadas ao concreto, é uma demonstração do domínio de Burlamaqui sobre as estratégias de expressão tectônica pensadas para o projeto, decisões que certamente foram tomadas em conjunto com a equipe de desenvolvimento do projeto estrutural e do planejamento da construção, pois o nível de complexidade desse projeto não permitiria decisões unilaterais e voluntaristas (Figura 8).



Figura 8: Torre Rio Sul. Vista ampliada do conjunto formado pela treliça e os pilones.
Fonte: Acervo da autora.

Mesmo tendo sido construída, basicamente, em concreto e vidro, na torre há ainda um outro aspecto da materialidade, para além das texturas trabalhadas do concreto, no que diz respeito à exploração do contraponto entre claro e escuro. Como visto anteriormente, nas quatro fachadas da torre há uma interrupção no plano avançado da seção do pilone, que gera uma faixa vertical contínua e escura em cada pilone ao longo de toda a sua prumada, e que contrasta com as duas claras faixas verticais de concreto aparente a ela adjacentes. No outro sentido, perpendicular à prumada dos pilones e no plano recuado das treliças, há uma alternância de faixas claras, na região das treliças, e escuras, na região onde só há os painéis de vidro escuro. Assim, forma-se na fachada uma espécie de jogo combinatório entre horizontal e vertical, claro e escuro, pontuado pelos elementos inclinados das treliças (Figura 9).



Figura 9: Torre Rio Sul. Fase final da construção.
Fonte: Acervo Rio Sul Shopping Center.

As treliças de concreto, assim como os pilones cumprem papel importante na ênfase brutalista da torre. É nítida, nessa estratégia, a intenção de tirar partido de um conceito arquitetônico de imagem como uma entidade visual imediatamente apreensível – uma forma capturada pela visão e confirmada pela experiência de utilização da edificação. Para além de sua função estrutural, as treliças da Torre Rio Sul, associadas aos pilones em que estão fixadas, cumprem o papel de dar identidade visual ao projeto. A imponência da torre e sua estratégica localização cumpriram o desejo dos incorporadores de reconfigurarem a noção de endereço. Com poucos materiais e estratégias extremamente racionalizadas de projeto, Burlamaqui e Chan operaram

com os valores arquitetônicos do debate internacional de sua contemporaneidade e implantaram na cidade um conjunto edificado dentro do cânone brutalista, associando ética e estética. Atuando dentro dos imperativos sistêmicos do mercado imobiliário, elaboraram um projeto onde é possível identificar estratégias projetuais inseridas em operações complexas e multidisciplinares, em interlocução com os diversos atores participantes desse processo. É possível constatar que, mesmo já passados 50 anos, a Torre Rio Sul continua sendo um marco arquitetônico da cidade do Rio de Janeiro.

3. CONCLUSÕES

É notória a racionalização adotada no projeto e execução da Torre Rio Sul, assim como as estratégias analíticas empregadas em sua elaboração. Nesse sentido, é possível observar a existência de uma metodologia interdisciplinar de projeto desde o momento da concepção, envolvendo todas as esferas que contribuem para sua realização. Arquitetura, estrutura, instalações gerais e construção, em coordenação modular e sistêmica, foram disciplinas mobilizadas para a elaboração do projeto desde seu momento inicial e, talvez por isso, o arquiteto mencione as “formas cristalizando-se sobre conceitos artísticos e técnicos – ambos contemporâneos – aplicados ao programa”. Nessa estratégia, o todo é resultado de um conjunto de componentes, cujo papel específico pode ser analisado separadamente em todo o processo de projeto e construção. Além disso, são componentes que, como tal, manifestam-se expressivamente na forma. Segundo Burlamaqui, “o sistema estrutural básico do projeto resulta na sua própria fachada”. É perceptível uma ênfase especial na treliça da fachada que, apesar de monoliticamente moldada em concreto, parece ter sido construída por uma metodologia de junção de hastes verticais, horizontais e inclinadas. Essa parece ser a lógica de um Brutalismo Analítico que se manifestou na arquitetura das décadas de 1960-70, em projetos elaborados por alguns arquitetos de formação carioca. No caso da Torre Rio Sul, apenas dois materiais protagonizam o que Burlamaqui caracterizou com “arquitetura-verdade”, em uma proposta arquitetônica que opera nitidamente no domínio da dialética ética x estética – discussão que permeou o movimento com diferentes conotações em diferentes lugares. A Torre Rio Sul é apenas uma das evidências materiais da rede de socialização na qual certa arquitetura de matriz carioca operou nas décadas de 1960-70. Há muito o que pesquisar e, conseqüentemente, rever no âmbito da historiografia do período, de um modo geral, e da arquitetura de matriz carioca em particular.

REFERÊNCIAS

- [1] Aguiar, M. C. – *Arquitetura Carioca nas décadas de 1960-70: Articulações em redes de socialização*, Tese de Doutorado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2023, 627 p.
- [2] Czajkowski, J. - *Arquitetura Brasileira: Produção e Crítica*. In: Comas, C. E. (Org.). Projeto arquitetônico disciplina em crise, disciplina em renovação. São Paulo: Projeto, 1986, p. 9-13.
- [3] Koselleck, R. – *História de Conceitos*. Contraponto, 2020, 559 p.
- [4] Argan, G. C. – *Projeto e Destino*. Editora Ática, 2001, 334 p.
- [5] Burlamaqui, U. - *Rio Sul Center, Rio de Janeiro, Revista PROJETO*, vol. 25, 1980.

BUILDING INFORMATION MODELLING (BIM)

INTERFACE DE INTEROPERABILIDADE PARA SIMULAÇÃO DE ILUMINAÇÃO NATURAL E ARTIFICIAL DE MODELOS BIM



Leonardo de Oliveira Gomes
Professor Escola de
Arquitetura, Design e
Urbanismo - UFMG
Belo Horizonte, Brasil



Yuri Scatrut Ribeiro de Andrade
Arquiteto especialista
em sustentabilidade
pela UFMG –
Belo Horizonte, Brasil

Resumo:

A abordagem BIM (Modelagem da Informação da Construção) é uma transformação holística no desenvolvimento e gerenciamento de projetos de construção, exigindo mudanças significativas em processos, comportamentos e uso de tecnologia. A adaptação comportamental é um desafio, pois as pessoas tendem a resistir às mudanças. No entanto, a tecnologia BIM facilita a integração e colaboração entre equipes.

Este artigo apresenta uma interface de simulação de iluminação natural e artificial para modelos BIM, promovendo a interoperabilidade e envolvendo equipes multidisciplinares e usuários. A interface utiliza *Game Engines*, softwares com alto poder gráfico para simulações arquitetônicas.

O desenvolvimento inicial foca na simulação de iluminação com georreferenciamento e dados bioclimáticos, mas futuramente pode abranger ventilação, climatização e fluxo de pessoas. O objetivo é promover mudanças de comportamento e otimizar o uso da plataforma BIM, utilizando *game engines* e realidade virtual para melhorar a compreensão, análise, colaboração e comunicação, resultando em projetos e obras mais eficientes e bem-sucedidos.

Palavras-chave: Simulação; iluminação; BIM, interoperabilidade; *games engines*.

1. Introdução

No setor de construção civil, a integração de tecnologias inovadoras tornou-se crucial para superar as dificuldades cada vez mais complexas deste campo. Entre estas inovações, a classe de softwares *Building Information Modeling* (BIM) surge como uma abordagem atualizada e holística para o planejamento e administração de estruturas e infraestruturas (Eastman et al., 2011)[1].

Para Hardin (2009)[2], a metodologia BIM viabiliza a produção de modelos digitais tridimensionais acurados de edificações, propiciando uma visão global do projeto desde o nascimento, realização até sua manutenção. Saks (2018)[3] comenta que a tecnologia BIM é amplamente reconhecida por suas vantagens, como a diminuição de custos e prazos de construção, a otimização da coordenação do projeto e a elevação da qualidade da obra. Mas Wassim (2013)[4], acrescenta importante comentário; a modelagem de informações de construção surgiu de uma real necessidade de se conseguir representações virtuais válidas dos objetos reais, que compõem o ambiente construído, com propósitos de parametrização e simulação.

Segundo Azhar (2011)[5] a parametrização permite ajustes e adaptações prática das características dos elementos construtivos, o que é vital para a adaptabilidade do projeto, favorecendo a administração e coordenação, aprimorando a programação e minimizando o desperdício. Sobre simulação Chong (2022)[6] afirma que a abordagem pela simulação computacional propicia projetar, entender, prever, avaliar e verificar os estados de um sistema, permitindo a geração e avaliação de diferentes configurações e cenários de construção.

Parametrização, simulação e integração de modelos de informações representam os principais processos emergentes da *Virtual Design and Construction* (VDC), que permite o teste e visualização de processos antes que a construção real ocorra. A simulação assume papel relevante no atual estado da arte das tecnologias digitais de auxílio ao projeto.

A proposta deste artigo é o desenvolvimento de um aplicativo de simulação de iluminação para modelos de informações gerados por BIM, que possua alto grau de acuidade técnica quanto aos valores e propriedades dos modelos de ambiente construído e dos materiais utilizados, incorporando ainda georreferenciamento e dados bioclimáticos localizados. Para tal adotou-se o uso da *game engine* do fabricante de jogos Unreal.

Desenvolver um simulador relacionado ao uso de BIM tem como objetivo explorar as questões de interoperabilidade desta classe de software, ou seja, a habilidade de distintos sistemas e tecnologias de compartilhar e utilizar informações.

Porém, são muitos os questionamentos ao se associar uma *game engine* com simuladores ambientais na arquitetura, como a capacidade de simular fisicamente um ambiente realista, o banco de dados de materiais para projeto, a interoperabilidade com softwares da classe BIM, a dificuldade de uso de programação, a validade de resultados obtidos e a comparação com softwares de simulação já existentes. Por fim, ainda pode-se indagar por que utilizar um software de produção de jogos para simulações ambientais que exigem exatidão e acuidade nos resultados para validar projetos.

Esses questionamentos serviram de base para o desenvolvimento da pesquisa. Entretanto, ela mostra-se relevante por seu grau de ineditismo, tratando de assunto quase inexistente na bibliografia relacionado ao projeto arquitetônico e tecnologias digitais de auxílio ao projeto.

2. BIM e Interoperabilidade

A despeito de seu potencial revolucionário, a aplicação do BIM ainda encontra muitos obstáculos e dentre eles um se destaca; a interoperabilidade. De acordo com ISO/IEC 2382 (2015)[7], interoperabilidade é a capacidade de comunicação, execução ou transferência de dados entre unidades funcionais de aplicativos. Para Grilo et al (2010)[8] é considerada uma das dificuldades mais relevantes no contexto do BIM. Beetz et al. (2009)[9] definem que a incompatibilidade de softwares, a ausência de padrões universais para a troca de dados e a complexidade em administrar e coordenar informações de várias origens podem comprometer a interoperabilidade no BIM. Em particular, o problema se evidencia quando modelos gerados em BIM são transferidos para simuladores ambientais, o que segundo Yeganiantz (2016)[10], frequentemente resulta em perda ou distorção de informações.

O formato IFC (*Industry Foundation Classes*) é um esquema aberto (*Open Data*) de troca de dados destinado aos trabalhos de arquitetura e indústria da construção, sendo um dos mais utilizados. Ao estudo interessa o fato de se tratar de um formato aberto e que pode ser gerado como arquivo de troca para os modelos criados em BIM. Por esse motivo o formato será utilizado como parâmetro comparativo de interoperabilidade, mesmo quando Di Biccari et al.(2022)[11] cita que as plataformas BIM que contém a opção de exportação para IFC, geram arquivos de baixa qualidade.

A classe BIM permite a criação de modelos digitais tridimensionais precisos de edifícios, com visão sistêmica do projeto. No entanto, Natephra (2017)[12] cita que existem críticas pertinentes aos softwares de simulação ambiental, especialmente no que diz respeito à percepção de projeto na simulação de iluminação. Di Biccari et al.(2022)[11] reforça que a busca pela interoperabilidade entre BIM e simuladores ambientais enfrenta obstáculos notáveis, apesar do progresso substancial já alcançado em ambos os domínios. Para Hijazi et al (2015)[13], Gigliarelli et al. (2019)[14], Chen et al (2018)[15] e Cemesova et al (2013)[16], os aplicativos BIM e os simuladores foram desenvolvidos e evoluíram com base em princípios divergentes, o que frequentemente leva ao uso de simuladores independentes e a falta de compatibilidade desses aplicativos independentes dificulta um mapeamento, que aproveite corretamente o potencial orientado a objetos dos modelos de informações gerados nas plataformas BIM.

Negendahl (2015)[17], Cemesova et al (2015)[18] e Calquin et al (2014)[19] indicam que a lacuna entre BIM e os simuladores ambientais é ainda mais acentuada pela preferência dos usuários por trabalhar nestes ambientes separados. Tipicamente, os arquitetos se encarregam do design do edifício, enquanto os engenheiros lidam com o desenvolvimento do modelo.

Algumas empresas de software de simulação vendem seus produtos como compatíveis BIM, mas a realidade é que a transferência de modelos 3D sem *metadata*, exigem que informações técnicas sejam inseridas no simulador manualmente e que modelos 3D sejam redesenhados. E temos Hetherington et al (2012)[20] que lembram que após o uso das simulações, todos os resultados e soluções geradas, tem que ser reinseridos manualmente no modelo BIM nativo.

Todo esse retrabalho durante o processo, pode levar a uma compreensão fragmentada do desempenho e da eficiência lumínica do edifício, prejudicando a eficácia da simulação e modelagem. Por outro lado, Natephra (2017)[12] defende que a utilização de uma *Game Engine* para a produção de um simulador de iluminação artificial deve ser considerada.

3. Game Engines e Unreal Engine

As *game engines*, também conhecidas como motores de jogos, são plataformas de software pré-programadas que facilitam a produção de jogos. Lewis et al (2002)[21] afirmam que elas fornecem um conjunto abrangente de ferramentas que inclui programação visual, simulação, renderização, inteligência artificial, entre outras, possibilitando a criação de ambientes virtuais interativos e imersivos. Recentemente, esses motores de jogos expandiram suas aplicações para além dos jogos, abrangendo áreas como arquitetura, engenharia e construção. Para Portman (2015)[22], nesses campos, as *game engines* podem ser utilizados para criar visualizações arquitetônicas realistas, simulações interativas de construção e até mesmo para exploração visual de modelos BIM. A utilização desses motores de jogos na construção de simuladores tem se intensificado, dando origem aos *Serious Games* (SG), que segundo Silva (2018)[23] representam aplicações em diversas áreas, como e-esporte, treinamentos de equipes militares, tele cirurgias e treinamentos médicos, entre outros. No entanto, a aplicação de *Serious Games* permanece notavelmente subutilizada no setor da construção civil, com poucos registros bibliográficos e relatos de aplicação. A incorporação de *game engines* na criação de simuladores ambientais tem o potencial de transformar as práticas correntes de elaboração de projetos. A sofisticação gráfica desses softwares favorece a produção de simuladores com representações fotorealísticas e com imersão em realidade virtual, aumentando a interatividade aprimorando a compreensão dos resultados.

A *Unreal Engine* (UE), desenvolvida pela Epic Games, é uma das *game engines* mais populares e poderosas do mercado. Conforme Shiratuddin et al (2011)[24] ela é conhecida por sua capacidade de gerar gráficos de alta qualidade em tempo real, sua flexibilidade e pela gama de ferramentas que oferece para a criação e manipulação de ambientes 3D. No contexto do BIM, Parn et al (2017)[25] citam que a *UE* pode ser usada para criar visualizações arquitetônicas detalhadas e imersivas, permitindo aos profissionais da AEC e aos clientes explorar os modelos BIM de uma maneira mais intuitiva e interativa.

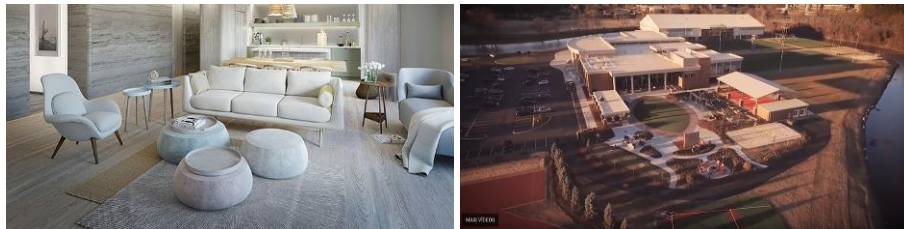


Figura 1: Renderização fotorealística interno e externo usando a *Unreal Engine*

No tocante a compatibilidades, a *Unreal Engine* conta com um *plugin*, chamado *Datasmith*, que desempenha um papel crucial para facilitar a interoperabilidade entre a UE e BIM. Ele faz importação de modelos 3D e dados associados de uma variedade de formatos de arquivo, incluindo aqueles utilizados por muitos softwares da classe BIM (Epic Games, 2020)[26].

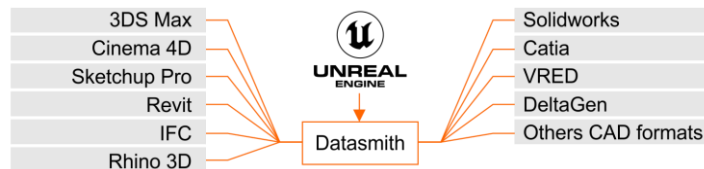


Figura 2: Arquivos suportados pelo Datasmith. Elaborada pelos autores

Embora softwares de projeto e simulação permitam que o usuário manipule o modelo projetado apenas ao longo de trajetórias pré-definidas com suas ferramentas, a *game engine* oferece total liberdade, permitindo que o projetista se torne um desenvolvedor e programe suas próprias ferramentas de trabalho. Contudo, deve-se salientar que a ideia de iniciar um projeto diretamente em uma *game engine* seria não apenas trabalhosa, mas também um retrocesso no sistema de elaboração de projetos atualmente em vigor.

4. A proposta da Interface

Este estudo tem como finalidade avaliar a capacidade e o potencial das *game engines*, com foco específico na *Unreal Engine*, em relação às simulações ambientais. Considerando a capacidade gráfica dessas plataformas, tais simulações não se limitariam a gráficos e análises bidimensionais ou visualizações tridimensionais de baixa qualidade. Em vez disso, elas poderiam ser visualizadas em tempo real, proporcionando ao projetista maior imersão na edificação, expandindo a sua percepção dos eventos de projeto. Os softwares da classe BIM são fundamentais para a criação de edificações virtuais, por isso testar a interoperabilidade entre eles e as *game engines* é relevante para o estudo, pois assim o desenvolvedor consegue criar ferramentas de simulação para a edificação ainda em projeto.

Importante citar que a interface / aplicativo proposto não tem como objetivo descartar ou avaliar os simuladores computacionais existentes. Os objetivos são a) explorar o potencial da *Unreal Engine* como ferramenta de simulação, trazendo o conceito de *Serious Game* para a área do projeto do ambiente construído; b) testar uma interface fotorealística para avaliações de conceitos de iluminação durante a fase de projeto; c) validar a interoperabilidade dos arquivos garantindo a acuidade técnica das informações de projeto e d) testar a possibilidade de uso de realidade virtual imersiva para teste de iluminação virtual em ambiente construído.

A interface / aplicativos propiciará um passeio arquitetônico por um modelo de informação importado com acuidade técnica de uma plataforma BIM, com visualização em tempo real das variações das iluminações naturais e artificiais, com posicionamento georreferenciado.

As simulações ambientais abrangem várias áreas como iluminação natural e artificial, ventilação natural e artificial, térmica, acústica e muitas outras. Mas, o foco será a simulação de iluminação natural e artificial. Contudo, não faz parte da pesquisa a calibração dos medidores desenvolvidos e das medições indicadas durante as simulações. Esse alinhamento às normas, legislações e boas práticas estão previstas como etapa posterior à validação da pesquisa.

5. Avaliação de Interoperabilidade BIM

A constatação da viabilidade deste trabalho se iniciou pela a) constatação da interoperabilidade entre o *Revit* e a *Unreal Engine*; b) pela capacidade de importação de modelos de informação de famílias BIM de fornecedores oficiais; c) precisão dos dados importados pela *UE* e d) pelo potencial de manipulação que permite elaborar simulações em realidade virtual.

5.1. Instalação do plugin *Datasmith* e processo de importação e exportação

Para avaliar a interoperabilidade do sistema e conduzir a pesquisa, foi preciso inicialmente instalar o plugin *Datasmith* no *Revit* e na *Unreal Engine*. Em sequência, importar um projeto BIM requisito fundamental. Optou-se pelo Projeto Básico de Amostra (PBA) do *Revit* (Figura 3). Modelos BIM de luminárias oriundos de sites oficiais de fornecedores foram incorporados posteriormente para a análise da fidelidade dos dados referentes às iluminações artificiais. Dentro do *Datasmith* foram selecionados os elementos de maior relevância para o estudo, que foram: Unidade e Escala, Nomes e Rótulos (*Labels*), Iluminação, Materiais e Metadados.

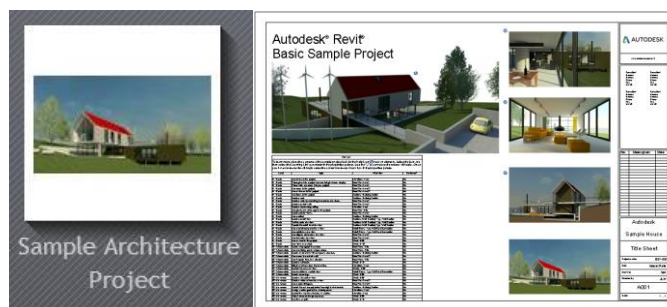


Figura 3: Projeto básico de amostra do *Revit*

5.2. Importação de arquivos. *Datasmith*

Ao selecionar o arquivo, o plugin efetua automaticamente o carregamento do projeto no ambiente de edição da *Unreal Engine*. A primeira observação relevante é que o arquivo foi importado já com os materiais previamente configurados no *Revit*. Também foi possível reconfigurar estes materiais dentro do ambiente da *engine*. No entanto, tal prática não é recomendável, visto que o objetivo é preservar a fidelidade dos dados e materiais do projeto original.

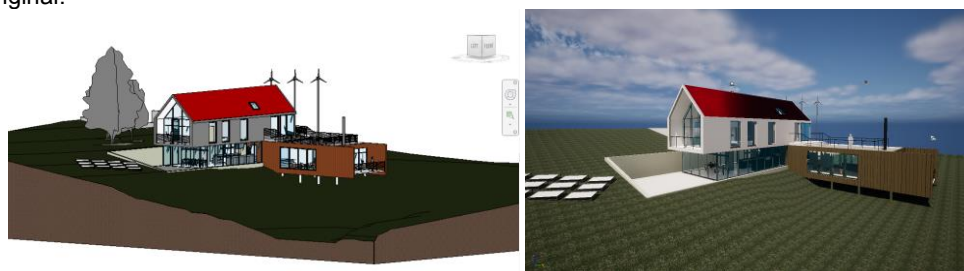


Figura 4 - Vista do *Revit* e vista na *Unreal Engine*

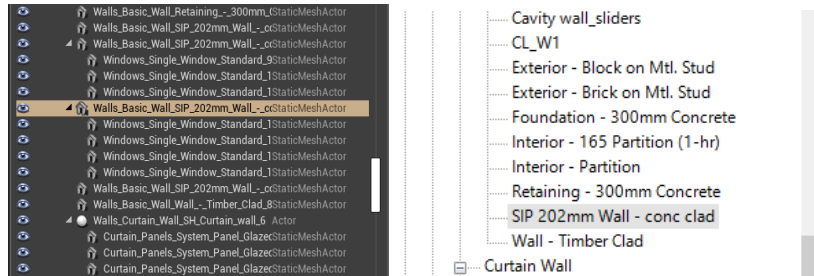


Figura 5 - Relação entre blocos, famílias e camadas na *Unreal Engine* e *Revit*

Rótulos foram gerados automaticamente na UE identificando cada item e subitem do projeto, mantendo a nomenclatura e hierarquia das famílias presentes no Projeto Básico de Amostra (PBA) do *Revit*, o que validou a compatibilidade dos sistemas de organização do *Revit* à *Unreal Engine*. Embora não consolide todas as famílias sob um único nome, permite a seleção independente de cada item. O *Datasmith* ajusta o nome de cada objeto para facilitar a identificação da referência correspondente (Figura 5, página anterior).

As unidades e escalas foram preservadas durante o processo. Devido à configuração de projeto na *Unreal Engine*, as medidas foram convertidas para centímetros, enquanto no *Revit*, as medidas estavam expressas em milímetros.

O estudo prosseguiu com a tentativa de importação de famílias *Revit* de iluminação para analisar a correspondência de dados e a representação de iluminação em comparação ao Projeto Básico de Amostra. Modelos de luminárias da Philips foram utilizados. O modelo importado está representado na Figura 6.

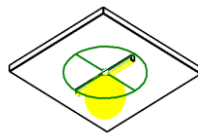


Figura 6 - Família *Revit* do modelo 63_PHILIPS_TrueLine_surface_mounted-SM530C_SM531P_L1130-3D

Inicialmente o modelo BIM vem com indicação de intensidade de luz em W (watts) enquanto a UE tem por padrão o valor em cd (candelas). Ao exportar o arquivo sem alterar sua unidade, ele pode apresentar incompatibilidade de valores. Por esse motivo, há a necessidade de alterar a unidade de medida de W para cd no *Revit*, antes de exportar o arquivo pelo *Datasmith*.

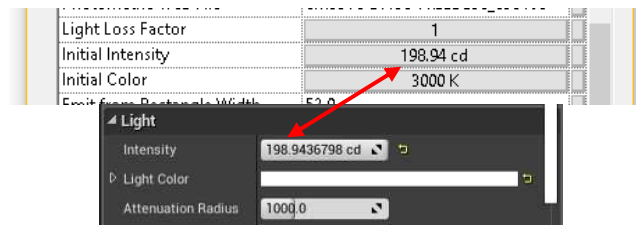


Figura 7 – Unidade de Intensidade de iluminação compatibilizada (*Revit* acima UE abaixo)

É imprescindível ressaltar que não é viável modificar os valores dos arquivos das famílias do *Revit* através da *Unreal Engine*. Qualquer alteração efetuada incidirá apenas sobre o modelo na tela de edição, sem influenciar os parâmetros da família que foi importada para a *engine*. Caso o modelo seja reinserido, ele manterá os parâmetros originais.

6. Configuração de iluminação natural na *Unreal Engine*

6.1. *Sun Position Calculator*

Sun Position Calculator é um *plugin* da UE que proporciona aos desenvolvedores a capacidade de integrar um sistema solar baseado em coordenadas geográficas autênticas. Ele permite que todas as informações relativas ao posicionamento solar possam ser pré-configuradas em edição, assim como ter um controlador implementado para possibilitar o controle da posição solar em tempo real.

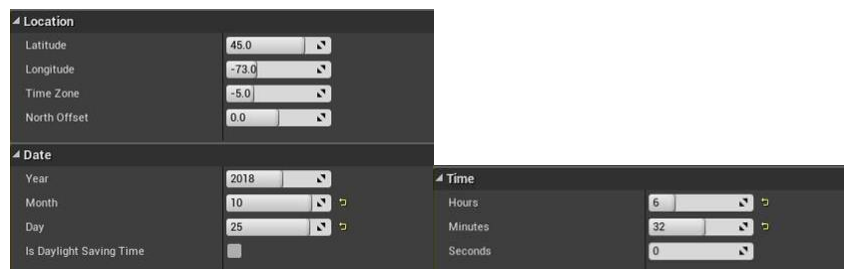


Figura 8 - Configuração do *plugin Sun Position* na *Unreal Engine*

O *plugin Sun Position* já configura previamente o sol como um ponto de luz. E a UE fornece uma gama de configurações de iluminação e pós-produção que favorecerão a calibragem de iluminação global.

7. O Aplicativo de Simulação de Iluminação

Como ferramenta padrão, foi elaborado um sistema de alteração de imagem, de fotorealista para *false color*, no qual a iluminação pode ser percebida por graduação de tonalidade. O gradiente percorre da cor amarela para mais iluminação, ao azul para cores mais escuras.



Figura 9 – Imagem *false color* para avaliação de iluminação (esquerda sem configuração de materiais, direita com as configurações)

Os dispositivos de iluminação artificial, como as luminárias (Figura 10) podem ser ligadas e desligadas para avaliação de interação da iluminação em tempo real, permitindo análises relacionadas às propriedades relacionadas, como o ofuscamento de iluminação em materiais mais reflexivos, absorção, espelhamentos, etc..

Testando as interações com diferentes tipos de iluminação artificial, simulamos a inserção de um objeto com fita de LED atrás de um módulo fixado na parede e foi possível avaliar sua intensidade também.

Para calcular a intensidade de iluminação, programou-se um algoritmo para um luxímetro que reconhece as pequenas diferenças de iluminação no ambiente em tempo real. A Figura 12 mostra o disco de graduação de cor com o valor inserido, assim como o ponto de captura em tela em um pequeno quadrado central.



Figura 10 – Iluminação ligada com ofuscamento e iluminação desligada

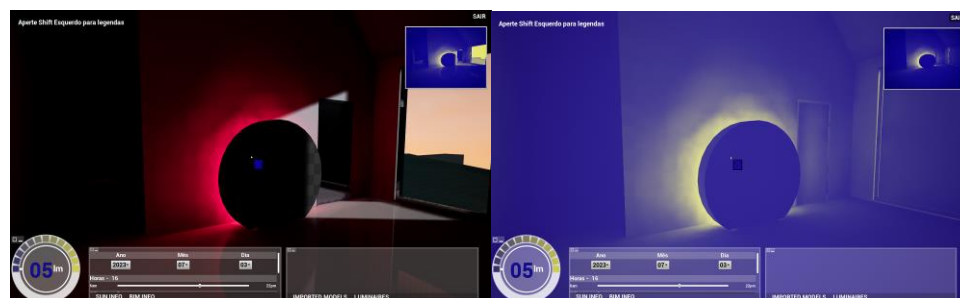


Figura 11 – Objeto com fita de led

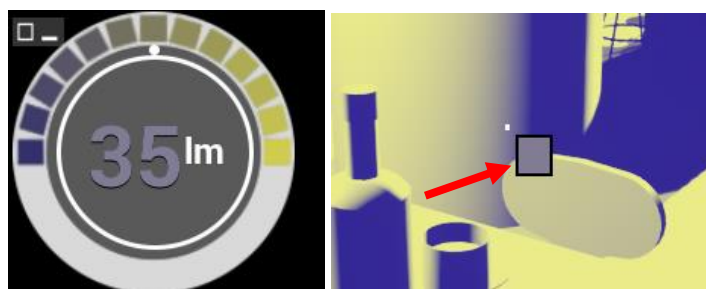


Figura 12 – Luxímetro em disco e ponto de reconhecimento

Foi desenvolvida uma ferramenta de captação e interação de *metadata* para cada família de modelo de informação desenvolvida em BIM, funcionando em tempo real (Figura 13).

Category	Walls
Family	Basic Wall
Host	
Height	
Length	19702
Width	
Type	SIP 202mm Wall - conc clad
Area	43 m ²
Volume	8.15 m ³
Elevation_at_Bottom	
Elevation_at_Top	
Level	
Perimeter	
Material	Structure - Timber Insulated Panel - Insulation
Structural_Material	Structure - Timber Insulated Panel - Insulation
Thickness	
Absorptance	0.1
Thermal_mass	0.0210 (m ² ·K)/W
Thermal_Resistance	0.0210 (m ² ·K)/W
Heat_Transfer	47.5455 W/(m ² ·K)
Coefficient_U	
Width	202
Description	Structural Insulation Panel Wall with Kiln Dried Timber Panel Rainscreen
Main_Unit	Exterior
Function	
SUN INFO	BIM INFO

Figura 13 – Metadata em tempo real

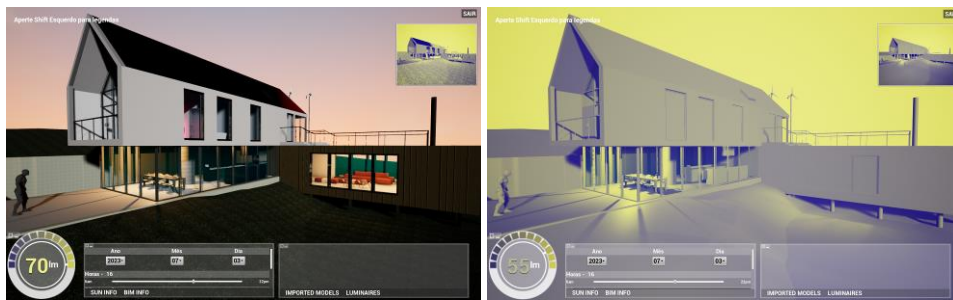


Figura 14 – Janelas com falta de especificação

Por fim, gerou-se interação com possível edificação vizinha, simulando um entorno urbano e bloqueio solar por vegetação. Percebe-se pela Figura 15, a interação de uma árvore com a edificação em fevereiro e em julho. Facilmente se avalia o bloqueio das janelas em época de verão e a permeabilidade do sol nos meses de inverno. A relação edificação entorno também apresenta rapidamente possíveis alterações em apresenta exatamente o horário em que o sol iluminará a construção.

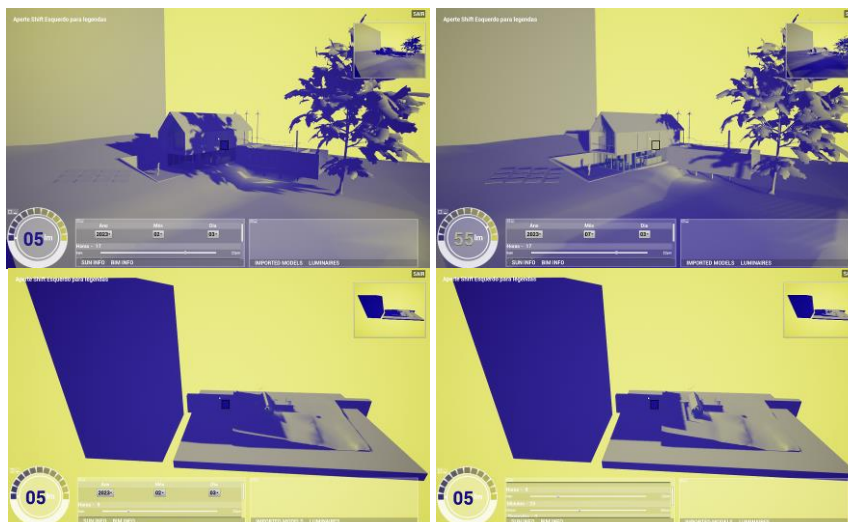


Figura 15 – Interação com entorno e vegetações (elemento de bloqueio solar)

8. Considerações finais

Os resultados dos experimentos indicam que é possível uma garantia de acuidade técnica na importação de modelos de informação de construção, validando positivamente a interoperabilidade BIM com o aplicativo desenvolvido, de forma altamente satisfatória. A *Unreal Engine* demonstrou potencial para emergir como um eficaz simulador ambiental para avaliação de iluminação natural e artificial.

Outros pontos como movimentação pelo ambiente, referências de geoposicionamento, medições em tempo real em situações relacionadas aos materiais e a possibilidade da imersão em realidade virtual também se mostraram satisfatórias. A validação da interoperabilidade BIM com a UE abre um leque de possibilidades considerável. A UE se mostra como uma plataforma de programação flexível, onde uma diversidade de ferramentas pode ser implementada para atender a demandas específicas. Esta flexibilidade tem o potencial de revolucionar a maneira como arquitetos e engenheiros interagem com suas criações virtuais, permitindo uma maior liberdade de exploração e inovação. Além disso, é importante enfatizar a potencial mudança de comportamento que essa integração pode provocar nos profissionais de projeto. As equipes da área de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) podem começar a considerar a programação como uma habilidade essencial para a criação e personalização de suas próprias ferramentas de trabalho. Neste contexto a UE se destaca como plataforma atrativa, pois permite a programação diretamente em cima de dados BIM, oferecendo a possibilidade de capacitar os profissionais a desenvolverem soluções personalizadas, com precisão e eficiência. Essa evolução potencial nos métodos de trabalho da AEC representa uma importante transformação nos projetos e na indústria. A capacidade de personalizar e programar em uma plataforma de dados BIM pode levar a um aumento significativo na eficiência, precisão e inovação na elaboração e execução de projetos auxiliados pela simulação.

Referencias

- [1] Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors**. Wiley.
- [2] Hardin, B. (2009). **BIM and Construction Management: Proven Tools, Methods, and Workflows**. Sybex.
- [3] Sacks, R., Eastman, C. M., Lee, G., & Teicholz, P. (2018). **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers**. Wiley.
- [4] Wassim, Jabi – **Parametric Design for Architecture**. Laurence King Ltd, London - 2013
- [5] Azhar, S. (2011). **Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry**. *Leadership and Management in Engineering*, 11(3), 241-252.
- [6] Chong, Oscar Wong, Zhang, Jiasong, Voyles, M. Richard e Min, Byung-Cheol - **BIM-based simulation of construction robotics in the assembly process of wood frames** – Elsevier, *Automation in Construction* - 2022
- [7] ISO/IEC 2382:2015. (2015). **Information technology — Vocabulary**.
- [8] Grilo, A., & Jardim-Goncalves, R. (2010). **Value proposition on interoperability of BIM and collaborative working environments**. *Automation in Construction*, 19(5), 522-530.
- [9] Beetz, J., Van Leeuwen, J., & De Vries, B. (2009). **lfcOWL: A case of transforming Express schemas into ontologies**. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, 23(1), 89-101.

- [10] Yeganiantz, I. (2016). **Interoperabilidade de dados de modelos BIM para simulação energética**. Master's thesis, Federal University of Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brazil.
- [11] Di Biccari, C., et al., 2022. **Building information modeling and building performance simulation interoperability: State-of-the-art and trends in current literature**. *Adv. Eng. Inform.* 54, 101753.
- [12] Natephra, W.; Motamedi, A.; Fukuda, T.; Yabuki, N. **Integrating building information modeling and virtual reality development engines for building indoor lighting design**. *Vis. Eng.* 2017, 5, 21.
- [13] Hijazi, M., Kensek, K., & Konis, K. (2015). **Bridging the Gap: Supporting Data Transparency from BIM to BEM**
- [14] Gigliarelli, E., Calcerano, F., D'Uffizi, C., Di Biccari, C., Mangialardi, G., & Campari, M. (2019). **From Heritage BIM to BPS, a computational design-based interoperability approach**. In: *Proceedings of Building Simulation 2019*, Rome, Italy, 2-4 September.
- [15] Chen, S. Y., & Hsieh, W. H. (2018). **A green building information modelling approach: building energy performance analysis and design optimization**. *MATEC Web of Conferences*, 169, 01004.
- [16] Cemesova, A., Hopfe, C. J., & Rezgui, Y. (2013). **An approach to facilitating data exchange between BIM environments and a low energy design tool**. In: *Proceedings of the 13th Conference of International Building Performance Simulation Association*, Chambéry, France, 26-28 August.
- [17] Negendahl, K. (2015). **Building performance simulation in the early design stage: An introduction to integrated dynamic models**. *Automation in Construction*, 54, 39-53.
- [18] Cemesova, A.; Hopfe, C.; McLeod, R. (2015). **PassivBIM: enhancing interoperability between BIM and low energy design software**. *Automation in Construction*, 57, 17-32 September.
- [19] Calquin, D. A. L., Wandersleben, G., & Castillo, L. S. (2014). **Interoperability map between BIM and BPS software**. In: *Proceedings of the 32nd CIB W78 Conference*, Orlando, Florida, USA, 23-25 October.
- [20] Hetherington, R., Laney, R., & Peake, S. (2012). **Zone Modelling and Visualisation: Keys to the Design of Low Carbon Buildings**. In: *Proceedings of the 16th International Conference on Information Visualisation*, Montpellier, France, 10-13 July.
- [21] Lewis, M., & Jacobson, J. (2002). **Game engines in scientific research**. *Communications of the ACM*, 45(1), 27-31.
- [22] Portman, M. E., Natapov, A., & Fisher-Gewirtzman, D. (2015). **To go where no man has gone before: Virtual reality in architecture, landscape architecture and environmental planning**. *Computers, Environment and Urban Systems*, 54, 376-384.
- [23] Silva, Deyvson Lazaro. **Análise de Ferramentas e Desenvolvimento de Jogo para Treinamento de Paratletas**. Trabalho de Graduação em Ciência da Computação, UFPE, 2018.
- [24] Shiratuddin, M. F., & Thabet, W. (2011). **Utilising a 3D game engine to develop a virtual design review system**. *ITcon*, 16(2), 101-120.
- [25] Pärn, E. A., Edwards, D. J., & Sing, M. C. P. (2017). **The building information modelling trajectory in facilities management: A review**. *Automation in Construction*, 75, 45-55.
- [26] Epic Games. (2020). **Unreal Engine Datasmith**. <https://docs.unrealengine.com/en-US/WorkingWithContent/Importing/Datasmith/Overview/index.html>

**BIM NO ENSINO DE PROJETO DE REABILITAÇÃO ARQUITETÔNICA:
Estudo de caso do Museu Integrado de Roraima**



Daniel Luiz Oliveira
Doutorando,
PROARQ/UFRJ – Rio
de Janeiro, Brasil



**Marcos Martinez
Silvano***
Professor,
PROARQ/UFRJ – Rio
de Janeiro, Brasil

Resumo:

O *Building Information Modeling* (BIM) ou Modelagem da Informação da Construção ainda é pouco explorado em cursos de arquitetura e urbanismo do Brasil, estando em muito dos casos relacionados a modelagem do projeto arquitetônico, sem explorar outros métodos BIM ligados a colaboração, análise e simulação de modelos. Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo demonstrar como o processo BIM podem ser utilizado no ensino teórico e prático da disciplina de Projeto de Arquitetura VI – Reabilitação, do curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Roraima – UFRR. Tendo em vista que o projeto de reabilitação arquitetônica requer o levantamento de informações sobre uma edificação existente que possa apresentar patologias de ordem estruturais ou não e que em muitos dos casos são ignorados no processo de ensino de projeto. A partir disso, a proposta de ensino aqui apresentada utiliza-se do BIM para que os alunos possam entender, a partir de um mapa de danos da edificação, quais decisões possam ser tomadas na requalificação de uma edificação. Para isso, foi utilizado como exercício a modelagem do Museu Integrado de Roraima, de modo que os alunos mapeassem as patologias aparentes do prédio e assim propusessem uma melhor proposta de intervenção ao objeto de estudo, mantendo nesse processo o histórico das informações relevantes para a edificação. Nesse sentido, essa proposta de ensino revelou que é possível preparar os alunos para o uso de ferramentas BIM sem a partir da matriz curricular existente, necessidade de se criar disciplinas de ensino do BIM, dissociadas do processo de projeto arquitetônico.

Palavras-chave: Ensino de Arquitetura, Modelagem da Informação da Construção, BIM, Roraima

* Autor correspondente – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro - PROARQ/FAU/UFRJ. Avenida dos Ipês s/n, Prédio da Reitoria - Sala 435, Bairro: Ilha do Fundão CEP:21941-590 – Rio de Janeiro - Brasil. Telef.: +55 21 39380288 e-mail: silvano@fau.ufrj.br

1. INTRODUÇÃO

No contexto de otimização do processo construtivo e de redução de desperdícios em obras tem-se exigido cada vez mais aos profissionais de arquitetura e engenharia civil, especializações que prezem a eficiência tecnológica dos projetos, a partir de ferramentas digitais.

A Modelagem da Informação da Construção – *Building Information Modeling* (BIM) – tem sido o carro-chefe desse processo, que envolve desde o desenho paramétrico até a simulação de desempenho e gestão da operação e manutenção [1]. De acordo com Azhar *et al.* [2], BIM pode ser abordado pelo ponto de vista da tecnologia, como simulador de projetos; bem como pelo ponto de vista do processo, ao qual envolve conhecimentos e sistemas em um único modelo virtual, o qual possibilita a integração e a colaboração entre equipes.

O BIM contempla, então, um conceito complexo, pois compreende um processo colaborativo e integrado que utiliza um ambiente gráfico computacional tridimensional e paramétrico para execução dos projetos, e outras atividades que abrangem o ciclo de vida da edificação, desde o estudo de viabilidade, a projeção, o planejamento da construção, a construção, a operação, a manutenção, até a demolição ou a requalificação [3].

Nas práticas de ensino de desenho e projeto, além da busca e compreensão dos conceitos do BIM, que estão além da inserção de uma ferramenta, mudanças metodológicas devem ocorrer através da inserção de linguagens de programação, modelagem paramétrica, fabricação digital e sistemas de colaboração [4].

Ruschel *et al.* [5] acrescenta que “um dos primeiros passos para a consolidação do BIM no ensino é a discussão dos currículos dos cursos de arquitetura e engenharia civil”. Também que as disciplinas de projeto, em sua maioria, ocorrem de forma isolada, contrariando os principais princípios do BIM, que incluem colaboração e integração.

Aliado a isso, diversos autores defendem a adoção do BIM integrado as disciplinas existentes nas grades curriculares dos cursos de arquitetura e urbanismo [1], [3], [6]. Assim, o desafio da introdução do paradigma BIM no ensino passa inicialmente pelo entendimento da importância de se enfrentar o ciclo de vida da edificação como um todo e contínuo, e não o enfrentamento de forma parcial e assíncrono que normalmente acontece: inicialmente, a projeção nos cursos de Arquitetura, seguida pela construção nos cursos de Engenharia Civil [3].

Percebe-se, portanto, que a substituição da representação gráfica pela representação e simulação numéricas estabelece um novo horizonte para o ensino. Possibilita-se, com isso, a aproximação do aluno com os processos de projeto, processos usados no canteiro de obras, processos de operação e manutenção, o que passa a ser um conhecimento fundamental para a elaboração do modelo do edifício, no BIM.

Nesse sentido, o presente trabalho visa apresentar relatos de experiências na inserção do BIM na metodologia de ensino da disciplina de Projeto Arquitetônico VI – Reabilitação (AU085) da

Universidade Federal de Roraima - UFRR, sem a necessidade de criação de novas disciplinas voltadas especificamente para a abordagem BIM.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Roraima foi criado no ano de 2006 e atualmente está em sua quarta grade curricular, que conta com 56 disciplinas obrigatórias, divididas em dois núcleos de conhecimentos, fundamentação e profissional. No entanto, nota-se que em todo o conteúdo da versão atual do Projeto Pedagógico do Curso – PPC, a palavra BIM só aparece uma vez como título de uma referência da bibliografia recomendada para a disciplina de Tecnologia das Construções II (AU061), não sendo assim citada como conteúdo de ementa de nenhuma disciplina do curso.

Esse cenário reflete a baixa maturidade de implementação do BIM na estrutura curricular do curso, contando apenas com esforços individuais de professores e alunos, o que limita as potencialidades que o BIM pode oferecer ao ensino de arquitetura. Nesse sentido, entende-se que a inclusão de novos processos de ensino pode ser feita de forma gradual, ajustando-se as metodologias de acordo com o conhecimento das técnicas inerentes a esses processos.

Como forma de apresentar uma das estratégias das quais o BIM pode ser incluído na metodologia de ensino, optou-se por exemplificar a disciplina de Projeto Arquitetônico VI – Reabilitação (AU085) da UFRR, que tem por objetivo geral o desenvolvimento de projetos de arquitetura através do estudo das necessidades de requalificação formal e funcional do objeto arquitetônico.

A recorrente turma deste trabalho foi ministrada no primeiro semestre do ano de 2023, com alunos que estão cursando o oitavo período do curso. Nessa turma foi debatida a requalificação o prédio do Museu Integrado de Roraima – MIRR, ao qual se encontrava abandonado desde o ano de 2012 e que foi demolido por ação do governo do Estado de Roraima em junho de 2023. Inicialmente procedeu-se o levantamento do estado de conservação e do grau de intervenção do projeto de requalificação, ao qual deveriam ser considerados na proposta de intervenção do bem edificado no final da disciplina. Dessa forma, a primeira etapa da disciplina consistiu na modelagem da edificação, conforme o projeto arquitetônico original, de autoria do arquiteto Otacílio Teixeira Lima Neto [7].

Muito além de gerar um modelo 3D da edificação, os alunos deveriam se atentar para as técnicas construtivas e materiais utilizado na edificação, inserindo-se essas informações ao modelo. Posteriormente, com o levantamento do grau de preservação da edificação [8], o modelo deveria apresentar o mapeamento de danos da edificação [9], com as informações do tipo de dano apresentado na edificação.

Considerando que o objetivo da disciplina não é ensinar o uso de softwares, a ferramenta de modelagem da edificação ficou a critério dos alunos, desde que o software adotado garantisse a interoperabilidade, exportando o arquivo em *Industry Foundation Classes* (.IFC). Sendo

assim, foram apresentados trabalhos desenvolvidos por meio do Autodesk Revit®, Graphisoft Archicad® e Sketchup®, aos quais foram compartilhados em pasta Google Drive.

Mesmo que a disciplina ocorra de modo presencial, a entrega e avaliação dos trabalhos ocorreu de forma virtual, de modo a simular um ambiente colaborativo de projeto oferecido pelo processo BIM. Sendo assim, para a análise e avaliação dos produtos gerados na disciplina foi utilizado o software BIMcolab ZOOM, que permite a leitura de arquivos IFC e a inclusão de comentários nos arquivos, para que os alunos possam fazer as devidas alterações, conforme a avaliação do professor.

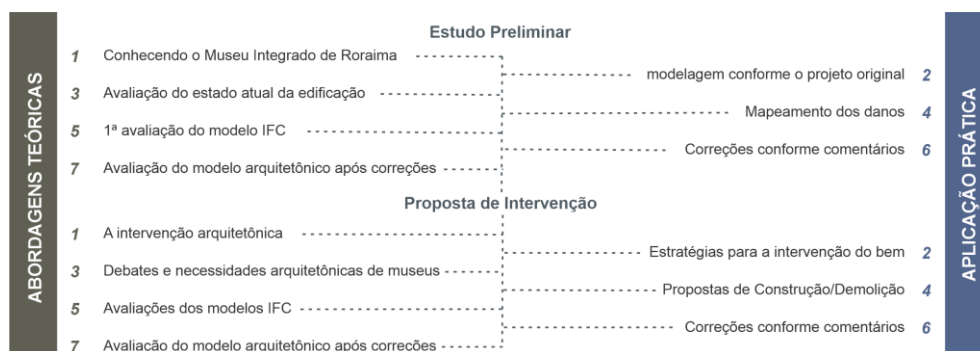


Figura 1: Esquematização metodológica adotada. Fonte: Autores, 2023.

Considerando que se trata de um exemplo metodológico que ainda está sendo aplicado para a mesma turma, conforme esquematização apresentada na figura 1, os resultados apresentados nesse trabalho refletem as discussões acerca do levantamento do bem edificado, não trazendo os resultados da aplicação desta metodologia na avaliação das propostas de intervenção do bem edificado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicia-se a discussão apresentando que o método tradicional de ensino de projeto arquitetônico adotado na UFRR ainda consiste na elaboração da proposta a partir de um programa de necessidades, onde o aluno pode ou não utilizar de recursos digitais, única e exclusivamente para o desenho, não sendo relevante as informações sobre a construção contidas no modelo desenvolvido.

Sendo assim, em muitos os casos, o aluno de arquitetura e urbanismo só se preocupa em trabalhar em vistas que irão compor as pranchas técnicas que deverão ser entreguem no final da disciplina, mascarando possíveis falhas projetuais, ou não se atentando para as soluções construtivas inerentes a aplicabilidade do projeto.

A partir do momento em que o projeto arquitetônico é avaliado por meio da modelagem da informação, o professor é capaz de instigar o aluno a pensar em soluções construtivas da proposta a partir de uma imersão no projeto, bem como conscientizar que um projeto

desenvolvido em um ambiente BIM necessita que as informações do projeto sejam inseridas corretamente, de modo a garantir a interoperabilidade com outras disciplinas complementares ao projeto arquitetônico, como as instalações, estrutura e orçamento.

Em relação as experiências vivenciadas durante o semestre 2023.1 na disciplina AU085 ficou evidente o domínio que alunos do oitavo período do curso têm na modelagem arquitetônica (figura 2), onde 57% da turma modelou o projeto a partir do Autodesk Revit®, 29% dos alunos utilizou o Graphisoft Archicad® e 14% o Sketchup®. Desses, foi possível verificar que os alunos que utilizam o Sketchup® desconheciam que era possível modelar o projeto a partir do processo BIM, gerando um desafio inicial a estes alunos.



Figura 2: Exemplo da modelagem do Museu Integrado de Roraima. Fonte: Autores, 2023.

Por se tratar de uma edificação que existiu, quando a disciplina foi iniciada e que se refere a uma proposta de reabilitação arquitetônica, foi necessário, além da modelagem da edificação, a inserção de dados do mapeamento de danos da edificação junto ao modelo virtual. Para isso, em cada um dos softwares de modelagem utilizado foram adotadas diferentes técnicas para o registro dos danos da edificação, utilizando-se como referência as propostas de mapeamento de danos por meio da utilização de modelos genéricos (Massas ou Morphs), concluindo com a geração da documentação necessária e dos quantitativos para composição do relatório dos danos e para determinação do estado de conservação e das diretrizes de intervenção [9].

Nessa etapa da disciplina, teve-se como desafio a modelagem dessa informação de modo que fosse exportada no modelo IFC, para que elas aparecessem nas informações do arquivo quando lido no BIMcolab ZOOM. Sendo assim, é imprescindível que se saiba quais as informações que devem ser apresentadas no modelo IFC, de modo que se atendam as demandas estabelecidas na disciplina, bem como não sobrecarregue o modelo com informações desnecessárias na etapa solicitada. Diante disso, na figura 3 é apresentado um exemplo da leitura do arquivo IFC, com destaque aos comentários adicionados pelo professor da disciplina.

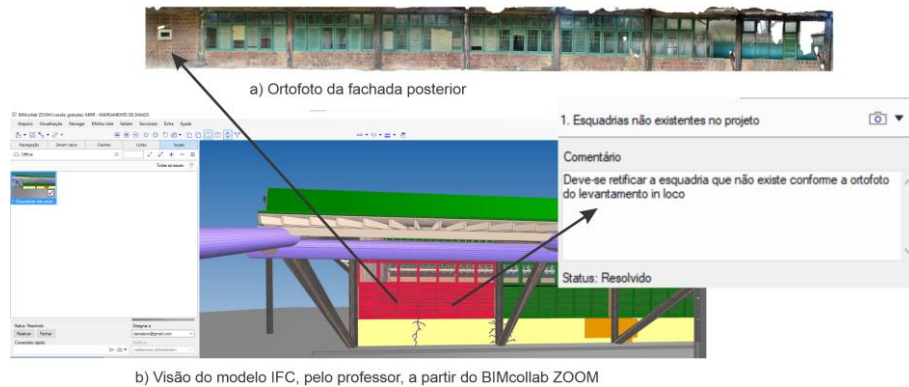


Figura 3: etapa de avaliação do projeto a partir do BIMcollab ZOOM. Fonte: Autores, 2023.

Após a etapa de correção do projeto e finalização do mapeamento de danos, de acordo com as atividades propostas em sala de aula e as informações coletadas por meio de visitas in loco e fotogrametria, os alunos reenviaram novo arquivo IFC para avaliação final da atividade proposta. Na figura 4 tem-se a apresentação de resultados do mapeamento de danos do MIRR, a partir de dois modelos IFC, sendo o primeiro desenvolvido através do Sketchup Pro e o segundo por meio do Revit, nestes é possível observar que os alunos utilizam as técnicas descritas por Lima *et al.* [9], ao incluir as informações sobre os danos atuais do museu. Mesmo que representados por coloração diferente, ressalta-se que as informações dos dados coincidem entre si e estão presentes nas propriedades do modelo.

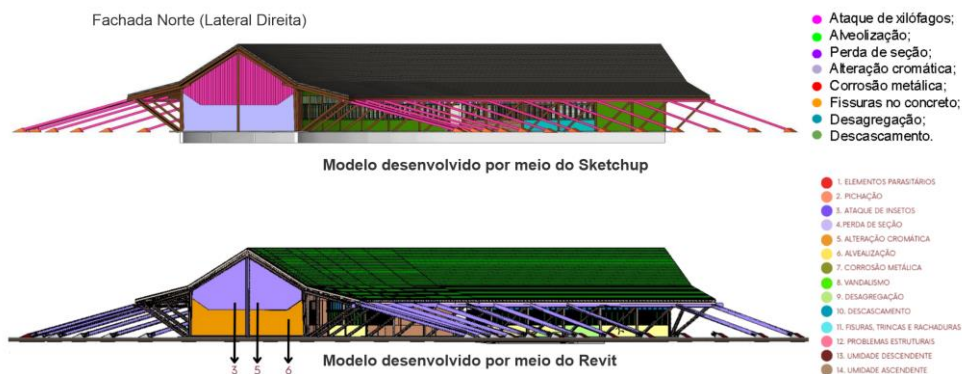


Figura 4: Apresentação do mapeamento de danos. Fonte: Autores, 2023.

Por sua vez, as informações sobre a avaliação da gravidade, extensão e complexidade da intervenção de reabilitação do MIRR em 2023, conforme adaptação proposta por Oliveira [8], foram registradas no modelo pelos alunos conforme apresentado na figura 5, a partir da criação de um campo nas propriedades dos elementos construtivos, visíveis por meio de ferramentas de filtros. Essa avaliação, mesmo considerando apenas as condições visíveis no momento da visita in loco, traz ferramentas para que os alunos possam tomar decisões nos seus respectivos projetos de reabilitação arquitetônica a partir de dados reais.

Nesse sentido, em um único modelo consegue-se inúmeros tipos de informação de projeto, como quantidades, materiais, desenhos técnicos, imagens tridimensionais e nesse caso específico para esta disciplina, dados dos danos e estado de conservação da edificação. Além disso, o BIM no ensino permite trabalhar a interoperabilidade com outros softwares para a análise, simulação e leitura do modelo.

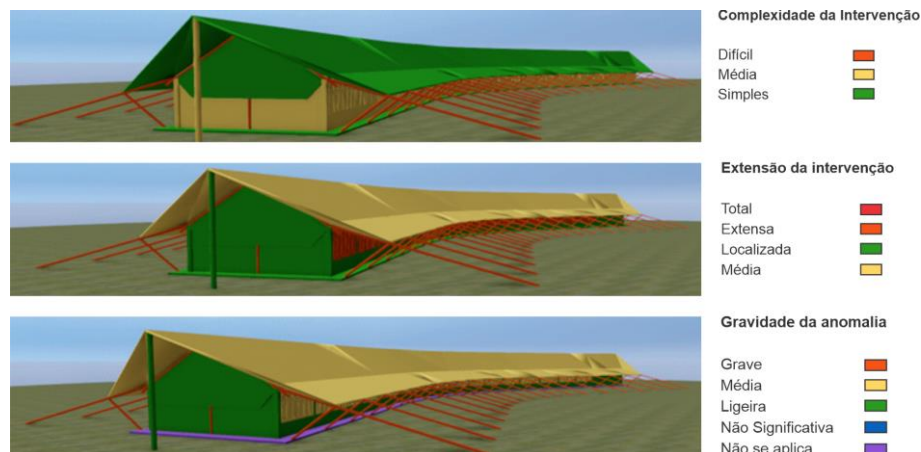


Figura 5: Critério de avaliação da gravidade, extensão e complexidade da intervenção de reabilitação do MIRR em 2023. Fonte: Autores, 2023.

Diante do aqui exposto, salienta-se que para essa primeira etapa da disciplina, a abordagem BIM mostrou-se promissora, não apenas na noção espacial e tridimensional do projeto arquitetônico, mas como método de ensino do gerenciamento do projeto, onde que para trabalhos em grupo, o professor poderá estabelecer ambiente colaborativo, ao qual os alunos possam projetar simultaneamente diferentes disciplinas para uma mesma proposta.

Mesmo havendo acompanhamentos aos alunos durante o processo de modelagem do projeto proposto, a utilização do arquivo IFC permite ao professor fácil acesso aos trabalhos, mesmo que os discentes não estejam presentes e, assim, consiga fazer melhores análises ao projeto fora do horário regular da disciplina, trazendo assim maior dinamismo e objetividade nos momentos de orientação do desenvolvimento do projeto arquitetônico.

Até o presente momento, nota-se a dificuldade e insegurança por parte dos alunos em trabalhar em um projeto pensado no modelo virtual da construção, revelando que esse processo de aprendizagem deve ser iniciado no primeiro semestre do aluno no curso, tendo em vista que a utilização do BIM implica não só uma abordagem técnica, mas também o desenvolvimento de novas competências.

Nesse sentido, para incluir adequadamente o BIM no ensino de arquitetura será necessário desenvolver novas mentalidades e atitudes entre professores, alunos e, conseqüentemente, profissionais [10]. No entanto, a aplicação do BIM, por parte de alguns professores, nas demais disciplinas demandam não apenas o conhecimento do processo BIM, mas também práticas

interdisciplinares, integradas e colaborativas, que forneçam aos alunos a análise de diferentes disciplinas aplicadas ao mesmo projeto [6].

4. CONCLUSÃO

É inegável a necessidade da abordagem do BIM nos cursos de arquitetura e urbanismo, no entanto, ainda é contraditória a forma como o tema deve ser introduzido nas grades curriculares, seja o ensino do BIM como disciplina adicional nos cursos, ou até mesmo a adoção do processo BIM no ensino das disciplinas regulares.

Este trabalho se baseou na vertente do BIM no ensino da arquitetura, onde a modelagem da informação deve ser inserida em todas das disciplinas dos cursos de arquitetura, sem a necessidade de se ensinar o uso de softwares que compõem o ecossistema BIM.

Nesse sentido, a avaliação de trabalhos arquitetônicos a partir do auxílio de softwares leitores de arquivos IFC não demandam que professores de arquitetura o conhecimento integral de todos os softwares de modelagem arquitetônica, pois aqueles permitem, em uma interface simplificada, a leitura do modelo projetado, bem como uma avaliação geral do trabalho acadêmico, instigando os alunos na busca de melhores soluções para o programa de necessidades proposto.

Mesmo que neste trabalho a turma esteja apresentado resultados positivos quanto as demandas apresentadas pelo professor, ainda se faz necessária uma estruturação metodológica ao qual o professor não seja refém da prática de meramente ensinar aos alunos utilizarem softwares ou apenas solicitar a modelagem dos projetos em ambiente BIM, sem ao menos explorar os processos que possam ajudar os alunos a entenderem melhor de processos construtivos e eficiência de projetos.

AGRADECIMENTOS

As autores agradecem ao Programa de Pós Graduação em Arquitetura da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro (PROARQ/FAU-UFRJ) e ao curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Roraima (UFRR)

REFERÊNCIAS

- [1] SALGADO, M. S. *Adoção dos Usos do Modelo BIM como estratégia para inserção no ensino de graduação: estudo de caso*, XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Canela, 2022.
- [2] AZHAR, S.; KHALFAN, M.; MAQSOOD, T. *Building information modeling (BIM): now and beyond*. *Australasian Journal of Construction Economics and Building*, 2012, p.15-28.

- [3] CHECCUCCI, E. S.; PEREIRA, A. P. C.; AMORIM, A. L.; *Modelagem da Informação da Construção (BIM) no Ensino de Arquitetura*, *Blucher Design Proceedings*, vol.1, no.7, 2014, p. 307-311.
- [4] CELANI, G.; RIGHI, T. *Esboços na era digital: Uma discussão sobre as mudanças na metodologia de projeto arquitetônico*. SIGRADI, 2008.
- [5] RUSCHEL, R. C.; BIZELLO, S. A. Avaliação de sistemas CAD livres. "In": KOWALTOWSKI, Doris Catharine Cornélie Knatz *et al.* O processo de projeto em arquitetura: da teoria à tecnologia. São Paulo: Oficina de Textos; 2011. 394-420.
- [6] DELATORRE, V. *Potencialidades e limites do BIM no ensino de arquitetura: uma proposta de implementação*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, 2014, 293 p.
- [7] LIMA NETO, O. T. *Anauá: área verde, lazer e cultura para a capital de Roraima*, *Revista Projeto*, São Paulo, no. 120, 1989.
- [8] OLIVEIRA, M. A. de. *Método de avaliação de necessidades e prioridades de reabilitação de edifícios de instituições federais de ensino superior*. 2013. 231f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.
- [9] LIMA, R. H. F.; ARAÚJO, B. G.; PAZ, G.; OLIVEIRA, I. M. *Mapa de danos de edificações históricas utilizando a metodologia BIM*, 1º Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção, Fortaleza, 2017.
- [10] SALGADO, M. S. *BIM and the future of architecture teaching*, *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, vol. 1101, 2022.

BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) APLICADO À GESTÃO DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO HABITACIONAL EM VITÓRIA - ES



**Luciana Nemer
Diniz**
Professora
UFF - Niterói, Brasil



**Felipe Gustavo
Silva**
Mestrando
UFF - Niterói, Brasil

Resumo:

O estudo se concentra nas moradias remanescentes do período colonial na cidade de Vitória - ES, apresentando duas residências, sua história de construção e sua representação gráfica utilizando a Modelagem da Informação de Construção Patrimonial (HBIM). O trabalho objetiva a demonstrar a importância e necessidade de documentar o patrimônio para sua preservação, para tal, realizou-se visitas de campo, uso de imagens externas e internas, análise dos materiais e sistemas de construção. Além disso, serão apresentados os registros dos projetos de preservação das residências pela SECULT (Secretaria de Estado da Cultura do Espírito Santo), indicando o valor cultural que elas possuem para a memória cultural capixaba. A utilização de HBIM resulta em modelos que permitem gerenciamento, reabilitação e renovação desses sítios. De maneira geral, o trabalho proporciona uma reflexão sobre o tema, cujas análises gráficas interpretam os fatores determinantes para salvaguarda da arquitetura colonial do Espírito Santo.

Palavras-chave: HBIM, Gestão, Patrimônio Arquitetônico, Vitória.

1. INTRODUÇÃO

A estruturação da cidade de Vitória, baseada na habitação como desenvolvimento urbano e na experiência humana, relevam a importância da moradia no patrimônio cultural. As casas coloniais refletem aspectos funcionais, demonstrando o modo de vida da sociedade e as representações, de um modo tangível, impresso nas fachadas, a influência dos colonizadores nas raízes sociais do Estado do Espírito Santo, pelos materiais utilizados nas construções do período. A arquitetura evidencia soluções que priorizavam o conforto térmico e a privacidade

na época colonial, incluindo a divisão social de cômodos, gostos particulares e técnicas disponíveis. Diversos estudiosos de diferentes áreas analisaram a habitação no Brasil, atingindo o contexto capixaba, explorando sua relação com o urbano, o arquitetônico, histórico e socioeconômico. O processo de desenvolvimento atual de Vitória remete-se aos benefícios gerados pela cultura do café no século XIX e ao escoamento portuário, de acordo com Bittencourt [1]. No entanto, as raízes históricas da cidade remontam à chegada dos sacerdotes jesuítas e à influência da Igreja em sua formação, conforme pesquisado por Novaes [2].

No final do século XVI, haviam seis engenhos, 180 colonos e cerca de 11.000 indígenas pacificados no Espírito Santo. Quatro dos engenhos foram estabelecidos nas proximidades do seminário, sendo que os outros dois pode ser que seja referência às Fazendas Araçatiba e Muribeca. No início do século XVII, a vila ainda era uma aldeia construída com taipa, tendo casas cobertas de sapé ou palhas de pindoba, conforme utilização pelos jesuítas no século XVI. Com o tempo, houve substituição desses materiais por pedra e cal nos séculos seguintes. No ano de 1600, Vitória tinha cerca de 700 habitantes, além de estabelecimentos comerciais, a Misericórdia, colégios e conventos, segundo Rocha Pombo apud Freire [3].

O centro urbano de Vitória, conforme Campos Júnior [4], representava um ambiente com ruas desalinhas e deslocamentos principalmente a pé até o final do século XIX. A cidade não se expandiu além de um quilômetro de raio em sua parte mais densa, o que contribuiu para a proximidade entre áreas de trabalho e residências. A falta de infraestrutura urbana de transporte eficiente no período, é utilizada como argumento para explicar essa proximidade, exigindo que as pessoas morassem perto de seus locais de trabalho.

O presente artigo emergiu das análises e identificação das habitações do Centro Histórico, buscando utilizar novas tecnologias, como Modelagem da Informação de Construção Patrimonial ou *Heritage Building Information Modeling* (HBIM), para fins de registro. Durante a pesquisa sobre a habitação da capital capixaba, ou Villa da Victoria, desde o período colonial até o imperial, identificou-se imediatamente a existência de duas residências que apresentam potencial exploratório de pesquisa na Rua Muniz Freire, suas fachadas e volumetria indicam em relação à formação da cidade expondo assim a importância do devido reconhecimento para salvaguarda.

2. O PATRIMÔNIO COLONIAL NAS RAÍZES DA FORMAÇÃO DA CAPITAL CAPIXABA

Na cidade de Vitória, de acordo com Novaes [2], a primeira habitação foi um quitungo, uma espécie de moradia de instalação dos jesuítas que é caracterizada por uma grande tenda. Mais tarde, suprimindo uma necessidade identificada, os próprios padres construíram um seminário para meninos, que posteriormente foi chamado de Casa dos Religiosos. Afonso Brás iniciou a construção da ermida, que se transformou na Igreja de São Tiago, um marco importante em Vitória, após várias ampliações e reconstruções no decorrer do tempo. Atualmente o prédio abriga Palácio Anchieta, depois de reformas serem realizadas.

Durante o governo de Jerônimo Monteiro, conforme afirmado por Campos Júnior [4], alguns prédios públicos, igrejas e casas em estilo colonial foram demolidos. Entretanto, ainda podem

ser identificados remanescentes arquitetônicos foram tombados desse período pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) e pela Secretaria de Estado da Cultura do Espírito Santo (SECULT) para preservação e estudo. Por meio das técnicas de construção utilizadas na época descritas nos documentos, englobando a utilização e produção artesanal da cal e o uso de pedras calcárias e arenitos, expõe a forma como se evoluiu o processo arquitetônico em Vitória e evidencia como a salvaguarda e preservação dessas estruturas podem contribuir na identificação e caracterização não apenas da história local, como também de todas as cidades do Brasil durante o período colonial, haja vista que a herança disposta no patrimônio capixaba pode contribuir para a interconexão com outros sítios espalhados no país.

Na década de 80, o Instituto dos Arquitetos do Brasil (IAB) e a SECULT, identificaram seis casas na Rua Muniz Freire, em Vitória, e realizou-se o processo de tombamento na tentativa de barrar a desapropriação desses imóveis pelo Governo Estadual para a ampliação do Fórum Civil Muniz Freire [5]. Contudo, não foi impeditivo para a destruição de quatro residências, restando dessa maneira duas inventariadas e que foram protegidas pelo tombamento. Essas casas, com um ou dois pavimentos, são consideradas bens de valor arquitetônico e histórico por sua importância na compreensão da ocupação de Vitória em seus tempos coloniais.

3. O PATRIMÔNIO HABITACIONAL COLONIAL REMANESCENTE EM VITÓRIA

No ano de 1946, foi elaborada a planta cadastral pela Empresa de Topografia Urbanismo e Construções Ltda (ETUC) com o objetivo do mapeamento da cidade para o Plano de Embelezamento de Vitória. O urbanista Alfred Agache, responsável pelo plano urbanístico do Rio de Janeiro em 1926, foi convidado pelo prefeito da cidade, o engenheiro Henrique de Novaes, para participar desse projeto [6].



Figura 1: Planta Cadastral ETUC. Fonte: Arquivo Municipal de Vitória, 1946.

No Centro Histórico de Vitória, existem exemplares residenciais coloniais que são tombados pelo IPHAN e outros pela SECULT, sendo estes sobreviventes temporais que contam parte da história da cidade. Este artigo tem como objetivo o estudo das residências localizadas na rua Muniz Freire que preservam, dentro das possibilidades em que se encontram, características arquitetônicas daquela época.

A primeira residência, identificada como número predial 29, mas como número 31, no documento do Processo de Tombamento [5], é um sobrado de dois pisos, com duas águas no telhado. Sua cobertura original foi praticamente substituída e os beirais originais quase não existem mais. De acordo com a documentação, sua construção remonta ao século XVIII, com algumas modificações realizadas no século XX. A segunda residência, de número predial 55, possui apenas um pavimento térreo e data do século XVIII. No entanto, sofreu alterações em 1940, incluindo a adição de uma platibanda.

A premissa do desenvolvimento do plano desenvolvido pela ETUC era a verificação da circulação viária, porém para tal foi necessário levantar toda a malha urbana para a compreensão da cidade. A partir disso, a Rua Muniz Freire e as construções implantadas na via estão representadas na planta cadastral (figura 1). Nessa pesquisa utilizou-se a folha topográfica 13-01-02, folha cadastral 13, quadra 13-08-12, página 71 do álbum de plantas, para que fosse possível obter a área e o perímetro dos sobrados objeto deste estudo. A base cartográfica de Vitória - ES de 2018 e a ortofoto do Google Maps (figura 8), agregando informações da peça gráfica, oportunizaram às análises comparativas dos imóveis e, dessa maneira, deram suporte para o desenvolvimento do modelo BIM.

Após obter a cartografia, os pesquisadores consultaram a Prefeitura Municipal de Vitória (PMV), especificamente a Secretaria de Desenvolvimento da Cidade (SEDEC), responsável pelo cadastro das inscrições municipais e pelos documentos relacionados a elas. Com base nos dados fornecidos no departamento [7], verificou-se que, atualmente, a casa de número 29 pertence a Silvano Antônio de Carvalho, juntamente com Maria Lúcia Nicolaci Costa (falecida) e Margarida Maria de Carvalho Borges, herdada de Henedino Antônio Benedito de Carvalho. A inscrição municipal do imóvel, identificada pelo número 01.03.029.160.001, possui tombamento para preservação, possuindo uma isenção de 55% no valor do Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU).

Em pesquisa à base de dados da Secretaria da Fazenda do Espírito Santo, ainda em relação à residência de número 29, os autores também buscaram pelo número de inscrição do Imposto sobre Operações relativas à Circulação de Mercadorias (ICMS) para atestar a veracidade do período de tempo da existência da construção era residencial. Em 2019, a autora obteve permissão para entrar na propriedade e constatou que, no primeiro andar, havia uma distribuição interna e móveis que correspondiam a um programa arquitetônico de restaurante. Na época, o restaurante estava desativado e o espaço era usado para armazenar carrinhos de venda de sorvete. A verificação no ICMS revelou o cadastro atualizado do Populi Bar e Restaurante Ltda ME, que iniciou suas atividades em 28 de dezembro de 1981, próximo ao processo de tombamento, e recebeu o registro estadual número 08086233-0. Atualmente de acordo com a Consulta Pública ao Cadastro [8], o Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica (CNPJ) não está habilitado para funcionamento no local. Durante a visita ao local, observou-se

que a propriedade aparenta estar abandonada. Todavia, enquanto os autores verificavam as medidas da fachada, um transeunte que trabalhava como guardador de carros das proximidades se apresentou como informante para o proprietário.



Figura 2: Sobrado nº 29, IAB e levantamento de campo. Fonte: IAB, 1982 e dos autores, 2023.

A residência de número 55, com inscrição municipal número 01.03.029.0137.001, detectou-se que pertence a Manoel Cardoso de Assunção, está tombada pela SECULT, tendo recebido, dessa forma, a isenção de 55% no IPTU em 2019 e 60% em 2018. A redução no desconto provavelmente se deve à falta de conservação do imóvel. Durante a visita recente ao local, foi possível notar que o relógio medidor de água estava funcionando, o que sugere que a residência ainda está habitada.



Figura 3: Casa nº 55, IAB e levantamento de campo. Fonte: IAB, 1982 e dos autores, 2023.

A visita ao local permitiu identificar importantes detalhes sobre a conservação da alvenaria, das janelas e da cobertura de ambas residências. Inclusive, foi constatado que ambos os proprietários instalaram grades em suas propriedades com intuito de melhoria de segurança. No que tange à residência número 29, essa medida está relacionada ao risco de invasão, haja vista um notado abandono, enquanto no número 55 pode se sugerir que esteja ligada à segurança dos moradores.



Figura 4: Fachada do Sobrado número 29 na atualidade. Fonte: dos autores, 2023.



Figura 5: Fachada da casa número 55 na atualidade. Fonte: dos autores, 2023.

A presença de patologias e problemas ocasionados pelo tempo, podem ser constatadas tanto na fachada quanto nas estruturas e detalhes adornados de ambas as edificações. Essa situação não se restringe apenas a essas obras, mas abrange todo o acervo arquitetônico histórico brasileiro, comprometendo estruturas singulares e suas características originais. Outra questão vem da ausência, ou ainda, e utilização de instrumentos para a gestão que

apresentam ineficácia e dificuldades no gerenciamento das construções destinadas à sua preservação, enquanto a falta de atualização e adequação do quadro funcional das instituições responsáveis pela proteção do patrimônio as torna suscetíveis a danos e degradação.

No sobrado número 29, é possível observar a ocorrência de infiltração do solo, problemas de pintura e inserção de instalações complementares sem um planejamento adequado, expostos na figura 4. Já na residência de número 55, constata-se infiltração em toda a fachada, inclusive, nota-se a problemas estruturais nas paredes e inserção de acabamentos e adereços com aparente falta de critérios profissionais estabelecidos, visualizados nas figuras 3 e 5.

As residências são consideradas um dos últimos testemunhos da construção em alvenaria de pedra e taipa na cidade, conforme evidenciado no Processo de Tombamento [5]. No período em que houve a inventariação dos edifícios, tanto o sobrado quanto a casa térrea estavam em boas condições de conservação, porém já se passaram 40 anos desde então. Naquele momento, no sobrado de número 29 funcionava um bar (Bar Populi), embora originalmente tenha sido concebido para fins residenciais. Já na residência de número 55, o uso residencial estava identificado desde aquele período de inventário, permanecendo até aos dias atuais. Tais informações sobre a utilização foram obtidas junto à Prefeitura Municipal de Vitória (PMV) e na Consulta Pública da Secretaria da Fazenda do Espírito Santo. É importante ressaltar que o documento elaborado pelo IAB [5] apresentou crítica à redução da altura do pé-direito do segundo pavimento do sobrado, o que resultou na perda de proporção do edifício. No entanto, mesmo com essa alteração, o imóvel ainda recebeu a indicação de ser preservado. Na casa térrea, a descrição mencionada no inventário, indica a presença de iluminação zenital na sala de jantar, a utilização de forro tipo saia e camisa em alguns cômodos e evidências de modificações realizadas em seu interior.

4 METODOLOGIA BIM NA DOCUMENTAÇÃO DO PATRIMÔNIO COLONIAL

O avanço dos processos e equipamentos computacionais na década de 1960 impulsionou a evolução do método de projetos, substituindo os desenhos feitos à mão por *softwares* de *Computer Aided-Design* (CAD). Uma nova metodologia surgiu a partir de pesquisas realizadas por Eastman *et al* [9], na qual o desenho passou a ser representado por objetos semânticos, capazes de armazenar informações detalhadas do projeto, indo além das simples linhas conectadas do CAD. Esse processo inovador denominou-se de Modelagem da Informação da Construção ou Building Information Modeling (BIM). Para Succar [10], BIM envolve processos, políticas e tecnologias interconectadas, sendo a interação desses três campos fundamental para o desenvolvimento desse método. Essa nova abordagem de projeto também tem potencial no gerenciamento de obras existentes, desempenhando um papel importante na documentação e gestão do patrimônio arquitetônico-cultural. Considerando a amplitude estrutural e o valor cultural das obras, a metodologia BIM possibilita o estabelecimento de modelos para restauração, renovação e gestão, tornando-se uma ferramenta operacional para sítios históricos.

Murphy *et al* [11], realizou discussões em pesquisas que levou ao estabelecimento do conceito de BIM para geração de modelos de remanescentes e edificações históricas, valorizando a

interação sistêmica das paisagens culturais, sendo denominada de Modelagem da Informação da Construção Histórica (HBIM). Diferente de um modelador 3D convencional, cujo principal objetivo é a criação de uma maquete virtual e representações 2D, a HBIM é uma plataforma que abriga um banco de dados colaborativo, permitindo a participação de diversos profissionais na elaboração de projetos de restauração e/ou reabilitação. A partir disso, gera-se uma engenharia reversa para criar modelos a partir do edifício existente.

No Brasil, grande parte do patrimônio colonial ainda não possui devida documentação e raros casos possuem a utilização de métodos tecnológicos atualizados para tal registro. Mesmo assim, o interesse pela utilização de HBIM pode ser observado em projetos como, e a Igreja de Vila Bela da Santíssima Trindade de 1754 [12], no Mato Grosso e a Igreja Bom Jesus do Matozinhos de 1770 [13], em Minas Gerais, bem como a documentação do Museu Nacional [14], no Rio de Janeiro. As documentações das obras utilizaram tecnologias de escaneamento a laser, que permitiram rastrear a qualidade da construção dos elementos, inspecionar suas dimensões e superfícies, como também arquivos gerados a partir de base documental de projetos pesquisadas. Dessa forma, uma plataforma integrada de aquisição, processamento e representação de dados de nuvem de pontos foi desenvolvida. A vetorização de fotografias das fachadas e a ortofotomosaico, ou aerofotogrametria, também contribuíram para a reengenharia das edificações, garantindo fidelidade ao modelo desenvolvido. No caso do Museu Nacional, os modelos gerados demonstram a melhoria da documentação virtual, o que facilitou a condução durante o processo de restauração/reforma após o incêndio desastroso em 2018.



Figura 6: Modelos HBIM - Igreja de Vila Bela da Santíssima Trindade, Igreja Bom Jesus do Matozinhos e Museu Nacional. Fonte: Lima *et al.* 2019; Tolentino, 2016; Coelho, 2021 editado pelos autores.

O objetivo deste artigo é desenvolver o modelo BIM das duas edificações coloniais mencionadas, utilizando fotografias tiradas no local, ortofotos e a base cartográfica fornecida pela cidade de Vitória. A visita de campo realizada também permitiu verificar as dimensões das fachadas, uma vez que os projetos de consolidação das duas casas são escassos junto aos órgãos públicos. Isso ressalta a importância da documentação dos edifícios históricos, especialmente por meio de HBIM, que oferece informações centralizadas e modelos para o gerenciamento adequado do patrimônio.

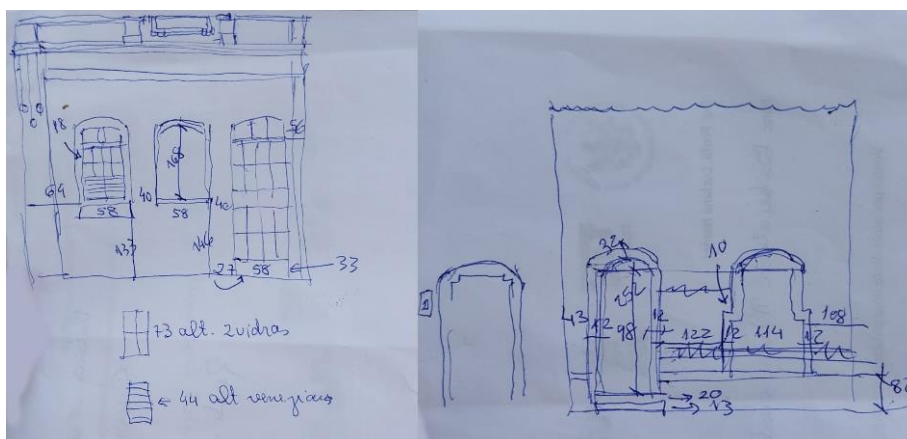


Figura 7: Croqui da casa 55 e sobrado 29 realizados no levantamento de campo. Fonte: dos autores, 2023



Figura 8: Sobrado 29 (1) e Casa 55 (2), na Base cartográfica de Vitória - ES e Ortofoto do Google Maps. Fonte: Prefeitura Municipal de Vitória, 2018 e Google Maps, 2023.

Os modelos foram elaborados através do *software* Revit, desenvolvido pela empresa Autodesk. Neles, é possível inserir informações e dados visando a unificação da documentação do patrimônio. O modelo virtual da construção transcende uma simples planificação 2D, permitindo a inclusão da composição dos materiais utilizados, indicações de patologias e elaboração de relatórios dentro do mesmo arquivo. Essas funcionalidades aprimoram a visualização abrangente e global do gerenciamento de uma edificação histórica ao longo de seu ciclo de vida.



Figura 9: Modelo BIM do Sobrado número 29. Fonte: dos autores, 2023.



Figura 10: Modelo BIM da casa número 55. Fonte: dos autores, 2023.

A modelagem do Patrimônio Histórico apresenta desafios devido à falta de famílias e objetos prontos específicos para esse tipo de edificação. Muitas vezes, informações completas sobre os elementos estruturais de um edifício histórico não estão disponíveis. Diante dessa escassez de dados, é necessário embasar a modelagem nos resultados da análise diagnóstica, identificando quais elementos devem ser modelados com alto nível de detalhamento e quais podem ser simplificados. Nos casos em que há informações insuficientes, é preciso identificar os elementos no modelo. Os elementos que possuem dados suficientes devem ser modelados com base nas informações disponíveis, no entanto quando um elemento não possui dados suficientes, ou ainda, que podem ser obtidos via novas investigações, devem ser modelados de forma simplificada inicialmente, planejando-se posteriormente um detalhamento mais efetivo. Nesse processo de simplificação de elementos, é necessária uma adequada documentação, de modo, que caso seja necessário e viável, os detalhes possam ser atualizados no futuro. No âmbito deste trabalho, foram gerados elementos como janelas, adornos, portas e outros detalhes utilizando-se as massas disponíveis no Revit, buscando alcançar a fidelidade das obras.

Do mesmo modo que construções novas, a criação de modelos BIM para obras de interesse histórico, necessita da aplicação de um Plano de Implementação BIM (BEP). O BEP consiste

em estabelecer um processo de trabalho para o desenvolvimento dos entregáveis BIM, ou seja, os projetos, contribuindo na melhoria dos fluxos de informações e na orientação de quais procedimentos todos os envolvidos devem seguir [15]. Para isso, órgãos responsáveis pelo gerenciamento e documentação dos bens culturais arquitetônicos, como o IPHAN e a SECULT deveriam desenvolver um plano padronizado para disseminação de processos, permitindo assim boas práticas. Esse plano colaboraria com a organização das informações por meio de *templates* para os *softwares* BIM. A construção dessa padronização dos processos, se daria pela criação de um BEP, que envolve coletar as informações sobre as necessidades e expectativas, passando a orientar os profissionais de projetos de quais informações mínimas seriam requisitos para a construção de modelos. Nesse BEP deveria ser incluído o nível de detalhes e como dará o desenvolvimento dos objetos para evitar retrabalhos futuros.

Outra questão relevante, está no envolvimento dos órgãos responsáveis pela salvaguarda do patrimônio nacional na disseminação do conhecimento e incentivo da utilização do novo processo, em conjunto dos conselhos de categoria profissional interessados na preservação dos bens culturais. Essa interconexão de interesses garantiriam uma qualidade de informações e proporcionaria um maior engajamento dos profissionais, haja vista que todos os participantes precisam se comprometer com a nova cultura de projetos desenvolvida.

4. CONCLUSÕES

A utilização de HBIM para a documentação e preservação de edifícios históricos, como as residências coloniais da Rua Muniz Freire, em Vitória, pode ser uma valiosa ferramenta para as entidades governamentais responsáveis no gerenciamento do patrimônio histórico arquitetônico, tanto para manutenção, restauração e preservação. Embora a utilização da metodologia BIM para a preservação do patrimônio ainda seja relativamente recente no Brasil, tem ganhado força nos últimos anos, com alguns projetos sendo desenvolvidos por universidades e centros de pesquisa. Ao utilizar o *software* Revit na documentação dos casarões coloniais de Vitória, é possível garantir que sua simbologia histórica seja plenamente apreciada, além de respaldar uma gestão com base em boas práticas já adotadas em diversos países ao redor do mundo. Além disso, através de HBIM, pode ser possível o desenvolvimento de um arquivo patrimonial digital acessível a historiadores, arquitetos e pesquisadores interessados no patrimônio que revela a conexão entre o Brasil e Portugal, pelos traçados esculpidos nas fachadas e interiores dos bens culturais. A implementação de protocolos e especificações para uma abordagem em HBIM na documentação do patrimônio é ainda um desafio não apenas no Brasil, mas em muitos países. No entanto, é evidente o potencial dessa metodologia em contribuir para boas práticas na gestão dos bens arquitetônicos históricos. É necessário um esforço conjunto para preencher essa lacuna, reconhecendo o valor que HBIM pode trazer para a preservação e valorização do patrimônio histórico capixaba e brasileiro.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Prefeitura de Vitória pela disponibilidade de documentação. Agradecemos ao CNPq pela bolsa de mestrado CAPES de Felipe Gustavo Silva.

REFERÊNCIAS

- [1] Bittencourt, Gabriel Augusto de Mello. – *Café e modernização: o Espírito Santo no século XIX*. Rio de Janeiro: Livraria e Editora Cátedra, 1987.
- [2] Novaes, Maria Stella de. – *História do Espírito Santo*. Vitória: Fundo Editorial do Espírito Santo, 1968.
- [3] Freire, Mário Aristides. – *A Capitania do Espírito Santo. Crônicas da vida capixaba no tempo dos capitães-mores (1535 – 1822)*. Ilha de Vitória: Flor e Cultura Editores, 2006.
- [4] Campos Júnior, Carlos Teixeira de. – *O Novo Arrabalde*. Vitória: PMV, Secretaria Municipal de Cultura e Turismo, 1996.
- [5] Instituto dos Arquitetos do Brasil (IAB). – *Proposta de Tombamento Processo nº 07/1982 DEC*, 1982.
- [6] Klug, Letícia Beccalli. – *Vitória: Sítio Físico e Paisagem*. Vitória: EDUFES, 2009.
- [7] Santana, Rayane. – *Cadastro junto à SEDEC dos imóveis números 29 e 55*. Entrevista concedida aos autores. Vitória, 2023.
- [8] Governo do Estado do Espírito Santo – SINTEGRA / ICMS. – *Populi Bar e Restaurante Ltda ME*.
- [9] Eastman, C. et al. – *An Outline of the Building Description System. Research Report nº 50. CarnegieMellon Univ., Pittsburgh, PA, Inst. of Physical Planning*, 1974.
- [10] Succar, Bilal. – *Building Information Modelling Framework: a research and delivery foundation for industry stakeholders. Automation in Construction*, v. 18, n. 3, 2009, p. 357-375.
- [11] Murphy, M. et al. – *Historic building information modelling (HBIM). Structural Survey*, 27(4), 2009, p.311-327.
- [12] Lima, Fernando B. et al. – *Recomposição do projeto original e fotogrametria do existente: um registro para a Matriz de Vila Bela da Santíssima Trindade*, Encontro Brasileiro de Modelagem da Informação da Construção e Patrimônio Cultural, 1., IAU-USP, São Carlos, SP, , 2019.
- [13] Tolentino, Mônica M. – *A utilização do HBIM na documentação, na gestão e na preservação do Patrimônio Arquitetônico*, SIGraDi 2016, XX Congress of the Iberoamerican Society of Digital Graphics, 9-11, November, Buenos Aires, Argentina, 2016.
- [14] Coelho, Deborahath K. – *Manual do Usuário HBIM: Apropriações do modelo do Museu Nacional da UFRJ*. Rio de Janeiro: FAU/UFRJ, 2021.
- [15] Manzione, Leonardo et al. – *BIM e Inovação em Gestão de Projetos: De acordo com a norma ISO 19650*. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2021.

AEROFOTOGRAMETRIA REALIZADA POR AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS (RPA), APLICADAS A METODOLOGIA HBIM



Tiago de Castro Hardy¹
Doutorando e Mestre -
Ambiente Construído e
patrimônio Sustentável -
UFMG



Willi de Barros Gonçalves²
Professor
UFMG – Belo Horizonte,
Brasil

Resumo:

A metodologia BIM demonstra um potencial para a documentação, gestão e conservação do patrimônio, dando origem ao termo HBIM, quando aplicado ao patrimônio cultural. Este artigo relata a aplicação de técnicas aerofotogrametria realizada por Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA), aplicadas a metodologia HBIM. O estudo de caso proposto é a Igreja de São Francisco de Assis, mais conhecida como Igrejinha da Pampulha, obra icônica da arquitetura moderna brasileira, localizada em Belo Horizonte, Minas Gerais/Brasil. O artigo foca no processo da obtenção de dados e na criação do modelo digital o qual contém informações dos processos de restaurações envolvidos na igreja abordando o manuseio dos programas de processamento de dados, o processo de manipulação da nuvem de pontos e a modelagem. O estudo demonstra o potencial do levantamento digital realizado por RPA assim como a metodologia HBIM como forma de documentação, extroversão e gestão do patrimônio cultural arquitetônico.

Palavras-chave: Aerofotogrametria, Aeronave Remotamente Pilotadas (RPA), Historic Building Information Modelling (HBIM)

1. Modelagem da informação da construção (BIM) e modelagem da informação de construções históricas (HBIM)

BIM (*Building Information Modeling*) é uma metodologia que auxilia na gestão de projetos e na compatibilização entre eles. Atualmente o uso de tecnologias BIM vem ganhando cada vez mais adeptos na construção civil, desde o planejamento do projeto à execução da obra. Neste sentido, a BIM é uma metodologia que facilita o gerenciamento de toda a construção que integra todos os processos, desde o

¹ Aluno de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável, Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, Brasil.

projeto ao uso participando de todo o ciclo de vida do edifício. Segundo López (2018), a BIM possibilita a integração do projeto de edifícios, uma vez que atinge uma representação digital 3D das características “físicas, funcionais e semânticas” de uma edificação nova ou existente. Conforme destacam Fabrício et al.:

A metodologia *Building Information Modelling (BIM)* é, atualmente, uma das principais expressões das inovações tecnológicas digitais aplicadas à Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação. Trata-se de um instrumento capaz de analisar grande quantidade de informações, por meio de um modelo virtual que gerencia o ciclo de vida de um edifício, voltado as fases anteriores a construção. Para edifícios construídos tem-se o conceito de HBIM (Historic Building Information Modelling) como alternativa de gerenciamento, na qual objetos paramétricos são construídos a partir de dados de edifícios históricos. (FABRICIO, COSTA, *et al.*, 2021, p. 1)

Entre as diferenças das plataformas de Desenho Assistido por Computador (CAD) e BIM está o nível de detalhamento dos objetos paramétricos acrescidos de informações, que a BIM possibilita (SPBIM, 2020). Rocha, *et al* (2020), afirma que a metodologia BIM é integrada e colaborativa, centrada em um ambiente digital (modelo tridimensional computacional) que contém as informações necessárias para gerenciar as construções ao longo de seu ciclo de vida, atuando desde o projeto, construção até o gerenciamento pós-uso. Segundo Groetelaars (2015), um dos primeiros exemplos encontrados na literatura sobre modelagem BIM com auxílio de escaneamento a *laser* foi o modelo da ópera de Sydney (Austrália), o qual foi desenvolvido com a finalidade de auxiliar o gerenciamento da edificação (Figura 1).

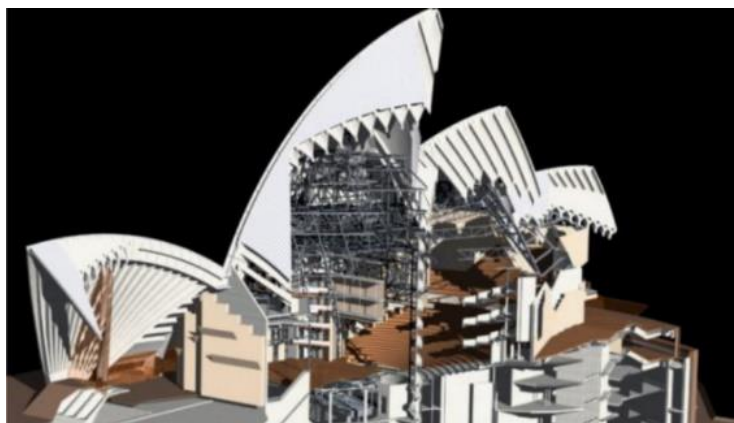


Figura 1- Modelo da Sydney Opera House

Fonte: Disponível em: <<http://www.aia.org/aiaucmp/groups/aia/documents/pdf/aiab081587.pdf>>. Acesso em 20 mar. 2014 apud (GROETELAARS, 2015)

A partir do modelo BIM, “é possível gerar uma série de outros produtos, como desenhos, modelos fotorrealísticos, quantitativos, animações, dentre outros” (GROETELAARS, 2015), que podem servir como base para a manutenção e o desenvolvimento de projetos de intervenção em edificações existentes. A interface do modelo BIM facilita a exportação para outros programas, possibilitando a realização de análises e simulações estruturais e climáticas, por exemplo. O modelo BIM também pode ser utilizado em diferentes sistemas de informação, visando a extroversão do patrimônio, por exemplo, com utilização da Realidade Virtual (RV) e Realidade Aumentada (RA) autonomamente na plataforma *web*, dentre outros.

Os metadados embutidos nos modelos BIM são os diferenciais entre projetos 2D e 3D, que facilitam o acesso a todos envolvidos em um empreendimento. Desta forma, o BIM se torna um grande aliado quando

aplicado à preservação de edifícios históricos, nas questões relacionadas a documentação. A metodologia demonstra um potencial para a documentação, gestão e conservação do patrimônio, dando origem ao termo HBIM, quando aplicado ao patrimônio cultural. Além do registro e a documentação do estado atual do bem cultural, a HBIM possibilita integrar metadados de fontes diferentes em um único modelo virtual tridimensional, destaca Groetelaars (2015):

- . Dados históricos;
 - . Informações coletadas em diferentes etapas de levantamento;
 - . Capacidade de armazenar propostas de intervenções e intervenções já realizadas;
 - . Identificação de incoerências entre os projetos e a gestão da conservação;
 - . Capacidade de simular desempenho energético e potenciais riscos;
 - . Auxiliar na gestão e **principalmente na conservação preventiva**.
- (GROETELAARS, 2015, p. 53 *grifo nosso*)

Segundo Grussenmeyer, Boehm e Barazzetti (2020), Nlas questões da HBIM estão ligadas ao valor do patrimônio arquitetônico, alteram os dados vinculados ao modelo de construção, como dados numéricos, imagens e documentos de texto, que podem evidenciar sua importância histórica, mas também podem ter valor histórico. É essencial compreender claramente e registrar o valor do patrimônio arquitetônico em um modelo de informação apropriado, a fim de facilitar o manejo favorável à conservação.

Conforme Rocha et al (2020) a metodologia para edificações existentes difere de quando é aplicada a novos projetos, a “engenharia reversa” aplicada a uma construção de valor patrimonial, a digitalização a laser e processos de levantamento fotogramétricos, contribuem para modelagem de informações de edifícios históricos HBIM. López et al (2018) diz que poucos documentos tratam do processo de engenharia reversa, com ou sem BIM, bem como dos processos de interoperabilidade, gerenciamento, documentação e manutenção da construção do modelo “as-is, Hoje em dia”, o BIM tem evoluído significativamente no domínio da gestão e documentação do patrimônio cultural o qual pode ser representado, em um ambiente virtual, o estado de conservação das construções de interesse cultural.

Assim, são diversas as possibilidades para a utilização da metodologia HBIM, com enormes vantagens sobre os métodos tradicionais de documentação, intervenção e conservação como: simular todos os processos do projeto de restauração/intervenção, investigar os possíveis conflitos de projeto analisar e simular todas as soluções estruturais propostas ao edifício, detectar conflitos de projeto, gerenciamento e planejamento de obras, gerenciamento de dados sobre futuras manutenções no patrimônio, unificar todas as informações obtidas por meio de levantamentos, assim como documentações de históricos de intervenções e a própria trajetória do edifício, entre outras.

Com isso, a documentação científica juntamente com a metodologia HBIM, se torna um processo cíclico, onde os metadados vão ser sempre reabastecidos e adicionados aos modelos, servindo como fonte para tomadas de decisões, gerenciamento e futuras intervenções, devendo ser sempre documentado e armazenado no modelo HBIM onde representa uma abordagem para a conservação preventiva de construções históricas e em protocolos de inspeção.

Segundo Morar et al (2021, p.1), a documentação e a gestão das informações baseadas em HBIM oferecem várias vantagens em comparação com métodos tradicionais, tais como: “centralização de informações, análise das diferentes intervenções realizadas e uma comunicação fluida” as quais possibilitam abordagens como “análise estrutural avaliação de danos, restauração, documentação e representação digital”.

Rodrigues-Moreno et al (2016) descrevem a metodologia HBIM como um diferencial para a gestão das informações do patrimônio arquitetônico uma vez em que todas as informações coletadas e produzidas são reunidas em um único arquivo digital onde o “modelo” pode ser usado para a geração de uma grande quantidade de informações diversas em formatos qualitativos e quantitativos: desenhos 2D, representações 3D com diferentes níveis de detalhes.

2. Procedimentos adotados para levantamento in loco- aerolevante por meio de RPA

Inspeção visual preliminar e planejamento dos voos

No dia 02/03/2021 foi realizada uma inspeção visual e detectadas algumas anomalias nas juntas de dilatação e crescimento de vegetação na calha entre as cúpulas. A inspeção preliminar é essencial para o planejamento do voo, com a finalidade de evitar retrabalhos e falhas na execução, os planejamentos dos voos realizados nesta pesquisa seguiram as seguintes etapas para a sua execução:

1- após a definição do objeto de estudo e identificação da área a ser monitorada, foi verificada as dificuldades do voo, como pedestres (turistas) e alturas de árvores próximas; 2- Foi constatada a possibilidade segura de um voo com 45 metros de altura do solo, passando então para a fase de planejamento e autorizações; 3 – Após a elaboração do plano de voo, foi realizada a inspeção aérea em busca de alguma anomalia na construção 4- Já em campo, foi realizado um voo manual experimental para verificar a segurança do equipamento e também da operação, assim como velocidade do vento, diafragma da câmera e imagens de teste. Conforme fluxograma demonstrado na (Figura 2).

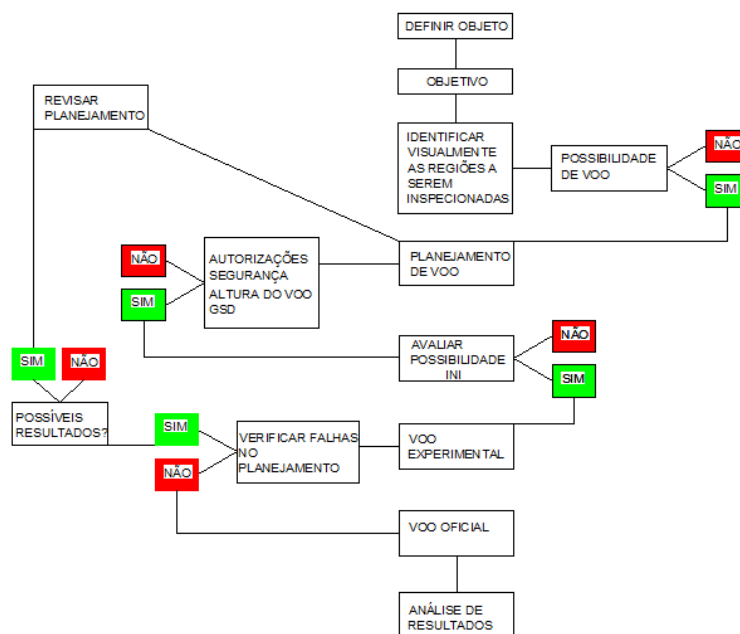


Figura 2 – Fluxograma de referência para o planejamento dos aerolevanteamentos. Fonte: autores

Os planejamentos dos voos foram realizados no aplicativo PIX4D, com “duplo grid”, conforme (Figura 3), e executados por um RPA Phantom 3 Professional da marca DJI a uma altura de 45 metros do solo. A GSD resultante corresponde a um quadrado de 2cm de lado na superfície levantada, para cada píxel da ortofoto obtida após o processamento das imagens³



Figura 3 – Pontos de captura de imagens mostrados no aplicativo PIX4D. Fonte: autores

A partir desse planejamento, foram realizados três voos⁴ sobre a igreja da Pampulha: o primeiro no dia 03/03/2021 (Duplo Grid) e os outros dois no dia 28/10/2021. O segundo voo, no dia 28/10/2021, foi feito no mesmo horário e com o mesmo planejamento do primeiro voo do dia 03/03/2021. Já o terceiro voo, feito também em 28/10/2021 e foi realizado em modo manual com alturas variadas envolvendo deslocamentos ortogonais e em torno da Igreja.

3. Configuração e distribuição de pontos de controle

Foram distribuídos cinco pontos de controle em solo⁵ georreferenciados com GPS manual contando com o auxílio de régua topográfica com 4 metros de comprimento (escala gráfica). A aparência dos pontos de controle pode variar, mas geralmente é um alvo em forma de “X”. Nesta pesquisa optou-se por fazer uma placa em madeira de 50 x 50 cm, com cores contrastantes e com um alvo central de 2 cm quadrados conforme (Figura 4).

³ Segundo Graham e Koh, 2002, p.164) para capturar imagens com uma precisão desejada no levantamento aéreo, é necessário fazer uma relação da distância focal e a lente de captura, utilizando a regra da geometria de semelhança de triângulos o aplicativo PIX 4 D calcula essa relação automaticamente, o que facilita muito no planejamento da operação. Mesmo assim, o conhecimento desta relação matemática é válido no caso de substituição da câmera original do equipamento ou no caso de se embarcar outro modelo de câmera no RPA.

⁴ Todos os voos foram realizados, após a autorização da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) e da Comissão de filmagens e gravações da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte), realizados com equipamento homologado pela Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel) e assegurado pelo seguro de Responsabilidade Civil do Explorador ou Transportador Aéreo (RETA) conforme Legislação brasileira.

⁵ Os pontos de controle são coordenadas conhecidas que auxiliam o software de processamento de imagens a calcular a posição do RPA no momento de captura.

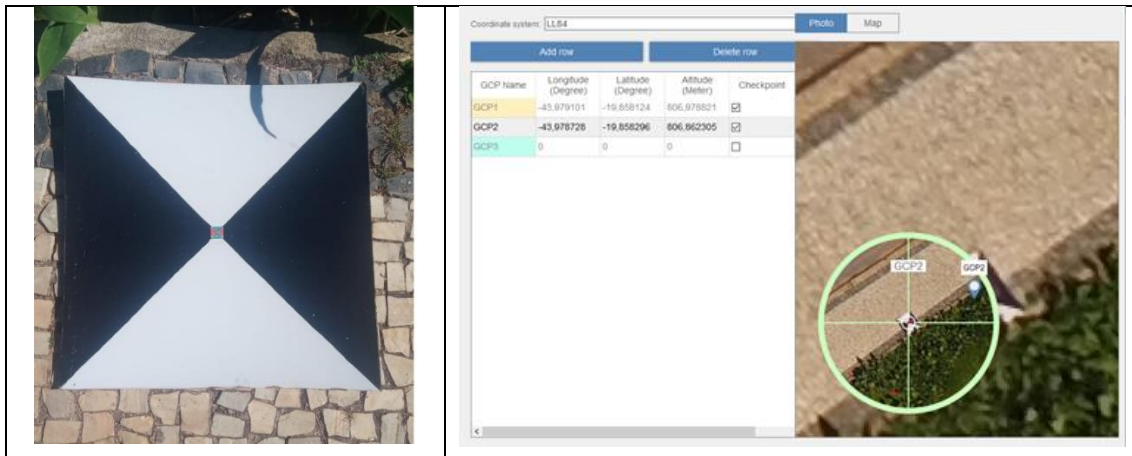


Figura 4 – Pontos de controle coordenadas em solo. Fonte: autores

Após a verificação do equipamento e condições climáticas, foram locados os pontos de controle no entorno da igreja e georreferenciados com o GPS. Próximo ao ponto de decolagem, foram distribuídos dois pontos de controle, formando um triângulo, cujas coordenadas foram registradas com o GPS manual e também com o GPS da RPA. No momento da decolagem foi capturada uma fotografia contendo as coordenadas iniciais do voo. Esse procedimento colaborou muito para a calibração dos pontos de controle em solo e das imagens obtidas pelo RPA.

4. Processamento das Imagens - geração de nuvens de pontos e ortofotos

As imagens dos voos foram processadas no programa *Agisoft metashape*, desenvolvido pelo fabricante russo Agisoft LLC, para processamento de imagens e construção de modelos fotogramétricos.

Os dados tridimensionais componentes da nuvem de pontos do primeiro e do segundo voo, apresentaram lacunas na torre, nos mosaicos laterais e principalmente no painel da fachada posterior da igreja, feito por Candido Portinari. Para corrigir estes problemas foi realizado o terceiro voo, em modo manual e, posteriormente a junção das imagens do segundo e terceiro voos, no programa Agisoft (Figura 5). Este processo demandou manipular todas as fotos do segundo e terceiro voos individualmente, buscando evitar sobreposições e conflitos.



Figura 5 – processo da junção das imagens obtidas nos dois voos (duplo grid e manual) no programa *Agisoft metashape*. Fonte: autores

Essas duas nuvens de pontos, resultantes da junção das imagens do segundo e terceiro vãos e do processamento da fachada posterior em separado, foram exportadas para o programa *Recap*, que foi utilizado para retirada de pontos excedentes (Figura 6).

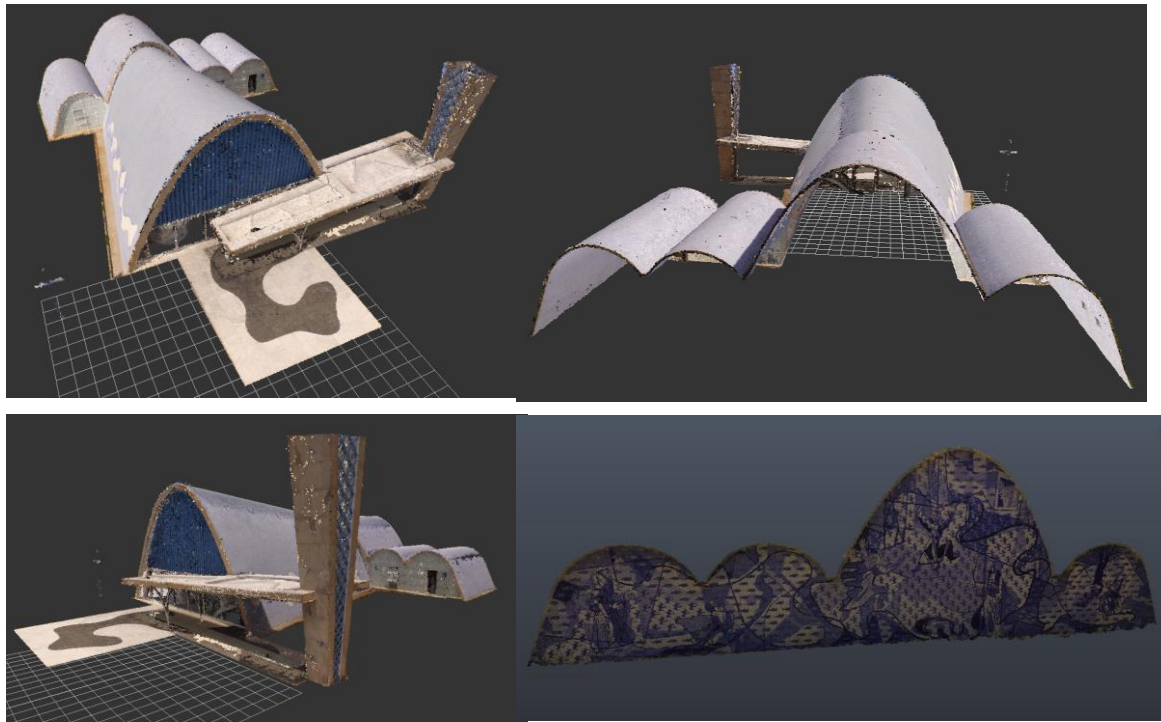


Figura 6 – Resultado das nuvens de pontos limpas no software Recap. Fonte: autores

5. Geração do modelo HBIM

Após o processamento no Recap, a nuvem de pontos foi exportada para o programa Sketchup pró 2022, que possui um plugin para leitura de nuvem de pontos, o qual permite desenhar sobre a nuvem, para gerar o modelo. Para a geração do modelo HBIM, cada parte da igreja foi modelada separadamente e transformada em elementos componentes vetoriais. Esse processo, além de facilitar um futuro aprimoramento do modelo, também faz parte da metodologia BIM (Figura 7).



Figura 7 – Base do modelo HBIM elaborada no programa *Sketchup pró 2021*. Fonte: autores

O modelo foi então exportado para o programa *Archicad*, comumente utilizado para a metodologia BIM e a nuvem de pontos foi superposta ao modelo elaborado no *Sketchup*, verificando-se ainda pequenas imprecisões que demandam um trabalho adicional de processamento no *Archicad* (Figura 8)

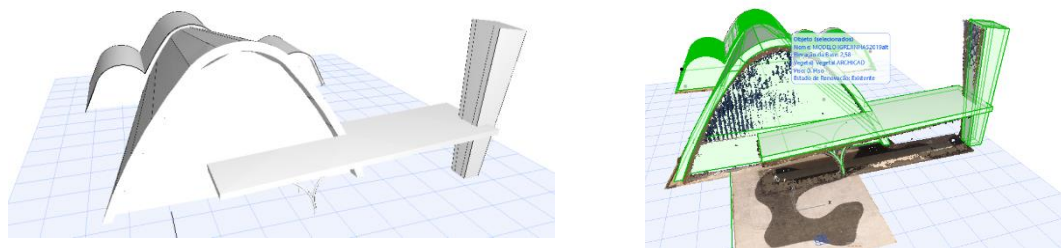


Figura 8 – Resultado da importação do modelo para o Archicad modelagem. Fonte: autores

Após a importação da nuvem de pontos para o Archicad, com a finalidade de contribuir para a informações contidas no modelo segundo a metodologia HBIM, foram adicionadas as fichas contendo o histórico de intervenções da Igreja da Pampulha, elaboradas com referência em Starling (2018). Este histórico de intervenções é uma das possibilidades de inserir informações a um modelo condizente a metodologia HBIM.

6. Considerações Finais

O estado da arte da documentação do patrimônio arquitetônico, envolve a utilização de equipamentos e tecnologias correlacionadas com a indústria 4.0, conseqüentemente a metodologia HBIM está em um momento exponencial tanto no Brasil quanto no mundo.

Este artigo apresentou, parte dos resultados da pesquisa em nível de mestrado realizada pelo autor 1, sob a orientação do autor 2. Os estudos estão em continuidade no grupo de pesquisa ArCHE – *Art and Cultural Heritage Environment*, em nível de Doutorado do autor 1 e com a orientação do autor 2.

Agradecimentos

Os autores agradecem a organização do Congresso Luso Brasileiro em Arquitetura e Engenharia, a Universidade Federal de Minas Gerais, o Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Escola de Arquitetura da UFMG e ao CNPq pelo apoio e divulgação da pesquisa.

Referências

- FABRÍCIO, M. M. et al. **Modelagem Bim para o Registro digital do Patrimônio Arquitetônico Moderno**. *Projetar*, Rio de Janeiro, v. 6, nº 1, Janeiro 2021.
- FABRÍCIO, M. M.; JÚNIOR, J. C. F.; COSTA, H. A. **BIM and Aerial Photogrammetry: building documentation of E1 - USP São Carlos**. XXII congresso da sociedade.
- GROETELAARS, N. J. **Criação de Modelos BIM a partir de “nuvens de pontos”: estudo de métodos e técnicas para documentação arquitetônica**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura, Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia. Salvador : [s.n.]. 2015. p. 372.
- LÓPEZ, F. J. et al. **A Review of Heritage Building Information Modeling (H-BIM)**. *Multimodal Technologies and Interaction*, v. 2, n. 2, p. 21, 5 maio 2018. ISSN 2414-4088. DOI 10.3390/mti2020021. Disponível em: <http://www.mdpi.com/2414-4088/2/2/21>. Acesso em: 8 out. 2021.
- ROCHA, G. et al. **A Scan-to-BIM Methodology Applied to Heritage Buildings**. MDPI, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/journal/heritage>. Acesso em: 21 abril 2021.

RODRIGUES -MORENO . J. F. et al. **Da nuvem de pontos ao BIM: um fluxo de trabalho integrado para documentação, pesquisa e modelagem de patrimônio arquitetônico**, Survey Review, DOI:10.1080 / 00396265.2016.12597 . 2016

BIM MODELING OF URBAN ROAD INTERVENTIONS FROM TRAFFIC SIMULATIONS

Marcelo Franco Porto*

Professor UFMG – Belo Horizonte, Brasil

Israel Gustavo Freitas Figueredo

Aluno UFMG – Belo Horizonte, Brasil

Gabriela Buitrago Frainz

Aluna UFMG – Belo Horizonte, Brasil

Renata Maria Abrantes Baracho

Professora UFMG – Belo Horizonte, Brasil

Abstract:

This paper proposes a road intervention using BIM technology to compare traffic simulation scenarios. SUMO, an open-source software, was used to model the scenarios and analyze results. A case study in Belo Horizonte, Brazil, examined traffic data from 7am to 8am. Lanes with bus stops consumed more simulation time due to bus stops. After simulating the first scenario, a road intervention solution was proposed to improve traffic conditions. Simulation time decreased in the lanes where geometric interventions were made. There was a significant 14% reduction (960 seconds) in travel delays, leading to lower vehicle density and increased average speed. The road infrastructure information was modeled in a BIM environment using Revit software, allowing visualization and export of data on existing and proposed conditions, as well as software integration

Keywords: Traffic simulation; Building Information Modeling; Interoperability; SUMO; Revit.

1. INTRODUCTION

Cities are fundamental to social and economic activities. Within a given area, centralization shapes the urban space and the lifestyle of its inhabitants, and is an important place where work, study, residence, leisure, shopping, among others. Therefore, there is a need for free movement and accessibility to people, goods, and services [1].

According to the United Nations – UN, in 2018 around 55% of the world population was in urban areas and it is projected that in 2030 around 60% of the world population will reside in cities with at least half a million inhabitants. A new perspective on urbanization and development is needed to make cities safe and sustainable [2]. With the growth of cities, there was an increase in the use of transport, both individually and collectively, and with that an impact on the movement of people and cargo and time spent in traffic. Congested traffic causes several

* Marcelo Franco Porto – Departamento de Transporte e Geotecnia da Universidade Federal de Minas Gerais. Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha, Belo Horizonte – MG/CEP 31270-901, BRASIL. e-mail: marcelo@etg.ufmg.br; marcelofrancoporto@gmail.com

problems such as lost time, increased emission of pollutants into the atmosphere, stress, reduced productivity, among others [3].

With the objective of improving mobility conditions in cities, the Federal Government (2012) sanctioned the law of guidelines for the national urban mobility policy. It regulates the democratic planning and management of modes of transport, for the movement of people and cargo in the urban space, prioritizing non-motorized modes over motorized ones and collective transport over the individual motorized one, in addition to stipulating pollutant emission standards, which may condition access to urban spaces under control [4].

2. RELATED WORK

2.1 Traffic Simulation

The Transport and Transit Company of Belo Horizonte – BHTRANS (2011) defines urban design as one of the projects necessary for urban interventions. These projects have different complexities and range from the implementation of new roads, road sections, geometric corrections of intersections, pockets, accessibility, and others. After the development stage of the geometric projects, accessibility projects, horizontal and vertical signage, traffic lights and others that the local characteristics demonstrate to be necessary must be developed [5]

To guarantee safe circulation conditions, the Brazilian Traffic Code – CTB warns that no road can be opened or reopened to traffic until it is properly signposted [6].

Proposing road interventions is a way to seek improvements in a place where traffic may be with low capacity, reduced flow speed, wasted time. It is therefore necessary that the traffic parameters are simulated in different scenarios to enable analyzes arising from these studies.

Simulation of Urban Mobility – SUMO is a free and open-source traffic simulator used in mobility, where it is possible to simulate large networks, and different modes of transport such as pedestrians, cyclists and public transport, being possible to develop different scenarios.

The software allows networks to be created for simulation using parameters such as the routes traveled, assigning different speeds on lanes, priority at intersections, modifying the number and width of traffic lanes, prohibiting, or authorizing a certain type of vehicle to travel, length of lanes between other parameters, in order to arrive at the most realistic scenario possible.

2.2 Building Information Modeling

BIM, or Construction Information Modeling, arose from the need to obtain information in projects beyond the geometric dimensions, creating a model in which it is possible to distinguish different elements according to their type in different dimensions and throughout the lifecycle of the project. The construction information, using the BIM methodology, becomes updated, complete, readable, available, easy to be modified and protected [7].

The benefits of its use are visible to several areas, such as architecture, engineering, construction, and industry. BIM is a construction-oriented technology, enabling and guiding decision-making by stakeholders and helping to reduce design and communication errors [8].

BIM applications in transport infrastructure projects still require further research, particularly regarding fully interoperable standards. However, they allow asset management decisions, based on cost, risk and performance throughout the lifecycle, covering design, construction, and maintenance stages, in addition to improving productivity [9]

3. METHODOLOGY

The work was carried out in six stages, as detailed in Figure 1, which comprise simulation and BIM modeling stages. For the development of the simulation, a map of the region to be studied through the Open Street Map – OSM website is imported into netedit, one of the several applications that SUMO has. netedit is a visual network editor that can be used to modify aspects of existing, imported networks or create networks from scratch. First the file conversion is done. osm for .net.xml, it is possible to analyze nodes, streets, lines, connections, circulation directions, among others.

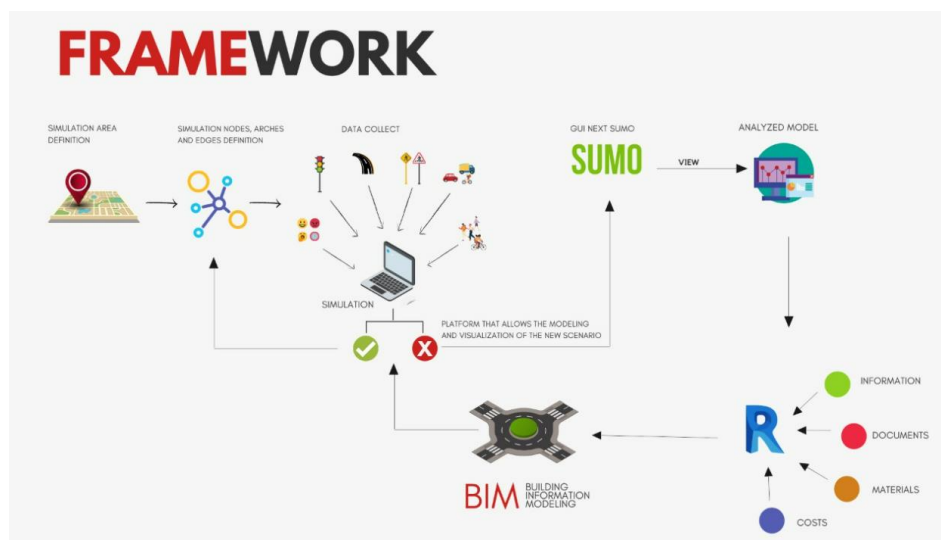


Figure 1: Research Framework

For the simulation to work, three files are required to be run in the Windows command prompt (cmd), the first is .net.xml, where the visual network editor is developed, which can modify all aspects of existing networks and their attributes; the second is .add.xml which is an additional file exported from netedit, which can be assigned various elements on the network such as traffic lights, speed detectors, parking areas, passenger embarkation and disembarkation points, among others. And the last one is the .rou.xml. In this file, Python programming language is used to configure the simulation routes, which vehicles will be analyzed, their colors, speeds, start and end in the simulation, among the various parameters that can be configured.

After the simulation in SUMO, for modeling in a BIM environment, the families of objects relevant to the project were created and definitions of material parameters were carried out. Subsequently, the modeling was carried out using a file containing the plant of the region, generating a final model for inserting new data and future proposals for improvements in the project.

4. CASE STUDY

4.1 Study Area

The area chosen for the development of the work was Av. Olegário Maciel between Rua Prof. Antônio Aleixo and Av. Álvares Cabral, south-central region of Belo Horizonte, Brazil, as shown in Figure 2. All streets defined in the study area are arterial roads according to the road system hierarchy map of the city of Belo Horizonte [9].

Avenida Olegário Maciel is one of the main thoroughfares in the south-central region of Belo Horizonte, connecting several important avenues in the capital, such as av. of the Contour, av. Bias Fortes, and most of the flow comes from Av. Raja Gabáglia crosses or passes through av. Olegário Maciel.

In the studied area is located Praça Carlos Chagas, commonly known as Praça da Assembleia, the Legislative Assembly of Minas Gerais, in addition to churches, schools, shopping centers, companies, among others that make the site a real traffic generator hub.



Figure 2: Study Area

4.2 Data Collect

With the intention of developing the most realistic simulation possible, field visits were necessary to analyze the location and diagnose the problems in the coverage area. Circulation

plans, modes of transport used, geometric characteristics of the lanes, regulated speed, road classification, lane widths, sidewalk states, accessibility conditions, survey of existing horizontal and vertical signs, bays and embarkation and disembarkation points were verified of passengers.

The classified counting of vehicles - CCV was carried out, which aims to determine the number and direction of vehicles that pass through the evaluated locations. This activity was recorded on video to assess the quality and accuracy of the data collected. Vehicles were classified into five types: trucks, buses, automobiles, motorcycles and bicycles. The time chosen for calibration of the simulation was the rush hour, between 07:00 and 08:00 in the morning, and the data collected during a week.

4.3 Current Scenario

To prepare the simulation environment, a map of the region to be studied, available on the Open Street Map – OSM website, was imported into netedit – a visual network editor that can be used to modify aspects of existing, imported networks or create networks from scratch.

First, the `pca_assembleia2.osm` file was converted to `pca_assembleia2.net.xml`. In it, it was possible to analyze and modify the nodes, streets, lines, connections, traffic directions for connection and exact parameterization of the real scenario, as shown in Figure 3. Other parameters were important for the creation of the network for simulation in netedit as the routes taken by the vehicles. Speed assignments were made on different lanes, priority at intersections, the number and width of traffic lanes was modified, prohibition or authorization for certain types of vehicles to travel, lane length, among other parameters that may have been misconfigured when importing the file .osm to .net.xml.

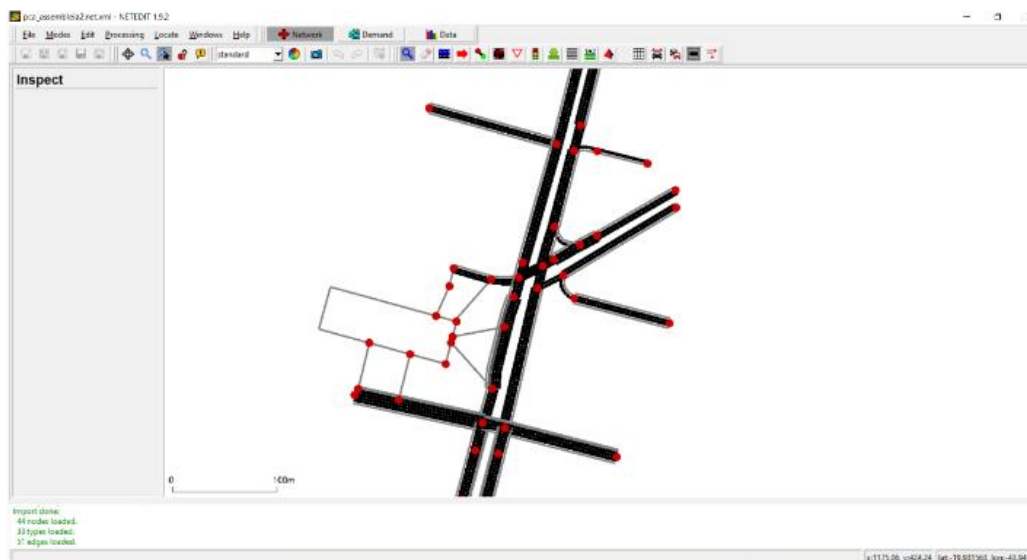


Figure 3: Prepare the simulation

The second step was the creation of the add-ons file. The .add.xml is a file created in netedit, which can be assigned various elements on the network, such as traffic lights, speed detectors, parking areas, passenger boarding and disembarking points, among others. In the case of this work, the additional busstop.add.xml was created because in the chosen location there are 3 bus stops with a large flow of vehicles, according to data obtained in the CCV survey.

After visually editing the network, modifying the parameters and creating additional ones as close as possible to reality, it was necessary to create and configure the file that describes the simulation routes, the .rou.xml. In this file, the Python programming language was used to configure the simulation routes. The types of vehicles, their colors, speeds, simulation time and routes established through the CCV survey were assigned, among the various parameters that can be assigned.

```

1 <!-- routes -->
2
3 <!-- Type -->
4 <!-- Carro -->
5 <!-- Moto -->
6 <!-- Pedestre -->
7 <!-- Bicicleta -->
8 <!-- Onibus -->
9 <!-- Caminhao -->
10
11 <!-- Route -->
12 <!-- r1 -->
13 <!-- r2 -->
14 <!-- r3 -->
15 <!-- r4 -->
16 <!-- r5 -->
17
18 <!-- Route -->
19 <!-- r6 -->
20 <!-- r7 -->
21 <!-- busStop -->
22
23 <!-- Route -->
24 <!-- r8 -->
25 <!-- r9 -->
26 <!-- r10 -->
27
28 <!-- Route -->
29 <!-- r11 -->
30 <!-- r12 -->
31 <!-- busStop -->
32
33 </!-- routes -->

```

Figure 4: rou.xml file configured for simulation analysis period

After creating the network in netedit and the routes, ready and checked, it is necessary to run the simulation through the Windows command prompt. It was requested to open the sumo-gui application, which is the graphical interface for viewing the simulated scenario, and the network files (-n), routes (-r), and additional (-a) pre-established files were added.

```

C:\Windows\System32\cmd.exe
Microsoft Windows [versão 10.0.19042.1165]
(c) Microsoft Corporation. Todos os direitos reservados.

D:\israel\Documents\Simulacao\Sumo\pca>sumo-gui -n pca_assembleia2.net.xml -r pca_rou2.rou.xml -a busstop.add.xml

```

Figure 5: rou.xml file configured for simulation analysis period

The sumo-gui interface was opened and the simulation of the working region was run. It was observed that the lanes where there were passenger embarkation and disembarkation points

consumed more simulation time, due to the average time that the bus was stopped. After running the full simulation, the simulation time was 6741 seconds.

4.4 Proposed Scenario

After obtaining the simulation results of the first scenario, a road intervention solution was proposed to improve traffic conditions and to develop the BIM modeling. The capacity of the existing bay was increased, and a new bus bay was installed on Av. Olegário Maciel, as shown in Figure 6, presenting the existing and proposed scenario. For this, it was necessary to create a new file in netedit with the new parameters, and a new additional file (.add.xml) due to the creation of an additional lane for the bus bay and consequently modification in the PED, only the route file (.rou.xml) has not been changed.



Figure 6: Current scenario and proposed scenario

After creating the new network in netedit, inserting the additional and routes, it was necessary to run the new scenario through the Windows command prompt. You were asked to open the sumo-gui application. It was observed that in the bands where the geometric intervention proposals were made, the simulation time decreased. After running the full simulation, the simulation completion time was 5781 seconds. The script used to run the new proposal was:
`\Simulation\Sumo\pca>sumo-gui -n pca_assembleia_new.net.xml -r pca_rou2.rou.xml -a busstop_new.add.xml`

4.5 Simulation Evaluation Parameters

To generate the graphs and thematic maps for the analysis of the parameters, it was necessary to copy some files available in the SUMO folder, installed on the computer, to the simulation folder and run the compilation commands again. Some maps and performance graphs of the real situation and the proposal were developed for the final evaluation of the proposal.

4.6 BIM Modeling

The first step in modeling the stretch in Revit was the creation of families with specific objects for the project (signs, traffic lights, pedestrian crossings), in addition to configuring the sidewalk, flowerbed and pavement attributes.



Figure 7: BIM road sign object example

The modeling of the study section was carried out from a 2D plan of the region, containing all dimensions and details. With the plant imported into the software, the regions were configured individually from the boundary lines. The objects were then subdivided into three stages, so that the intervention could be highlighted in the project: existing, demolition and phase 1.

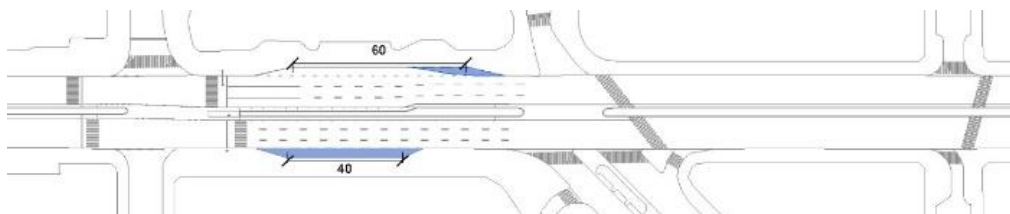


Figure 8: Highlight of the objects to be demolished to carry out the proposed intervention

Finally, the families created for the detailing of the signage and better visualization of the model were included, in addition to complementary open-source families.



Figure 9: Top view of the BIM model of the intervention

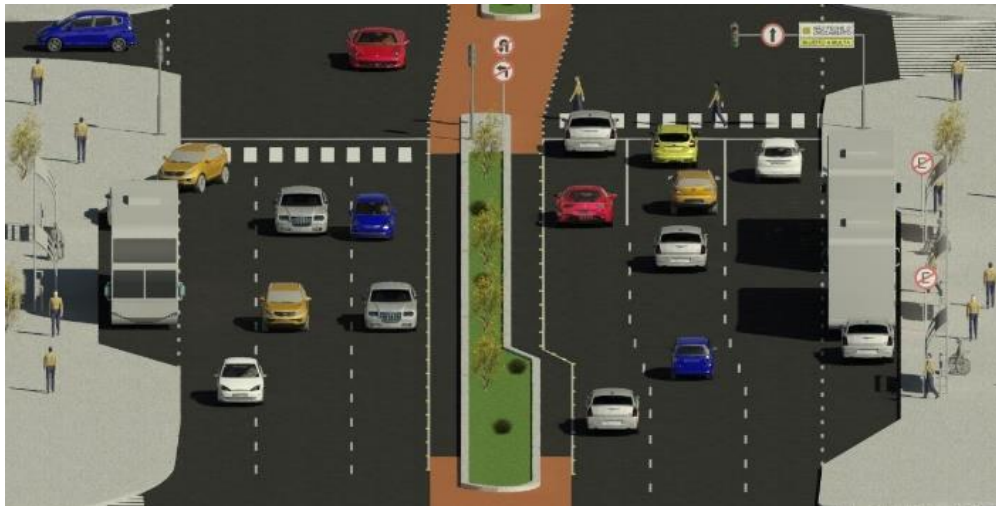


Figure 10: Road intervention rendering

5. RESULTS

With the simulation of the proposed changes to the road design, there was a significant reduction of 960 seconds (14%) in travel delays on the analyzed stretches, as shown in Figure 11.

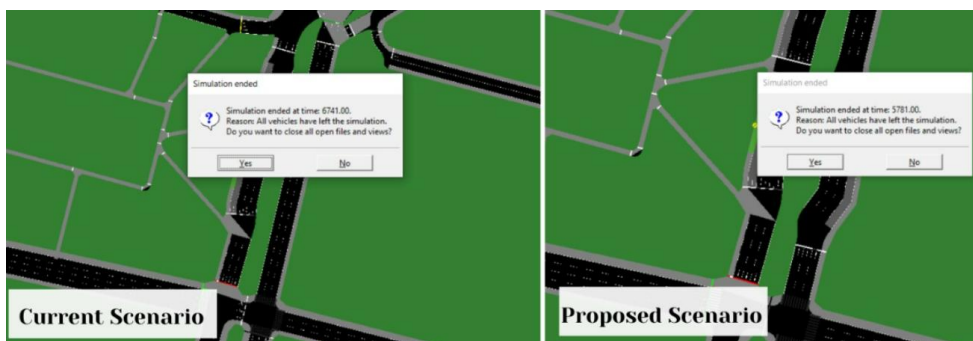


Figure 3: Simulation time reduction between the current and the proposed scenario

As they are saturated stretches, with the creation of a new bay and the expansion of the existing bay for embarkation and disembarkation, there was an increase in capacity, which promoted gains for public transport and for traffic in general.

These gains reflected a general performance of the network and an improvement in some stretches such as the reduction in the density of the road. Figure 12 shows the increase in average speed according to the graphs generated in the sumo-gui simulation application.

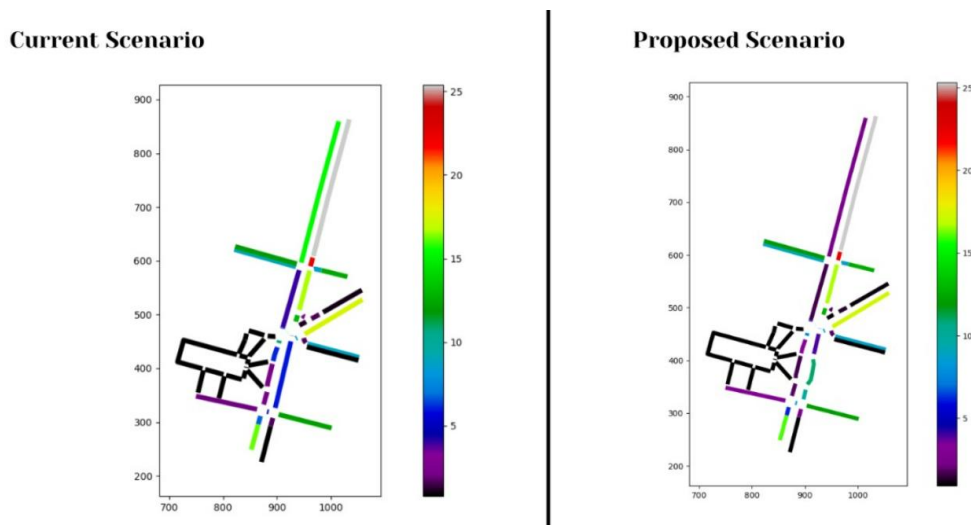


Figure 12: Increased average speed on simulation paths between the current and proposed scenarios

6. CONCLUSION

This work described the methodological steps for simulating urban mobility using SUMO, an intervention process based on the analysis of results and the integration of results to generate a BIM model of the road structure in Revit. In the case study, carried out on a stretch of significant road complexity, the changes implemented, following the proposed methodological model, promoted a 14% reduction in travel delays.

In addition to the benefits perceived with the simulation, gains were observed with the use of BIM modeling in Revit combined with SUMO. The integration of the results of the optimization model to generate the BIM model aims to integrate the disciplines of road planning with that of road projects, with benefits for the entire infrastructure lifecycle. These benefits range from realistic visualization of the intervention to demolished volume control, built-up area, among others. Although the use of construction information modeling is very widespread among civil construction with a focus on buildings, the control of the transport infrastructure life cycle has much to gain from the combination of BIM and road simulation technologies.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was cooperatively supported and financed by Projeto Transcolar Rural (EE/UFGM), Secretaria de Estado de Educação de Rondônia - SEDUC/RO, Fundação de Apoio à Pesquisa no Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq); Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERENCES

- [1] Strulak-Wójcikiweicz; R. Lemke; J. *Concept of a Simulation Model for Assessing the Sustainable Development of Urban Transport* v. 39, 2019, p. 502-513.
- [2] United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2018). *The World's Cities in 2018* - Data Booklet (ST/ESA/ SER.A/417).
- [3] Bertini, Roberto L. *You are the traffic jam: an examination of congestion measures*. In: 85th Annual Meeting Of The Transportation Research Board. Washington, DC, Nov. 2005. p.115
- [4] Brasil. *Decreto nº 12.587, de 03 de janeiro de 2012. Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana*.
- [5] Brasil. Empresa de Transportes e Trânsito de Belo Horizonte. Diretoria de Desenvolvimento e Implantação. Coordenação de Projetos de Trânsito. Gerência de Projetos de Trânsito. *Manual de Elaboração de Projetos Viários para o Município de Belo Horizonte*. 1ª Edição – Belo Horizonte MG, 2011, p.77.
- [6] Brasil, *Código de Trânsito Brasileiro*. Código de Trânsito Brasileiro: instituído pela Lei nº 9.503, de 23-9-97 - 3ª edição - Brasília: DENATRAN, 2008.
- [7] Szablowska, P.; Rochel, M. (2021) *Use of BIM technology in transport infrastructure projects*. Transportation Overview. DOI: 10.35117/A_ENG_21_06-07-08_04, 2020 p.16-14.
- [8] Seo, M.B.; Lee, D. (2020) *Development of Railway Infrastructure BIM Prototype Libraries*. Applied Sciences, v. 10, 2020, p. 8118. <https://doi.org/10.3390/app10228118>
- [9] Álvarez, A. P.; Ordieres-Meré, J.; Loreiro, A. P., Marcos, L. (2021) *Opportunities in airport pavement management: Integration of BIM, the IoT and DLT*, Journal of Air Transport Management, V. 90, 2021 p.10194. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2020.101941>.
- [10] Simulation of Urban Mobility - SUMO. Disponível em: <<https://sumo.dlr.de/docs/>> Acesso em Agosto de 2021.

APLICAÇÃO DE *BUILDING INFORMATION MODELING* - BIM NO PLANEJAMENTO E CONSTRUÇÃO DE UMA EDIFICAÇÃO

Renata Maria Abrantes Baracho¹

Professora UFMG – Belo Horizonte, Brasil

Luiz Gustavo da Silva Santiago

Aluno UFMG – Belo Horizonte, Brasil

Antonio Tagore Assumpção Mendoza e Silva

Aluno UFMG – Belo Horizonte, Brasil

Marcelo Franco Porto

Professor UFMG – Belo Horizonte, Brasil

Resumo:

O projeto surge a partir do objetivo de implementar, na prática, as propostas de melhorias da tecnologia Building Information Modeling (BIM) no processo construtivo. A proposta é alcançar construções mais eficientes, dentro dos padrões de sustentabilidade, buscando melhorias econômicas, menos geração de resíduos e otimização do tempo da construção partindo de uma metodologia colaborativa entre os responsáveis pela construção e os demais agentes envolvidos. A tecnologia BIM vem sendo amplamente utilizada em países como os Estados Unidos, Reino Unido, Noruega, dentre outros. Esse estudo verifica a aplicação do BIM no planejamento e construção de uma determinada edificação. Foi proposto um caso fictício em uma simulação real de uma renovação em uma edificação. Foi feita a simulação tridimensional e acompanhamento da obra para verificar vantagens e limitações da tecnologia BIM nas etapas desde o planejamento até a execução da obra. A metodologia foi dividida em quatro etapas: 1. Fundamentação teórica; 2. Modelagem 3D; 3. Orçamento; 4. Acompanhamento da Obra. O projeto iniciou-se no software AutoCad Autodesk, a partir de um croqui em que foi feita a planta baixa da residência que, posteriormente, foi importada para o software Revit Autodesk, para ser realizada a Modelagem 3D, fornecendo um grande banco de dados em formato de “maquete digital”. orçamento da reforma. obteve-se como resultados vantagens e desvantagens durante o desenvolvimento do projeto. As vantagens: interface entre projeto e programa; interface entre softwares; renderizações próximas da realidade; especificações de materiais; modelagem de famílias. Entre as limitações foram detectadas: a falta de famílias de materiais; desformatação de tabelas do software Revit Autodesk para o programa Excel Microsoft; modelos genéricos de famílias com renderizações que apresentam distorção da realidade; arquivos pesados. Concluiu-se, de forma lacônica, que mesmo diante das limitações apresentadas a implantação da tecnologia BIM em edificações é benéfica para os empreendimentos, pois possibilita um trabalho colaborativo entre as partes, otimiza etapas de projetos e, via de consequência, mitiga gastos e retrabalhos.

Palavras-chave: Building Information Modeling – BIM; Modelagem 3D; Gestão de Projetos; Orçamento; Planejamento de Obras; Execução de Obra.

¹Renata Maria Abrantes Baracho – Departamento de Tecnologia do Design, da Arquitetura e do Urbanismo da Universidade Federal de Minas Gerais. Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha, Belo Horizonte – MG/CEP 31270-901, BRASIL.e-mail:renatabaracho@ufmg.br; renatambaracho@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Building Information Modeling (BIM) pode ser entendido tanto como uma tecnologia, metodologia ou um processo que surge com o objetivo de implementar e auxiliar as partes envolvidas a visualizarem, de antemão, a construção por meio de uma simulação do projeto e, com isso, conseguirem identificar e prevenir erros de planejamento, projeto, construção ou operação. Este artigo propôs avaliar na prática as sete dimensões do BIM, sendo que a 1D e 2D representam o desenho bidimensional na prancha em plano cartesiano, coordenadas x e y; 3D Modelagem Paramétrica; 4D Planejamento; 5D Orçamento; 6D Sustentabilidade; 7D Gestão e Manutenção. Com efeito, verifica-se que a metodologia resulta em construções mais eficientes que estão dentro dos padrões de sustentabilidade e que permitem uma colaboração próxima entre arquitetura-engenharia-construção (AEC). Desse modo, visa incentivar a integração das atividades entre os responsáveis pela construção e os demais agentes envolvidos em um projeto, bem como busca alcançar melhorias econômicas, menos geração de resíduos, otimização do tempo da construção e operações.

A tecnologia BIM vem sendo amplamente utilizada em países como os Estados Unidos, Reino Unido, Noruega, dentre outros, pois, como mencionado alhures, a ferramenta permite armazenar, gerenciar, compartilhar e trocar informações do empreendimento através de sistemas interoperáveis, prevenindo potenciais problemas e aumentando o rendimento nas obras. Assim, a aplicação do BIM chega como uma tendência para otimizar etapas de gestão e planejamento em países subdesenvolvidos como o Brasil. [1] "O Brasil apresenta uma implementação avançada do BIM considerando os requisitos do BIS - Departamento de Inovações e Competências Empresariais". Contudo, mesmo diante dos avanços pela integração do BIM no mercado brasileiro, somente a partir do ano de 2021 a sua utilização em obras públicas se tornou obrigatória. Dessa maneira, visando enriquecer a pesquisa e obter maior parametrização de materiais, para a realização do presente estudo foi proposto um caso fictício em uma simulação real de uma renovação em uma edificação na Flórida (EUA), uma vez que seria mais viável a implantação nessa edificação tendo em vista a metodologia já ser implementada nas edificações por meio de ferramentas que gerassem maior aproximação da realidade.

2. FUNDAMENTOS

2.1 Planejamento e controle de obra

Ao decorrer dos anos a indústria da construção, vem passando por mudanças nos processos, métodos e operações, seja pelos avanços tecnológicos, exigências dos consumidores e/ou aumento da competitividade, as empresas devem buscar cada vez mais métodos para aumentar a produtividade, bem como que aumentem o lucro e reduzam os prazos e insumos. Para, diminuir os gastos e, conseqüentemente, aumenta os lucros, as empresas necessitam das chamadas sistemática gerencial, que, em outras palavras, pode ser traduzido em planejamento e controle de obras, uma vez que, são responsáveis pela vinculação de todas as etapas do empreendimento, desde sua concepção até a sua entrega. Todavia, pelos empreendimentos, serem únicos, dinâmicos, mutáveis e, interconectados a sua gestão é cada vez mais complexo e suscetível a erro.

Assim, [2] retratam que a programação e controle de obras ainda não é um processo que influencia e impacta em todo o projeto, sendo visto, apenas como componente de um setor específico em uma empresa, que, conforme visto, infelizmente ainda é pouco efetivo dentro da construção civil, sendo muitas vezes realizado junto ao acompanhamento dos serviços pelo engenheiro, denominado "tocador de obra".

Nesse sentido, [3] define que planejar é pensar, aplicar, controlar e corrigir a tempo, sendo que, para o autor, planejar é uma forma de se garantir a qualidade da empresa, por meio de um monitoramento e redimensionamento estratégico da empresa, devido a forma como os responsáveis pelo gerenciamento da construção e do projeto tem de dar resposta rápidas e certas a perpetuidade da empresa pela capacidade que os gerentes ganham de dar respostas rápidas.

Assim, na constante busca pelo planejamento e controle eficaz é necessário o primeiramente que se tenha a definição do projeto, pois sua definição tem grande impacto sobre a produtividade e desempenho da linha de produção, sendo então um dos fatores que dita o sucesso do empreendimento, uma vez que, reduzir as incertezas do projeto e melhora o desenvolvimento das atividades. Para mais, [4] infere o planejamento como sendo um método melhora e define as tomadas de decisões a partir de um determinado serviço, da maneira como será executado, do prazo, do custo e dos recursos necessários.

O planejamento e controle se tornam interessantes para os empreendimentos, porque permitem à equipe previamente mapear e identificar as frentes de serviços, permitindo identificar possíveis problemas e, com isso, adaptar as ações, garantindo melhor desempenho para o empreendimento. Por mais, [3] cita alguns dos benefícios que os um planejamento e controle eficaz pode trazer para obras, sendo eles:

- Conhecimento pleno da obra: Quando o profissional tem pleno conhecimento do empreendimento, permitindo ele saber exatamente o período e frente de trabalho para cada serviço que será executado.
- Detecção de situações desfavoráveis: Identificação de possíveis soluções desfavoráveis e desconformidades, através da disponibilidade de tempo hábil para profissional para tomar decisões que gerem impacto sobre o cronograma e fluxo do empreendimento.
- Agilidade de decisões: Por meio do planejamento eficaz é possível definir uma base confiável para as tomadas de decisões no canteiro.
- Relação com o orçamento: Por se utilizar bases de dados da produtividade e da alocação de recursos, uni-se o planejamento ao orçamento, sendo possível analisar incoerência e propor melhorias.
- Otimização da alocação de recursos: Conseguir postergar despesas, definindo quais frentes de serviços podem ser atrasadas sem que o cronograma sofra atrasos.
- Referência para acompanhamento: Com o cronograma da obra é possível comparar o previsto com realizado, permitindo aos profissionais identificarem serviços que necessitam de medidas preventivas e/ou corretivas, de forma objetiva e direta.
- Padronização: A partir do planejamento e controle consegue-se melhorar a comunicação entre os profissionais e com isso favorecer a racionalização dos processos.
- Referência para metas: Diante do comprimento de atividades dentro do prazo, atribuídas pelo planejamento, é possível atribuir metas e bônus que favoreçam o aumento da produtividade no canteiro.
- Documentação e rastreabilidade: Pelo conexão entre profissionais e pela formação de registros das atividades, tem-se a formação de uma base histórica do empreendimento, que, por sua vez, facilita a recuperação de informações e auxilia na resolução de pendências.
- Criação de dados históricos: A criação de dados vem a partir das metodologias implementadas na obra, pela chamada “memória da obra”.
- Profissionalismo: Transparece seriedade e comprometimento tanto em relação à obra quanto em relação à empresa, causando uma boa impressão e ajudando a fechar novos negócios.

2.2 BIM

Building Information Modeling (BIM) pode ser entendido tanto como uma tecnologia, metodologia ou um processo que surge com o objetivo de implementar e auxiliar as partes envolvidas a visualizarem, de antemão, a construção por meio de uma simulação do projeto e, com isso, conseguirem identificar e prevenir erros de planejamento, projeto, construção ou operação. De acordo com [5] o BIM surgiu como uma forma de melhorar as tomadas de decisões das empresas, devido ao aumento da capacidade de analisar e qualificar informações.

Para [6] o BIM é um sistema de informação que permite a troca de dados por meio da colaboração entre arquitetura, engenharia e construção, sendo por meio da elaboração de um modelo virtual tridimensional, parametrizado e preciso sobre o empreendimento. Sendo que, a metodologia é formada por um conjunto de processos, que associados, permitem uma melhor comunicação, produção e tratativa dos dados. Já para [7] o BIM chega como um conjunto de processos que permitem às partes envolvidas no empreendimento, de maneira colaborativa, devido a interoperabilidade dos sistemas, projetar, operar e construir um empreendimento.

Por outro lado, tem-se BIM é visto como processo que surgiu a partir do Computer Aided Design (CAD), contudo, é uma tecnologia que vai além de planos bidimensionais, pois, é utilizados desde a concepção até o pós-obra da edificação, dado que, permite uma representação tridimensional do modelo de construção, que por sua vez, é composto por processos integrado.

Com efeito, observa-se que a metodologia resulta em construções mais eficientes que estão dentro dos padrões de sustentabilidade e que permitem uma colaboração próxima entre AEC. Pois incentiva a integração das atividades entre os responsáveis pela construção e os demais agentes envolvidos em um projeto, uma vez que possibilita melhorias econômicas, que, por consequência, levam à otimização dos prazos de obra.

Assim, tem-se que o BIM é uma metodologia que auxilia na compatibilização de projetos, nos processos de industrialização e na produtividades dos canteiros, sendo assim, essa tecnologia vem sendo amplamente utilizada em países como os Estados Unidos, Reino Unido, Noruega, dentre outros, pois, conforme supramencionado, é uma ferramenta permite armazenar, gerenciar, compartilhar e trocar informações do empreendimento através de sistemas interoperáveis, prevenindo potenciais problemas e aumentando o rendimento nas obras. Assim, para a realidade dos empreendimentos brasileiros a implementação do BIM chega como uma tendência para otimizar etapas de gestão e planejamento. Dessa forma, [1] retrata que “O Brasil apresenta uma implementação avançada do BIM considerando os requisitos do BIS - Departamento de Inovações e Competências Empresariais”.

3. DESENVOLVIMENTO



Figura 1: Framework da pesquisa

Com o uso da tecnologia BIM e dos softwares Autocad® e Revit® da Autodesk, softwares estes utilizados em razão da sua comprovação de liderança e disponibilidade de utilização das licenças pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), por meio de uma colaboração entre ambas, para a realização da modelagem optou-se pela conexão de dois softwares Autodesk, o Autocad, para a realização de uma planta baixa, e o Revit, para a representação 3D, onde a planta inicialmente projetada no Autocad foi importada para o Revit para ser realizada a modelagem em 3D. Mesmo sendo possível realizar todo o processo utilizando o software Revit, antepor-se pela conexão de dois programas, pois a implantação da tecnologia BIM ainda é recém-chegada no mercado e é muito comum, ainda, a utilização distinta dos programas. Desse modo, foi feita essa integração para mostrar a eficiência e praticidade do BIM no mercado de trabalho, conseguindo de forma benéfica possibilitar a interação de pessoas que optam por diferentes softwares em projetos. Foi feita a modelagem completa com definição de materiais, detalhes de acabamento e o levantamento dos quantitativos. Juntamente à modelagem, foi realizado um estudo dos materiais, verificando se era cabível de reparo ou se necessitava da troca. Para os cabíveis de troca, foi iniciada uma busca na modelagem por materiais disponibilizados na construção civil, através de varejistas como The Home Depot® e Lowes®, empresas americanas que são fornecedoras de materiais para o lar e para construção civil. E, pelo benefício da tecnologia, foi possível parametrizar os materiais a partir de famílias disponibilizadas pelos fabricantes, sendo esta uma das justificativas de utilizar um modelo nos Estados Unidos.

3.1 Levantamento: Levantamento do local a ser reformado, visando as melhorias a serem feitas num primeiro instante ainda no 2D.

3.2 Modelagem: Representação tridimensional da construção, já visando as melhorias previstas para o projeto.

3.3 Busca de Materiais: Com a modelagem 3D feita, faz-se necessário encontrar materiais vinculados a marcas e lojas, que a partir das famílias disponibilizadas pelos próprios fabricantes é possível parametrizar o projeto.

3.4 Orçamento: Com dados obtidos na modelagem sobre levantamento de área construída e definição de acabamentos, é possível quantificar e orçar os gastos na obra, levando em conta a mão de obra, o material e o tempo de execução.

3.5 Planejamento: Realização do cronograma, em que, a partir das etapas anteriores e da vinculação de execução de cada etapa, é possível obter uma estimativa da duração da obra.

3.6 Acompanhamento da Obra: É de grande importância acompanhar a obra a fim de tentar garantir que tudo ocorra como planejado ou para que o planejamento seja atualizado, quando algo não previsto aconteça.

3.7 Pós-Obra: Ao fim da obra é importante revisar o que foi planejado com o que foi feito para que o “As Built” esteja de acordo com a execução feita.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após um estudo sobre o tema e análise do croqui e imagens, foi feito documento em que as imagens se encontram nos respectivos cômodos em que estão situadas. Dessa forma, foi possível ter uma noção mais clara da disposição dos ambientes, facilitando então a modelagem em 2D e 3D da residência. Iniciando-se no software AutoCad Autodesk, a partir de um croqui em que foi feita a planta baixa da residência que, posteriormente, foi importada para o software Revit Autodesk, para ser realizada a Modelagem 3D, forneceu-se um grande banco de dados em formato de “maquete digital”. Após a modelagem, com auxílio de tabelas exportadas do Revit Autodesk para o programa Excel Microsoft®, e vice-versa, conseguiu-se finalizar a proposta de orçamento da reforma. Devido às limitações em relação à alguns materiais, foram feitas aproximações para que a simulação pudesse seguir o cronograma.

Diante da representação tridimensional do projeto foi possível propor renderizações como projeção de reformas para todos os cômodos da residência, conseguindo levantar um comparativo de antes da reforma, do render e após a reforma, onde restou comprovada a fidelidade da simulação com a situação real final do projeto, mostrando a eficiência da metodologia BIM. E, juntamente com o banco de dados formado na maquete digital, foi possível extrair gráficos e tabelas de diferentes categorias, possibilitando verificar de análises de custo e tempo por tipo de ambiente e simulações de material, tempo, dentre outros parâmetros, permitindo, desse modo, acompanhar de forma eficiente e real o desenvolvimento da obra com todas as mudanças e alterações que, normalmente, são requeridas em um projeto.



Figure a: (a) Antes da obra; (b) Render Revit; (c) Obra pronta

Destarte, após o estudo, obteve-se como resultados vantagens e desvantagens durante o desenvolvimento do projeto. As vantagens percebidas com o uso da metodologia BIM incluem: interface entre projeto e programa; interface entre softwares; renderizações próximas da realidade; especificações de materiais; modelagem de famílias. Entre as limitações foram detectadas: a falta de famílias de materiais; desformatação de tabelas do software Revit Autodesk para o programa Excel Microsoft; modelos genéricos de famílias com renderizações que apresentam distorção da realidade; arquivos pesados.

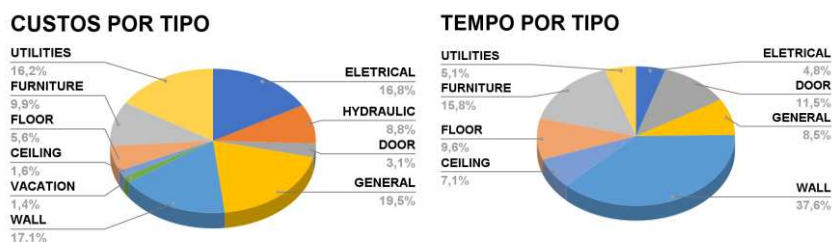


Figura 3: (a) Custo por tipo; (b) Tempo por tipo

Concluiu-se, de forma lacônica, que mesmo diante das limitações apresentadas a implantação da tecnologia BIM em edificações é benéfica para os empreendimentos, pois possibilita um trabalho colaborativo entre as partes, otimiza etapas de projetos e, via de consequência, mitiga gastos e retrabalhos.

AGRADECIMENTOS

Projeto Transcolar Rural da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (EE/UFMG), Secretaria de Estado de Educação de Rondônia - SEDUC/RO; Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES); Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq); Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig).

REFERÊNCIAS

- [1] dos Santos S.D., Vendrametto O., González M.L., Correia C.F. In: Umeda S., Nakano M., Mizuyama H., Hibino N., Kiritsis D., von Cieminski G. *Profile of Building Information Modeling – BIM - Tools Maturity in Brazilian Civil Construction Scenery (eds) Advances in Production Management Systems: Innovative Production Management Towards Sustainable Growth*. APMS 2015. IFIP Advances in Information and Communication Technology, vol 459. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-22756-6_36.
- [2] Formoso, C.; Bernades, M.M.S.; Oliveira, L.; Oliveira, K. *Uma proposta de protocolo para o planejamento e controle da produção em empresas construtoras*. Porto Alegre: NORIE/UFRGS, 1998.
- [3] Mattos, A. D. *Planejamento e Controle de Obras*, 2. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.
- [4] Laufer, A.; Cohenca, D. Factors Affecting Construction Planning Outcomes. *Journal of Construction Engineering and Management*, New York, v.116, n.1, p. 135-156, 1990.
- [5] Campestrini, T. F. et al. *Entendendo BIM: uma visão do projeto de construção sob o foco da informação*. Curitiba: SINDUSCON, 2015.
- [6] Eastman, C.; Teicholz, P.; Sacks, R.; Liston, K. *Manual de BIM: um guia de modelagem da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e*

incorporadores. Tradução de Cervantes Gonçalves Ayres Filho et al. Porto Alegre, RS: BOOKMAN, 2014.

[7] BIMDICTIONARY, Verbete Building Information Modelling Disponível em: <<https://bimdictionary.com/en/building-information-modelling/2>>. Acesso em: 01 julho. 2023.

[8] Azhar, Salman. Khalfan, Malik. Maqsood, Tayyab. *Building Information Modelling (BIM): Now and Beyond*. Australasian Journal of Construction Economics and Building, 12 (4). Vol 12 No 4 (2012): 2015. <https://doi.org/10.5130/AJCEB.v12i4.3032>.

[9] *Building Information Modeling in Support of Sustainable Design and Construction* Bynum, Patrick; Issa, Raja R. A; Olbina, Svetlana Journal of Construction Engineering and Management, 2013, Vol.139(1), [https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000560](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000560).

[10] Baracho, R. M. A., Porto, M. F., Botelho, B. R. W.; *Modelagem e gerenciamento da informação em edificações*. 4º Seminário Ibero-Americano, 2015. Acesso em: 01 julho. 2023.

[11] Baracho, Renata Maria Abrantes et al. *Decision Making in Real Estate Developments Based on Building Information Modeling - BIM*. Systemics, Cybernetics and Informatics, v. 17, n. 3, 2019.

[12] Baracho, Renata Maria Abrantes. *Sistema de recuperação de informação visual em desenhos técnicos de engenharia e arquitetura: modelo conceitual, esquema de classificação e protótipo*. 2007. Tese (Doutorado em Ciência da Informação) - Escola de Ciência da Informação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

[13] *AUTOCAD: Software CAD 2D e 3D. Versão 2022*. Brasil: Autodesk Inc., 2022. Disponível em: <<https://www.autodesk.com.br/products/autocad/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>>. Acesso em: 01 julho. 2023.

[14] *REVIT: Software BIM para projetistas, construtores e desenvolvedores*. Versão 2022. Brasil: Autodesk Inc., 2022. Disponível em: <<https://www.autodesk.com.br/products/revit/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>>. Acesso em: 01 julho. 2023.

[15] *EXCEL: Simplifique dados complexos e crie planilhas de fácil leitura*. Versão Microsoft 365. Brasil: Microsoft Corporation, 2022. Disponível em: <<https://www.microsoft.com/pt-br/microsoft-365?rtc=1>>. Acesso em: 01 julho. 2023.

UMA NOVA CULTURA DIGITAL NAS AULAS DE ARQUITETURA E URBANISMO FRENTE AOS AVANÇOS TECNOLÓGICOS



**Mozart Joaquim
Magalhães Vidigal¹**
Doutorando
UFMG – Belo
Horizonte, Brasil



**Renata Maria
Abrantes Baracho**
Professor
UFMG – Belo
Horizonte, Brasil



**Marcelo Franco
Porto**
Professor
UFMG – Belo
Horizonte, Brasil

Resumo

Este trabalho trata da análise da formação de arquitetos e engenheiros referentes aos modelos de ensino praticados em uma escola de Arquitetura e Urbanismo e uma escola de Engenharia de Belo Horizonte frente às tecnologias de informação e comunicação nas atividades presenciais em sala de aula. O objetivo é discutir a utilização desses recursos no ateliê de design, e analisar a posição de alguns professores e alunos diante dessa situação. Foi elaborada uma análise das práticas pedagógicas adotadas na disciplina nesta escola. Procurou-se refletir sobre a utilização de ferramentas de apoio ao desenvolvimento de projetos. Com esta discussão, pretende-se contribuir para um incentivo à qualificação necessária para os professores de ensino de projeto no futuro, bem como as práticas pedagógicas que serão adotadas numa época em que predominará o uso de ferramentas tecnológicas e que professor e aluno precisarão interagir com o ensino e aprendizagem do projeto arquitetônico.

Palavras-chave: Projeto arquitetônico, Tecnologias de Informação e Comunicação, BIM, Cultura Digital.

¹Mozart Joaquim Magalhães Vidigal – Departamento de Tecnologia do Design, da Arquitetura e do Urbanismo da Universidade Federal de Minas Gerais. Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha, Belo Horizonte – MG/CEP 31270-901, BRASIL. e-mail: mozartvidigal@ufmg.br; mozartvidigal@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

A tecnologia tem sido uma das soluções para superar os desafios educacionais de um país com grandes extensões e possibilidades de grandes transformações como o Brasil. Em uma sociedade, em sua cultura e história, pode-se identificar o papel do docente e dos que estão diretamente envolvidos com ele. Educar-se é considerado uma forma significativa de poder interferir positivamente no desenvolvimento das pessoas, transformando-as em agentes modificadores. Pode-se entender também que por meio desse princípio, voltado para o processo educacional, está todo o dinamismo da construção de um grupo que reflita as expectativas de seus cidadãos, dos governantes, de suas políticas públicas.

Vivemos em um mundo globalizado, onde o processo de interação com o meio social, cultural, econômico e político, nos direciona a olhar para a realidade da educação no mundo onde podemos, muitas vezes, estabelecer conexões além fronteiras, com permissão para aprender, em um modelo voltado para o desenvolvimento e a existência de novos arranjos e parcerias, quebrando inclusive paradigmas.

As novas Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) nas últimas décadas vêm apresentando novas formas de interagir e disseminar informações. Novas posturas, novas formas de pensar, novos atributos para realizar as atividades, aliados ao crescimento econômico, colocam a era da informação e do conhecimento, que estimula e exige a melhoria da qualidade do sistema educacional.

Muitas escolas estão sendo levadas a pensar em novos temas e a trazer reflexões para seu ambiente de aprendizagem, avivando a busca por informações na tentativa de aproximar professor e aluno em uma relação menos formal. Aquele professor detentor do conhecimento será substituído por um mediador e estimulador da crítica que colabora com a construção do conhecimento. Os espaços de formação foram obrigados a acompanhar este novo ritmo de informação. Devem estimular a importância de novos temas e repensar todo o seu espaço físico de forma a favorecer a relação entre o aluno e seu intermediário. O atual ambiente de ensino deve acompanhar a nova tendência, permitindo que os alunos trabalhem e compartilhem suas experiências entre si e com seus professores, experimentando, estimulando, criando e construindo seus conhecimentos.

Nos últimos anos, espaços destinados ao aprendizado do ofício da arquitetura, ainda limitados em tecnologia, abrigaram professores e aprendizes que muitas vezes experimentavam formas em tentativas muitas vezes complexas. A partir do avanço tecnológico, as formas passaram de uma probabilidade à realidade vivenciada alimentando uma evolução que não se restringiu apenas ao uso de ferramentas poderosas, mas também modificando os comportamentos.

Alguns países, como o Brasil, ainda apresentam problemas básicos no uso de tecnologias. O Projeto Aluno Integrado, desenvolvido e apresentado em 2016, teve como foco a educação e o uso da tecnologia para um mundo melhor, buscando explorar diferentes olhares dentro do tema em todas as etapas da educação. O projeto mostrou a necessidade de criar espaços reais e virtuais para a formação de alunos do ensino fundamental da rede pública brasileira, capacitando-os no uso das TICs [1]. As universidades estão expandindo a base instalada em

grande velocidade e em larga escala enquanto o país investe na ampliação da abrangência do uso da tecnologia na educação básica.

O período mais crítico da pandemia de COVID19 foi marcado por diversas transformações na sociedade. Este tema é muito amplo para ser tratado em toda a sua amplitude e pode-se inferir uma consequência refletida no processo de aceleração do processo de informatização e desenvolvimento das TICs, em diversos setores e principalmente em aspectos relacionados à educação.

Os usuários da sala de projeto do curso de arquitetura e urbanismo, por meio de um processo motivado pelo avanço tecnológico, enfrentam o desafio de aprender e compartilhar conhecimentos entre si, além das mudanças advindas do uso da tecnologia. Com a rápida evolução dos softwares e sua adaptação às necessidades, a forma como os profissionais utilizam essas ferramentas para criar e desenvolver um projeto de arquitetura também muda. Os computadores que antigamente serviam para digitalizar uma obra elaborada com grafite sobre papel, desenho feito manualmente, hoje temos o processo de desenho na tela do computador. Existem programas que possibilitam todo esse processo de forma mais rápida e objetiva.

A utilização dessas tecnologias na construção civil e na formação de Engenheiros e Arquitetos exige profundas mudanças na produção do objeto arquitetônico. A utilização do sistema BIM (Building Information Modeling) como ferramenta de aprendizado e produção de conhecimento em projeto de edificações' - está na encruzilhada de três campos: a difusão do uso da tecnologia da informação nas diversas áreas do conhecimento, as novas possibilidades da representação e simulação da arquitetura e construção e os novos paradigmas da educação formal.[2]. A tecnologia BIM é um dos desenvolvimentos mais promissores na indústria de arquitetura, engenharia e construção. Um modelo virtual tridimensional do edifício é construído e contém, além da geometria, vários dados e informações relevantes necessárias para a construção, fabricação e outras atividades para realizar a construção. A tecnologia integra arquitetos, engenheiros e construtores, alterando e agilizando o ciclo da informação, sendo uma evolução que permite novas possibilidades de visualização, processamento, representação, uso e recuperação da informação. [2], [3]. A tecnologia BIM é considerada uma evolução das aplicações gráficas voltadas para a geração de desenhos técnicos (CAD) [4]. Características e recomendações para a implementação e melhor utilização da tecnologia BIM são amplamente discutidas em trabalhos [5], [6], [7], [8].

Este trabalho não pretende gerar soluções para as questões apresentadas. Mas mostrar os argumentos a fim de estimular novas reflexões e possibilidades que possam transmitir novas possibilidades práticas de ensino e aprendizagem em sala de aula de projeto de arquitetura. Com base nessa premissa, as análises realizadas são geradas pela experiência do autor e podem assumir algumas limitações no resultado apresentado, sem a pretensão de formular um resultado definitivo.

2. ENSINAR E APRENDER

Nesse cenário, novas formas de ensinar e aprender, conciliando atividades presenciais com atividades a distância, possibilitadas pelo uso da tecnologia da informação digital, vêm se configurando. Nesta tendência de mudança, pode-se observar que esta modalidade de aprendizagem é definida como ensino híbrido [9].

Um ambiente híbrido é aquele que compartilha elementos virtuais e do mundo real, explorando, por meio de um ambiente totalmente informatizado, linguagens que permitem a integração desses lugares tanto no plano físico quanto no virtual. Esses espaços de comunicação, por meio de redes de computação, são definidos na cibernética como imateriais e vão muito além dos limites do espaço físico.

Atualmente, há a necessidade de propor este tipo de ambientes para uma aprendizagem de qualidade onde os espaços físicos e as práticas de ensino caminhem com uma arquitetura também híbrida [10].

O espaço de aprendizagem, como ambiente tradicional presencial, precisa ser redefinido. Essa sala de aula perde seu caráter de espaço de uso mais ortodoxo, para o de ambiente onde o ciclo de atividades do começo ao fim, são sempre com mais qualidade. Professores e alunos passarão menos tempo juntos presencialmente, porém com horários em que as atividades de aprendizagem serão organizadas com mais qualidade, numa troca de experiências, inseridas em um ambiente que poderá ser mais flexível.

Nessa fase de ascensão acelerada da tecnologia, percebe-se que as escolas de Arquitetura e Urbanismo não estão conseguindo acompanhar essa transição e, na maioria das vezes, não estão preparadas física ou pedagogicamente para ela. Requer adequar esses espaços de aprendizagem de forma a permitir um bom desempenho das ações físicas e imaginárias ali realizadas tanto por professores quanto por alunos, permitindo também relações imaginárias e significados entre as atividades e o ambiente físico. Todo ser humano contribui, com sua imaginação, com os significados e sentidos que produz, para construir e transformar a cultura em que vive ao mesmo tempo em que é constituído por ela. Os atores de uma instituição podem contribuir para a concepção dos ambientes, opinando diretamente nos espaços com os quais interagem [11].

A discussão sobre o papel do ambiente no desempenho das funções de ensino e aprendizagem tem sido alvo de reflexões e estudos têm sido realizados sobre o assunto. Vários autores referem a enorme distância entre designers, arquitetos e pedagogos na definição das necessidades. Embora não esteja claro se, em algum momento da história, a relação do uso dessa tecnologia para ensinar projeto arquitetônico ainda pode ser um processo inicial, pois ainda há predominância do desenho feito manualmente, em papel e com auxílio de lápis. Outro fator que pode colaborar para postergar o uso de ferramentas tecnológicas ainda pode ser a falta de boas máquinas a preços acessíveis, colocadas à disposição de alunos e professores. Demonstrar essas questões será um grande desafio. Entre as formas de projetar escolas consideradas metodologias de ensino, o que se observa é uma padronização das

escolas em resposta a um ideal arquitetônico desde o movimento modernista. Verificou-se também que os edifícios escolares marcam a paisagem urbana, mas nem sempre correspondem às funções a que se destinam [12].

A sala de aula hoje, enquanto local de construção do conhecimento, deve ser tecnicamente rigorosa e também precisa ser confortável, ter boa acústica e aproveitar a tecnologia. Também precisa garantir bons espaços para pesquisa, construção de projetos onde a comunicação por meio da tecnologia online também deva ser permitida, conciliando a qualidade do ensino presencial com o ensino virtual simultaneamente [13].

Em seu doutorado [14] analisou salas de aula onde foram inseridas tecnologias avançadas com o intuito de verificar o nível de interferência desses ambientes no modo de aprendizagem dos alunos. Constatou-se que a influência tecnológica atinge os ambientes de estudo, eles apresentam diversos aspectos a serem melhor estudados e compreendidos, através de um planejamento e projeto que atendam a esta nova demanda. Esse processo envolve, além de alunos e professores, diversos profissionais do ensino. O ambiente de sala de aula, por sua maior complexidade, requer melhor entendimento, planejamento e preparo de forma que atenda aos anseios de alunos, professores e todos os envolvidos no processo educativo. Isso aumenta a responsabilidade dos profissionais envolvidos nesse tipo de projeto que precisam demonstrar conhecimentos específicos na área de design, tecnologia e educação. Ainda para este autor, o design de salas de aula pode afetar a relação entre alunos e funcionários, influenciando na autoestima desses sujeitos ao interagirem nesses ambientes, levantando o desafio de investigar um melhor uso das novas tecnologias no ensino e aprendizagem. Quando se trata de uma sala de aula de ensino de projeto de arquitetura, esse local deve estar preparado para uma nova forma de aprender a projetar. É preciso haver uma mescla entre o ensino tradicional de projeto arquitetônico com o uso de pranchetas, audiovisuais, mesas digitalizadoras, computadores individuais onde tudo deve estar aliado às novas tecnologias, com acesso à internet. Para esses autores, é importante buscar entender como as escolas de arquitetura devem assumir o compromisso de ensinar utilizando ferramentas digitais [15].

Durante as últimas décadas, experimentou-se o processo de transição do projeto arquitetônico, projeto projetado com um processo manual para o uso do projeto auxiliado por computador. Atualmente, temos uma nova mudança de paradigma com novas tecnologias permitindo o trabalho integrado de geometria e informação. Software que possui formas mais avançadas de desenvolvimento de projetos, trabalho colaborativo, interoperabilidade, banco de dados, objetos inteligentes, interfaces mais amigáveis. Ao mesmo tempo, exigem computadores de melhor desempenho. A tecnologia BIM tem sido aplicada além do hardware convencional com a simulação tridimensional do ambiente baseada em métodos e tecnologias de computação gráfica, imersão em ambientes virtuais com realidade virtual, realidade aumentada, uso de óculos e outros dispositivos com sensores para imersão total dentro do ambiente virtual. [16]

Cabe ao professor viabilizar e também incentivar o uso das novas tecnologias de informação e comunicação, como aliado no processo de design. Isso possibilitará investigações virtuais que poderão estimular e estimular os alunos na busca por possibilidades que muitas vezes não são possíveis com o uso de ferramentas tradicionais no processo de design. Isso também evidencia a necessidade de revisão e adequação dos ambientes das salas de aula para essa realidade,

aliada à postura dos professores no uso das novas tecnologias. Esse novo panorama indica que novas formas de trabalhar para arquitetos e urbanistas estão sendo modificadas com a inserção tecnológica, tornando-se necessário investigar como as escolas de arquitetura, professores e alunos e o plano pedagógico estão sendo influenciados pela nova realidade.

As tecnologias invadem a vida dos seres humanos, ampliam suas memórias, oferecem possibilidades inovadoras e podem deixar as capacidades naturais desses indivíduos muito fragilizadas, pois a evolução tecnológica não se restringe apenas ao uso de novos equipamentos, tecnologias e produtos: eles podem modificar o comportamento do homem.

Esse ambiente vem se transformando a partir das novas tecnologias de informação e comunicação que permeiam o cotidiano das pessoas. Estamos estudando estudantes de arquitetura e engenharia, jovens que nascem neste contexto tecnológico, conectados e integrados via internet a partir de dispositivos móveis. Afirma que os integrantes dessa geração são os nascidos a partir da década de 1990 e seu mundo sempre esteve conectado à internet, por meio de e-mail, celulares e todas as novas mídias que surgem a partir da era da informação [17].

Esses jovens que estão concluindo os anos escolares e ingressando na universidade ou entrando diretamente no mercado de trabalho [18]. Para a geração Z, viver sem internet, computadores e celulares é inconcebível. A Geração Z tem amplo acesso à informação e é proativa nas mídias digitais. Por outro lado, os adultos da geração X são aqueles nascidos a partir da década de 1960, inseridos no mercado de trabalho, pessoas que possuem conhecimento e expertise sobre determinado assunto. Estes lidam com o mesmo contexto de tecnologia, mas de forma diferente, onde procuram inserir-se e adaptar-se, pois dominam os temas, mas com pouca familiaridade e destreza na utilização das novas tecnologias. A tecnologia também pode ser vista como um elemento de socialização e inovação. Precisa ser informado, ensinado e aprendido, pois será incorporado ao universo humano, ampliando seu conhecimento e tornando-o mais qualificado [19,20].

3. METODOLOGIA

Esta pesquisa é realizada com a metodologia Design Science Research, permitindo um trabalho colaborativo com a escola selecionada para o desenvolvimento do estudo. Foi utilizado o método científico indutivo; com acervo técnico documental; bibliografia; observação direta com participação nas atividades acadêmicas da instituição estudada pré-análise, interpretação e exploração dos dados observados. O pesquisador procurou compreender os fenômenos, segundo a perspectiva dos participantes na situação estudada e, a partir daí, situar sua interpretação desses fenômenos. A pesquisadora participou das atividades da vida acadêmica na sala de aula em análise, como professora da disciplina de ateliê de projetos, a fim de compreender a dinâmica desse espaço através do ponto de vista de seus agentes. Porém, será necessária uma reflexão consciente e crítica, apoiada na apropriação da programação, a fim de evitar arbitrariedades causadas por excesso de abstração (Figura 01).

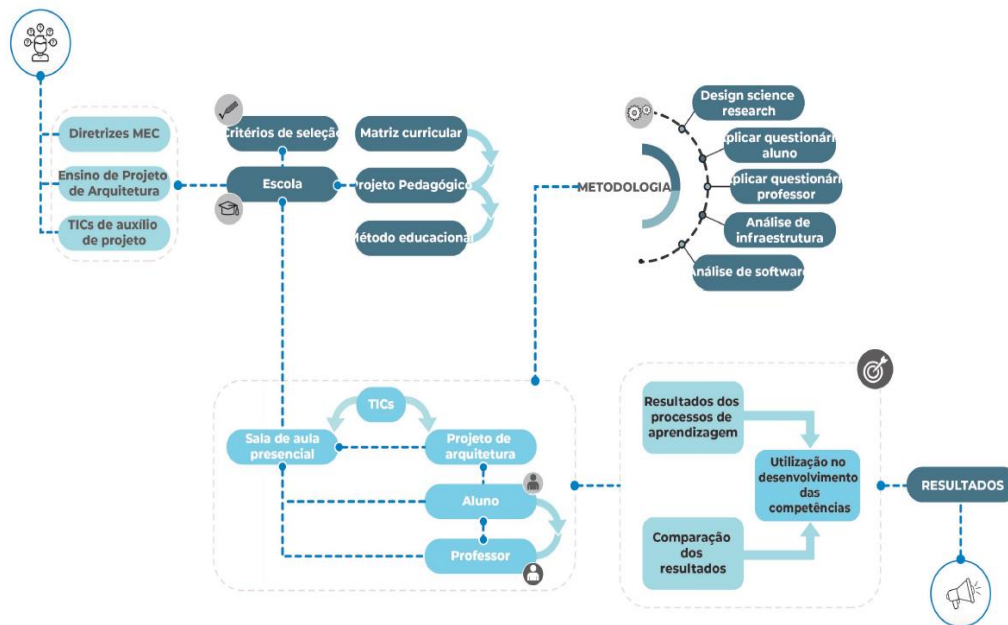


Figura 1 – Framework do projeto de pesquisa. Fonte: Próprio autor

3.1 Descrevendo o desenvolvimento

Na primeira etapa da pesquisa, foram selecionadas e estudadas as diretrizes do MEC do Ministério da Educação e Cultura, como o ensino de Arquitetura está no MEC e as tecnologias que poderiam auxiliar no desenvolvimento de projetos nas salas de aula. Foram utilizados os softwares AutoCAD (Autodesk) e Sketchup (Trimble).

A década de 1990 foi marcada pelo início do uso das tecnologias CAD na área de projetos, nas escolas de arquitetura e engenharia, bem como em diversas etapas dos processos construtivos no Brasil. A utilização do software AutoCAD foi considerada devido ao posicionamento da empresa Autodesk, detentora do software AutoCAD, amplamente utilizado em empresas de arquitetura e construção civil globalmente. Um convênio foi firmado entre a Autodesk e a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) em 1997. De forma globalizada, a empresa Autodesk entra no Brasil com a ampla utilização do software AutoCAD. Havia outro software de desenho assistido por computador, mas em uma escala menor de uso. Naquela época, a vantagem competitiva do AutoCAD era ser usado em microcomputadores, computadores pessoais, ao contrário de outros softwares que exigiam hardware mais robusto e caro. Desta forma, tornou-se popular entre pequenas e médias empresas, escritórios de arquitetura e também em atividades residenciais. Tornou-se popular nas escolas de arquitetura e engenharia no Brasil, o que influenciou significativamente sua adoção pela maioria dos envolvidos na indústria de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). Nesse contexto, diversas empresas estão começando a desenvolver aplicativos e customizações para o AutoCAD, facilitando e

automatizando práticas e processos de desenvolvimento de projetos, incluindo padronização e customização para padrões brasileiros voltados à produtividade. A Autodesk amplia o uso de software com política de expansão e regularização por meio de convênio, disponibilizando gratuitamente a última versão do software para professores e alunos da UFMG. Essa cooperação mantém a comunidade atualizada com a versão mais recente.

Os alunos utilizaram o Sketchup para modelagem tridimensional a fim de fazer a maquete eletrônica e visualizar o projeto como um todo. A interface simplificada facilitou a modelagem 3D e a criação do modelo eletrônico. A importância de visualizar o projeto aproximando-se da realidade para facilitar o entendimento do projeto, principalmente para quem tem pouca visão espacial. O processo tridimensional pode auxiliar arquitetos na tomada de decisões para o desenvolvimento do projeto e pode ajudar leigos a entender a edificação.

O aprendizado de um determinado software em uma escola de Arquitetura, Engenharia, projetos, construção. A partir do momento em que acontece o aprendizado de uma ferramenta CAD, a pessoa adquire o conhecimento de como usar uma ferramenta de desenho assistido por computador baseada em geometria. As pessoas envolvidas com a formação do projeto entendem todo o processo com base na geometria e na matemática básica. Esse é um ponto positivo para o aprendizado das ferramentas, mas pode ser um fator limitante, principalmente no que diz respeito à criatividade dos indivíduos. Havia, naquele momento, um grande desafio de vencer a barreira de pensar em funcionalidades para fazer fluir a criatividade.

Surge o desafio de transitar do processo de desenho assistido por computador, em duas dimensões, para o processo de desenho em terceira dimensão. A mudança na forma de pensar o projeto e a construção a partir da integração direta entre projeto, simulação e realidade. Vencendo a transição entre a prancheta eletrônica e a simulação da realidade em modelos tridimensionais.

Na segunda etapa da pesquisa, inserida em uma Escola de Arquitetura, foi analisada a matriz curricular, como a matriz foi aplicada, o projeto pedagógico e qual método o professor utilizava para transmitir nas aulas. Cada professor teve a liberdade de desenvolver como seria a dinâmica entre as aulas práticas e teóricas e a transmissão do conhecimento. A terceira etapa da pesquisa é a observação da dinâmica em sala de aula presencial, acompanhando a transição entre alunos e professores no uso das novas tecnologias. Na próxima, serão apresentados os resultados do processo de aprendizagem, desenvolvendo as habilidades dos alunos e comparando os resultados, mostrando os resultados finais. Para validação da pesquisa, estão previstos questionários e entrevistas com alunos e professores que participaram de todo o processo.

3.2 O ensino do projeto de arquitetura

Será analisado o ensino de projeto arquitetônico na oficina de projeto de uma escola de arquitetura de uma universidade particular de Belo Horizonte e também de uma escola de engenharia de uma universidade federal.

Atualmente há discussões sobre o ensino de arquitetura de projeto em salas de aula tradicionais. Muitos autores já abordam esse problema de acordo com o meio em que estão inseridos. Os problemas que surgem com os modelos tradicionais que ainda são praticados nas escolas de arquitetura brasileiras, mais especificamente nos ateliês de projeto, são cada vez mais discutidos. Com base nesse princípio, será analisada a experiência como docentes em um ateliê de projeto de arquitetura, em uma escola da cidade de Belo Horizonte, MG.

Orientando alunos no ateliê de projeto de arquitetura, tenho observado, nos últimos 20 anos, importantes mudanças no processo de produção de projetos influenciados pelas Tecnologias de Informação e Comunicação em sala de aula.

Essas mudanças tiveram um impacto significativo nas relações entre professores e alunos, principalmente no uso de ferramentas surgidas com a informatização do material utilizado na produção do desenho. A grande maioria dos alunos ingressou no curso de arquitetura com conhecimento prévio de alguns softwares como Cad e Sketchup, além do Building Information Modeling (BIM), um modelo de informação para construção. Alguns professores ainda careciam de habilidades para usar essas ferramentas ou se recusavam a aprender sobre a nova tecnologia. Esse fator pode ser interpretado como um choque de gerações entre os novos alunos que chegam com facilidade de uso das tecnologias inerentes à geração e os mestres, detectores de saberes que não tiveram a oportunidade de aprender as tecnologias no momento da aprendizagem cursando escolas de arquitetura e engenharia. Essa dificuldade de transição é caracterizada pelo momento de grande transição na forma de fazer as coisas.

Como resultado, a incorporação de ferramentas digitais no processo de design do estúdio desencadeou uma cisão entre professores e alunos e entre professores. Por envolver um grande número de alunos em um mesmo estúdio de design, a disciplina exigia 3 professores simultaneamente. Antes das ferramentas digitais, apenas desenhos e esboços manuais faziam parte do processo de design no estúdio. Esta é entendida por vários arquitetos como uma atividade projetual inerente à produção do projeto e que as ferramentas digitais auxiliam na fase de finalização do projeto. [20]

Essa discussão está relacionada à questão de qual fase do projeto começa a usar a tecnologia de duas maneiras. A primeira seria preparar o projeto manualmente e depois usar a tecnologia para representar e finalizar o projeto. A segunda seria usar a tecnologia desde o processo de criação até a finalização.

Estamos em mais uma possível quebra de paradigma, além do imaginável, onde a evolução da Inteligência Artificial pode ser aplicada para a criação de conteúdos (projetos), ou mesmo para substituir profissionais em tarefas das mais simples às mais complexas.

Mudanças consideráveis começam a acontecer a partir dessa situação. Alunos e professores começam a ter dificuldade em interagir com o uso de ferramentas que os alunos consideram obsoletas, mas que alguns professores consideram muito importantes no processo de criação. Estes consideram ferramentas digitais apenas pela facilidade de digitalização dos desenhos para futura reutilização.

Dessa forma, problemas surgiram e se tornaram recorrentes dentro do estúdio de design. Podemos citar:

- Alunos desmotivados,
- Professores desacreditados na capacidade dos alunos,
- Baixa qualidade nas entregas dos trabalhos,
- Prática de desenho com lápis e papel desmotivada e com desenvolvimento de desenhos executados por terceiros,
- Cópias de maquetes apresentadas por outros alunos,
- Não foi levada em consideração a capacidade do aluno, mas sim a capacidade do professor em expor o problema e as ferramentas necessárias para resolvê-lo,
- Quando o trabalho era feito em equipe, alguns membros não participavam e sobrecarregavam os colegas com mais habilidades para o desenho solicitado,
- O foco estava no problema apresentado e o resultado esperado não contemplava o desenvolvimento do processo,
- A avaliação final centrou-se na opinião do professor, considerado detentor do conhecimento.
- A insatisfação dos alunos foi unânime.
- Dúvidas dos professores sobre a forma de ensinar.

Com a entrega das tarefas dos alunos, as correções e os resultados alcançados, alguns professores começaram a perceber e verificar que as tecnologias que já faziam parte do cotidiano desses alunos deveriam agora ser incorporadas como ferramentas de auxílio no ensino. Mesmo com essas observações, alguns professores ainda insistem na opinião de que ferramentas tecnológicas devem ser utilizadas como ferramentas de finalização de projetos.

4. ANÁLISE DE DADOS

Para análise dos achados, foi desenvolvido um questionário com alunos da disciplina Noções de Arquitetura e Urbanismo. O objetivo do questionário foi escutar o posicionamento dos alunos perante a experiência de desenvolvimento de projetos. Pode-se observar uma parcela de 22%, dos alunos desenvolveram projeto apenas no curso de engenharia. Um percentual de 12,2% já desenvolveu projetos em atividades fora do curso de engenharia e 14,6% afirmaram que já participaram de projetos tanto nas atividades do curso de engenharia quanto nas atividades fora do curso. Com este resultado podemos observar que praticamente 50% dos alunos entrevistados não participaram de desenvolvimento de projeto. Outros 48,8% participaram de atividades de projeto durante o curso como também em atividades fora do curso. Sendo 2,4% afirmaram ter participado de projetos no curso de engenharia e durante o curso técnico (Figura 02). Esses dados nos mostram que dentre os alunos, os que possuem mais experiência no desenvolvimento de projetos, aprimoraram essas habilidades em escritórios especializados.

Seja por uma dificuldade de representação de determinadas formas ou devido a facilidade de visualização e interpretação espacial, o fato é que efetivamente essa ferramenta de representação repercutiu em certas reformulações espaciais do projeto.

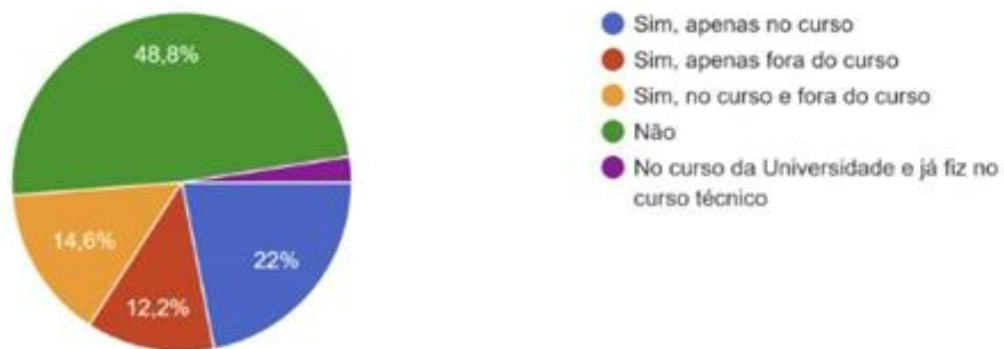


Figura 2 – Atividade de projeto desenvolvida no curso e fora do curso. Fonte: do autor

A partir da análise dos questionários observa-se que, os alunos que já experienciaram desenvolver projetos 76,2% afirmaram ter participado no desenvolvimento de projeto arquitetônico, 33,3% desenvolveram projetos estruturais, 23,8% projetos hidráulicos, 19% participaram de projeto de terraplanagem e 14,3% elaboraram projeto de as built (Figura 03). Foi observado que o número de alunos que participaram do desenvolvimento de projeto arquitetônico foi mais da metade, o que produziu um melhor desempenho na disciplina de Noções de Arquitetura e Urbanismo, devido a uma experiência adquirida em estágios em escritórios de arquitetura e engenharia.

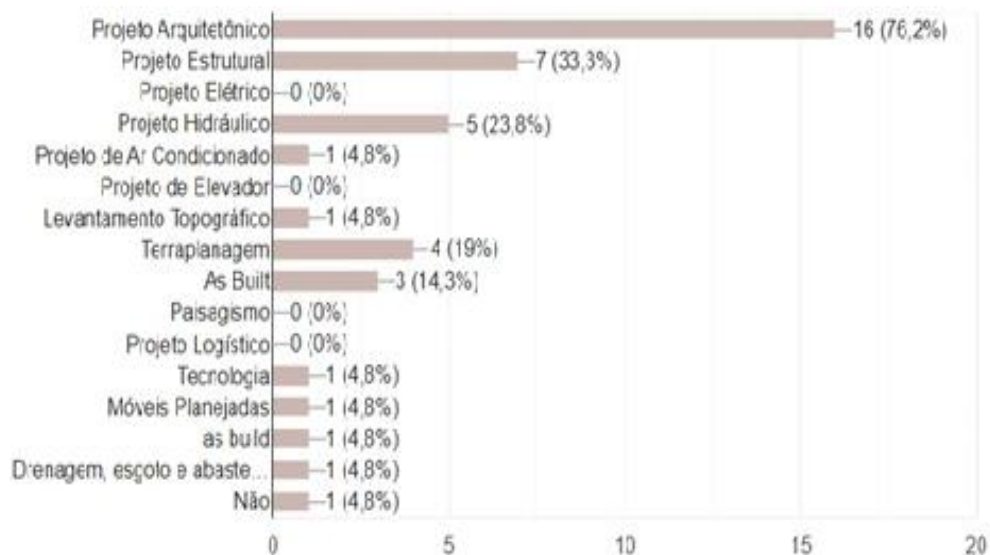


Figura 3 – Tipo de projeto desenvolvido. Fonte: do autor

Na população de alunos com experiência em desenvolvimento de projetos, um número de 85,7% utilizou a ferramenta 2D, AutoCAD, para estas atividades, o que demonstra as habilidades dos estudantes de engenharia, com a ferramenta Autocad. Seja por uma dificuldade de representação de determinadas formas no Revit ou devido a facilidade de manipulação e interpretação do Autocad, o fato é que efetivamente essa ferramenta de representação repercutiu na execução da tarefa proposta. Este fato reflete o histórico do aprendizado, pois os alunos têm AutoCAD na disciplina de desenho técnico ou mesmo pela liderança de mercado da Autodesk ou pelo convênio da Autodesk com a escola estudada.

Na amostra estudada, 61,9% dos entrevistados, utilizaram a ferramenta REVIT para desenvolver os projetos e apenas três alunos utilizaram o SKETCHUP, um Aluno utilizou o CIVIL 3D. Os demais utilizaram outro tipo de tecnologia (Figura 04).

De acordo com a análise, o Autocad continua sendo o software mais utilizado no desenvolvimento de projetos, seguido pelo Revit. Pode-se observar que esta ferramenta é cada vez mais utilizada na escola de engenharia firmando como uma realidade nas salas de aula de projeto, garantindo uma representação arquitetônica com grande percepção antecipada de toda a situação do projeto.



Figura 4 – Tipo de tecnologia utilizada para desenvolver projetos. Fonte: do autor

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Vivemos tempos de mudanças muito confusas permeadas pela tecnologia em um processo de transformação que se expande exponencialmente, criando novas possibilidades entre os ambientes e o modo de viver. Estudiosos têm demonstrado que os efeitos dessas mudanças já estão chegando às escolas, o que tem despertado o interesse acadêmico. A discussão sobre o papel do ambiente e da tecnologia no desempenho das funções de ensino e aprendizagem tem sido objeto de reflexão e alguns estudos sobre o assunto foram incluídos. Vivemos tempos de mudanças muito confusas permeadas pela tecnologia em um processo de transformação que

se expande exponencialmente, criando novas possibilidades entre os ambientes e o modo de viver. Estudiosos têm demonstrado que os efeitos dessas mudanças já estão chegando às escolas, o que tem despertado o interesse acadêmico. A discussão sobre o papel do ambiente e da tecnologia no desempenho das funções de ensino e aprendizagem tem sido objeto de reflexão e alguns estudos sobre o assunto foram incluídos.

É de grande importância procurar perceber como as escolas de arquitetura estão a enfrentar as novas tecnologias e como podem apostar no ensino com o apoio de ferramentas digitais. No processo natural de informatização de todas as áreas, impôs-se à escola de arquitetura acompanhar este novo ritmo de informação. Devem estimular reflexões sobre novos temas e repensar todo o seu espaço físico de forma a favorecer a relação aluno-professor. O ambiente de ensino utilizado atualmente deve seguir a nova tendência, permitindo que o aluno trabalhe e compartilhe suas experiências entre si e com seus professores, experimentando, estimulando, criando, construindo seu conhecimento.

O professor deve incentivar e possibilitar a inserção da tecnologia em todo o processo de projeto como ferramenta de auxílio e as salas de aula devem ser adequadas para possibilitar a nova realidade. Acredita-se que essa influência tecnológica poderia redesenhar a nova sala de aula. Autores afirmam que as tecnologias passaram a ser utilizadas para modificar as próprias escolas, flexibilizando a organização dos currículos e a gestão do ensino e aprendizagem.

Os espaços de aprendizagem precisam ser adequados a essas novas formas de projetar, preparados de forma a permitir o uso de toda a tecnologia digital aliada à forma tradicional de produção do design.

Outro fator de grande importância é a formação dos professores, pois seus alunos fazem parte de uma geração que cresceu e se desenvolveu tendo acesso ao que muitos professores não tiveram. A situação apresentada demonstra que a forma de ensinar o projeto em uma oficina presencial está mudando à medida que as TICs estão cada vez mais próximas de nossas atividades.

Este fato foi levado em consideração ao verificar como a escola, seus professores e seus alunos estão se adaptando à presença de novas tecnologias e novas formas de ensinar e aprender.

Como ponto inicial para o desenvolvimento da pesquisa foi feito um estudo das experiências práticas realizadas pelos alunos com o uso de ferramentas aplicadas à arquitetura, durante o desenvolvimento da atividade proposta, como tarefa final da disciplina e com a finalidade de obter dados que demonstrem a influência de algumas dessas ferramentas utilizadas na geração dos projetos que foram entregues no final do semestre.

Apesar de muitas experiências demonstradas, pelos alunos, no conhecimento e habilidade com novas tecnologias, um grupo desses utilizou mais de um software para desenvolver a tarefa. Outros fizeram escolha entre as ferramentas 2D e as 3D. Por isso 85,7% trabalharam com a plataforma Autocad enquanto 61,9% desenvolveram o seu projeto utilizando a plataforma Revit, evidenciando a preferência e a familiaridade com uso de uma ferramenta 2D. Por outro

lado, um outro grupo de alunos, desenvolveu parte do projeto utilizando o Autocad e outra parte do projeto utilizando o Revit, alternando a parte 2D e a parte 3D. Isso evidencia que esses alunos iniciaram o projeto utilizando a ferramenta 2D para a produção de plantas e em seguida utilizaram o Revit para fazer a modelagem 3D. No Revit eles fazem os cortes e as fachadas de uma forma automática. Outros alunos utilizaram o Revit como ferramenta de desenvolvimento de todo o projeto com um pensamento tridimensional sem passar pelo processo do desenho 2D. Com isso alguns estudantes discutiram a vantagem de se projetar utilizando este aparato e começaram a visualizá-lo não apenas como um instrumento de auxílio à representação do projeto, mas, também, no auxílio à concepção e no desempenho do desenvolvimento do projeto arquitetônico.

Esse processo de criação e elaboração de projeto provocou nos alunos o uso de diferentes dispositivos que foram utilizados na produção dos projetos, durante o desenvolvimento da atividade proposta. Eles experimentaram novas possibilidades de usos de novas ferramentas computacionais que auxiliam na tarefa.

AGRADECIMENTOS

Projeto Transcolar Rural da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (EE/UFMG), Secretaria de Estado de Educação de Rondônia - SEDUC/RO; Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES); Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq); Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig).

REFERÊNCIAS

- [1] Baracho, R. M. A. ; Diesel, P. A. Information Management Processes for Extraction of Student Dropout Indicators in Courses in Distance Mode. *Journal Of Systemics, Cybernetics And Informatics*, v. 14, p. 1-6, 2016.
- [2] Pereira Junior, M. L.; Baracho, R. M. A. *Relações entre a gestão da informação e do conhecimento e uso de sistema BIM por arquitetos e engenheiros*. In: 4o. Seminário Ibero-Americano Arquitetura e Documentação, 2015, Belo Horizonte. Anais do 4o. Seminário Ibero-Americano Arquitetura e Documentação. Belo Horizonte: Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável MACPS e IEDS, 2015. v. 1. p. 1-12.
- [3] Eastman, C. et al. *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2008. 490p.
- [4] Björk, B. C.; Laakso, M. CAD standardization in the construction industry – A process view. *Automation in Construction*. v.19, n.4, 398-406 pp, 2010.
- [5] Porto, M.F; Franco, J.R Q.; BARACHO, R.M.A. *Paradigma de Utilização da Tecnologia BIM para Projeto Arquitetônico e de Engenharia*. 4ª Seminário Iberoamericano Arquitetura e Documentação. Belo Horizonte, MG, Brasil. 2015.
- [6] Jacoski, C.A. *O Intercâmbio de Dados entre SIG e Projetos de Edificações – A Busca pela Interoperabilidade*, Universidade Comunitária Regional de Chapecó. 2008.

- [7] Flemming, U. ; Erhan, H.; Özkaya I. Object-oriented application development in CAD: a graduate course. *Automation in Construction*. v.13, 147-158 pp, 2004.
- [8] Isikdag, U. ; Underwood, J. Two design patterns for facilitating Building Information Model-based synchronous collaboration, *Automation in Construction*, 2009.
- [9] Bacich, L. ; Neto, A.T.; Trevisani, F. M. *Ensino híbrido: Personalização e tecnologia na educação*. Porto Alegre, RS: Penso, 2015.
- [10] Natalino, M. L. ; Tiburcio, T. *O uso de tecnologias digitais para qualificar o ambiente de aprendizagem de uma proinfância*. Design & tecnologia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2018.
- [11] Vygotsky, L. S. A formação social da mente: *O desenvolvimento dos processos psicológicos superiores* (J. C. Neto, L. S. M. Barreto, & S. C. Afeche, Trans.). São Paulo, SP: Martins Fontes, 1989.
- [12] Bezerra, L. M. C. ; Choas, M. L. L. S. *Características do espaço arquitetônico facilitadoras do ensino e aprendizagem*. Florianópolis, Intertheses, v.13, nº 02, p. 58-75, 2106.
- [13] Moran, J. M. 5ª ed. Campinas, SP: Papyrus, *A educação que desejamos: Novos desafios e como chegar lá*, 2012.
- [14] Tiburcio, T. *The impact of high-tech learning environments on pupils' interactions*. PhD.Thesis. The University of Reading, Reading. UK. 2007.
- [15] Carvalho, R. ; Savignon, A. . *O professor de projeto de arquitetura na era digital: desafios e perspectivas*. *Gestão e Tecnologia de Projetos*. v. 6, n. 2, 2012.
- [16] Baracho, R.M.A. ; Soares, B. C. ; Bonatti, R. A.; Porto, M. F. ; Franco, J. R. Q. *Decision Making in Real Estate Developments Based on Building Information Modeling? Bim*. *Journal of Systemics, Cybernetics and informatics*, v. 17, p. 49-54, 2019.
- [17] S. I. Andrade, P. Mendes, D. A. Correa, M. F. Zaine, & A. T. Oliveira, (2012). *Conflito de gerações no ambiente de trabalho: um estudo em empresa pública*. Anais do 9º Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia. Resende, RJ, Brasil.
- [18] Maurer, A. L. (2013). *As gerações Y e Z e suas âncoras de carreira: contribuições para a gestão estratégica de operações*. (Dissertação de Mestrado Profissional em Administração, Universidade de Santa Cruz).
- [19] Kensky, V. M. . *Educação e tecnologias: O novo ritmo da informação*. 8ª ed. Campinas, SP: Papyrus, 2012.
- [20] Tiburcio, T. ; Braz, Z. *Mídias e espaço a sala de aula no ensino de projeto arquitetônico*. *Artefactum: Revista de estudo em linguagem e tecnologia*. N.2, 2016.

NOVOS MATERIAIS

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DE MICROCONCRETOS LEVES REFORÇADOS COM FIBRAS PET RESIDUAIS PARA APLICAÇÃO EM ELEMENTOS ARQUITETÔNICOS



Nathália Pacheco Teixeira
Aluna de graduação
FAU/UFRJ – Rio de Janeiro, Brasil



Vivian K. C. B. L. M. Balthar*
Professora
DE/FAU/UFRJ – Rio de Janeiro, Brasil

Palavras-chave: Microconcreto leve, fibras PET residuais, massa específica, resistência à compressão, módulo de elasticidade.

1. INTRODUÇÃO

A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) estimou em 2018 a existência, no Brasil, de 158 instalações de produção *offshore*, 24 sondas de perfuração e a previsão de instalação de 18 novas unidades de produção até 2022 [1]. Além disso, de acordo com a ANP, 41% dos projetos *offshore* no país estavam em operação há mais de 25 anos, enquanto 44% apresentavam entre 15 e 25 anos de operação [1]. Com o envelhecimento de campos de óleo e gás *offshore* em operação, o Brasil entrou na era do descomissionamento, uma vez que os campos maduros alcançaram o fim de seu ciclo econômico ou deixaram de ser produtivos [2]. O descomissionamento é o processo de tamponamento e abandono dos poços, em que as plataformas de produção são desativadas e levadas às docas, onde são limpas e desmontadas. Algumas peças das plataformas são abandonadas no mar para formação de recifes artificiais, umas são reutilizadas e outras não possuem um destino adequado [3]. Entre os diferentes tipos de instalações de produção *offshore*, as plataformas flutuantes do tipo FPSO (do inglês, “*Floating Production Storage and Offloading*”) possuem linhas de ancoragem compostas por cabos sintéticos de poliéster. Esses cabos são compostos por milhares de

*Autor correspondente – Departamento de Estruturas da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Av. Pedro Calmon, 550, Cidade Universitária da UFRJ, Rio de Janeiro – RJ/CEP 21941-485, BRASIL,. Telef.: +55 21 999244438. e-mail: vivian@fau.ufrj.br

filamentos de poli(tereftalato de etileno), ou PET, unidos em subcabos, revestidos por elemento filtrante e capa trançada. Os cabos de poliéster não podem ser descartados no fundo do mar ou usados em recifes artificiais por não serem biodegradáveis [4]. Além disso, por terem sido submetidos a esforços de tração por anos, o seu reaproveitamento em uma nova plataforma não é indicado. Os fatos apresentados evidenciam que uma elevada quantidade de resíduos PET será gerada nos próximos anos, o que torna urgente o estudo de formas de reaproveitamento de filamentos desses cabos.

Somando-se ao contexto apresentado à demanda da indústria da construção civil por estruturas leves e delgadas para as execuções de projetos arquitetônicos arrojados, surgiu a ideia da incorporação de fibras PET em microconcretos leves. Devido à característica dos concretos de baixa capacidade de deformação, as fibras PET, pelo baixo módulo de elasticidade, incorporadas à matriz cimentícia, podem beneficiar a capacidade de deformação do compósito pelo efeito de ponte de transferência de tensões na matriz. O concreto leve possui massa específica (ME) seca inferior a 2000 kg/m^3 [5], usualmente devido aos agregados leves em sua composição. É possível produzir concretos leves com massas específicas entre 300 kg/m^3 e 1850 kg/m^3 e com resistências de até 70 MPa [6]. A utilização mais vantajosa do concreto leve é em elementos pré-moldados, sendo a aplicação em painéis pré-moldados de vedação uma das mais adotadas e econômicas [7].

Na literatura foi encontrada somente uma pesquisa com o uso de fibras PET residuais de cabos em mistura cimentícia, além de estudos que avaliaram os desempenhos de concretos com diferentes tipos de agregados leves, além de fibras PET. O PET é um resíduo que somente perde para o polietileno em relação à fração de resíduos plásticos produzidos atualmente [8] e possui propriedades mecânicas razoáveis e estabilidade dimensional notável sob carga variável [9]. Adicionalmente, o uso de fibras à base de poliéster no concreto promove benefícios na ductilidade, com o melhor desempenho na tração e flexão [10; 11]. Wang *et al.* [12] pesquisaram concretos leves (ME = 1752 kg/m^3) produzidos com sílica ativa e cinza volante, que alcançaram resistências à compressão de até 43,5 MPa aos 28 dias. Rumšys *et al.* [13] estudaram concretos leves produzidos com argila expandida ou partículas plásticas PET. O concreto leve com argila (ME = 1900 kg/m^3) alcançou resistência à compressão de 70,2 MPa, enquanto os concretos com agregado PET (ME entre 1950 e 2050 kg/m^3) atingiram resistências à compressão de até 40,0 MPa. Hanuseac *et al.* [14] estudaram concretos leves produzidos com cinza volante e substituições parciais de areia por partículas PET. Os concretos leves com partículas PET alcançaram resistências à compressão entre 20,4 MPa (90%PET e ME = 1998 kg/m^3) e 23,6 MPa (70%PET e ME = 2099 kg/m^3). Magalhães e Fernandes [15] estudaram o comportamento mecânico de compósitos produzidos com cinza volante e fibras PET (produzidas pela extrusão de flocos de garrafas, com $14 \mu\text{m}$ de diâmetro, 32 mm de comprimento e ME = 1430 kg/m^3). Aos 28 dias de idade, as resistências à compressão foram de 39,8 MPa (referência, sem fibras), 37,7 MPa (mistura com 1,0% de fibras), 17,7 MPa (mistura com 1,5% de fibras) e 18,6 MPa (mistura com 2,0% de fibras). As misturas fibrosas apresentaram comportamento pós-fissuração nos ensaios de tração sob flexão, enquanto a mistura de referência sofreu ruptura com a abertura da primeira fissura. Os compósitos apresentaram tenacidades entre $4,6 \text{ J/m}^3$ (mistura com 1,0% de fibras) e $8,2 \text{ J/m}^3$ (mistura com 2,0% de fibras), com aumento de 76% na capacidade de absorção de energia. Portanto, embora tenham ocorrido perdas na resistência à compressão de até 55,5%, os

benefícios significativos no comportamento sob flexão levaram à conclusão de que o uso de fibras PET é promissor para a produção de materiais cimentícios sustentáveis para aplicações semi-estruturais [15]. Oliveira *et al.* [16] avaliaram a compressão e absorção de água de concretos com resíduos PET de cabo de ancoragem em substituição parcial de areia. O concreto de referência, composto por cimento, areia, brita e água ($a/c = 0,55$), teve a areia substituída por fibras PET em teores de 5% e 10%. Aos 28 dias, os concretos alcançaram as resistências de $25,7 \pm 1,5$ MPa (REF), $29,0 \pm 2,4$ MPa (5%PET) e $18,5 \pm 0,7$ MPa (10%PET). As absorções totais de água foram de 6,3% (REF), 5,0% (5%PET) e 8,1% (10%PET). Os autores atribuíram à queda de resistência pelo uso das fibras à degradação deste material em ambiente alcalino, que está relacionada à geometria da fibra, ao grau de dispersão e aderência fibra-matriz.

Em decorrência do possível benefício das fibras PET à ductilidade de compósitos e do grande volume desse resíduo dos cabos desativados, a pesquisa teve como objetivos a mitigação dos impactos ambientais do descomissionamento de plataformas *offshore* no país pelo reaproveitamento dos filamentos dos cabos, a apresentação de uma fibra residual de bom desempenho à indústria da construção e a produção de microconcretos leves para aplicação em elementos de vedação de edifícios. Os microconcretos foram produzidos sem agregados graúdos, para possibilitar a confecção de elementos delgados, com microesferas cerâmicas para garantia do baixo peso-próprio e com sílica ativa pelos benefícios ao desempenho mecânico. O reforço com fibras PET visou a alta capacidade de deformação após a abertura da primeira fissura. As fibras foram obtidas pelos cortes dos filamentos de um cabo de ancoragem utilizado em uma plataforma *offshore* por aproximadamente 10 anos. Os microconcretos foram produzidos e avaliados experimentalmente por meio de ensaios físicos e mecânicos no Laboratório de Estruturas e Materiais do Programa de Engenharia Civil da COPPE/UFRJ.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os seguintes materiais foram adotados inicialmente no estudo: cimento CPP classe G (*Lafarge-Holcim*); sílica ativa Silmix (*Camargo Corrêa Cimentos*); microesfera cerâmica SG (*PQ Corporation*); água do sistema de abastecimento do RJ; superplastificante Glenium 51 (*Basf*); fibras PET residuais. As fibras foram obtidas de um pedaço de cabo (Figura 1a) que teve sua camada externa (capa e elemento filtrante) cortada, um subcabo de seu interior foi retirado e, por fim, seus filamentos foram cortados no comprimento de 10 mm (Figura 1b). Na fase de dosagem da mistura de referência, houve substituições do cimento e do superplastificante pelo cimento comercial CPV-ARI (*Lafarge-Holcim*) e pelo dispersante Masterpolyheed 322 (*Basf*), respectivamente.

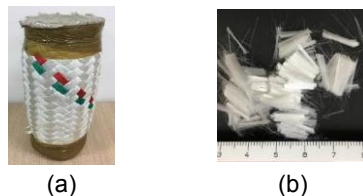


Figura 1: Produção das fibras PET: (a) Fragmento de um cabo de poliéster; (b) Fibras.

2.1 Caracterização dos Materiais

Os materiais granulares foram caracterizados quanto a: composição química, por análises semiquantitativas por espectroscopia por fluorescência de energia dispersiva de raios-X; perda ao fogo, em forno mufla, de acordo com o procedimento da norma ABNT NM 18 [17]; distribuição granulométrica, por granulometria a laser (cimentos e microesfera) e sedigrafia (sílica ativa); compactidade experimental, por demanda d'água [18]; massa específica, por picnometria a gás hélio; microscopia eletrônica de varredura (MEV). As fibras PET também foram avaliadas em relação à massa específica por picnometria e MEV, além de tração direta, com preparo das amostras de acordo com a metodologia da ASTM C1557 [19]. Os dispersantes foram analisados com relação à massa específica e ao teor de sólidos, conforme os procedimentos da norma ABNT NBR 11768-3 [20].

2.2 Caracterização dos Microconcretos

O microconcreto de referência foi avaliado por ensaios de compatibilidade e ponto de saturação no Funil de *Marsh*. Foi preparado um volume de 1,2 l de microconcreto conforme o procedimento descrito por Balthar [21] para os teores de dispersante testados. Após o preparo, todo microconcreto foi despejado no funil com orifício vedado. O orifício foi desobstruído e o tempo de escoamento do material para o preenchimento de 1,0 l da proveta foi medido. O microconcreto foi mantido em repouso e seu escoamento foi medido novamente após 30 e 60 minutos (em relação ao momento da mistura). Foram traçadas as curvas tempo de escoamento *versus* teor de dispersante após 10, 30 e 60 minutos e suas análises permitiram determinar o teor ótimo de dispersante, que foi o que gerou o menor tempo de escoamento com a interseção das curvas dos diferentes períodos. Ensaios de mini-espalhamento de acordo com a metodologia de Kantro [22] foram realizados nos microconcretos (em triplicata) para estudo da reologia. Os ensaios de massa específica aparente em balança de lama foram executados em triplicata conforme a procedimento da norma API RP10B-2 [23]. Após a confecção de cada mistura, o copo da balança foi preenchido com o material, tampado e, posteriormente, posicionado na base, com a medição da massa específica após o equilíbrio da balança pelo deslocamento do cursor ao longo do seu comprimento.

Os ensaios de sedimentação estática foram feitos de acordo com a metodologia da norma API RP10B-2 [23]. Após o preparo de cada mistura, três moldes cilíndricos com 2,5 cm de diâmetro e 20 cm de altura foram preenchidos, tampados e inseridos em banho térmico, onde

permaneceram em cura por 24 horas ($T = 27^{\circ}\text{C}$). Em seguida, as tampas foram removidas e a ocorrência de retração dos corpos de prova foi verificada. Os cilindros foram desmoldados, identificados e cortados em quatro partes com alturas iguais. Após 30 minutos, imersas em água, com o auxílio de um suporte metálico e fita teflon, as massas das quatro partes de cada cilindro foram medidas, com a amostra imersa sem encostar no béquer (M_1) e com a amostra apoiada no fundo do béquer (M_2). A massa específica de cada amostra foi calculada pela divisão de M_2 por M_1 . Uma mistura é considerada homogênea quando a variação da massa específica entre as amostras de topo e fundo de cada cilindro for menor ou igual a $0,06 \text{ g/cm}^3$.

Os ensaios de compressão uniaxial aos 28 dias foram realizados conforme a metodologia da norma ABNT NBR 5739 [24], em uma prensa com velocidade de deslocamento do travessão de $0,1 \text{ mm/min}$ e com as medições dos deslocamentos longitudinais por dois transdutores elétricos fixados na zona central do cilindro.

As propriedades dos microconcretos foram submetidas à análise estatística pelo método da Análise de Variância (ANOVA) do programa computacional OriginPro8. Para a comparação das médias foi adotado o Método de Tukey, a um nível de confiança igual a 95%.

2.3 Dosagem dos Microconcretos

O microconcreto de referência de Balthar [21] adotado inicialmente na pesquisa foi dosado pelo Simulador de Compacidade de Misturas Granulares Secas MEC-COPPE 1,0 [25], baseado no Modelo de Empacotamento Compressível de Partículas (MEC) desenvolvido por De Larrard [18] e colaboradores. Ao informar as propriedades dos materiais ao simulador (ME, granulometria e compacidade), os consumos dos materiais granulares foram calculados para a máxima compacidade dos grãos, de forma a minimizar a porosidade da mistura endurecida. A referência adotada (compacidade da mistura granular seca de 0,743) possuía teores de 60% de cimento CPP classe G ($659,2 \text{ kg/m}^3$), 20% de sílica ativa ($217,5 \text{ kg/m}^3$) e 20% de microesfera cerâmica ($217,5 \text{ kg/m}^3$) [21]. A referência com relação água-materiais cimentícios (a/mc) de 0,50 e diferentes teores de superplastificante Glenium 51 foi testada em relação à compatibilidade e ponto de saturação e os resultados indicaram a incompatibilidade entre cimento e superplastificante (ver a Figura 4a).

O cimento CPP classe G e o dispersante Glenium 51 foram substituídos pelo cimento comercial CPV-ARI e pelo aditivo Masterpolyheed 322, respectivamente. A simulação no MEC-COPPE 1,0 foi realizada novamente para a compacidade máxima (igual a 0,650), indicando os teores de: 49,68% (cimento CPV-ARI), 20,77% (sílica ativa) e 29,55% (microesfera cerâmica). A dosagem da referência definitiva foi finalizada através de ensaios de compatibilidade e ponto de saturação (ver a Figura 4b), com a definição da relação a/mc de 0,70 e o teor ótimo de dispersante de 0,60 (relação entre sua massa de sólidos e de cimento). Os consumos dos materiais do microconcreto de referência (REF) foram iguais a: $453,06 \text{ kg/m}^3$ (cimento CPV-ARI), $189,43 \text{ kg/m}^3$ (sílica ativa), $269,47 \text{ kg/m}^3$ (microesfera cerâmica), $448,08 \text{ kg/m}^3$ (água) e $11,73 \text{ kg/m}^3$ (dispersante). A referência (REF) foi reforçada com fibras PET residuais por substituições de todos os materiais nas frações volumétricas de 0,5% (PET0,5) e 1,0% (PET1,0).

2.4 Preparo, Moldagem e Cura dos Microconcretos

O preparo dos microconcretos foi realizado em uma argamassadeira com capacidade de 5 litros com mistura em velocidade baixa dos materiais granulares, dispersante e metade da água por 30 segundos, com o acréscimo do resto da água por 30 segundos mantendo a mistura, inclusão das fibras por 1 minuto mantendo a mistura, raspagem da cuba com o equipamento desligado e, por fim, mistura por 3 minutos em velocidade alta. Após o preparo, 5 cilindros por microconcreto (diâmetro de 50 mm; altura de 100 mm) foram moldados para os ensaios de compressão. Os corpos de prova foram mantidos em cura úmida (U.R. = 100% e T = 21 ± 1°C) por 24 horas, desmoldados e inseridos em um banho de água com cal, onde permaneceram até a idade de 28 dias. Os cilindros foram faceados em torno mecânico para a planificação e paralelismo de suas faces, para evitar ruptura por concentração de força.

3. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.1 Caracterização dos Materiais

As composições químicas e perdas ao fogo (PF, média de 3 amostras por material e desvio-padrão) dos cimentos (CPP G e CPV-ARI), da sílica ativa (SA) e da microesfera cerâmica (MC) estão apresentadas no Quadro 1. Os cimentos são compostos principalmente por CaO e SiO₂, enquanto a SA é composta basicamente por SiO₂ e a MC tem a predominância do SiO₂ e Al₂O₃. O cimento CPV-ARI atende aos critérios da norma ABNT NBR 16697 [26] em relação aos teores de PF e MgO (menores ou iguais a 6,5%) e SO₃ (menor ou iguais a 4,5%). A SA atende a norma ABNT NBR 12653 [27] para materiais pozolânicos, com a soma dos teores de SiO₂, Fe₂O₃ e Al₂O₃ maior que 70%, teor de SO₃ menor que 5% e a PF menor que 6%.

Quadro 1: Composições químicas dos materiais granulares.

Material	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	SO ₃	SrO	TiO ₂	MnO	PF
CPP G	15,95	3,42	5,75	68,46	0,48	4,09	0,31	0,22	-	1,32 ± 0,18
CPV-ARI	12,57	3,54	4,10	68,74	0,46	3,55	0,32	0,26	-	6,34 ± 0,05
SA	96,29		0,41	0,65	0,94	1,64	-	-	-	2,85 ± 0,14
MC	49,23	35,23	4,76	5,15	1,66	1,75	-	-	0,13	2,21 ± 0,23

As distribuições granulométricas dos materiais estão mostradas na Figura 2 e os diâmetros abaixo dos quais se situam 50% (D₅₀) e 90% (D₉₀) das partículas estão apresentados no Quadro 2. A MC possui a maior distribuição granulométrica, seguida pelos cimentos e pela SA. As diferenças granulométricas entre os materiais favoreceram o empacotamento entre os grãos, devido ao efeito *filler*, ou seja, de preenchimento dos vazios entre os grãos maiores pelos grãos menores.

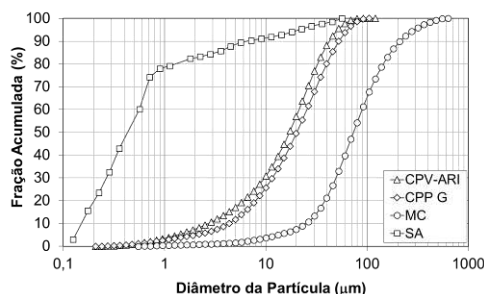


Figura 2: Distribuições granulométricas.

Quadro 2: Diâmetros das partículas.

Material	D ₅₀ (μm)	D ₉₀ (μm)
CPP G	20,4	52,6
CPV-ARI	17,1	42,5
SA	0,4	6,6
MC	72,1	205,7

A massa específica média (ME_M) de 3 amostras por material (e os desvios-padrões, DP) estão apresentados no Quadro 3. A SA e a MC apresentaram ME inferiores a ambos os cimentos. As fibras PET apresentaram uma ME inferior aos cimentos e à sílica ativa. Os resultados estão em consonância com Balthar [21] (CPP G - 3190 kg/m³, SA - 2300 kg/m³, MC - 910 kg/m³, Glenium 51 - 1070 kg/m³), Vieira [28] (CPV-ARI - 3170 kg/m³, SA - 2370 kg/m³) e Magalhães e Fernandes [15] (fibras PET - 1430 kg/m³).

O teor de sólidos médio de 3 amostras de cada dispersante e seus desvios-padrões foram de: 30,05 ± 0,11% (Glenium 51) e 32,85 ± 0,24% (Masterpolyheed 322).

A compacidade média (C_M) de 4 amostras por material e os seus desvios-padrões (DP) estão apresentados no Quadro 3. Os resultados estão em consonância com Miranda [29] (CPP G - 0,59, SA - 0,41, MC - 0,52), Balthar [21] (CPP G - 0,56, SA - 0,42, MC - 0,51) e Vieira [28] (CPV-ARI - 0,54).

Quadro 3: Propriedades dos materiais.

Material	$ME_M - DP$ (kg/m ³)	$C_M - DP$ (%)
CPP G	3216,9 – 9,8	0,547 – 0,003
CPV-ARI	3080,6 – 3,5	0,584 – 0,008
SA	2325,4 – 5,2	0,348 – 0,003
MC	860,6 – 4,7	0,583 – 0,002
Fibras PET	1442,2 – 4,6	–
Glenium 51	1063,9 – 6,9	–
Masterpolyheed 322	1136,0 – 7,5	–

A resistência à tração média de 15 amostras de fibras PET e o coeficiente de variação foram iguais a 1014 MPa (6,7%). Os aspectos da fibra antes e após o ensaio de tração estão ilustrados na Figura 3a e Figura 3b, respectivamente. A morfologia cilíndrica da fibra pode ser observada na Figura 3c (MEV, ampliação 600x), enquanto a medição do diâmetro está mostrada na Figura 3d (MEV, ampliação 500x). O diâmetro médio das fibras, medido em 3 pontos ao longo do comprimento em 22 filamentos e o desvio-padrão, foram de 28,9 ± 1,4 μm. O resultado está em consonância com Miranda [30], que mediu o diâmetro médio de 30,8 ± 0,8 μm em filamentos de um cabo utilizado por 7 anos.

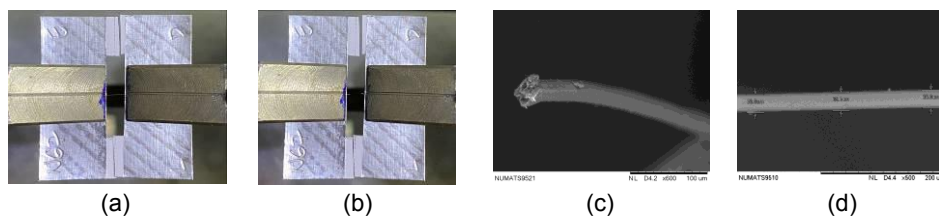


Figura 3: (a) Fibra íntegra; (b) Fibra rompida; (c) MEV da fibra (forma cilíndrica); (d) MEV da fibra (diâmetro).

3.2 Caracterização dos Microconcretos

As curvas de tempo de escoamento *versus* teor de dispersante estão apresentadas na Figura 4a (REF inicial) e na Figura 4b (REF definitiva). Os afastamentos entre as curvas da REF inicial (Figura 4a) indicam a incompatibilidade entre o cimento CPP G e o dispersante Glenium 51. A Figura 4b evidencia a compatibilidade entre o cimento CPV-ARI e o dispersante Masterpolyheed 322 na REF definitiva, além de apontar o teor ótimo desse dispersante igual a 0,6%.

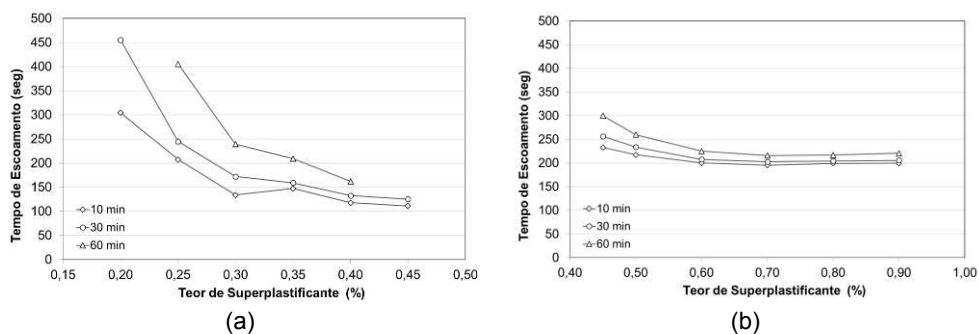


Figura 4: Curvas de escoamento das referências: (a) REF inicial; (b) REF definitiva.

As áreas médias de espalhamentos e os desvios-padrões das misturas foram iguais a: $76,6 \pm 7,6 \text{ cm}^2$ (REF), $29,7 \pm 1,3 \text{ cm}^2$ (PET0,5) e $14,0 \pm 0,8 \text{ cm}^2$ (PET1,0). Os aspectos das áreas de espalhamento mostradas na Figura 5 (a – REF, b – PET0,5, c – PET1,0) evidenciam o efeito maléfico das fibras na trabalhabilidade, uma vez que as áreas sofreram variações estatísticas significativas, com reduções de 61,2% (PET0,5) e 81,8% (PET1,0) em relação à REF.

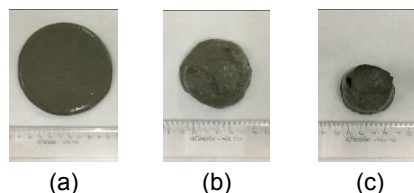


Figura 5: Espalhamentos dos microconcretos: (a) REF; (b) PET0,5; (c) PET1,0.

As massas específicas aparentes médias e os desvios-padrões dos microconcretos foram iguais a: $1230 \pm 10 \text{ kg/m}^3$ (REF), $1110 \pm 10 \text{ kg/m}^3$ (PET0,5) e $1090 \pm 10 \text{ kg/m}^3$ (PET1,0). A análise estatística indicou diferenças significativas entre os resultados dos microconcretos, com reduções na propriedade de 10,0% (PET0,5) e 11,9% (PET1,0) pelo reforço fibroso. Como foram substituídos todos os materiais da REF por fibras com ME inferior à do cimento CPV-ARI e da SA, os resultados foram coerentes.

Os ensaios de sedimentação estática mostraram que nenhuma mistura sofreu retração após 24 horas de cura e que todas se mostraram estáveis, ou seja, com pouca segregação, uma vez que todas as misturas apresentaram variações da ME entre as amostras de topo e fundo de cada cilindro bem inferiores a $0,06 \text{ g/cm}^3$. As massas específicas médias e os desvios-padrões dos microconcretos após 24 horas de cura foram iguais a: $1288 \pm 5 \text{ kg/m}^3$ (REF), $1187 \pm 7 \text{ kg/m}^3$ (PET0,5) e $1166 \pm 5 \text{ kg/m}^3$ (PET1,0). Todos os microconcretos são leves de acordo com a norma ABNT NBR 8953 [31] e as fibras causaram variações estatísticas significativas na ME, com decréscimos na mesma ordem de grandeza que a da ME aparente, de 7,8% (PET0,5) e 9,5% (PET1,0).

As curvas típicas tensão *versus* deformação dos microconcretos estão apresentadas na Figura 6 e os modos de ruptura de um corpo de prova por mistura na Figura 7a (REF), Figura 7b (PET0,5) e Figura 7c (PET1,0). As resistências à compressão de ruptura médias (f_c), os módulos de elasticidades médios (E) e as deformações de ruptura médias (ϵ_a), bem como os respectivos coeficientes de variação, estão mostrados no Quadro 4. Os modos de ruptura foram predominantemente por cisalhamento, menos evidente nos corpos de prova da PET1,0. A análise estatística das resistências de ruptura apontou diferenças significativas entre as misturas fibrosas e a REF, mas não houve variação considerável entre as resistências da PET0,5 e PET1,0. A mesma tendência foi observada nas análises estatísticas das deformações de ruptura. As diferenças foram significativas entre os módulos de elasticidades das três misturas avaliadas. O reforço fibroso de até 1,0% na REF causou reduções na resistência de ruptura de 48,0% e na deformação de ruptura de 33,7%. O efeito das fibras foi prejudicial ao módulo de elasticidade, cujos resultados foram inferiores à REF em 18,3% (PET0,5) e 25,5% (PET1,0). Como a fibra PET é de baixo módulo, os prejuízos verificados eram esperados. Entretanto, as fibras PET proporcionaram benefícios à capacidade de deformação, como pode ser observado na Figura 6, uma vez que a REF sofreu ruptura após a abertura de fissura e as misturas fibrosas apresentaram comportamentos pós-pico.

A queda de resistência verificada está em consonância com a literatura, uma vez que Magalhães e Fernandes [15] observaram redução na resistência em compósito cimentício reforçado com fibras PET pela extrusão de flocos de garrafas plásticas de até 55,5% e Oliveira

et al. [16] verificaram decréscimo máximo na resistência à compressão de concreto com fibras PET de cabo da acoragem em substituição parcial de areia de 28,0%

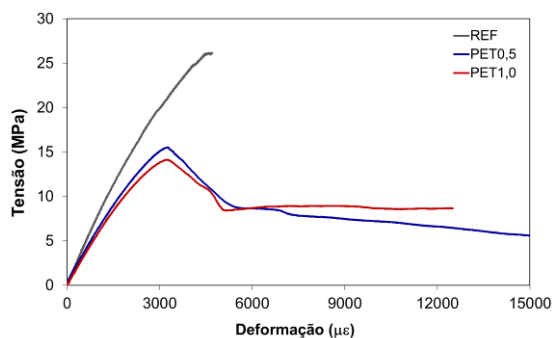


Figura 6: Curvas tensão-deformação.

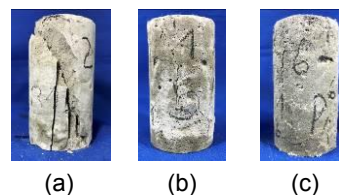


Figura 7: Modos de ruptura:
(a) REF; (b) PET0,5; (c) PET1,0.

Quadro 4: Propriedades mecânicas dos microconcretos.

Mistura	$f_c - CV$ (MPa) – (%)	$E - CV$ (GPa) – (%)	$\epsilon_a - CV$ ($\mu\epsilon$) – (%)
REF	26,5 – 5,6	7,9 – 5,0	4725 – 6,5
PET0,5	15,4 – 9,6	6,4 – 4,1	3321 – 15,0
PET1,0	13,7 – 2,8	5,9 – 1,9	3134 – 3,1

4. CONCLUSÕES

Os resultados de mini-espalhamento e ponto de saturação mostraram a possibilidade de dosagem de microconcretos leves reforçados com fibras PET residuais sem exsudação e sem segregação. Os ensaios de mini-espalhamento também mostraram que o reforço fibroso promoveu o aumento da viscosidade, ou seja, da trabalhabilidade, com o aumento da fração volumétrica, o que pode ser corrigido com o acréscimo de dispersante. A alta relação a/mc adotada, acima da porosidade estimada durante a dosagem dos materiais granulares, prejudicou o desempenho mecânico das misturas. Por isso, em pesquisa futura pretende-se dosar a mistura de referência com um menor consumo de água. Embora as misturas fibrosas tenham sofrido perdas de resistência e de módulo em relação à referência, as resistências alcançadas foram o suficiente para a confecção de painéis de vedação estruturais e o uso de fibras PET promoveu benefícios à capacidade de deformação. Na continuidade serão estudadas a aderência entre fibra-matriz e o comportamento sob flexão.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem ao Programa PIBIC-CNPq pela bolsa de iniciação científica, à professora Ana Lúcia Nazareth da Silva do IMA-UFRJ e à Milton Briguet Bastos (*in memoriam*)

da empresa MBB Enterprises pela doação das fibras PET ao NUMATS-PEC/COPPE/UFRJ pelo desenvolvimento da pesquisa em suas instalações.

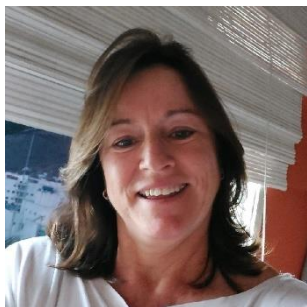
REFERÊNCIAS

- [1] Macedo, M.M.B. – *Descomissionamento de instalações marítimas: perspectivas para o Brasil*. Relatório Técnico, Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2018, 27 p.
- [2] Rebello, A. – *Decommissioning of Subsea Facilities in Brazil (OTC-29712-MS)*, Offshore Technology Conference, Brazil, 2019, p. 1-5.
- [3] Martins, C.F. – *O Descomissionamento de Estruturas de Produção Offshore no Brasil*, Monografia de Especialização em Engenharia de Campo SMS, Universidade Federal do Espírito Santo, 2015, 43 p.
- [4] Sudaia, D.P., Bastos, M.B., Fernandes, E.B., Nascimento, C.R., Pacheco, E.B.A.V., Silva, A.L.N. – *Sustainable recycling of mooring ropes from decommissioned offshore platforms*, *Marine Pollution Bulletin*, vol. 135, 2018, p. 357 – 360.
- [5] Associação Brasileira de Normas Técnicas - *Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência: NBR 8953*, ABNT, Rio de Janeiro, 2015, 7 p.
- [6] Neville, A.M. – *Propriedades do concreto, 2ª Edição*. Editora Pini (tradução), 1997, 828 p.
- [7] Mehta, P.K., Monteiro, P.J.M. – *Concreto: microestrutura, propriedades e materiais, 2ª ed.*, Editora Nicole H. Pagan (tradução), 2014, 782 p.
- [8] Foti, D. – *Recycled waste PET for sustainable fiber-reinforced concrete (Chapter 18)*, *Use of Recycled Plastics in Eco-efficient Concrete*, Editora Elsevier, 2019, 492 p.
- [9] Krishnamoorthy, M., Sivaraja, D.T. – *Flexural Properties of Polyethylene Terephthalate Fibre Reinforced Concrete*, *International Journal of Chem Tech Research*, vol. 10, 2017, p. 367 – 375.
- [10] Krishnaraja, A.R., Kandasamy, S. – *Assessment of mechanical properties of newly developed hybrid engineered cementitious composites*, *Ciencia e Tecnica Vitivinicola*, vol. 32, 2017, p. 95 – 109.
- [11] Vignesh, P., Krishnaraja, A.R., Nandhini, N. – *Study on Mechanical properties of Geo Polymer Concrete Using M-Sand and Glass Fibers*, *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, vol. 3, 2014, p. 110 – 116.
- [12] Wang, H., Huang, X., Xie, B. – *Strength and deformation properties of structural lightweight concrete under true tri-axial compression*, *Case Studies in Construction Materials*, vol. 11, 2019, p. 1 – 14.
- [13] Rumšys, D., Bačinskas, D., Spudulis, E., Meškėnas, A. – *Comparison of material properties of lightweight concrete with recycled polyethylene and expanded clay aggregates*, *Procedia Engineering*, vol. 172, 2017, p. 937 – 944.
- [14] Hanuseac, L., Dumitrescu, L., Barbuta, M., Baran, I., Bejan, G. – *Eco-mechanical index of lightweight concrete mixtures with recycled materials*, *Procedia Manufacturing*, vol. 46, 2020, p. 667 – 674.
- [15] Magalhães, M.S., Fernandes, M.S.V. – *Bending behaviour of recycled PET fiber reinforced cement-based composite*, *International Journal of Engineering and Technology*, vol. 7, 2015, p. 282 – 285.

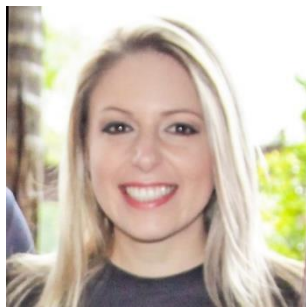
- [16] Oliveira, C.I.R., Acevedo, N.I.A., Rocha, M.C.G., Souza, I.D., Reyes, V.M.T., Assis, J.T. – *Desenvolvimento e Caracterização de Concretos Produzidos com Substituição Parcial do Agregado Miúdo por Resíduos de Cabos de Plataformas de Petróleo*, *Revista Matéria*, vol. 26, 2021, p. 1 – 18.
- [17] Associação Brasileira de Normas Técnicas – *Cimento Portland - Análise química - Determinação de perda ao fogo: NBR NM 18*, ABNT, Rio de Janeiro, 2012, 14 p.
- [18] De Larrard, F. – *Concrete Mixture Proportioning: A Scientific Approach*, Ed. E&FN SPON, 1999, 448 p.
- [19] American Society for Testing and Materials – *Standard Test Method for Tensile Strength and Young's Modulus of Fibers: ASTM C1557*, ASTM, U.S.A., 2014, 10 p.
- [20] Associação Brasileira de Normas Técnicas – *Aditivos químicos para concreto de cimento Portland - Parte 3: Ensaio de caracterização: NBR 11768-3*, ABNT, Rio de Janeiro, 2019, 22 p.
- [21] Balthar, V.K.C.B.L.M., Toledo Filho, R.D., Fairbairn, E.M.R., Miranda, C.R. – *Durability of Lightweight Slurries for Oilwell Cementing*, *Key Engineering Materials*, vol. 711, 2016, p. 203 – 210.
- [22] Kantro, D. L. – *Influence of water reducing admixtures on properties of cement paste – A miniature slump test*, *Cement, Concrete and Aggregates*, vol. 2, 1980, p. 95 – 102.
- [23] American Petroleum Institute – *Recommended Practice for Testing Well Cements, Second Edition: API RP10B-2*, API, U.S.A., 2019, 124 p.
- [24] Associação Brasileira de Normas Técnicas – *Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos: NBR 5739*, ABNT, Rio de Janeiro, 2018, 13 p.
- [25] Silvano, M.M. – *Manual de utilização do programa MEC-COPPE 1.0 – Simulador de compactação de misturas granulares secas através do Método de Empacotamento Compressível (MEC)*, COPPE/UFRJ, Brasil, 2008, p. 1 – 18.
- [26] Associação Brasileira de Normas Técnicas – *Cimento Portland - Requisitos: NBR 16697*, ABNT, Rio de Janeiro, 2018, 16 p.
- [27] Associação Brasileira de Normas Técnicas – *Materiais Pozolânicos - Requisitos: NBR 12653*, ABNT, Rio de Janeiro, 2015, 10 p.
- [28] Vieira, A.P. – *Avaliação da Retração Autógena de Concretos de Alto Desempenho produzidos com Cinza de Casca de Arroz*, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro (PEC/COPPE/UFRJ), 2018, 163 p.
- [29] Miranda, C.R. – *Pastas de cimento de alta compactação para poços de petróleo – Processo de formulação, propriedades reológicas, resistência mecânica e química*, Tese de Doutorado, Instituto Militar de Engenharia, 2008, 290 p.
- [30] Miranda, K.L. – *Caracterização de filamentos de PET, provindos de cabos de ancoragem, submersos na casta brasileira*, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014, 89 p.
- [31] Associação Brasileira de Normas Técnicas – *Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência: NBR 8953*, ABNT, Rio de Janeiro, 2015, 7 p.

PATOLOGIAS DA CONSTRUÇÃO

BAMBU – MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NA UTILIZAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL



Karolina Poznyakov¹
Mestranda em
Engenharia Ambiental
Universidade Federal do
Rio de Janeiro (UFRJ)
Rio de Janeiro - Brasil



Carina Mariane Stolz
Professora
Universidade Federal do
Rio de Janeiro (UFRJ)
Rio de Janeiro - Brasil



Eduardo Qualharini
Professor
Universidade Federal do
Rio de Janeiro (UFRJ)
Rio de Janeiro - Brasil

Resumo

O bambu é um material orgânico, que ao ser utilizado na construção civil, tem sua durabilidade relacionada com as interações com o ambiente. É um vegetal conhecido há milhares de anos, onde seus vestígios encontrados tanto na Ásia como na América Latina comprovam sua existência. O processo produtivo, da colheita à aplicação, tem nível de impacto ambiental muito baixo, causado sua ampla distribuição, ciclo de crescimento rápido e nível de resíduos baixo. O uso do bambu tem evoluído cada vez mais no âmbito das edificações devido as suas características de resistência, de leveza e de sustentabilidade. Assim sendo, o objetivo deste artigo é identificar as decisões feitas na fase do projeto, que implicam na durabilidade dos componentes do bambu, através da análise das manifestações patológicas e dos processos de depreciação desse material empenhado nas edificações.

Palavras-chave: bambu; manifestações patológicas; sustentabilidade; construção civil.

¹ Autor correspondente – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro 21941-901, Brasil. Tel.: +55 21 995716270. e-mail: karol.poznyakov@poli.ufrj.br

1. INTRODUÇÃO

Na esfera social, a população mundial está acostumada com o bambu e nos dias atuais a sua utilização na construção associa conhecimentos populares com técnicas modernas, resultando em construções que respondem às mais variadas necessidades.

As edificações que se utilizam da técnica do bambu possuem o potencial de oferecer oportunidades novas de relação e interação dos usuários com os ambientes construídos, permitindo-lhes experimentar sensações e entendimentos diferentes em função de suas características plásticas e estéticas peculiares. Os profissionais que manipulam esse material relatam que muitas pessoas procuram por projetos que utilizam o bambu, pois estão à procura de uma afinidade com a natureza e querem morar em espaços mais saudáveis em construções que tenham uma pegada ambiental [1].

O bambu é uma planta largamente distribuída na Amazônia, com mais de sete milhões de hectares, sendo o estado do Acre possuidor de 38% das florestas desta categoria. Entretanto, a durabilidade reduzida do colmo devido ao ataque de fungos apodrecedores dificulta a sua aplicação na indústria da construção civil. Uma forma de contornar esse problema, seria pela utilização de bioativos produzidos por fungos endofíticos incorporados ao bambu, visto que estes acondicionam uma enorme fonte de moléculas ativas que podem ser utilizadas para a conservação do material.

A resistência do bambu à deterioração depende de muitos fatores como a espécie, as condições do clima de cultivo e plantio, a maneira de aplicação, as condições de uso, a idade dos colmos, os tratamentos de conservação, entre outros. E é um atributo que está muito associado com as suas propriedades físico-químicas. Para alcançar a efetividade no uso do bambu na construção é necessário conhecer essas características, tornando primordial o tema da durabilidade [2].

2. ESTRUTURA

O bambu pertence à família Poaceae, subfamília *Bambusoideae* e tribo *Bambuseae*. O bambu, segundo Engler, faz parte da divisão *Angiospermae* e é da classe das *Monocotyledoneae*.

Com aproximadamente mais de 1200 espécies classificadas, trata-se de uma planta muito adaptada às condições climáticas diversas desde montanhas com temperaturas muito baixas até regiões tropicais quentes [3]. Existem aproximadamente 75 gêneros de bambu sendo que a sua identificação é muito dificultada pela imprevisibilidade da floração, podendo estar relacionada à

morte da touceira [4]. Aproximadamente 64% dos plantios aparecem no sudeste da Ásia, 33% na América do Sul e o restante na África e na Oceania [5]. É uma planta predominantemente tropical e que evolui com velocidade maior do que qualquer outra planta do planeta, precisando, em média, de três a seis meses para que um broto atinja sua altura máxima, de até 30 m, para as espécies chamadas gigantes [6].

As espécies mais analisadas e utilizadas no Brasil são na sua maioria originárias do continente asiático, tais como *Bambusa vulgaris*, *B. tuldoides*, *Dendrocalamus strictus*, *D. giganteus* e *Phyllostachys aurea* [7]. Algumas necessitam de estudos mais profundos e concentram-se em algumas regiões de mata atlântica, e na região amazônica, principalmente no estado do Acre (*Guadua tagoara*).

No que se refere ao sistema de raiz, os bambus classificam-se em Paquimorfos ou Entouceirantes (*Bambusa*, *Guadua* e *Dendrocalamus*) e Leptomorfos ou alastrantes (*Phyllostachys*, *Arundinaria* e *Sasa*). Os primeiros possuem rizomas pequenos e grossos com gemas laterais, e o segundo grupo apresenta rizomas que se desenvolvem no solo de forma a ocupar grandes regiões.

Existem ainda os Anfipodiais, que associam requisitos dos dois tipos (*Chusquea*), conforme observado por Hidalgo [8].

3. PROPRIEDADES

A durabilidade dos materiais e componentes construtivos é muito importante para os projetistas que visam atender à exigência dos usuários finais em prolongar a vida útil das suas construções.

“A durabilidade não é uma propriedade do material, mas o resultado da interação entre o material e o ambiente, incluindo aspectos do microclima.” [9]

O bambu possui resistência boa a diferentes forças e um peso específico reduzido, o que minimiza o investimento em seu manuseio e seu transporte, como sugere Ghavami [10].

Conforme Azzini et al. [7], a planta apresenta alta resistência físico-mecânica, além de leveza e de flexibilidade. O bambu tem excepcional vigor vegetativo, que resulta na velocidade de desenvolvimento axial dos colmos (7,88 e 22,0 cm/dia para *Guadua angustifolia* e *Dendrocalamus giganteus*, respectivamente) e ainda, um desenvolvimento máximo em altura no período de 80 a 110 dias.

4. TRATAMENTOS PRESERVATIVOS

A preservação dos colmos de bambu é realizada a partir de modificações de métodos utilizados para a madeira. De maneira geral a preservação da madeira pode ser apresentada como um conjunto de processos utilizados para proporcionar a madeira elevada resistência e durabilidade diante dos agentes de depreciação, sejam eles de causa física, química ou biológica [11]. Em todo o mundo, há enorme interesse no consumo de madeira tratada, e nos Estados Unidos mais de 20% de toda madeira produzida é protegida com conservantes [12].

O bambu é uma das espécies de crescimento rápido que precisa de tratamento preservativo sendo primordial para suas aplicações. Caso não haja nenhum tipo de tratamento, o bambu alcança a durabilidade de 1 a 3 anos se estiver em contato com o solo e local aberto, 4 a 6 anos em contato com o solo e local coberto em 10 a 15 anos se tiver em condições favoráveis de ambientação [14]. Assim sendo, após a colheita do bambu é importante que haja técnicas apropriadas que modifiquem o nível de amido existente no colmo para otimizar o aumento da sua vida útil [15].

O tipo de método de preservação escolhido pode ser alterado por critérios como quantidade de material a ser protegido, dimensões do material, os métodos adotados, o tipo de produto, a finalidade e o grau de maturidade dos colmos [16]. Existem basicamente duas maneiras de proteger o bambu: tradicional e com produtos químicos. Os métodos tradicionais são utilizados há milhares de anos, por serem de fácil execução e custo baixo para realização. Este método abrange diversas técnicas como o cozimento da peça em forno, a utilização de corantes, vernizes e tintas de origem natural, a lavagem em cal, a imersão quente-frio, o tratamento a pressão, entre outros [17].

Entretanto, quando se pensa em madeira protegida em escala industrial, o principal método mais utilizado é a da proteção por produtos químicos. No Brasil, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) autoriza o uso de diversos produtos químicos, como arseniato de cobre cromatado (CCA tipo C), borato de cobre cromatado (CCB), ciflutrina, cipermetrina, deltametrina, fipronil, IPBC, creosoto, tanino, tribromofenol, quinolinolato de cobre-8, cardendazin, prochloraz, boratos, fluor, além dos produtos à base de cobre e azole. Contudo, os produtos mais utilizados são CCA (cobre) e CCB (boro), representando cerca de 90% dos produtos utilizados nas indústrias de conservação de madeira [13].

No que se refere à colheita, Kleine [18] assinala que a durabilidade dos colmos é elevada quando a colheita é feita nos meses de outono e de inverno (período menos chuvoso), devido a

quantidade de carboidratos nos colmos maduros ser muito baixa. Não se recomenda que a colheita seja feita durante a brotação para não comprometer os brotos.

Entre a colheita dos colmos e a aplicação do bambu na construção, eles devem passar pelos processos de tratamento e de secagem, cuja sequência se altera a depender do método de proteção adotado. A Figura 1 mostra as fases do ciclo de vida do bambu que serão explicadas a seguir.

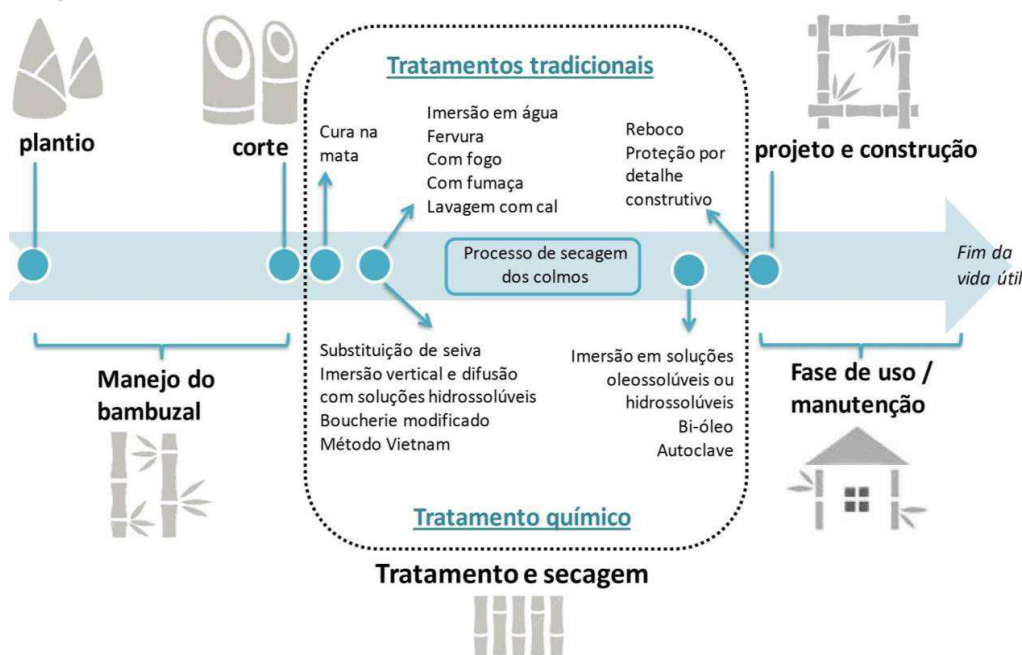


Figura 1: Fases do ciclo de vida do bambu aplicado na construção.

6. Manifestações patológicas em construções com bambu

Um dos principais motivos que limitam a disseminação do uso do bambu na construção civil é sua vulnerabilidade à depreciação resultante por agentes externos: os colmos sem tratamento, expostos à intempérie e em contato direto com o solo. Um colmo sem tratamento tem, em média, a durabilidade de um ano. No caso de estarem protegidos por uma cobertura podem resistir até sete anos. Assim, o fator de uso é relevante para conservar as condições apropriadas que garantam a proteção do bambu contra agentes agressores após a colheita, durante o tratamento e secagem, no transporte, na aplicação na construção e, na manutenção da edificação.

Quando o bambu está no bambuzal já pode apresentar algumas falhas como furos feitos por insetos ou aves, deformações excessivas em relação ao eixo de crescimento, deformações do colmo e conicidade superior a 1% [19] fissuras com comprimento maior que 20% do comprimento do colmo ou até podridão. Antes da aplicação dos colmos em estruturas é importante fazer uma classificação visual que permita classificar esses defeitos e, segundo recomendado pelas normas NSR 10 [19], E 100 Bambu [20] e NEC–SE–Guadua [21], esses colmos devem ser descartados ou utilizados para outras finalidades (Figura 2).

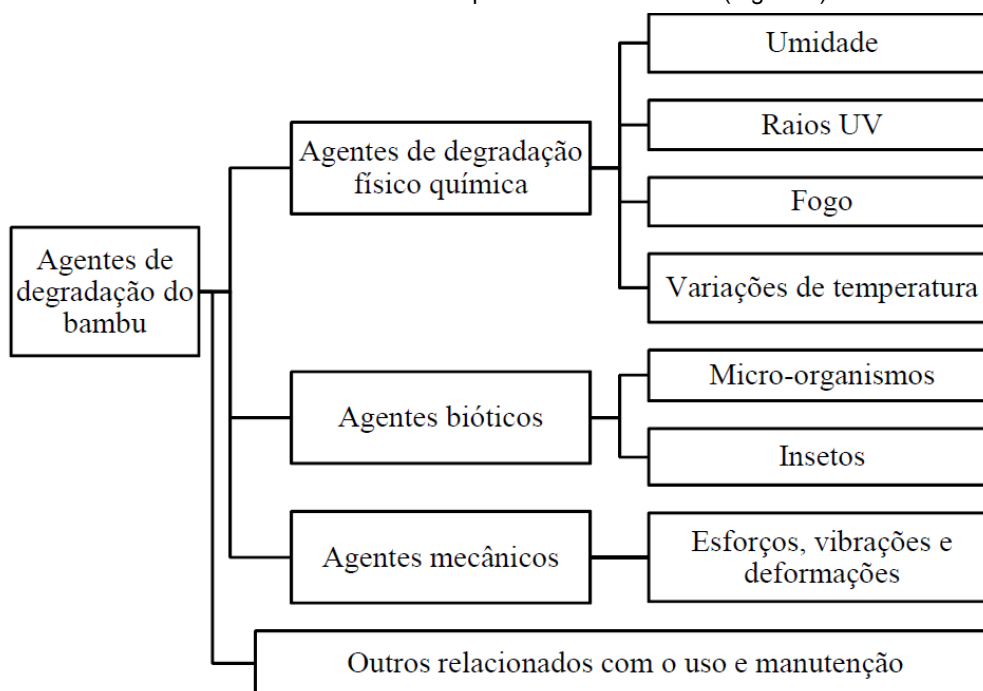


Figura 2: Agentes de degradação do bambu

6.1 Agentes de degradação físico-química

Nas edificações em serviço, o bambu está vulnerável a diferentes combinações de vários fatores ambientais que favorecem a sua depreciação.

6.1.1 Umidade

O bambu é um material higroscópico², portanto a umidade do ambiente e a água incidente no colmo alteram suas dimensões e a sua resistência mecânica, o que pode interferir diretamente

² Higroscopia é a propriedade que certos materiais possuem de absorver água.

na sua aplicação. Além do mais, em conjunto com a temperatura adequada, podem favorecer um ambiente propício para a proliferação de fungos.

6.1.2 Raios ultravioletas (UV)

Após o corte, a exposição direta e prolongada aos raios UV (ação do sol), antes ou durante a aplicação em edificações, ocasiona fotodegradação nos colmos.

Wang e Ren [22] indicam que a fotodegradação é a modificação da cor da superfície do bambu ou das madeiras, resultado de mudanças químicas em alguns componentes durante a exposição à irradiação UV. Essa mudança de cor também está relacionada à modificação da lignina. O bambu afetado por raios UV apresenta uma cor esbranquiçada.

6.1.3 Fogo

O bambu é um material inflamável e os colmos expostos ao fogo explodem devido a acumulação do calor na parte interna dos entrenós. O fogo é um fator que deve ser considerado na fase do projeto de edificações com esse material com foco na segurança do usuário final.

6.1.4 Variações de temperatura

As rápidas alterações de temperatura em combinação com a umidade, nas partes expostas do bambu, resultam num comportamento diferente das demais. Os colmos se expandem ou se contraem a depender do ganho ou da perda de temperatura e de umidade, podendo resultar em mudanças da cor, em deformações e em aparecimento de rachaduras que facilitam o ingresso futuro de umidade ou de insetos ao interior dos colmos.

6.2 Agentes bióticos de degradação

O bambu é muito mais suscetível do que as madeiras ao ataque dos fatores bióticos – fungos e insetos - por causa do seu alto nível de amido.

Conforme Matsuoka e Beraldo [23], os agentes bióticos são os que mais deterioram o bambu. Seu ataque pode ocorrer nas plantações de bambu, durante o empilhamento, no transporte e também quando aplicado na construção. A vida útil das estruturas de bambu está sujeita à percentagem de degradação biológica sofrida pelos componentes.

6.2.1 Micro-organismos

Os micro-organismos atacam ao bambu principalmente quando está em contato com o solo [24]. Os fungos xilófagos³ são o principal agente biótico de degradação do bambu e se alimentam de diferentes partes do colmo - dependendo da espécie - representando uma grande ameaça por sua rápida reprodução [18].

Evidenciado por da Silva et al. [25], o bambu nunca é atacado por uma única espécie de fungo. Isto foi o resultado da pesquisa em amostras de *Dendrocalamus giganteus* expostas a condições ambientais e em contato com o solo onde identificaram fungos de 4 gêneros diferentes.

Kleine [18] explica que os fungos que se alimentam de tecidos lenhosos expõem uma classificação que está resumida na Figura 3. Conforme sugere Moreschi [26], esta classificação também tem sido utilizada para os fungos que atacam as madeiras.



Figura 3: Classificação dos fungos que atacam o bambu.

Fonte: Adaptado de Kleine [18].

Kleine [18] e Matsuoka e Beraldo [23] indicam que os fungos emboloradores e manchadores inicialmente não ocasionam prejuízo nas propriedades mecânicas do bambu e sua ação afeta objetivamente a parte estética - mas futuramente podem afetar também a resistência mecânica. Os fungos apodrecedores representam um considerável risco para a integridade dos elementos construtivos.

Os fungos manchadores (*stain fungi*) podem penetrar em bambus roliços pelos extremos (onde a parte interna está exposta) e também pelos locais que foram removidos os ramos. A presença desses fungos resulta em manchas com coloração acinzentada na superfície do colmo, as quais não são eliminadas por lixamento.

³ Um xilófago é um inseto que se alimenta de madeira. Os cupins, as vespas e algumas espécies de besouro são exemplos de animais xilófagos.

Os fungos apodrecedores (*decay fungi*) causam um dano mais grave nos colmos. Eles crescem dentro do lúmen das células e, futuramente, provocam mudanças nas propriedades químicas dos componentes do bambu [27].

6.2.2 Insetos

Os insetos xilófagos são os que causam os ataques mais destrutivos ao bambu seco. As brocas e os cupins são os mais comuns. Esses insetos passam por modificações genéticas ao longo da sua vida, evoluindo de larva a pupa e finalmente a inseto adulto, podem ser xilófagos apenas numa fase ou em todas elas, dependendo da espécie observada.

Os ataques de brocas observam-se no interior dos colmos, que é a parte mais macia; já no córtex quase não se encontram danos maiores, embora possam ser percebidos alguns alertas como os pequenos furos que servem de acesso para os insetos e também a presença de pó branco ou de pequenas bolinhas brancas ou marrons nas proximidades dessas aberturas.

Kaminski et al. [28] descrevem que os ataques de insetos se manifestam externamente por pequenos furos ovalados ou redondos com um diâmetro entre 1 a 6 mm.

Kleine [18] indica que no Brasil há poucas pesquisas sobre as espécies de insetos xilófagos que atacam ao bambu, mas que algumas ocorrências para *Dinoderus minutus*, *Chlorophorus annularis*, *Lictus brunneus*, *Cryptotermes dudleyi* e *Odontotermes feae* já foram registradas.

6.3 Manifestações patológicas de origem mecânica

Os colmos de bambu podem ser submetidos a esforços de compressão, de tração, de flexão e de cisalhamento, podendo ocasionar deformações e rupturas características.

Beraldo [24] apresenta os resultados de uma avaliação em uma construção depois de 17 anos de exposição no Brasil. Nos resultados, observou-se que as colunas de bambu da espécie *Dendrocalamus asper* - cujas bases tinham sido enterradas no concreto das fundações - demonstram o pior desempenho possível e sofreram ataques de organismos xilófagos. Os colmos da mesma espécie de bambu utilizados na estrutura da cobertura tiveram ruptura por esmagamento, inclusive os colmos cujo entrenó foi preenchido com concreto.

Nesse contexto, as normas de construção com bambu na América do Sul: NSR 10 [19] na Colômbia, Norma Técnica E 100 [20] no Peru e NEC-SE-Guadua [21] no Equador já preveem o

reforço dos colmos de bambu nessas aplicações e a proteção dos elementos contra a umidade, mesmo aquela que seja proveniente do concreto.

6.4 Manifestações patológicas com origem no uso e na manutenção

Existem manifestações que são provenientes da ação dos usuários da edificação. Por exemplo, aquelas que aparecem por falta de manutenção ou pelo seu uso inadequado.

A aparência do bambu nesses casos dependerá da ação, mas para poder identificá-las e futuramente realizar um diagnóstico é necessário fazer uma boa análise da história de uso e, uma observação das interações rotineiras entre o usuário e a edificação.

7. CONCLUSÕES

Este artigo apresenta contribuições teóricas que relacionam todas as etapas da cadeia produtiva do bambu com o projeto e a construção; reunindo conceitos necessários para entender a durabilidade deste material no contexto da edificação; recolhendo dados importantes sobre obras em uso, que podem servir de sustento para futuras pesquisas; apontando procedimentos de inspeção arquitetônica de estruturas de bambu; registrando recomendações para avaliar as fases de projeto, uso e manutenção de uma edificação de bambu, com foco na durabilidade deste material.

Esta pesquisa é uma ferramenta dinâmica para os profissionais que trabalham com projeto e construção deste tipo de edificações, bem como para proprietários e usuários destas construções.

Ainda, como forma de melhor aproveitar o material, sugere-se que ocorram mais estudos de produtos preservativos, sejam estes novos ou os mesmos já conhecidos, em diferentes utilizações e metodologias. Dessa forma, há de se encontrar um produto e aplicações ótimas que ajudem o melhor desempenho possível do bambu em obras.

REFERÊNCIAS

- [1] Jaramillo, Andrea; Patrício-Karnopp, Zuleica, Librelotto, Lisiane. Durabilidad de materiales naturales de construcción: percepciones de proyectistas, constructores y usuarios en Florianópolis – Brasil. Revista de Arquitectura, Bogotá. No prelo.
- [2] Kaur, Perminder Jit et al. Eco-friendly preservation of bamboo species: traditional to modern techniques. Bioresources, Raleigh, v. 11, n. 4, p.1-21, 2016b.

- [3] Liu, D.; Zohong, T.; Chang, P. R.; Li, K.; Wu, Q. Starch composites reinforced by bamboo cellulosic crystals. *Bioresource Technology* 101 (2010) 2529–2536.
- [4] Liese, Walter. The anatomy of bamboo culms. Beijing, Technical Report, INBAR, 1998. 203p.
- [5] Mastai, Y. *Materials science-advanced topics*. 1a ed. Intechopen, 2013.
- [6] Farrelly, D. *The Book of Bamboo*. Sierra Club Books, São Francisco, 1984, 202p.
- [7] Azzini, A., Santos, R.L. Pettinelli Júnior, A. BAMBU: Material alternativo para construções rurais. Campinas, SP, Instituto Agronômico de Campinas, Boletim Técnico, n. 171, p. 1-18, 1997.
- [8] Hidalgo López, Oscar - *Bambu, su Cultivo y Aplicaciones en Fabricación de Papel, Construcción, Arquitectura, Ingeniería, Artesanía*, Estudios Tecnicos Colombianos Ltda. Cali, Colombia, 1974.
- [9] John, Vanderley; Sato, Neide Matiko Nakata. Durabilidade de componentes da construção. In: SATTler, Miguel Aloysio; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay (Ed.). *Coletânea Habitar: Construção e meio ambiente*. Porto Alegre: ANTAC, 2006. Cap. 2. p. 20-57.
- [10] Ghavami, Khosrow. Bamboo: Low cost and energy saving construction materials. In: *International Conference On Modern Bamboo Structures*, 1., 2007, Changsha. Proceedings. London: Crc Press, 2008. p. 5 - 21.
- [11] Dias, K. B.; Barreiros, R. M. Potentiality of Tall Oil as Preservative for Wood. *Chemical and Biomolecular Engineering*, [S.l.], v. 2, n. 4, p. 180-183, nov./jan. 2018.
- [12] Barnes, P. W. Et Al. Ozone depletion, ultraviolet radiation, climate change and prospects for a sustainable future. *Nature Sustainability*, v. 2, n. 7, p. 569–579, 24 jul. 2019.
- [13] Vidal, J. M.; Evangelista, W. V.; Silva, J. D. C.; Jankowsky, I. P. Preservação de madeiras no Brasil: histórico, cenário atual e tendências. *Ciência Florestal*, v. 25, n. 1, p. 257-271, 2015.
- [14] Janssen, J. J. A. *Designing and Building with AoIP*. Eindhoven: INBAR, 2009
- [15] Tiburtino, R. F.; Paes, J. B.; Beraldo, A. L.; Arantes, M. D. C.; Brocco, V. F. Tratamento preservativo de duas espécies de bambu por imersão prolongada e boucherie modificado. *Floresta e Ambiente*, v. 22, n. 1, p. 124-133, 2015.
- [16] Liese, W. The Structure of Bamboo in Relation to its Properties and Utilization. *Proceedings of the International Symposium on Industrial Use of Bamboo*. Beijing. p. 95-100. 1992.
- [17] Liese, Walter. A personal reflection on 60 years of bamboo passion and work. *Proceedings of the 9th World Bamboo Congress*. Antwerp: 2012. Documentos eletrônicos.
- [18] Kleine, Hans J. *Bambu: Tecnologia da durabilidade*. Florianópolis: Bambusc, Giem., 2010. 38 p.
- [19] NSR-10. *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente - NSR-10. Estructuras de MADERA y Estructuras de Guadua*. Anais...Bogotá, Colombia: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 1997
- [20] E100 BAMBÚ, N. T. Norma técnica E. 100 Bambú. *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Perú: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2012.
- [21] NEC-SE-GUADUA. *Norma Ecuatoriana de la construcción - Estructuras de Guadúa*EcuadorMinisterio de Desarrollo Urbano y Vivienda. 2016.
- [22] Wang, Xiaoqing; Ren, Haiqing. Comparative study of the photo-discoloration of moso bamboo (*Phyllostachys pubescens* Mazel) and two wood species. *Applied Surface Science*, [s.l.], v. 254, n. 21, p.7029-7034, ago. 2008.

- [23] Matsuoka, Jéssica Harue; Beraldo, Antonio Ludovico. Avaliação do tratamento preservativo de taliscas de bambu com ácido pirolenhoso. *Revista Floresta*, Curitiba, v. 44, n. 1, p.11-20, jan. 2014.
- [24] Beraldo, Antonio L.; S. Ferreira, Gisleiva C.; Vieira, Flávia F. Avaliação da degradação de colmos de bambu por meio END por ultrassom. In: *Seminário Sobre A Aplicação De Ensaio Não-Destrutivos Na Madeira E Em Materiais À Base De Madeira*, 1., 2006, Itatiba: ABENDE, 2006. p. 1 - 3.
- [25] Da Silva, R.G. Et al. Occurrence of filamentous fungi on *Dendrocalamus giganteus* in Brazil. In: *WORLD BAMBOO CONGRESS*, 8., 2009, Bangkok.
- [26] Moreschi, João Carlos. Biodegradação e preservação da madeira. In: *MORESCHI, João Carlos. Apostila*. Curitiba: Departamento da Engenharia Florestal da UFPR, 2013. p. 1-53.
- [27] Hidalgo- López, Oscar. *Bamboo: The gift of the gods*. Colômbia: Oscar Hidalgo, 2003. 553p.
- [28] Kaminski, Sebastián et al. Structural use of bamboo: Part 2: Durability and preservation. *The Structural Engineer*, Londres, v. 94, n. 1, p.38-43, out. 2016.

ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO DAS FACHADAS DO EDIFÍCIO-SEDE DA ESCOLA DE ARQUITETURA DA UFMG



**Clara Rodrigues
Pereira***
Graduanda em
Arquitetura e
Urbanismo
UFMG – Belo
Horizonte, Brasil



Mateus Rosada†
Professor
UFMG – Belo
Horizonte,
Brasil

Resumo:

O trabalho a seguir apresenta uma análise do estado de conservação do edifício-sede principal da Escola de Arquitetura da UFMG, em Belo Horizonte. Tal edificação é pública, tombada em escla municipal desde 2009, por ser um exemplar de destaque da arquitetura moderna. O estudo realiza um levantamento de suas fachadas com o intuito de se facilitar o comparativo e entendimento a respeito das manifestações patológicas que o aflingem. Com este trabalho, visa-se dar visibilidade ao tema e chamar a atenção para que manutenções preventivas e corretivas adequadas sejam aplicadas à edificação, a fim de que suas qualidades arquitetônicas sejam recuperadas.

Palavras-chave: Escola de Arquitetura da UFMG; Manifestação patológica. Estado de conservação

1. ESCOLA DE ARQUITETURA DA UFMG

A Escola de Arquitetura foi fundada em 5 de agosto de 1930, e teve como primeira sede o prédio da antiga Escola Superior de Agronomia e Medicina Veterinária de Belo Horizonte [1].

* Autora correspondente – Telef.: +55 31 99573-5901. e-mail: clararp16@gmail.com

†Autor correspondente – Departamento de Análise Crítica e Histórica da Arquitetura e do Urbanismo - ACR. R. Paraíba, 697 - Savassi, Belo Horizonte – MG/CEP 30130-141, BRASIL., Telef.: +55 31 3409-8845. e-mail: mateusrosada@yahoo.com.br

Ela surgiu da união de engenheiros, artistas, advogados e médicos que pretendiam “organizar uma escola de formação de técnicos da arquitetura e profissionais das artes auxiliares, como decoradores, escultores e pintores” [2]. Optou-se, à época, pela criação de uma Escola de Arquitetura desvinculada de uma escola de belas artes e de uma politécnica, como eram as duas únicas estruturas universitárias que abrigavam cursos de arquitetura até então no Brasil.

Por ser inicialmente uma instituição filantrópica e mantida por doações, principalmente dos próprios professores e alunos, a Escola de Arquitetura, conhecida pela sua sigla EA, passou por diversos endereços, até se fixar na rua Paraíba, 697, quando Juscelino Kubitschek, à época prefeito de Belo Horizonte, doou, em 1944, um terreno no Bairro Funcionários com uma edificação popularmente conhecida como Mercadinho.

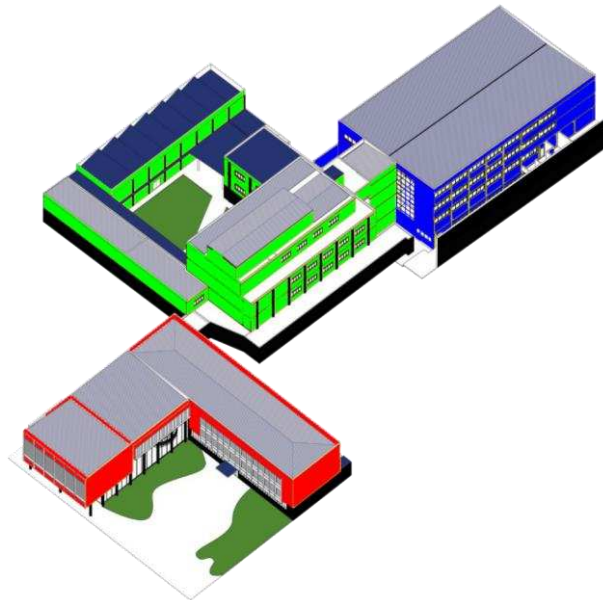


Figura 1: Blocos que compõem a Escola de Arquitetura da UFMG. Em vermelho o bloco principal/tombado (1948); em verde o bloco da primeira expansão (1956); e em azul o bloco da segunda e última expansão (1964).

Em junho de 1946, o Conselho Universitário deliberou positivamente à solicitação de incorporação da EA à Universidade de Minas Gerais (que viria a se tornar a Universidade Federal de Minas Gerais), este, mais um marco relevante para a história da Escola [3]. A partir daquele momento, e com a federalização da UMG em 1949, o aumento no número de alunos foi significativo. A fim de se garantir uma infraestrutura mais adequada às necessidades do momento, foi dado o início das obras de construção da nova sede em 1948, sob responsabilidade dos arquitetos Shakespeare Gomes e Eduardo Mendes Guimarães Júnior (ambos arquitetos e ex-alunos da Instituição). O Novo edifício foi construído com planta em L, sem ocupar a esquina onde se localizava o Mercadinho, de modo a preservar ao máximo as salas de aula de então até a conclusão da nova sede. As obras findaram em 1954. Neste mesmo período havia discussão acerca da construção de uma Cidade Universitária na região

da Pampulha. Apesar disso, o projeto de construção da nova sede não foi abalado, e logo em seguida (em 1955) foi encomendada a elaboração e execução do primeiro projeto de expansão da Escola, que ocupou o miolo da quadra, inaugurado em 1956, também de autoria de Shakespeare Gomes. A segunda e última expansão, quando o prédio chegou à Rua Cláudio Manoel ocorreu entre 1964 e 1967.

Ao longo dos anos houve diversas discussões a respeito da transferência da EA para o campus da UFMG, porém essa mudança nunca se concretizou. Em 1990 o município de Belo Horizonte realizou o tombamento das edificações da Escola a fim de preservá-las e reforçar a importância da Instituição [4]. Tal tombamento teve sua constitucionalidade questionada e indeferida pelo Tribunal de Justiça de Minas Gerais em 1995, através da ADI nº 40.647/0 [5]. O processo para tombamento da EA foi retomado em 1998, liderado pelo professor Carlos Antônio Leite Brandão, porém, só foi de fato registrado no Livro de Tombo em 2009, junto ao Conselho Deliberativo do Patrimônio Cultural do Município de Belo Horizonte, que reconheceu o bloco mais antigo da Escola de Arquitetura como “uma das principais referências do modernismo [da capital mineira]”, agregando “aos seus valores materiais, inúmeros outros de natureza simbólica e imaterial” [3].

Há alguns anos, em assembleia deliberativa, a comunidade da Escola de Arquitetura decidiu por mudar-se para o Campus da Pampulha, mas a falta de verbas da universidade tem inviabilizado esta mudança. Com a falta de recursos e a expectativa de mudança para a Pampulha, o edifício tem recebido pouquíssimas intervenções pontuais de manutenção na sua fachadas há uma mais de uma década. Com isso, marcas de recalque diferencial, desprendimento de pastilhas do acabamento externo, lixiviações, acúmulo de lodo, entre outras manifestações patológicas, têm se tornado mais críticas com o tempo.

Abaixo será apresentado o estado de conservação das fachadas do edifício-sede da Escola de Arquitetura da UFMG, com base em registros documentais e fotográficos realizados em 2008, em 2021 e em 2023.

2. ESTADO DE CONSERVAÇÃO DAS FACHADAS DO EDIFÍCIO-SEDE

2.1 Fachada I – Entrada de serviços

A entrada lateral da edificação tombada representa a entrada de serviços. Ela fica situada na rua Gonçalves Dias e se trata de um corredor que interliga o bloco tombado ao bloco da primeira expansão da edificação. Na parte superior (equivalente ao segundo pavimento), foi construído um anexo ao auditório da Escola, onde fica a sala de controle, em data que não foi possível confirmar.

Em registro de 2008, elaborado por Lemos *et al* [3], há uma descrição do cenário dessa fachada:

é fechada por portão em chapa de ferro [já com presença de corrosão], sendo sempre boqueado por veículo oficial da Universidade e de membros da Diretoria da Unidade. [...] Porta ampla permite acesso de materiais e a mesma é usada eventualmente pelos usuários do edifício, quando de bloqueio de acesso pelo Hall nobre. Apresenta caxilharia em ferro chato,

encontrando-se em mau estado de funcionamento, com duas folhas de correr endurecidas pela falta de manutenção. Recebem vidro incolor, instalado com baguetes de 1x1cm, enferrujados.

O piso dessa entrada foi executado em cimento grosso, com juntas de dilatação a cada 2m, bastante danificado. Caixas de passagem possuem tampas em cimento, também danificadas, o que dificulta caminamento de pedestres. As alvenarias pintadas em branco configuram poluição visual, recebendo grades quadriculadas fechando as aberturas que para aí se voltam dezenas de tubulações aparentes, sem programação visual.

Os registros fotográficos da época mostram ainda a calçada portuguesa e a estrutura de pilares esbeltos e finos interligados a vigas altas com presença de lodo e manchas escuras em sua decorrência. É perceptível também a construção de um novo edifício no lote vizinho, devido à presença de tapume ao longo do muro de divisa.

Em 2021, o desgaste no portão de chapa de ferro aumentou, havendo mais regiões com descascamento da tinta branca e corrosão. O piso de calçada portuguesa apresentava bastante lodo e surgimento de vegetação. O lodo, bolor e manchas escuras tomaram conta da região desprotegida das vigas e pilares, tendo evoluído para descascamento desses elementos. Os restos de materiais de obra e entulho agravam o cenário de descuido.

Após reformas que ocorreram entre 2022 e 2023, o cenário mudou. Houve a retirada dos escombros, limpeza e pintura do portão, das paredes, das vigas e dos pilares. A calçada portuguesa foi substituída por concreto até a altura do portão metálico, bem como as tampas das caixas de passagem foram refeitas (também em concreto).



Figura 2: Fachada I. Da esquerda para a direita: 2008 [3]; 2021; 2023.

2.2 Fachada II – Entrada pelo Hall nobre

A entrada pelo Hall nobre é por onde se faz o acesso principal à Escola. Na fachada inferior se encontram pilotis revestidos em metal, uma grande porta e pano de vidro em esquadria

metálica, além de parede com revestimento em pastilhas 2x2cm em tom terracota com uma grande janela de esquadria metálica e vidro. Na fachada superior, onde há o auditório da EA, as paredes revestidas em pastilhas 2x2cm em cor clara se harmonizam com os grandes janelões de esquadria metálica e com os brises horizontais fixos em concreto.



Figura 3: Fachada II. Da esquerda para a direita: 2008 [3]; 2021; 2023.

Com relação ao pavimento térreo desta face, há de se pontuar a oxidação dos revestimentos metálicos dos pilotis. Outro ponto bastante preocupante são as duas grandes rachaduras, uma em 45°, da base inferior esquerda da janela até a borda da fachada de encontro ao segundo andar, e outra vertical, abaixo da janela, possivelmente causadas por recalque diferencial e que ainda se encontram em atividade, uma vez que foram seladas há um ano e voltaram a se expandir. No pavimento superior da fachada há desprendimento de pastilhas em diversos pontos, assim como o acúmulo de sujidades generalizado e marcas escuras devido ao lodo e ao carreamento de sais dos elementos de concreto e rejuntas.



Figura 4: Pilotis. Da esquerda para a direita: 19--? [7]; 2008 [3]; 2021; 2023.



Figura 5: Rachadura em 45°. Da esquerda para a direita: 2021; 2021; 2023; 2023; 2023; 2023.



Figura 6: Rachadura vertical (2023).



Figura 7: Lixiviação, sujidades, deslocamento e lodo (2023).

2.3 Fachada III – Elevação lateral à entrada pelo Hall nobre

A fachada lateral, à direita da entrada pelo Hall nobre e voltada para a praça, é constituída por pilotis com revestimentos em chapas metálicas e grandes panos de vidro em sua parcela inferior. Na porção superior, a parte esquerda é constituída por parede cega revestida com pastilhas 2x2cm de cor clara; o lado direito constitui-se de uma região de continuidade ao pano de vidro, com brises metálicos horizontais móveis no trecho onde o pé direito do saguão é duplo. Acima desse trecho há um terceiro nível, com janelas metálicas anteparadas com brises

metálicos verticais móveis. No plano cego desta elevação há a logo da Escola em peças metálicas projetadas, constituída por capitel jônico geometrizado e as escritas “UFMG” e “ESCOLA DE ARQUITETURA”. A área pastilhada apresenta soltura das pastilhas em diversos pontos, assim como generalizada sujidade e presença de manchas escuras em decorrência de lixiviação e de lodo em alguns trechos. E os brises verticais possuem diversas peças com amassados e entortamentos. A maior parte deles não pivota mais.



Figura 8: Fachada III. Da esquerda para a direita e de cima para baixo: 19--? [7]; 2023; 2023; 2023; 2023; 2023.

2.3 Fachada IV – Entrada secundária

Esta elevação é voltada para a Rua Gonçalves Dias, comunica-se com a praça e corresponde à face da Escola de Arquitetura que abriga o acesso secundário, utilizado quando o principal está fechado. Nesse corpo, se localizam grupos de pesquisa e os dois programas de pós-graduação da instituição.

Em 2008 [3], o cenário dessa fachada era:

A entrada lateral direita, localizada na Praça de esquina, é pontuada por marquise inclinada e era anteriormente destinada a alunos. Hoje este acesso encontra-se desativado, sendo utilizado apenas esporadicamente. Apresenta fechamento em esquadria estruturada em alumínio e vidro incolor (duas folhas de correr e dois módulos fixos), com soleira em mármore branco [...].

A elevação voltada para a Praça, alinhada à rua Gonçalves Dias possui brises horizontais (pequenas marquises em concreto, revestidas e pintadas na cor palha), arrematados por moldura que define volume retangular que se projeta em relação às esquadrias de fechamento dos segundo e terceiro pavimentos. As aberturas recebem esquadrias em caxilharia em alumínio e vidro incolor, sendo duas folhas fixas e duas de correr, permitindo máxima integração dos espaços internos que ali se instalam e o exterior. Abaixo dos brises, as fachadas recebem fechamento em vidros fixos e em alvenaria revestida em pastilhas 2x2cm, de cor terrosa, desbotadas pelas intempéries, similares ao plano cego da rua Paraíba. A marquise inclinada construída acima do acesso ao Hall lateral também é revestida em pastilhas 2x2cm, e sua borda denuncia a falta de algumas delas. A recuperação deste elemento arquitetônico se faz necessária, por apresentar destaque na composição desta fachada.

Assim como as demais fachadas, a fachada IV apresenta sujidades, deslocamentos de pastilhas e manchas de lodo e lixiviação. Há, ainda, em sua parte inferior, junto às partilhas terracota, incisões e pichações.



Figura 9: Fachada IV. Da esquerda para a direita: 19--? [7]; 2023; 2023.

2.3 Fachada V – Elevação cega

Em registros de 2008 [3], esta fachada é descrita como plano cego composto por pastilhas 2x2cm, que na parte inferior são de cor terrosa, bastante danificadas e desbotadas pelas intempéries, e na parte superior são de cor clara, acumulando sujidades.

Em observações mais recentes (2023), percebe-se que o painel de cor clara possui sujidades, porém a parte mais comprometida desta elevação é a parte inferior, onde se concentram as pastilhas de cor terrosa. Nessa região, principalmente, há pichações, adesivos e restos de cola. Houve um trecho em alvenaria e pintura, à direita das pastilhas claras, que foi executado posteriormente à época da construção da edificação (seja para evitar invasões, seja pela construção de um anexo ao edifício nesse trecho, que hoje abriga um vestiário). Este trecho já apresenta sinais de lodo e manchas pretas, além de sujidades.



Figura 10: Fachada V; 2023.

2.3 Fachada VI – Fundo do bloco

A fachada posterior do bloco possui acabamento simples, em reboco liso e tinta, bastante desgastado com o tempo. A colonização por lodo e bolor, além do acúmulo de sujidades prevalecem nessas paredes, além da presença de fissuras, trincas e rachaduras por todas elas. Há esquadrias de aço com folhas de vidro e grades de dois modelos diferentes instaladas nas janelas dos dois primeiros pavimentos (instaladas após a construção, provavelmente para se evitar invasões), ambas com pontos de oxidação e sujidades. Abaixo de algumas janelas foram feitos vãos para a instalação de equipamentos de ar condicionado, também executados após a fase de construção do edifício. No topo da edificação, um *ficus* bastante desenvolvido,

mostrando a falta de cuidado e atenção desta elevação pouco visível da rua e mesmo do interior do lote.

Em relatos de 2008, Lemos *et al* [3] já havia registrado tamanho descaso:

As elevações “internas” dos três blocos apresentam alvenarias com rachaduras e infiltrações em alguns pontos. Revestidas e arrematadas com pinturas em branco, apresentam-se muito desgastadas pelo tempo, sem receber qualquer pintura há mais de trinta anos. As esquadrias metálicas têm vidro incolor, sendo sempre compostas por quatro módulos, dois fixos e dois de correr, com exceção das aberturas de sanitários e vestiários, que são vedadas por basculantes horizontais. Os comandos necessitam de lubrificação como manutenção, pois as pinturas feitas contribuíram para torná-los inoperantes ou de difícil manuseio. Os peitoris são em mármore branco, e nestes os escurecimentos, ora com manchas de ferrugem, se alternam devido ao envelhecimento[...].

O coroamento dos prédios e os muros de divisa apresentam faixa enegrecida, vestígios de chuvas e de falta de acabamento superior com pingadeiras. O estado de conservação das mesmas é, portanto, muito precário, considerando-se seus panos fechados e suas aberturas.



Figura 11: Fachada VI. Da esquerda para a direita: 19--? [7]; 2023; 2023.

4. CONCLUSÕES

O presente trabalho apresenta brevemente a evolução do estado de conservação do edifício tombado da Escola de Arquitetura da UFMG. Esse registro tem relevância por tratar de um prédio modernista de destaque, tombado como patrimônio cultural municipal, mas também por sua importância perante ações sociais e auxílios a prefeituras, empresas e a comunidade. Além disso, apesar dos esforços em se realizar reformas na edificação, as manutenções preventivas e corretivas muitas vezes permanecem aquém da necessidade da edificação, apresentando diversas manifestações patológicas não só em sua fachada, que aqui tentamos demonstrar com o estudo de caso apenas do edifício tombado, mas também em seu interior. Com os registros aqui presentes pretende-se evidenciar, aos olhos de profissionais, responsáveis e frequentadores da Instituição, a necessidade de maiores cuidados com o bem construído e atenção aos sinais de desgaste e risco da edificação, de modo a suscitar que providências sejam tomadas para a recuperação/restauração do bem tombado.

Do ponto de vista documental, este e demais registros escritos e fotográficos permitem a avaliação da evolução das manifestações patológicas e das decisões tomadas ao longo dos anos, favorecendo as escolhas futuras a profissionais habilitados e sensíveis ao patrimônio.

É necessária a visibilidade do estado de conservação atual da edificação, de forma que deixe de fazer parte da paisagem cotidiana e passe a de fato incomodar às pessoas. O inevitável desconforto pode ser uma forma, um caminho para que medidas passam a ser tomadas a fim de restaurar o bem tombado e preservá-lo.

REFERÊNCIAS

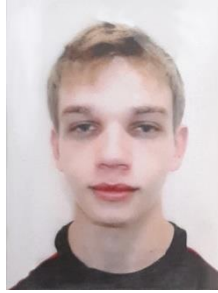
- [1] MACHADO FILHO, Aires da Mata. Universidade de Minas Gerais. Belo Horizonte: Serviço dos Países S.A., 1952.
- [2] FIGUEIREDO, João Kubitschek de. A Escola de Arquitetura e sua história. *Arquitetura*. Belo Horizonte, ano I, n I, p. 19-27, set/out, 1946.
- [3] LEMOS, Celina Borges; et al. Dossiê Histórico-Cultural e Arquitetônico - Escola De Arquitetura Da Universidade Federal De Minas Gerais. Belo Horizonte: 2008. Não publicado.
- [4] BELO HORIZONTE. Lei orgânica do município de Belo Horizonte, de 21 de março de 1990. Belo Horizonte, 2021.
- [5] TJMG. TRIBUNAL DE JUSTIÇA DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Ação Direta de Inconstitucionalidade nº 40.647/0. Belo Horizonte, 1995.
- [6] PEREIRA, Clara Rodrigues. Identificação e diagnóstico de patologias nos edifícios da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais. 2021. 196 p. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Fumec, Belo Horizonte, 2021.
- [7] ALMEIDA, Archimedes Correia de; MAZZONI, Gui Tarcísio; MAZZONI, Marcos de Carvalho. [Sem título]. [19--?]. ___ fotografias. Coleção do LAFODOC - Laboratório de Fotodocumentação Sylvio de Vasconcellos da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais.

PROCESSOS DE CONSTRUÇÃO

SISTEMAS MODULARES NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS E SUA INTEGRAÇÃO ARQUITETÔNICA



Carolina M. Amaral
Aluna de Arquitetura
e Urbanismo
UFMG – Belo
Horizonte, Brasil



**João Pedro A.
Schriefer**
Aluno de Arquitetura
e Urbanismo
UFMG – Belo
Horizonte, Brasil



**João Paulo C.
Rodrigues**
Professor
UFMG – Belo
Horizonte,
Brasil e UC –
Coimbra, Portugal

Resumo: A construção modular envolve a fabricação de componentes pré-fabricados em um ambiente fabril controlado. Esses módulos podem ser unidades habitacionais, escritórios, escolas e até mesmo edifícios completos. No processo, há maior eficiência na construção, redução de desperdícios, maior qualidade e controle de custos. Por outro lado, a integração arquitetônica refere-se à harmonização desses módulos com o entorno existente e o design arquitetônico geral. Os módulos devem ser projetados levando em consideração aspectos estéticos, funcionais e contextuais do local de construção. A integração arquitetônica envolve a seleção cuidadosa de materiais, acabamentos e elementos de design que garantem uma aparência e sensação de unidade entre os módulos pré-fabricados e o ambiente circundante. Em conjunto, a construção modular e a integração arquitetônica oferecem a possibilidade de construir estruturas personalizadas, eficientes e sustentáveis de forma mais rápida e econômica. O estudo de como o processo funciona, no entanto, se faz necessário.

Palavras-chave: sistemas modulares, construção off-site, integração arquitetônica, sustentabilidade, indústria 4.0

1. INTRODUÇÃO

O sistema de construções modulares consiste na produção de diversos elementos construtivos, como estruturas, vedações, acabamentos, instalações de água e energia elétrica, que serão integrados ainda no processo industrial para formarem módulos de diversos ambientes prontos para serem transportados diretamente para o local onde serão apenas instalados. O processo, também chamado de construção *offsite*, é uma alternativa para um modelo de construção rápido e limpo. Apesar de suas características atuais que parecem as atrelar diretamente aos nossos tempos, suas raízes podem ser traçadas no século XIX.

Um exemplo inicial de pré-fabricação e modularização remonta à Grande Exposição da Grã-Bretanha de 1851, quando o Palácio de Cristal foi apresentado. A edificação foi projetada em menos de duas semanas e construída utilizando materiais baratos naquele período industrial, como ferro, madeira e vidro. O processo de construção levou apenas alguns meses e envolveu a montagem de componentes pré-fabricados, e, após a exposição, o edifício foi desmontado peça por peça e transferido para outro local.

Já nos Estados Unidos, o uso moderno de pré-fabricação e modularização começou no início do século XX, quando o setor de desenvolvimento habitacional começou a adotar procedimentos pré-programados baseados nos princípios da produção em massa. Durante a Segunda Guerra Mundial, a pré-fabricação e a modularização ganharam uma importância significativa devido à necessidade de acomodar um grande número de militares em suas bases. No pós-guerra, tanto o Japão quanto diversos países da Europa enfrentaram uma grande demanda por reconstrução de forma agilizada e recorreram à pré-fabricação e construção externa para atender a essas necessidades. A adoção precoce dessas técnicas de construção modular contribuiu para a reputação contínua de empresas europeias e japonesas como pioneiras nesse campo.

As construções modulares se tornaram uma alternativa viável não somente para residências, mas também para edificações comerciais, hospitais e escolas, conseguindo assim se difundir em diversas áreas da construção civil. Porém, apesar do método já ter se tornado comum em vários países, no Brasil ele se resume a ambientes mais simples, como almoxarifados, estoques, salas de controle, refeitórios ou locais provisórios em canteiros [1]. Os maiores empecilhos no país para a implementação dos sistemas modulares são a sensação de incerteza devido ao baixo interesse em métodos construtivos alternativos e a escassez de qualificação para o trabalho.

A construção modular também é impactada pela Indústria 4.0. A aplicação das tecnologias da quarta revolução industrial no processo de fabricação dos módulos permite maior eficiência, precisão e qualidade, além de redução de custos e prazos de construção. A automação de tarefas, a integração de sistemas e o uso de dados em tempo real permitem um maior controle e monitoramento do processo produtivo. Além disso, a Indústria 4.0 possibilita a personalização e customização dos módulos de construção, atendendo às necessidades específicas de cada projeto. Através do uso de tecnologias como a realidade aumentada e softwares BIM, por exemplo, os projetos podem ser visualizados em 3D, facilitando o planejamento e a tomada de decisões e planejados de forma eficiente e conjunta entre os diferentes atores do processo.

Dessa forma, a Indústria 4.0 está impulsionando a adoção do sistema de construção modular, tornando-o mais eficiente, flexível e adaptável às demandas do mercado atual. A combinação dessas duas abordagens tem o potencial de revolucionar a indústria da construção, permitindo o erguimento de edifícios de forma mais rápida, sustentável e econômica.

É também necessário considerar soluções arquitetônicas que harmonizem a estética dos edifícios modulares com sua funcionalidade. Essas construções em massa, com dimensões pré-definidas, correm o risco de transmitir uma aparência monótona às obras. Com base na análise de tecnologias empregadas e exemplos de edifícios que adotam esses módulos construtivos, serão apresentadas boas práticas para alcançar uma integração arquitetônica ideal ao sistema.

2. CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA

Apesar do processo construtivo modularizado não ser tão recente, o contexto dos últimos anos faz com que o modelo ganhe nova significância. Com a valorização atual de construções enxutas e sustentáveis em conjunto às vantagens que os sistemas BIM oferecem, construções modulares passaram a ser recomendadas por órgãos de pesquisa dos Estados Unidos, como o *National Research Council of the National Academies*, como uma oportunidade revolucionária no mercado [2]. Num estudo da *McGraw-Hill Construction (MHC)*, fica claro o quanto os programas BIM contribuem para os processos de pré-fabricação e modularização em projetos sustentáveis. Segundo o documento, ainda em 2011, o uso da tecnologia BIM tinha tendência de aumentar de 37% para 73% entre os projetistas de edificações verdes, enquanto para projetos não necessariamente verdes esse número passaria de 22% para 57% [3].

A utilização dos sistemas modulares é acompanhada de muitas vantagens. Uma das mais significativas é relacionada à produtividade, especialmente o cronograma. Segundo o MHC, dois terços das empresas que utilizam a pré-fabricação e modularização reduziram seus cronogramas de obras. Isso se dá devido à possibilidade de ganhar tempo com trabalhos simultâneos dentro e fora do canteiro, assim como facilidade na comunicação entre os diferentes setores. Assim, são consideravelmente reduzidos os trabalhos que demandam muito tempo em obra, como a montagem de andaimes, ou evitados atrasos devido a fenômenos naturais, como tempestades. Da mesma forma, a comunicação projetual é simplificada pelo uso de tecnologias BIM. Com esse tempo economizado no processo, é possível realizar projetos com maior complexidade, qualidade e com maior cuidado ao mesmo tempo.

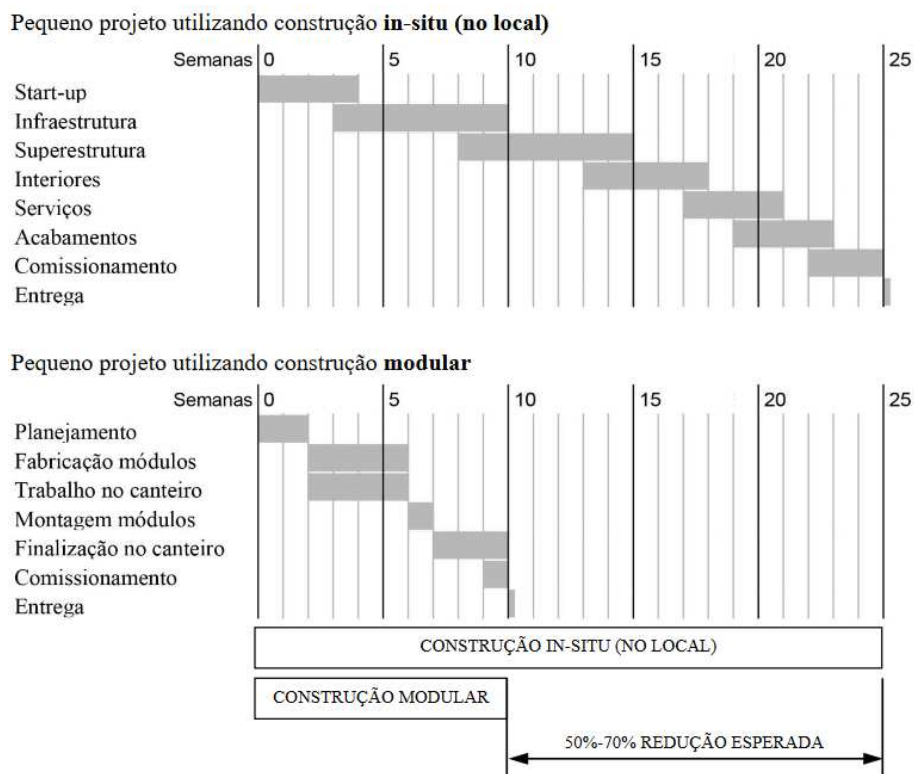


Figura 1: Comparação entre modelo de obra e construção local e obra modularizada [4]

Juntamente à redução do cronograma de obra, 65% das empresas americanas que utilizam o sistema modular relatam que há redução de custos ao fim do processo, sendo que quase metade delas afirmam 6% de redução ou mais. Como o campo da construção civil trabalha com margens relativamente pequenas de lucro, até mesmo pequenas reduções de custo podem significar muito para as empresas. Parte dessa economia nos Estados Unidos ocorre porque os materiais pré-fabricados podem custar menos, enquanto problemas com mão-de-obra no canteiro de obras e gastos trabalhistas inesperados que são evitados poderiam custar mais se o sistema não fosse modularizado. No Brasil é possível fazer a análise inversa, pois, apesar de mão-de-obra relativamente barata, elementos pré-fabricados, especialmente em aço, tendem a ser mais caros.

A segurança no trabalho é outro fator que apresenta melhorias significativas quando o sistema pré-fabricado e modularizado é escolhido. Mais de dois terços das empresas que utilizam esse método relataram melhoria nos índices de acidentes. Isso pode ser explicado pela necessidade de menos trabalhadores em andaimes, escadas, e outros locais perigosos. Apesar disso, mais da metade das empresas consideradas afirmam não ter percebido melhorias nesse aspecto e outras 10% relataram piora, o que mostra que o próprio método de modularização pode

acrescentar novos riscos que antes não existiam, especialmente em relação às dimensões das peças que são manejadas.

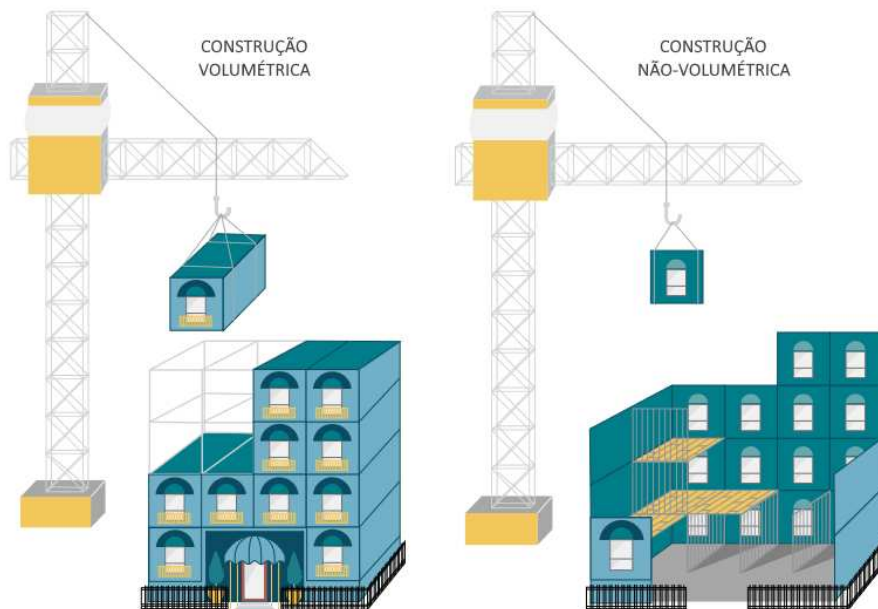


Figura 2: Formas volumétrica e não-volumétrica de construção modular (adaptado) [5]

Com todos esses fatores sendo considerados, é importante a compreensão de que os sistemas modulares podem trabalhar principalmente de duas formas: construção volumétrica e construção não-volumétrica [5]. A construção volumétrica se dá na pré-fabricação fora do canteiro de unidades tridimensionais que formam ambientes internos e, no canteiro de obras, são apenas conectados entre si formando o edifício. Essa forma do sistema é muito útil, por exemplo, para a edificação de hotéis, dormitórios e apartamentos residenciais. Já a forma não volumétrica consiste na pré-fabricação de elementos do edifício, como pórticos, vigas, pilares, seções de fachada, seções de paredes, repartições interiores, porções de piso, treliças, dentre outros, que serão conectados no canteiro formando então os ambientes tridimensionais. Não é incomum, no entanto, que haja uma hibridéz entre essas duas formas a depender do projeto a ser alcançado – a construção de edifícios modulares que apresentem alguma área com vãos muito extensos, por exemplo, pode ser dificultada pela fábrica não possuir área suficiente para o projeto específico, ou o transporte ser impossibilitado pelas dimensões do módulo, fazendo com que enquanto outros ambientes possam ser realizados na forma volumétrica, o ambiente específico seja realizado de forma não-volumétrica.

3. INTEGRAÇÃO ARQUITETÔNICA

A integração dos sistemas modulares em um projeto de arquitetura pode ser realizada de diversas formas, em diferentes etapas do projeto com o objetivo de otimizar o processo de

construção e de garantir a eficiência e a flexibilidade do sistema. É interessante analisar algumas abordagens que devem ser consideradas para essa integração.



Figura 3: Trabalhadores atuando na fabricação de módulo volumétrico na indústria [4]

A primeira etapa consiste no planejamento e partido arquitetônico do projeto. A integração dos sistemas modulares deve ser considerada desde as etapas iniciais, o que envolve identificar quais componentes do projeto podem ser modularizados, como as paredes, os pisos, o teto, as instalações elétricas e hidráulicas, entre outros projetos complementares. Assim, ao examinar a modularização das paredes, é importante considerar como elas podem ser divididas em unidades autônomas, que possam ser facilmente montadas e desmontadas. Essas unidades podem incluir elementos pré-fabricados, como painéis, que podem ser encaixados uns nos outros, proporcionando uma montagem ágil e eficiente. Além disso, a modularização das paredes permite maior flexibilidade na construção, possibilitando alterações futuras sem grandes intervenções estruturais. Em relação aos pisos, a modularização implica na criação de elementos como lajes ou placas que podem ser produzidos em série e instalados de maneira rápida e eficiente. Esses elementos modulares podem apresentar encaixes precisos, garantindo uma superfície nivelada e uniforme. Além disso, a modularização dos pisos também permite a fácil manutenção e substituição de partes danificadas ou desgastadas. O teto também pode se beneficiar da abordagem modular, pois é possível utilizar elementos pré-fabricados, como painéis ou módulos de forro, que podem ser facilmente instalados e removidos. Essa abordagem oferece flexibilidade na integração de sistemas, como iluminação e ventilação, permitindo ajustes e melhorias conforme necessário. Já as instalações elétricas e hidráulicas, que também podem ser planejadas levando em consideração a modularização, contam com diversos elementos, como tubulações, conexões e fiações, que podem ser facilmente conectados e desconectados. Isso facilita a manutenção e a expansão dessas instalações, além de permitir alterações e atualizações sem grandes intervenções no projeto geral.

Já a segunda etapa consiste na especificação e na padronização dos módulos. É fundamental definir especificações claras para os módulos, incluindo as dimensões, os materiais, os

acabamentos e as conexões. Além disso, a padronização dos módulos pode facilitar a fabricação, o transporte e a montagem de toda a estrutura a ser construída e implementada. Para que essa etapa ocorra, é necessário que haja uma colaboração estreita entre os arquitetos, os engenheiros estruturais, os projetistas de instalações e os fabricantes dos módulos. A coordenação dessas diversas disciplinas de projeto é essencial para garantir a compatibilidade e a integração adequada dos diferentes sistemas.

Ao estabelecer as dimensões dos módulos, é importante considerar tanto a funcionalidade quanto a praticidade. Definir medidas padronizadas facilita a fabricação em larga escala, bem como o transporte e a montagem subsequente. Essa padronização permite que os módulos se encaixem perfeitamente, independentemente do local de instalação, garantindo uma integração harmoniosa e eficiente. A escolha dos materiais adequados para os módulos deve levar em consideração fatores como resistência, durabilidade, facilidade de manutenção e sustentabilidade. Ao especificar os materiais corretos, é possível garantir a qualidade e a longevidade dos componentes, assim como a sua compatibilidade com os demais sistemas e elementos do projeto.

Os acabamentos também desempenham um papel essencial na especificação dos módulos, pois a definição de acabamentos padronizados permite criar uma estética coerente e uniforme em toda a estrutura. Além disso, os acabamentos podem ser escolhidos de acordo com critérios de funcionalidade, como resistência ao desgaste, facilidade de limpeza e adequação ao ambiente em que serão instalados. As conexões entre os módulos também devem ser especificadas de forma clara e precisa. Essas conexões podem variar de acordo com o tipo de módulo e sua finalidade. Ao estabelecer conexões padronizadas, é possível garantir uma montagem eficiente e confiável, além de facilitar possíveis modificações ou expansões futuras.

Para que essa etapa seja bem-sucedida, é essencial estabelecer uma colaboração estreita entre os diferentes profissionais envolvidos no projeto, como arquitetos, engenheiros estruturais, eletricitas, hidráulicos, e fabricantes dos módulos. A coordenação desses diversos setores é essencial para garantir a compatibilidade e a integração adequada dos diferentes sistemas, evitando conflitos e garantindo a eficiência do processo como um todo.

Após a definição dos principais elementos que irão compor a construção, tem-se a etapa de fabricação e pré-fabricação. Assim sendo, não é necessário a construção *in loco* das peças. Os módulos podem ser fabricados em uma fábrica fora do canteiro de obras, em condições controladas, o que permite sua maior qualidade e eficiência. Além disso, a pré-fabricação dos módulos também reduz o tempo de construção no local. Dessa forma, os módulos pré-fabricados são transportados para o local da obra e montados de acordo com o projeto. É necessário ressaltar a importância do planejamento cuidadoso da logística de transporte e de uma equipe de montagem qualificada e que esteja alinhada com os demais profissionais.

Outro fator importante a ser ressaltado é o padrão de qualidade que as interfaces entre os diferentes módulos e sistemas devem ser projetadas a fim de garantir a integração adequada. Isso inclui também as conexões estruturais, elétricas, hidráulicas e de comunicação, entre outros.

Antes de serem integrados ao edifício, os módulos devem passar por testes de qualidade e de desempenho para garantir que atendam aos requisitos e às normas estabelecidas. Dessa maneira, ao se adotar essas abordagens, a integração de sistemas modulares ao projeto de arquitetura pode trazer inúmeros benefícios para a execução de toda a obra, como a redução de custos, a maior velocidade de construção, a qualidade controlada, a flexibilidade e também a sustentabilidade.



Figura 4: Montagem de edificação modular [4]

4. ESTUDOS DE CASO

4.1 Pagliuca Life Lab

A Universidade de Harvard ergueu o Pagliuca Life Lab para atender à crescente demanda por um espaço de laboratório que pudesse acomodar até 20 empresas, com o térreo oferecendo espaço de escritório e o segundo andar dedicado aos laboratórios. Para atender à necessidade de espaço de laboratório de forma rápida e econômica, a universidade optou pela construção modular. O edifício, projetado pelo arquiteto Shepley Bulfinch, foi concluído em apenas sete meses, cinco meses antes do tempo estimado que levaria usando os métodos tradicionais de construção no local. A abordagem modular ofereceu benefícios adicionais, como minimizar a interrupção no campus durante a construção e permitir flexibilidade futura em termos de redesenho e realocação. A universidade planeja mudar a instalação para um local mais permanente após entre 5 e 10 anos – aproveitando-se de uma das maiores vantagens do sistema, que é a montagem e desmontagem de forma rápida e barata.

O edifício é composto por 34 módulos que foram fabricados fora do local durante um período de dois meses. Esses módulos, que consistem em pórticos de aço e *steel deck*, foram pré-instalados com todos os sistemas elétricos, mecânicos e de combate a incêndio necessários, além de acabamentos internos e grande parte do sistema de revestimento externo. No local, painéis de concreto e alumínio foram instalados nas junções entre os módulos.



Figura 5: Pagliuca Life Lab (AIA)

Geralmente, os edifícios de laboratório nos Estados Unidos têm uma altura de piso a piso de cerca de 4,6 metros para acomodar equipamentos. No entanto, devido aos regulamentos de transporte de Massachusetts, estado onde a Universidade de Harvard se encontra, a altura máxima dos módulos para este projeto foi limitada a cerca de 3,9 metros. Para evitar que o espaço ficasse apertado, os designers adotaram um conceito de teto aberto. A implementação desse conceito exigiu uma coordenação meticulosa para garantir que os dutos, o sistema de *sprinklers*, os serviços públicos e a estrutura se encaixassem perfeitamente. A equipe do projeto também reduziu o número de colunas e escondeu algumas dentro das paredes para aumentar a sensação de abertura no espaço. Antes de transportar os módulos para o local do projeto, todo o edifício foi temporariamente montado na fábrica. Essa pré-montagem fora do local garantiu que todos os sistemas e acabamentos fossem coordenados corretamente e se alinhassem de forma adequada durante a montagem no local.

4.2 The Graphic

O *The Graphic* é um empreendimento residencial composto por dois edifícios multifamiliares. Ele envolve a revitalização de uma estrutura de três andares e cerca de 3.700 metros quadrados juntamente com a construção de um novo prédio de cinco andares e cerca de 12.600 metros quadrados, esse último utilizando o método de construção modular. O novo prédio possui quatro níveis de habitação modular construída com estrutura de madeira, apoiada por uma resistente base de aço e concreto. A decisão de adotar uma abordagem de construção modular foi motivada principalmente pela economia de tempo que ela oferece. Ao utilizar esse método em vez da construção convencional, a equipe do projeto previa a finalização de quatro a cinco meses antes.

Dentro do novo prédio, há um total de 125 unidades de apartamentos, construídas em 128 módulos volumétricos. Muitos desses módulos foram projetados especificamente para abranger uma unidade, uma seção do corredor e uma parte de outra unidade no lado oposto do corredor. Fora do local, vários componentes, como *drywall*, camada de tinta primária, armários, iluminação,

chuveiros, piso de ladrilho e instalações preliminares mecânica, elétrica e hidráulica foram pré-instalados.

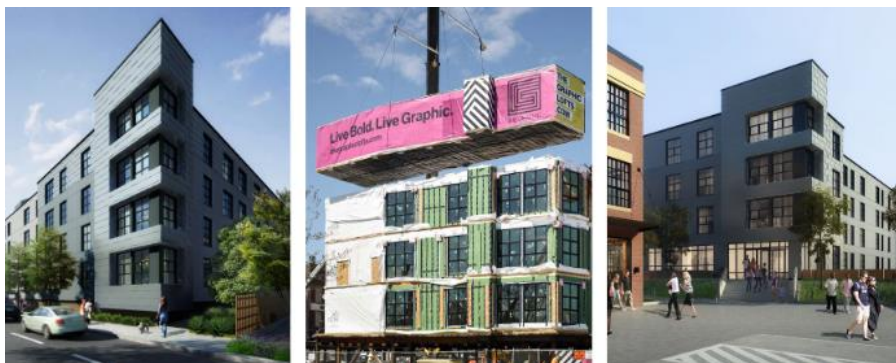


Figura 6: *The Graphic* (AIA)

Durante a fase de projeto, o fabricante dos módulos e o empreiteiro foram contratados para fornecer assistência de projeto para elementos complexos, como estruturas do chão ao teto, sistemas mecânicos, elétricos e hidráulicos, sistema de proteção contra incêndio, posicionamento de guindastes e sequência de montagem. O proprietário e a equipe de projeto realizaram visitas regulares à fábrica ao longo do processo de fabricação, permitindo a implementação de pequenas alterações nos recursos internos antes do início da produção em grande escala. A utilização de tecnologia robótica avançada em grande escala aumentou ainda mais a precisão, qualidade e eficiência do processo de fabricação, reduzindo simultaneamente os custos de mão de obra.

Devido à localização urbana do projeto, não era viável ter armazenamento no local. Portanto, foi utilizado um local de armazenamento fora do local, localizado a aproximadamente um quilômetro e meio de distância. Esse local de armazenamento serviu como área de preparação para os módulos, garantindo um fornecimento rápido e eficiente para o canteiro de obras durante o processo de elevação e conexão dos módulos. O uso de coordenação 3D e um plano de sequenciamento bem comunicado contribuíram para uma boa execução do processo de construção.

4.3 461 Dean Street

O edifício localizado no Brooklyn, na cidade de Nova York, com com 32 andares e abriga 363 apartamentos, além de possuir espaço comercial no térreo. Diante das consequências econômicas resultantes da crise financeira de 2008 e das preocupações com a flutuação dos preços da mão de obra local, o investidor procurou por um método de construção mais econômico para o projeto. Após encomendar um estudo para comparar a construção modular com os métodos convencionais, decidiu-se por adotar uma abordagem modular externa. O objetivo era reduzir os custos em 20% em comparação com as estimativas de construção convencionais e acelerar o cronograma de 30 meses para 10 meses, com a realização simultânea do trabalho em fábrica e local. O edifício em si consiste em um total de 930 módulos de estrutura de aço. Foram utilizados 225 tipos diferentes de módulos para criar a variedade desejada em termos de forma, design da fachada e tipos de unidades. O núcleo do elevador e as escadas também foram construídos como módulos externos. A padronização de detalhes e metodologias de fabricação foi priorizada para otimizar a eficiência da produção. As paredes, pisos e tetos de cada módulo foram projetados para se encaixar perfeitamente nos módulos adjacentes, fornecendo a separação necessária contra incêndios entre as unidades e proteção contra incêndios para os elementos de aço da estrutura do módulo. Os painéis de parede cortina pré-fabricados foram equipados com juntas de compressão, formando vedação com os módulos vizinhos após a instalação.



Figura 7: 461 Dean Street (AIA)

Normalmente, projetos modulares com cerca de 4.600 metros quadrados (100 módulos) concluem a adaptação e fabricação de todos os módulos antes de iniciar o processo de montagem. No entanto, devido às restrições de armazenamento, essa abordagem não era viável para a extensa construção de 930 módulos do edifício na 461 Dean Street. Em vez disso, a taxa de produção de módulos foi aumentada. Houve atrasos significativos devido à incapacidade da fábrica de produzir módulos com rapidez suficiente para acompanhar o ritmo do guindaste no local. Alguns módulos sofreram danos causados pela água e precisaram ser reparados no local devido a vazamentos decorrentes de detalhes inadequados na membrana temporária do telhado nos módulos do nível inferior. Além disso, houve atrasos devido à projeção errada do tempo necessário para estabelecer a instalação de fabricação, treinar trabalhadores e planejar uma cadeia de suprimentos confiável. Neste caso, é preciso ressaltar que o investidor optou por contratar um empreiteiro sem ampla experiência em construção modular.

5. CONCLUSÃO

A integração arquitetônica desempenha um papel crucial no processo de construção modular, que se mostra altamente capaz de atender às demandas da população por moradias, equipamentos urbanos, e edifícios de forma geral. A utilização desse sistema oferece benefícios significativos em termos de cronograma, custo, segurança e eficiência.

Ao adotar o processo de construção modular, é possível obter uma maior agilidade na construção, pois as unidades modulares pré-fabricadas podem ser produzidas simultaneamente ao preparo do terreno, resultando em prazos reduzidos em comparação com os métodos tradicionais. Além disso, é perceptível que o sistema modular permite um controle mais preciso dos custos, uma vez que os módulos são fabricados em ambientes controlados e podem ser padronizados, reduzindo desperdícios e imprevistos durante a construção. A eficiência também é um fator que se percebe na construção modular. A pré-fabricação dos módulos em fábricas especializadas permite a utilização de tecnologias avançadas que não poderiam ser realizadas nos canteiros, resultando em um uso mais eficiente dos recursos, como energia e materiais. Além disso, a flexibilidade do sistema modular permite adaptações, expansões e mudanças futuras com relativa facilidade, tornando-o uma opção sustentável a longo prazo, como visto no caso do Pagliuca Life Lab.

A segurança também é um aspecto fundamental considerado na integração arquitetônica do processo modular. Os módulos são projetados e fabricados seguindo rigorosos padrões de qualidade e normas de segurança, garantindo que as estruturas sejam estáveis e resistam a condições adversas, como terremotos ou furacões. Isso proporciona um ambiente seguro e confiável para os ocupantes das moradias ou usuários dos equipamentos urbanos.

Dessa forma, a integração arquitetônica no contexto da construção modular se mostra altamente promissora e adequada para atender às necessidades da sociedade, especialmente quando se trata da construção rápida e eficiente de moradias e equipamentos urbanos essenciais, como escolas, postos de saúde e hospitais. Com sua capacidade de proporcionar prazos reduzidos, controle de custos, segurança e eficiência, o sistema modular representa uma solução valiosa para o desenvolvimento urbano sustentável. É sempre necessário pontuar, no entanto, que para o processo de construção modular funcionar de forma ideal e atingir seus principais benefícios, é necessário que o arquiteto esteja atento a como o modelo funciona para conseguir projetar os ambientes e a forma dos edifícios da melhor maneira possível. Da mesma forma, as empresas contratadas para realizar os serviços precisam ser de confiança. Levando-se a sério esses cuidados, são grandes as chances dos projetos modulares cumprirem seus objetivos de forma eficiente.

REFERÊNCIAS

- [1] Rodrigues, H.F., FERREIRA, E.L. – *Construção Offsite: Um estudo sobre o Método Modular de Construção*, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, 2021, 12 p.

- [2] Sem autor - *Advancing the Competitiveness and Efficiency of the U.S. Construction Industry*. The National Academies Press, 2009, 123 p.
- [3] Sem autor – *Prefabrication and Modularization: Increasing Productivity in the Construction Industry*, Smart Market Report, McGraw-Hill Construction, 2011, 56 p.
- [4] Horta, B.A. – *Construção Modular Tridimensional: Pré-Fabricação, Tecnologia, Trabalho, Obsolescência e Arquitetura*, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto, 2021, 155 p.

PAREDES DE CONCRETO MOLDADAS NO LOCAL: A REPRESENTAÇÃO DA TECNOLOGIA POR ENTIDADES REPRESENTATIVAS DO SETOR DA CONSTRUÇÃO



Eduarda Alberto*
Mestranda
UFRJ – Rio de
Janeiro, Brasil



Thiago Grabois
Professor
UFRJ – Rio de
Janeiro, Brasil



Marcos Silvano
Professor
UFRJ – Rio de
Janeiro, Brasil

Resumo:

Extenso volume de referências bibliográficas no campo da arquitetura situam as inovações tecnológicas no setor da construção ante ao enfrentamento do déficit habitacional. Contudo, a maior parcela da população contida em tal déficit não possui renda mínima para ser contemplada sob os moldes, por exemplo, do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV). Cabe então compreender sobre a objetivação das forças produtivas que pauta a evolução de determinadas tecnologias, para além dos argumentos comumente reproduzidos. Assim, objetiva-se desenvolver estudo crítico sobre o sistema de paredes de concreto moldadas in loco, a partir da sua representação expressa por entidade representativa do setor da construção. Este estudo se pauta em análise infométrica sobre matérias de imprensa da Câmara Brasileira da Indústria da Construção, seguido de discussão à luz de autoras/es da teoria crítica da tecnologia. Foi realizada sistematização das matérias em função do ano de publicação, teor/categoria da matéria, título e principais assuntos relacionados ao sistema construtivo. Igualmente, foram selecionadas citações representativas, organizadas em quadro síntese, que subsidiou discussão sobre tal inovação tecnológica, com especial atenção ao déficit habitacional e trabalhadores da construção civil. Resultados apresentam que o maior número de matérias versam sobre eventos, principalmente relacionados a revisão da NBR 16055. Tal norma é o assunto mais numeroso, seguido de inovação, contudo cabe destaque também ao assunto PMCMV. Observou-se que o sistema construtivo em questão está, desde a primeira matéria identificada, situado no campo do segmento econômico da habitação. Por fim, notou-se a qualificação de operários como meros insumos, cuja redução da capacitação e do emprego resultam em vantagens econômicas.

Palavras-chave: parede de concreto; construção civil; análise infométrica; teoria crítica da tecnologia

*Autor correspondente – Programa de Pós Graduação em Arquitetura da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Av. Pedro Calmon, 550, Cidade Universitária – RJ/CEP 21941-901, BRASIL, e-mail: eduarda.alberto@fau.ufrj.br

1. INTRODUÇÃO

Políticas públicas para atendimento aos direitos sociais respaldados pelo Artigo 6º da Constituição Federal, tais como para a educação, a saúde, o trabalho, o lazer, a segurança, a proteção à maternidade e à infância, são materializadas, antes de tudo, pelo setor da construção civil. Tendo em vista o volume de demandas, este setor se destaca sobremaneira economicamente e, cabe salientar que, entre o dez setores industriais com maior participação no PIB nacional, diversos estão imediatamente relacionados à construção civil, a saber: construção de edifícios (7,1%), obras de infraestrutura (6,1%) e serviços especializados para construção (4,8%) [1].

Face à relevância econômica do setor e aos rebatimentos da crise no final da primeira década do século, maior crise do capitalismo dos últimos 80 anos e com impactos mundiais, o Governo Federal adotou como uma das principais providências o aquecimento do setor da construção [2]. Ante à crise econômico-financeira de 2008 e seus rebatimentos no Brasil, adota-se fórmula similar, no sentido de aquecer a indústria em questão. O Governo Federal à época, Partido dos Trabalhadores, com a meta expressa de construir 1 milhão de novas casas [3], lançou-se o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), em 2009. Posteriormente, este foi vinculado ao Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) e, então, dobrou-se a meta para 2 milhões de unidades habitacionais [2].

Considerando o compromisso estabelecido com tal número de novas casas e, ainda, a duração do mandato que promoveu tal meta, seria necessário que as empreiteiras adotassem sistemas construtivos com alta produtividade. Importa destacar a influência do Estado no campo econômico, uma vez que, além dos programas habitacionais, estabelece leis orçamentárias, “o controle dos meios de pagamento e do crédito, a formação de mão-de-obra” entre mais atribuições estruturantes às relações econômicas [4]. Além disso, salientar que a relação entre provisão de moradia por política pública e promoção publicitária de agentes políticos, é fato desde a origem da habitação de interesse social no Brasil [5].

Destarte, cabe expor que desde as primeiras pesquisas para embasar elaboração do presente trabalho, foi observado que o material consultado para compreensão do sistema construtivo de paredes de concreto moldada no local, respalda as inovações tecnológicas do sistema no enfrentamento ao déficit habitacional e, em especial, relacionando-o ao PMCMV [5, 6, 7, 8, 9, 10]. Cumpre, portanto, apresentar, sinteticamente, o quadro brasileiro ante ao referido déficit habitacional.

Considerando a conceituação desenvolvida e adotada pela Fundação João Pinheiro (FJP), o total deste se dá pela soma de três indicadores: 1) habitação precária (domicílios rústicos e improvisados); 2) coabitação (casa de cômodos ou unidades compartilhadas) e 3) ônus excessivo com aluguel [11]. Admite-se como ônus excessivo o comprometimento de mais de 30% dos rendimentos familiares com o aluguel. Este parâmetro se pauta na porcentagem máxima de gastos com habitação admitida pela Caixa Econômica Federal (CEF), agente financiador de Habitação de Interesse Social, para contratação de financiamento imobiliário [11].

Destaca-se que o terceiro componente mencionado é o principal gerador do déficit em questão, responsável por 51,7% da influência sobre a síntese dos indicadores para 2019 no Brasil [12]. Em que pesem as fundamentações da tecnologia frente ao déficit habitacional, considerando os parâmetros das políticas públicas como o PMCMV, a nível de exemplo, mais da metade das famílias não seria atendida. Ainda assim, não seria garantido que as famílias incluídas nos demais indicadores teriam renda para acessar tais políticas.

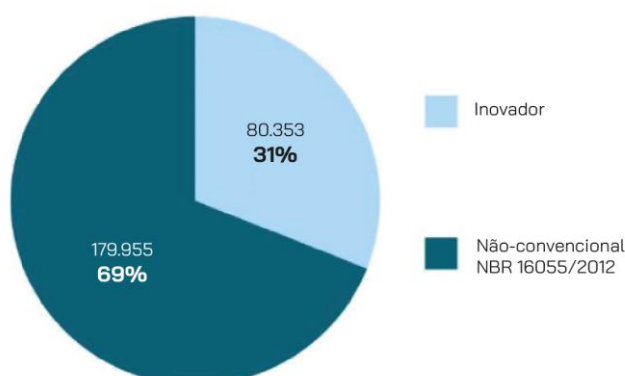
Nesse sentido, este artigo objetiva desenvolver um estudo crítico sobre a representação de inovações tecnológicas no campo da construção civil, em especial, do sistema de paredes de concreto moldadas in loco, expresso por entidade organizada e representativa da indústria da construção. Assim, caberá identificar os principais assuntos relacionados ao sistema construtivo e analisar criticamente o emprego de tal tecnologia ante ao déficit habitacional, ambiente, usuários das edificações e trabalhadores da construção civil.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Paredes de concreto moldadas no local

O método construtivo sobre o qual versa o presente estudo, que trata de sistema monolítico paredes estruturais, foi desenvolvido no final do Século XX, foi mundialmente reconhecido nas décadas de 1970 e 1980 [13]. No Brasil, torna-se especialmente relevante ao final da década de 2000 e, no ano 2012, foi normatizado pela NBR 16055, que determina os quesitos básicos para a elaboração e execução de parede de concreto moldado in loco [10]. Tal norma foi atualizada em segunda versão após amplo período de consulta pública no ano de 2022.

Figura 1. Gráfico com a proporção entre Sistemas Inovadores e Não-convencionais (NBR 16055) nas unidades de habitação do SiNAT, no ano de 2014. [8]



O Gráfico da Figura 1 expõe a proporção entre os sistemas inovadores e não convencionais nas unidades de habitação do Sistema Nacional de Avaliações Técnicas de Produtos Inovadores e Sistemas Convencionais (SiNAT), no ano de 2014. Dentro da categoria criada pela Caixa Econômica Federal, para denominar o teor dos sistemas construtivos, tais deixam de ser referidos como "inovadores" a partir de sua normatização. Face à predominância da aplicação do sistema em pauta nas unidades construídas, na ordem de quase 70%, mesmo poucos anos após a publicação da NBR 16055, nota-se grande relevância deste no âmbito de edificações para fins de habitação.

Quanto a produção de edifícios com tal sistema, os materiais aplicados são pouco variáveis e destaca que os "mais importantes são as fôrmas e escoramentos, os desmoldantes, as armações, os espaçadores, as instalações complementares - elétrica e hidráulica - e o

concreto”. As fôrmas supracitadas podem ser de variados materiais, disponíveis no mercado, e cabe mencionar que há uma relação de custo inicial de investimento e tempo de vida útil dos materiais [10].

Igualmente, para cada material, são indicados agentes desmoldantes distintos. A figura 2 apresenta variados tipos de fôrmas, dentre as quais as metálicas são as mais utilizadas. Embora o custo inicial - ambiental e econômico, seja para aquisição ou aluguel - de investimento em fôrmas metálicas seja maior, também o é o ciclo de vida útil destas [7]. Cada tipo possui distintas e relevantes características que demandam ponderação - em termos de “produtividade, peso dos painéis, quantidade de peças que compõem o sistema, durabilidade da fôrma, versatilidade à projetos, viabilidade econômica, (...) suporte técnico do fornecedor” [6].

Figura 2. Materiais das fôrmas (elaborado pela Autora, com imagens de [10])



Quanto ao peso dos painéis, oportuna destacar como exemplo, que tal escolha influencia sobremaneira no tempo do ciclo produtivo das edificações com tal sistema. A etapa produtiva de maior morosidade é justamente aquela de deslocamento dos painéis no ambiente de canteiro, uma vez que o deslocamento dos painéis de fôrmas analisado pela referência supra, é, predominantemente não mecanizado. Ou seja, são transportados por operários [9].

Para além das fôrmas, cumpre referência às armaduras. Frequentemente são utilizadas telas soldadas posicionadas “no eixo geométrico das paredes, ou em suas duas faces quando utilizado telas duplas, (...), mas também podem ser utilizadas armaduras em treliças”. Além disso, cabe mencionar o uso de barras em pontos específicos como em vergas, contravergas e cinta superior das paredes [7].

Com respeito ao material basilar do sistema construtivo em questão, os concretos mais aplicados no Brasil são o celular, com elevado teor de ar incorporado – até 9%, com agregados leves ou com baixa massa específica, convencional ou autoadensável. O concreto deve ter elevada fluidez e plasticidade, para que se evite a necessidade de vibração que poderia provocar a segregação dos materiais [7].

Quanto à trabalhabilidade do concreto, apresenta que é recomendável valores entre 180 e 230mm para o slump test ou de 660 e 750mm no espalhamento do concreto - considerando o concreto autoadensável. Além disso, para ganhar celeridade na produção, em relação ao processo de cura do material, este deve atingir resistência mínima de 3MPa após 14h de concretagem, para viabilizar a desforma [6].

Em relação ao ciclo executivo do sistema em pauta, é desejável que o ciclo de execução ocorra em um único dia. Sinteticamente, compreende-se as seguintes etapas:

marcação e instalação das armações das paredes; colocação das instalações elétricas das paredes; montagem das fôrmas das paredes; montagem das fôrmas das lajes; instalação da armação das lajes; colocação das instalações embutidas na laje; concretagem do conjunto paredes e laje; desforma; e movimentação das formas para a próxima frente de serviço (Massuda e Misurelli, 2009 apud TEIXEIRA, M et al., 2018)

A divisão do trabalho, nesse sentido, se dá como uma linha de produção, que mais se aproxima da lógica de trabalho simultâneo, própria do ambiente industrial, que do trabalho sucessivo, próprio dos canteiros de obras que analisa Sérgio Ferro [14]. Em outras palavras, no sistema em questão, várias equipes, responsáveis por diferentes etapas executivas do produto, trabalham ao mesmo tempo, diferente da lógica na qual as equipes trabalham sucessivamente nas etapas produtivas.

Manifestações patológicas em paredes de concreto moldadas no local estão principalmente associadas à falhas no processo executivo [15]. Nesse sentido, por se tratar de construção monolítica, destaca-se a possibilidade de fissuração em função das altas tensões quando a edificação é submetida a deformações como a retração. Desse modo são comuns as manifestações patológicas em tal sistema. Como problemas recorrentes que comprometem a durabilidade das construções, se apresentam as “fissuras, exposição de armaduras, problemas de interface entre o revestimento, ingresso de água, agentes agressivos, entre outros” [10].

2.2 Estudos métricos da informação

Compreende-se que a ciência não é neutra e é influenciada por uma série de fatores, como intencionalidades políticas, de modo que “atribuir um significado ou outro interfere em escolhas relativas ao projeto técnico” [16]. Consonantemente a estudos sociais sobre ciência e tecnologia e de teoria crítica, cabe destaque à Primeira Geração da Escola de Frankfurt, no ínterim do afloramento de controvérsias no campo social e político relacionadas à tecnologia e, portanto, de ampliação aos questionamentos acerca do determinismo tecnológico [16, 17]. Estudos métricos da informação, portanto, se aproximam do sentido apresentado por Adorno: “uma crítica da razão levada a termo pela própria razão” [16].

Nesse sentido, há o fito não somente de quantificar e constatar numericamente um quadro, mas, com referência na crescente aplicação de estudos métricos da informação das ciências humanas e sociais (CHS), o intento “de atribuir sentido aos dados, qualificando-os para que possam ter melhor uso em políticas de ciência e tecnologia (C&T)” [18]. Assim, cumpre mencionar três abordagens possíveis para o desenvolvimento de estudos com tal perfil: a bibliométrica, a cientométrica e a infométrica, que guardam similaridade pelas abordagens quantitativas mas com objetivos de análise distintos [18], como exposto na citação em sequência:

A bibliometria tem como objetos de estudo os livros ou as revistas científicas, cujas análises se vinculam à gestão de bibliotecas e bases de dados. A cientometria preocupa-se com a dinâmica da ciência, como atividade social, tendo como objetos de análise a produção, a circulação e o consumo da produção científica. A infometria, por sua vez, abarca as duas primeiras, tendo desenvolvido métodos e ferramentas para mensurar e analisar os aspectos cognitivos da ciência. (SANTOS, R. et al., 2019, p. 223, tradução livre da autora, grifo meu).

A abordagem de cunho matemático sobre material bibliográfico viabiliza a geração e tratamento de dados que podem ser facilmente compreendidos e, portanto, interpretados, com apoio em métodos e técnicas de caráter interdisciplinar, como do campo estatístico ou cartográfico. É possível realizar inferências sobre a pesquisa científica por meio de mapas da ciência e da técnica, por exemplo. Outrossim, cabe mencionar que essas técnicas começam a ser aplicadas, com destaque, na década de 1990 e são crescentes. - sejam aqueles de natureza externalista ou internalista [18].

Ao partir da quantificação da informação, análises infométricas de teor externalista são aquelas realizadas com base em certo volume de material bibliográfico e de teor internalista, no qual se realiza extensiva revisão sistemática sobre um mesmo material. Ambas as abordagens se pautam em procedimentos iterativos de análise e em aspectos cognitivos da ciência, haja visto a criação de categorias que viabilizem a transposição de informações textuais para dados numéricos. Assim, decisões de caráter técnico/conceitual orientarão a quantificação, geração e tratamento de dados.

3. METODOLOGIA

Neste artigo foi realizada uma análise infométrica de cunho externalista sobre matérias de imprensa disponíveis em endereço virtual de entidade representativa da indústria da construção civil, com menções ao sistema construtivo estudado. Assim, foram adotados os seguintes procedimentos: 1) Levantamento de todas as matérias de imprensa da Agência de Notícias da Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC), a partir da pesquisa sobre “parede de concreto” e “paredes de concreto”; 2) Leitura e sistematização das matérias em função do ano de publicação, teor/categoria da matéria, título e assunto abordado. Nessa etapa, foi identificada uma matéria relativa a paredes de concreto em painéis pré-fabricados, que foi excluída da análise; 3) Por fim, a partir da leitura das matérias, que subsidiou a sistematização, foram identificadas algumas citações ilustrativas acerca do teor das matérias, selecionadas para discussão posterior.

Cumpre salientar que, ao tratar de procedimento iterativo, as categorias adotadas no procedimento 2 foram identificadas durante a leitura de cada matéria. Após a categorização inicial, quanto ao tipo de matéria e assunto nelas abordado, em função da grande quantidade de categorias, foi realizada uma segunda avaliação para unir categorias afins. Como exemplo: os assuntos “habitação econômica” e “habitação de baixa renda”, tornaram-se uma só categoria. Já as matérias que versam sobre o “Programa Minha Casa Minha Vida”, não foram

incluídas na categoria supramencionada uma vez que versam, em específico, sobre o programa habitacional e seus parâmetros.

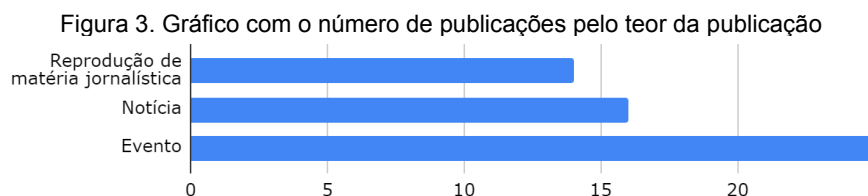
Ainda após a dupla etapa de categorização, nota-se volumoso número de categorias, em especial, quanto aos assuntos das matérias. Não obstante, para as observações pretendidas no presente trabalho, não foi oportuno reduzir tal número, sob risco de gerar certo grau de incerteza sobre os dados. O procedimento 3 gerou um quadro com citações que serão discutidas criticamente, em especial, em relação ao emprego de tal tecnologia ante ao déficit habitacional, ambiente, usuários das edificações e trabalhadores da construção civil.

Como o objetivo deste artigo versa sobre a representação das paredes de concreto a partir de entidade representativa do setor da construção, optou-se por manter ocluso o nome específico dos indivíduos citados como de gerentes e presidentes de construtoras, por exemplo, uma vez que não se trata de pessoalizar a questão, sim de compreender um quadro. O título das matérias apresentadas serão indicadas para caso o/a leitor/a tenha o fito de consultar tais informações. Por fim, a metodologia adotada permitiu organizar uma série de gráficos com base em materiais bibliográficos, além de discutir citações representativas de tais materiais, conforme serão apresentados a seguir.

4. RESULTADOS

4.1 Infometria

Foram identificadas 56 matérias com menções ao sistema construtivo de paredes de concreto. O gráfico na Figura 3, que apresenta o número de publicações por teor, expõe destaque para o número de matérias que versam sobre eventos. Tais eventos são feiras com exposição de tecnologias inovadoras, cursos de capacitação, comemorações, seminários ou mesmo reuniões para tratar, por exemplo, dos parâmetros para a revisão da norma NBR 16055.



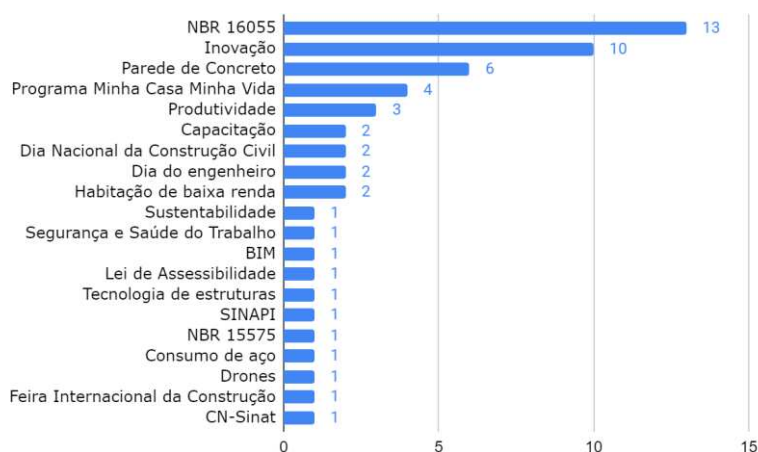
Em segundo lugar quanto ao teor de publicação mais numeroso, são as notícias. Estas podem noticiar novidades acerca da norma, visitas técnicas à obras, novos produtos para a construção civil e edificações que figuram como “cases de sucesso” em termos de produtividade. Já as reproduções de matéria jornalística apresentam fatos que incidem sobre a indústria em pauta, como sobre políticas públicas, revisão de índices e custos.

Em relação aos assuntos abordados nas publicações, cabe observação ao apresentado na Figura 4. Destarte, a norma que versa sobre o sistema construtivo em estudo, é o principal assunto das matérias. Em segundo lugar, o assunto “inovação” também é pauta recorrente. As matérias sobre tal, que apresentam inovações relativas ao sistema, tratam sobretudo de materiais, em especial, das fôrmas.

O assunto “paredes de concreto” é, especificamente, objeto de matérias que tratam de eventos como para capacitação no sistema construtivo, boas práticas executivas, e fóruns acerca do

tema. Em seguida, cabe menção ao assunto PMCMV em função do significativo número de menções e, mais ainda, quanto ao teor e momento de publicação destas - questão que será mais discutida no tópico seguinte.

Figura 4. Gráfico com o número de publicações por assunto

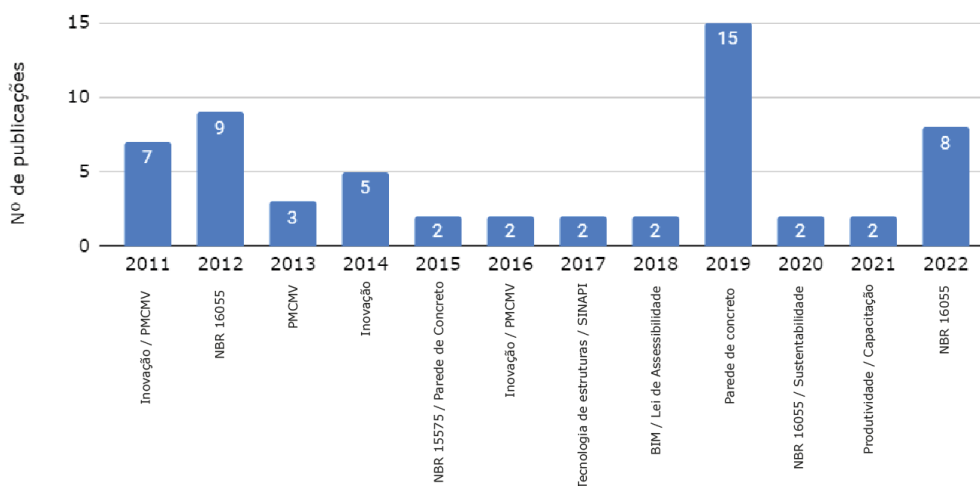


Ainda sobre a Figura 4, nota-se quantidade considerável de assuntos abordados em somente uma matéria. Nestes, com exceção para o que versa sobre sustentabilidade - e pauta a inovação “sustentável” pela substituição das fôrmas de madeira pelas fôrmas de aço em canteiro, as paredes de concreto são mencionadas junto a outros processos construtivos racionalizados, como alvenaria estrutural.

Já a figura 5 apresenta gráfico com o número de publicações por ano e destaque para o assunto com maior número de matérias. Quando, por ano, há só duas matérias ou o mesmo número de matérias sobre dois assuntos, ambos são apresentados. Inicialmente, cumpre salientar que a primeira publicação com menção ao sistema construtivo em estudo foi no ano de 2011. Em relação aos anos com maior número de publicações, nota-se destaque para 2019 - com 15 matérias, que tratam, principalmente, das paredes de concreto em específico.

Embora seja um significativo número de publicações, comparada aos demais anos, considerável parte dessas (45,5%) pautam um mesmo evento, intitulado “Fórum Melhores Práticas em Paredes de Concreto”. Quanto ao segundo e terceiro ano com maior número de publicações, vale reiterar que tal norma foi publicada no ano de 2012, além de objeto de consulta pública e revisada no ano de 2022. Assim, em tais anos, a NBR 16055, como esperado, foi o principal assunto.

Figura 5. Gráfico com o número de publicações por ano e destaque para o assunto mais abordado



O número de publicações nos anos de 2011 e 2021, no entanto, não foi proporcional aos números observados nos anos seguintes (2012 e 2022, respectivamente). Outrossim, os assuntos abordados também diferem. Aqui, oportuna destacar que os principais assuntos das publicações no primeiro ano no qual foram publicadas matérias com menções às paredes de concreto situam o sistema no âmbito não só da inovação mas também do PMCMV. Os dois assuntos supracitados, em conjunto, também são pauta das únicas publicações do ano de 2016. O PMCMV, por sua vez, é o assunto mais numeroso do ano de 2013 e a inovação, o principal de 2014.

4.2 Discussão

Para complementar os subsídios à discussão que segue, será apresentado um quadro com citações representativas do teor de algumas matérias, tendo em vista que “evolução técnica descreve um processo não de complexificação, mas de objetivação das forças produtivas” [19]. Assim, foram selecionadas, prioritariamente, citações que expressem a objetivação sobre a qual se desenvolve o sistema construtivo de paredes de concreto moldadas no local e que tocam os temas sobre o qual versam o objetivo do presente estudo.

Figura 6. Quadro com citações representativas do teor das matérias selecionadas

Nº	Título da matéria	Ano	Citações
1	Fórum debate Melhores Práticas em Parede de Concreto para o setor	2019	“Vamos ouvir as partes envolvidas : projetistas, fabricantes, fornecedores de materiais e construtores. A parede de concreto representa vantagens econômicas e técnicas (...) ”
2	INOVAÇÃO: CHAVE PARA A COMPETITIVIDADE DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO	2016	“o Minha Casa, Minha Vida (MCMV), (...) com o objetivo de reduzir o déficit habitacional nacional, possibilitou a consolidação de uma série de processos construtivos inovadores, que necessitavam de escala para viabilização , como casas de bloco de concreto estrutural e parede de concreto armado.”
3	Construção Civil ajusta	2016	“Sobre o uso de parede de concreto, a Caixa informou que

	ponteiros com agentes financeiros do MCMV		está tendo problemas de condensação em algumas regiões. Foi proposta a criação de grupos regionais para discutir e tentar encontrar soluções para o problema. A CBIC ficou incumbida de montar os grupos de empresas interessadas e informar à Caixa."
4	Medida-padrão	2015	"Utiliza-se 40% menos mão de obra que a alvenaria estrutural, porque substitui blocos de alvenaria e elimina etapas de chapisco e reboco, reduzindo também custos e prazos. (...) vale a pena para construtoras que atuam com edificações de baixa renda , nas quais imóveis precisam ter a mesma configuração para permitir a replicabilidade do sistema."
5	Silenciosos e ágeis, drones fazem parte do trabalho na construção civil no Estado	2014	"Além de dividir espaço com tratores, guindastes e paredes de concreto, eles ajudam a fiscalizar a evolução de obras"
6	Empresas pedem reajuste no 'Minha Casa'	2014	"As construtoras pedem ao governo um aumento de 7,0% a 10% nos repasses do Minha Casa, Minha Vida para cumprir as exigências de níveis mínimos de qualidade em quesitos como revestimentos acústico e térmico e iluminação nas moradias do programa habitacional."
7	Novos sistemas construtivos ajudam a superar gargalos na construção	2012	"crescer nesse ritmo é um movimento bastante complexo porque envolve absorção de nova mão de obra que, devido à escassez, foi o insumo que mais subiu de valor."
8	Evasão de profissionais na construção civil	2012	"Apesar do bom momento econômico, a área vem sofrendo com a falta de mão de obra especializada , assim como, com os exíguos prazos para a execução de obras. Para contornar a situação e manter o cronograma de lançamentos e entregas, as incorporadoras têm aplicado, cada vez mais, inovações tecnológicas para os sistemas construtivos."
9	Minha Casa 2 deve repetir impasses regionais	2011	"Para conseguir enquadrar seus investimentos no valor máximo estabelecido pelo programa, (...) é essencial usar o método industrial de construção, que é a produção de paredes de concreto em formas de alumínio. (...) Todo o esforço é sempre de redução de custo , o que significa também reduzir o uso de mão de obra terceirizada e uma intensa negociação de preço com os fornecedores de materiais"
10	Industrialização de sistemas construtivos para segmento econômico da habitação	2011	"Nossa experiência com o Sistema Construtivo Parede de Concreto no maior canteiro de obras do Brasil para o segmento de 0 a 3 Salários Mínimos "

Em observação ao quadro que é apresentado na figura 6, inicialmente, cabe destaque à citação contida na citação nº 10, de 2011. Desde a primeira publicação sobre o sistema construtivo em pauta, este é situado no campo do segmento econômico da habitação, ratificado pela citação de nº 4. Na última citação referenciada, ainda, apresenta-se quase como fosse mandatária a necessidade de plantas replicadas para tal segmento, apesar de tal aspecto ser amplamente criticado, inclusive em relatórios oficiais do governo federal por uma série de fatores, desde a composição do núcleo familiar à questões de sustentabilidade - como conforto ambiental e qualidade urbana [20]. Assim, importa destacar o que apresenta a arquiteta urbanista Ermínia Maricato [21]:

A ideia de que novos materiais ou novos métodos construtivos possam resolver ou constituir a principal alavanca para a solução de problemas habitacionais é dominante há décadas, tanto nas instituições promotoras de políticas públicas quanto nas pesquisas sobre a construção civil ligada à produção de moradias. (...) O que se critica

aqui, entretanto, é a ignorância dos demais fatores que são determinantes na produção da carência habitacional. MARICATO, E., (2009)

Em que pesem os argumentos acerca do déficit habitacional, como exposto na citação nº 9, a segunda matéria com menção ao sistema construtivo em pauta, complementada pelo apresentado naquela de nº 2, a redução de custos (na construção) se apresenta como o principal objetivo para as inovações. Afinal, a racionalização da construção viabiliza maior controle de custos para construções em escala, nos parâmetros dos programas habitacionais, em função, especialmente, das questões apresentadas nas citações nº 1, nº 4, nº 8 e nº 9.

Para além das citações selecionadas, não foi notado, em nenhuma das matérias, menções a benefícios para residentes das edificações habitacionais tão referidas. Inclusive, cabe destaque à citação nº 6, do ano 2014, na qual se apresenta ao Governo Federal solicitação de aditivo financeiro para que fosse possível atender à NBR 15575, do ano anterior. Esse fator coloca em cheque a qualidade mínima do sistema ante aos parâmetros de vida em tais habitações.

Interessante observar, também, que pesquisadoras/es do âmbito acadêmico não são contemplados para elaborar soluções ante a problemas de implementação do sistema ou assuntos afins, tal atribuição é direcionada à empresas do ramo da construção - observado, como exemplo, na citação de nº 3 e nº 1. Quanto aos agentes envolvidos no ciclo produtivo das construções, são representativas as citações nº 1, nº 5 e nº 7, nas quais operários de construção são negligenciados e oclusos como “partes envolvidas” ou, deliberadamente, objetificados como insumos, de modo que considera-se que, em relação a tal sistema construtivo, “longe de complementar a técnica dando-lhe uma base de conhecimento, a tecnologia forçou uma divisão entre conhecimento e prática, elevando o primeiro do prático ao discursivo e reduzindo o segundo do fazer criativo à mera execução” [19].

Quando são expressamente referenciados os operários da construção - como na supramencionada citação nº 7 e também nas de nº 4, nº 8 e nº 9 - estes sujeitos, apresentados como “mão de obra”, quanto menos empregada, mais vantajoso. Inclusive, a possibilidade de, não só reduzir a mão de obra mas, reduzir o nível de capacitação, também reduz o custo do operário, “insumo” tão caro.

5. CONCLUSÕES

Com objetivo de desenvolver estudo crítico sobre o sistema de paredes de concreto moldadas in loco, a partir da sua representação expressa por entidade organizada e representativa da indústria da construção, este trabalho pautou-se em análise infométrica sobre matérias de imprensa da Câmara Brasileira da Indústria da Construção. A abordagem de cunho matemático sobre material bibliográfico viabiliza a geração e tratamento de dados que podem ser facilmente compreendidos e, portanto, interpretados.

A metodologia aplicada possibilitou a sistematização das matérias em função do ano de publicação, teor/categoria da matéria, título e principais assuntos relacionados ao sistema construtivo. O maior número de matérias versam sobre eventos, principalmente relacionados à discussão sobre a revisão da NBR 16055. Tal norma é o assunto mais numeroso das matérias, seguido de inovação e cabem destaque ao assunto PMCMV.

Outrossim, a seleção de citações representativas organizadas em quadro síntese subsidiou a análise crítica de tal inovação tecnológica ante ao déficit habitacional, ambiente, usuários das edificações e trabalhadores da construção civil. Observa-se que o sistema construtivo em questão está, desde a primeira matéria identificada, situado no campo do segmento econômico

da habitação, em que pesem críticas consolidadas deste no que tocam os usuários das edificações e aspectos de sustentabilidade. Por fim, notou-se a qualificação de operários como meros insumos, cuja redução da capacitação e do emprego destes geram vantagens econômicas às construtoras.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, por meio do Programa de Excelência Acadêmica (Proex).

REFERÊNCIAS

- [1] Portal da Indústria - *Perfil da Indústria Brasileira, Participação no PIB Industrial*. <Disponível em: <https://industriabrasileira.portaldaindustria.com.br/grafico/total/producao/#!/industria-total>>, 2020.
- [2] Vieira, R., Silva, U., Goliath, K. - *Sistema Construtivo de Paredes de Concreto Moldadas "IN LOCO"*, Eptaya E-books, 2021.
- [3] SENADO FEDERAL, *Programa Minha Vida Casa Minha Vida: 1 milhão de casas*. <Disponível em biblioteca digital: <https://www2.senado.leg.br/bdsf/item/id/385446>>, 2009.
- [4] Porcionato, G.L. - *Programa Minha Casa Minha Vida: a construção social de um mercado*, *Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista*, 2016.
- [5] Bonduki, N. - *Origens da habitação social no Brasil: arquitetura moderna, lei do inquilinato e difusão da casa própria*. Estação Liberdade, 1998.
- [6] Braguim, T.C. - *Utilização de modelos de cálculo para projetos de edifícios de paredes de concreto armado moldadas no local*, *Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo*, 2013.
- [7] Zanom, D.M. - *Projetos de paredes de concreto armado moldadas no local: estudo do sistema construtivo e dimensionamento automático segundo a NBR 16055*, Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2017.
- [8] Lopes, D.S., Zanon, V.A.G. - *Levantamento da produção de sistemas construtivos inovadores para habitação de interesse social*, Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, 2018, p. 3039-3045.
- [9] Teixeira, M.I., Albete, E.P.V., Perez, C.T. - *Avaliação dos tempos destinados a atividades de transporte numa obra de parede de concreto moldado in loco*, Encontro Nacional De Tecnologia No Ambiente Construído, 2018, p. 1843-1849.
- [10] Ornellas, E.J. - *Estudo da relação entre as características dos materiais, gestão de obra e patologias em edifícios construídos com o sistema de parede de concreto estrutural*, Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 2021.
- [11] FJP - *Déficit habitacional e inadequação de moradias no Brasil. Principais resultados para o período de 2016 a 2019*. Fundação João Pinheiro, 2019.
- [12] Pacheco, T.S. - *Moradia, localização e o programa habitacional "Minha Casa Minha Vida" no município do Rio de Janeiro*, *Dissertação de Mestrado, Fundação Getúlio Vargas*, 2019.

- [13] Arêas, D.M. - *Descrição do processo construtivo de parede de concreto para obra de baixo padrão*, Trabalho de Conclusão de Curso, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.
- [14] Ferro, S. - *Arquitetura e trabalho livre*, Cosac Naify, 2006.
- [15] Mesomo, M.F. - *Manifestações patológicas em unidades habitacionais construídas com paredes de concreto moldadas in loco com fôrmas metálicas análise das falhas observadas na etapa de execução*, Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2018.
- [16] Feenberg, A. - *Critical theory of technology and STS*, Thesis Eleven, 2017, v. 138, n. 1, p. 3-12.
- [17] Wolkmer, A. C. - *Paradigmas, historiografia crítica e direito moderno*, Revista da Faculdade de Direito, 1994, v. 28.
- [18] Santos, R. et al. - *Informetric analysis and review of literature on the role of BIM in sustainable construction*, Automation in Construction, 2019, v. 103, p. 221-234.
- [19] Ingold, T. - *The perception of the environment: essays on livelihood, dwelling and skill*, routledge, 2021.
- [20] Brasil, MMA. - *Sustentabilidade urbana: impactos do desenvolvimento econômico e suas consequências sobre o processo e urbanização e países emergentes-Textos para as discussões da Rio+ 20/2012*, Ministério do Meio Ambiente, Brasília: ONU Habitat, 2015, v. 20, n. 08, p. 2017.
- [21] Maricato, E. - *Por um novo enfoque teórico na pesquisa sobre habitação*, Cadernos metrópole, n. 21, 2009.

REABILITAÇÃO E REFORÇO DE ESTRUTURAS

REPARAÇÃO DE ESTRUTURAS APÓS SUJEIÇÃO A AÇÕES EXTREMAS



Micaella Soares Baccoli

Aluna de graduação de Engenharia Civil da UFMG – Belo Horizonte, Brasil



João Paulo C. Rodrigues*

Professor UFMG – Belo Horizonte, Brasil e UC – Coimbra, Portugal

Resumo:

Regiões do mundo inteiro são mais ou menos propensas a serem atingidas por ações extremas que podem causar graves danos as estruturas dos edifícios. Incêndios, abalos sísmicos, deslizamentos de terra e tornados são apenas alguns exemplos que podem provocar imensos estragos. Assim, tem-se intensificado os estudos quanto aos danos causados e as soluções que a engenharia pode usar para a reparação após a ação dos mesmos nas estruturas. Deste modo, este trabalho propõe apresentar e avaliar técnicas de reparação utilizadas pós ações extremas, por meio de discussões, exemplos e soluções reais. Uma das técnicas de reparação utilizadas quando a estrutura foi corrompida é o reforço por diferentes técnicas e materiais. Um exemplo é o encamisamento de pilares ou vigas de concreto com armaduras e concreto adicional. Reforço com chapas e laminados ou mantas de carbono é outra das soluções usadas. Outro tipo é o reforço com chapas de aço. Existem muitas técnicas aplicadas conforme o tipo de estrutura e o fim a que se destina. Dessa maneira, pode-se concluir que a engenharia oferece soluções que de fato auxiliarão na reconstrução das estruturas debilitadas sem a necessidade da sua demolição. Neste artigo se fará uma resenha das técnicas de reparação e reforço por tipo de estrutura e ação a que foram sujeitas.

Palavras-chave: ações extremas, danos, estrutura, concreto, reparação

*Autor correspondente – Departamento de Engenharia de Estruturas da Universidade Federal de Minas Gerais. Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha, Belo Horizonte – MG/CEP 31270-901, BRASIL., Telef.: +55 31 999888777. e-mail: jpaolocrod@ufmg.br

1. INTRODUÇÃO

Em cenários pós ações extremas, devem ser realizadas análises e ensaios a fim de verificar a estabilidade estrutural da edificação. Deste modo, são realizadas inspeções visuais dos elementos para detalhar as fissuras e problemas estruturais, junto a realização do diagnóstico que visa a utilização de métodos investigativos que definirão o estado no qual a estrutura se encontra. Nesta investigação podem ser feitos diversos ensaios como ultrassonografia, pacometria, extração de testemunho de concreto e carbonatação, a fim de obter um diagnóstico preciso, conferindo as condições de durabilidade da estrutura.

Assim, após realizar os ensaios e obter uma conclusão do estado da estrutura, deve-se planejar uma intervenção eficiente, segura a fim de reestabelecer as características iniciais da estrutura e viável socio e economicamente.

Desta maneira, define-se qual método será aplicado na estrutura: recuperação, reforço ou ambos. O reforço visa aumentar a capacidade estrutural de resistir as solicitações externas, como exemplos são a aplicação de reforços de chapas de aço e utilização de compósitos de fibras de carbono. Já a recuperação está relacionada a necessidade de restabelecer a integridade física de um elemento estrutural. Os reparos se aplicam para problemas pontuais, como corrigir fissuras e tratar peças que sofreram corrosão.

2. REPARAÇÃO PÓS AÇÕES EXTREMAS

Edificações podem sofrer grandes abalos estruturais após a ocorrência de ações extremas, como abalos sísmicos e incêndios. Logo, é de extrema importância o estudo e análise do melhor método a ser aplicado em dada situação. Assim, a aplicação de métodos de reparação ou de recuperação é uma das possibilidades de aumentar a resistência a estrutura danificada. Logo, serão apresentados diversos métodos de reforço de diferentes tipos de estrutura.

2.1. REFORÇOS DE ESTRUTURA

a. REPARAÇÃO DE LAJES

Neste tipo de estrutura, a proporção de danos causados depende do tipo de armadura que foi utilizado, em caso de incêndio, o maior dano está associado a armaduras de aço endurecidas a frio.

A reparação das lajes constitui-se na remoção de todo concreto que não está em boas condições, na limpeza, em alguns casos, no reforçamento da estrutura dos varões e por fim na restituição da parte do concreto. Nesta última etapa ainda é criado rugosidade na parte exposta do concreto por meio de ferramentas manuais ou pneumáticas leves ou até mesmo por um jato de areia.

Como citado, alguns casos necessitam da reparação da parte metálica, adicionando armaduras de reforço. Esta contribuição consiste na implementação de uma malha eletrosoldada junto àquela existente, por meio de amarração ou soldadura.

Se a estrutura apresentar grandes fissurações, indica-se que seja injetado nesses locais resina epoxi a fim de conferir monolitismo a todo conjunto.

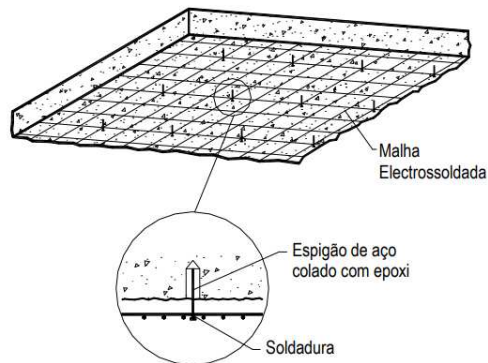


Figura 1- Reparação de lajes [1]

b. REPARAÇÃO DE VIGAS

A reparação deste elemento estrutural se assemelha a de lajes. Caso haja muitos danos a estrutura de concreto, este deve ser retirado e posteriormente restituir toda peça que foi danificada. Caso a armadura também tenha sofrido danos, deve-se reforçá-la.

Ainda há casos que houve imensos danos, nos quais é recomendado retirar a peça estrutural e reconstruir com um novo concreto armado.

Por fim, caso haja fissurações nas vigas, é indicado injetar resina epoxi a fim de preencher todo espaço vazio.

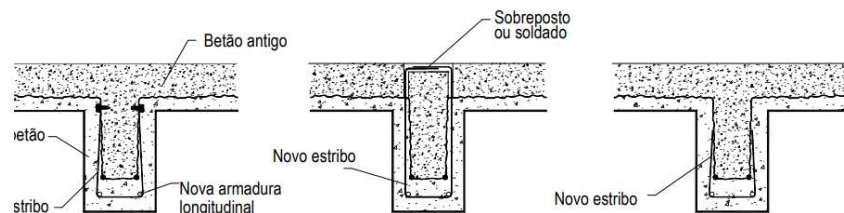


Figura 2- Reparação de vigas [1]

c. REPARAÇÃO DE PILARES

A reparação de pilares geralmente é complexa visto que pode envolver questões arquitetônicas, uma vez que nem sempre é possível manter as dimensões iniciais da seção transversal do pilar. Esta reparação é mais comum em ações extremas do tipo abalos sísmicos e movimentação de massa, no qual desestabilizada a base da estrutura. Para reparações ligeiras, retira-se o concreto que estiver danificado por meio de jato de areia ou água, e em seguida, recobre a peça com o concreto projetado.

Já para danos mais extensos, uma opção é reforçar o pilar com armadura longitudinal e transversal. Caso o deslocamento lateral dos varões for maior do que a metade do seu respectivo diâmetro, como ocorrem em alguns incêndios, deve-se cortá-los e retirá-los para serem reparados. Logo, eles serão endireitados e novamente realocados por meio de soldadura.

COSENZA (1998) [2] e SHEHATA & TEIXEIRA JÚNIOR (1997) [3], ensaiaram modelos de reconstituição de pilares danificados, por meio da remoção de todo concreto em más condições e da armadura original, e substituiu-os por concreto e armadura novos e parecidos com os originais. Em conclusão aos dois trabalhos, foram observados comportamentos semelhantes ao da estrutura original, tanto em serviço quanto na ruptura da estrutura, tendo como unico ponto crítico a região de conexão entre o concreto novo e o velho. Assim, os autores recomendam uma preparação da superfície de ligação para melhor desempenho da peça final.

d. REFORÇO COM CONCRETO

A utilização do concreto, armado ou projetado, como forma de reforço de estrutura é muito comum devido ao seu custo benefício e a sua fácil aplicação. Porém, algumas desvantagens são: o uso do concreto como reforço pode acabar alterando a arquitetura da peça pela grande espessura do material e pode provocar atrasos visto que é necessário um tempo para o concreto atingir sua resistência, para assim ser colocado em serviço. O concreto de alto desempenho pode ser uma das soluções, visto que cumpre o mesmo papel em espessuras menores o que não provoca alteração no dimensionamento da peça original.

Para realização deste reforço é necessário que a superfície entre o concreto novo e o velho apresente grande aderência, para uma boa fixação, e seja capaz de transferir as tensões entre eles. Este tipo de reforço pode ser usado após ocorrência de qualquer tipo de ação extrema.

e. REFORÇO COM PERFIS METÁLICOS

O uso de perfis metálicos para reforço é um dos mais usuais, além de não apresentar grandes alterações na geometria da peça. A aplicação é por meio de chumbamento com buchas expansivas e com o preenchimento de resinas injetáveis. Caso haja fissuras na peça é necessário que sejam reparadas antes de colocar o reforço com os perfis metálicos. Geralmente é utilizada uma cola apenas para o enchimento do vazio existente entre o concreto e o perfil metálico.

f. REFORÇO COM CHAPA DE AÇO COLADA

O reforço de peças estruturais com colagem de chapas de aço é caracterizado pela colagem externa de uma ou mais chapas de aço por meio de adesivo e parafusos auto-fixantes, gerando uma segunda armadura à peça.

Por um lado, este sistema é vantajoso devido ao baixo custo de aplicação, pequenas alterações arquitetônicas e no dimensionamento, rápida execução, durante a aplicação não provoca ruídos nem vibrações. Por outro lado, as desvantagens são o impedimento de visualização de futuras fissuras e baixa resistência ao fogo em caso de incêndio devido a resina e a chapa. Conforme CÁNOVAS (1988) [4], é recomendado que os reforços feitos devam ser protegidos contra incêndio, através de uma camada isolante à base de amianto ou vermiculita.

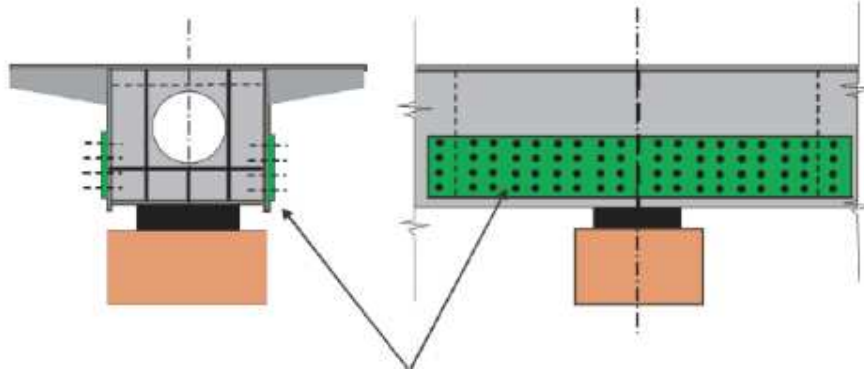


Figura 3 – Reforço da viga com chapa de aço [19]

g. REFORÇO COM PROTENSÃO EXTERIOR

O método de reforço com protensão externa é mais comum em grandes obras, como de pontes e viadutos, porém apresenta alto custo e intervenção arquitetônica. Conforme SOUZA & RIPPER (1998) [5], este método apresenta a execução de baixa complexidade, a facilidade de troca de cabos danificados e o controle quanto à perda da protensão nos casos de atrito dos cabos.

Autores como SAYED-AHMED & SHRIVE (1998) [6], descrevem as vantagens do uso de cabos de fibra de carbono como alta resistência a corrosão, alta durabilidade, baixo peso e alta resistência a tração. Entretanto, também é apresentado as desvantagens destes cabos como o comportamento frágil, alto custo e questões da ancoragem, devido a protensão.



Figura 4 – Reforço de ponte com protensão exterior [Fonte: FCP.AT]

h. REFORÇO DE ESTRUTURAS DE ALVENARIA

O reforço em estruturas de alvenaria está relacionado com o aumento do carregamento, tanto por ações verticais quanto horizontais. Uma das técnicas de uso de aço pode ser implementada no reforço de estruturas de alvenaria, desde uma simples proteção até uma total reformulação de estrutura.

Primeiramente há o encamisamento das colunas de alvenaria que foram danificadas com perfis verticais de aço, em seguida, a inserção de colunas de aço em cavidades próprias ou ao lado para reforço.

i. REFORÇO DE ESTRUTURAS DE MADEIRA

As estruturas de madeira podem ser reforçadas através de alguns métodos, como:

- Posicionar um par de perfis de seção I ou U, um de cada lado da viga de madeira, aparafusando através desta ou através de placas soldadas.
- Instalação de placas de aço em cavidades nas vigas principais por meio de parafusos e/ou resina epóxi (aumenta a resistência a flexão e ao cisalhamento)
-



Figura 5 – Reforço de estrutura de madeira com placa de aço [Fonte: 5fachada]

2.2. RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS

A recuperação de estruturas que sofreram ações extremas requer habilidade. Além da recuperação das características mecânicas dos materiais, também é necessário garantir que esta recuperação esteja atrelada a durabilidade e a vida útil do projeto.

Após a realização de ensaios que permitem definir quais as atuais características dos materiais, os elementos estruturais ser recuperados por diversos métodos, descritos a seguir.

2.2.1. MATERIAIS UTILIZADOS NA REPARAÇÃO

a. ARGAMASSAS E CONCRETOS USUAIS

O preparo das argamassas e concretos usuais para fins de recuperação pode ser feito no local ou pode-se comprar esses produtos na forma industrializada.

Para o uso do concreto há diversas maneiras que este pode ser feito. Uma dessas é o uso do concreto convencional que deve ter uma dosagem que considere as diferenças de retração entre o concreto novo e aquele da peça a ser recuperada. Assim, deve-se evitar traços que contenham muito cimento, pois apresentam grande retração. Além

disso, o uso de plastificantes, superplastificantes e expansores deve ser estudado em conformidade com a estrutura a ser recuperada.

Outro uso é o concreto projetável que permite que seja aplicado de baixo para cima devido sua compactação simultânea com a aplicação. Esse fato se dá devido características como densidade e relação de água e cimento do traço.

A pasta de cimento injetável também é uma opção para ser aplicado em falhas de estruturas, ancoragem de barras e até como pontes de aderência entre o concreto a ser aplicado e aquele a ser recuperado. Essa pasta é uma mistura de água e cimento, com um coeficiente de proporcionalidade água-cimento baixo, e ainda pode haver adição de plastificantes e expansores, que servem como neutralizadores da retração.

Já para o uso da argamassa, existe a argamassa farofa ou argamassa seca que é uma mistura do cimento Portland e areia, com a relação água-cimento variando entre 0,33 e 0,40. Devido sua baixa retração e alta resistência, é muito utilizada para preencher cavidades nas estruturas. Há diversas misturas no mercado, como argamassas de base mineral, argamassa de base resina epóxi e argamassa de resina poliéster.

Em uma avaliação feita por SILVA et al. (2000) [7], foram realizados ensaios de reparação em peças de concreto armado com argamassa tixotrópica armada com fibras, a argamassa polimérica, a argamassa de base epóxi, graute, a argamassa de base sílica ativa, argamassa simples produzida no próprio local e argamassa com sílica ativa 10%. Como resultado, foi observado que a argamassa a base de epóxi foi a que apresentou os melhores resultados.

b. CONCRETO COM FIBRAS

Este tipo de material é composto por concreto comum e por fibras esparsas na massa do concreto, tornando esta mistura mais resistente ao impacto e a grandes pressões. Geralmente são usadas fibras de aço, de vidro e de polímeros orgânicos. As fibras são responsáveis não apenas por aumentar a resistência do concreto mas por aumentar o alongamento da ruptura à tração [5][8].



Figura 6 – Concreto com fibras de aço [9]

- c. CONCRETO COM CINZA VOLANTE E ESCÓRIA DE ALTO FORNO GRANULADA**
Atualmente, nota-se o uso de substâncias no concreto a fim de melhorar aspectos como resistência. A cinza volante e a escória de alto forno granulada são exemplos deste uso, visto que elas podem substituir parte do cimento Portland ou até serem usadas como agregado leve na composição do concreto. A cinza volante ou cinza de carvão pulverizado é um subproduto de usinas termoelétricas. Já a escória de alto forno granulada é derivada da produção do ferro-gusa. A utilização de ambas tem como objetivo controlar a taxa de reação de hidratação e melhorar a microestrutura.
- d. “PRIMERS”**
Os “primers”, sejam a base de epóxi, PVA ou acrílico, são materiais que atuam como ponte de aderência para reparos e reforços estruturais, na recomposição de uma peça homogênea, na colagem de chapas metálicas para reforço estrutural e como protetores do substrato. Apresentam alta resistência mecânica e física e excelente adesão para colagem do concreto novo com o velho.
O primer epoxídico com adição de zinco é altamente recomendado nas armaduras para sua proteção em locais com alta taxa de cloreto e para a passivação e proteção das armaduras contra a corrosão em reparos e reforços estruturais.
- e. MATERIAIS PARA INJEÇÃO**
Os materiais para injeção têm como objetivo reestabelecer a unidade dos elementos fissurados. São encontrados de diferentes composições, mas destacam-se as resinas acrílicas, de poliésteres e as epoxídicas. Esses materiais podem ser usados em aberturas com até 0,1mm e devem ser usados equipamentos especializados nesta aplicação.
- f. GRAUTE**
Existem dois tipos de graute, o de base mineral e de base epoxídica, ambos podem ser usados. Uma de suas principais características é sua fácil aplicação, dada a alta resistência mecânica inicial e final, gerada de forma rápida, e a ausência de retração.
O seu uso é recomendado para diversos tipos de reparo, reforços estruturais, preenchimento de cavidades e fissuras, ancoragem de chumbadores e podem até ser usados para reparos subaquáticos.
- g. MASTIQUES E SELANTES**
Os mastiques são recomendados para a vedação de fissuras ativas de materiais que foram fabricados por diversos produtos, em destaque o alcatrão e o poliuretano, conforme PINCASTELLI 1998 [10]. Os poliuretanos são selantes conhecidos como elastômeros, geralmente usados para a vedação de juntas, mas também fornecem características como adição de cargas, plastificantes e maior adesão à superfície de contato. No uso comercial, destacam-se os elastômeros de silicone e poliuretano, este se destaca por conta de sua alta capacidade de adesão a superfícies porosas e pelo ótimo desempenho à tração BATISTA (2000) [11].

h. COMPÓSITO DE FIBRA DE CARBONO

O uso de compósitos de fibra de carbono (CFC) na construção civil iniciou-se no Japão com o objetivo de reforçar as estruturas para suportarem abalos sísmicos. Atualmente seu uso se estendeu a estruturas que necessitam da presença de metais, mas que não é possível sua utilização. As mantas de fibra de carbono são caracterizadas pela alta resistência, grande durabilidade e flexibilidade. Sua capacidade de resistência se dá tanto a flexão quanto a força cortante em vigas e lajes.



Figura 7 – Mantas de fibra de carbono de viga [12]

i. FIBRA KEVLAR

A fibra Kevlar é uma fibra de aramida derivada de polímeros, que apresenta sua estrutura extremamente rígida, proporcionando alta resistência a tração e a impactos, além de possuir estabilidade térmica diferenciada para temperaturas negativas e muito altas.

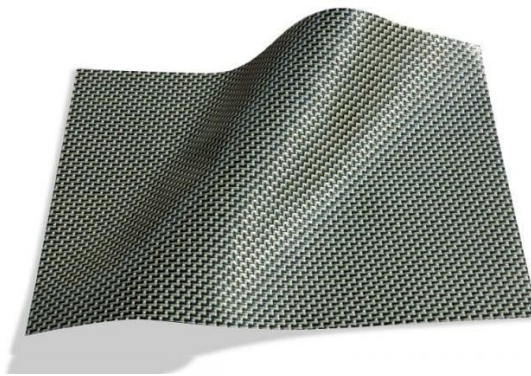


Figura 8 – Manta de fibra Kevlar [13]

3. CONCLUSÕES

Visto as diversas maneiras de recuperação e reforço de um elemento estrutural, é evidente a importância de um projeto bem detalhado e coerente com o ambiente no qual está inserido. Propostas construtivas em locais propícios à ocorrência de abalos sísmicos devem ter cuidados diferentes daquelas em lugares onde as chances são baixíssimas. Diferente desta ação extrema, para incêndios, estes cuidados devem ser tomados em quaisquer projetos de construção civil, desde a parte estrutural até aos acabamentos.

Assim, requisitos de qualidade e durabilidade das construções são tópicos essenciais no planejamento, e devem ser verificados durante toda construção, reparação e reforço. Ademais, para a ocorrência efetiva desses tipos de deslocação é indispensável que a análise inicial tenha sido feita com muita cautela e segurança, para que o diagnóstico seja aplicado corretamente.

Logo, tendo o diagnóstico correto, é possível verificar os métodos e definir cada um para diferentes tipos de fissuras e deformações, que podem ser superficiais ou profundas. Logo, diante dos diversos tipos de reparação e reforço apresentados anteriormente, é evidente que não há apenas um método para determinada deformação, mas vários. O método a ser escolhido depende de diversos fatores como aplicação do método, dependência de mão de obra específica, viabilidade econômica, ambiental e social, entre outros fatores.

Conclui-se que fundamentado em pesquisas e aplicações reais, foi feito um amplo apanhado de métodos de recuperação e reforço das estruturas de diferentes tipos. Assim, é importante um diagnóstico assertivo para a aplicação de um destes métodos.

REFERÊNCIAS

- [1] Correia, A. J. M.; Rodrigues, J. P. C. – “Reabilitação de edifícios danificados por incêndio – Parte 2 – Reparação dos danos”, Engenharia e Vida, 2005, p. 48-53.
- [2] COSENZA, C. H. Estudo Experimental da Resistência e da Deformabilidade de Pilares de Concreto de Alta Resistência, na Flexão Normal Composta, tendo sido Recuperados e Reconstituídos com Concreto da Mesma Natureza. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 1998. 242p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas – DEES).
- [3] SHEHATA, I. A. E. M., TEIXEIRA JR., S. V. Reparo de Consolos Curtos Danificados. In: JORNADAS SUL-AMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, 28, 1997, São Carlos, SP. Anais... São Carlos: Ed. Helena M. C. Carmo Antunes, 1997. v. 6., 2552p., p. 2525-2531. ISSN 85-85205-10-5 (obra completa).
- [4] CÂNOVAS, M. F. Patologia e Terapia do Concreto Armado. 1 ed. Tradução de M. C. Marcondes, C. W. F. dos Santos, B. Cannabrava. São Paulo: Ed. Pini, 1988. 522p.
- [5] SOUZA, V. C., RIPPER, T. Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto. 1 ed. nSão Paulo: Ed. Pini, 1998. 255 p.
- [6] SAYED-AHMED, E. Y., SHRIVE, N. G. A New Steel Anchorage System for Post-Tensioning Applications Using Carbon Fibre Reinforced Plastic Tendons. Canadian Journal of Civil Engineering, [S.l.], v. 25, p.113-127, 1998.
- [7] SILVA, E. et al.. Análise da Durabilidade dos Materiais Empregados para Reparo/Reforço em Estruturas de Concreto Armado. In: CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE O

- COMPORTAMENTO DE ESTRUTURAS DANIFICADAS – DAMSTRUC, 2, 2000, Rio de Janeiro. CD-ROM. Niterói: [S.d], 2000.
- [8] SHAH, S. P. Advanced Cement – Based Composites. In: Engineering Mechanics Proceedings Conference, 10. 1995, [S.l.], Proceedings... Ed. Stein Sture, 1995. p.449-452.
- [9] CONCREMIX. Concreto Fibra. Disponível em: <http://www.concremix.com.br/concreto-fibra.html>. Acesso em: 17 maio 2023.
- [10] PIANCASTELLI, E. M. Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto Armado. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 1998. 160p. Notas de Aula.
- [11] BATISTA, M. O Elastômero Perfeito. Recuperar, Rio de Janeiro, Ano 7, n.33, p. 22-26, jan-fev. 2000.
- [12] TREIN TEC. FIBRA DE CARBONO. [S. l.], 0000. Disponível em: <https://treinotecengenharia.com.br/tecnologias-fibradecarbono/>. Acesso em: 17 maio 2023.
- [13] ENGENHARIA 360. Explorando as vantagens da fibra sintética kevlar e suas aplicações na engenharia. Disponível em: <https://engenharia360.com/caracteristicas-e-vantagens-fibra-kevlar/>. Acesso em: 17 maio 2023.
- [14] SANTOS , Cristina Calmeiro; RODRIGUES , João Paulo Correia; COELHO , António Leça. REPARAÇÃO DE ESTRUTURAS DE BETÃO APÓS INCÊNDIO, p. 1-10. Disponível em: https://repositorio.ipcb.pt/bitstream/10400.11/385/1/art_2_vf.pdf. Acesso em: 17 maio 2023.
- [15] REIS, LÍLIA SILVEIRA NOGUEIRA. SOBRE A RECUPERAÇÃO E REFORÇO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO. UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS ESCOLA DE ENGENHARIA PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ESTRUTURAS , [S. l.], p. 1-114, 12 abr. 2001. Disponível em: <http://pos.dees.ufmg.br/defesas/82M.PDF>. Acesso em: 17 maio 2023.
- [16] ADORNO , Felipe Vieira; DIAS , Frederico Oliveira; SILVEIRA, João Clímaco de Oliveira. RECUPERAÇÃO E REFORÇO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO. UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIAS, [S. l.], p. 1-70, 2015. Disponível em: https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/140/o/RECUPERA%C3%87%C3%83O_E_REFOR%C3%87O_DE_VIGAS.pdf. Acesso em: 17 maio 2023.
- [17] NAKAMURA, Juliana. Reparo, reforço e recuperação de concreto. Revista Técnica, [S. l.], p. 1-7, 2009. Disponível em: <https://meumaterialsite.files.wordpress.com/2017/05/reparo-reforc3a7o-e-recuperac3a7c3a3o-de-concreto.pdf>. Acesso em: 17 maio 2023.
- [18] VESPASIANO, ANA BEATRIZ RODRIGUES. ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO: ESTUDO DE CASO. UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, [S. l.], p. 1-70, 10 jun. 2016. Disponível em: <https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/15670/1/estruturaconcretoarmadoincendio.pdf>. Acesso em: 17 maio 2023.
- [19] FERREIRA , JOSÉ OSVALDO FILHO. ESTUDO SOBRE OS MÉTODOS CONVENCIONAIS DE REABILITAÇÃO E REFORÇO DE ESTRUTURAS DE AÇO. UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, [S. l.], p. 1-88, 23 nov. 2017. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6433/2/metodosreabilitacaoreforcoestruturas.pdf>. Acesso em: 17 maio 2023.

- [20] CAMPOS, Luiz Eduardo Teixeira. Técnicas de Recuperação e Reforço Estrutural com Estruturas de Aço. PGECIV - Programa de PósGraduação em Engenharia Civil da Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, [S. l.], p. 1-104, 2006. Disponível em: http://www.labciv.eng.uerj.br/rm4/files/msc_eduardo.pdf. Acesso em: 17 maio 2023.
- [21] PERNETA, Hugo Pernetá; CORREIA, Maria João; BAPTISTA, António M.; SALTA, Manuela. REPARAÇÃO DE ESTRUTURAS METÁLICAS. Conference Paper , [S. l.], p. 1-20, 1 jan. 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Antonio-Baptista-6/publication/268521870_Reparacao_de_estruturas_metalicas/links/570bbd1b08ae2eb94223ac42/Reparacao-de-estruturas-metalicas.pdf. Acesso em: 17 maio 2023.

ESTUDO EXPERIMENTAL DA INFLUÊNCIA DE DIFERENTES TIPOS DE TRATAMENTOS DE SUPERFÍCIE NA RECUPERAÇÃO LOCALIZADA DE PILARES POR ENCAMISAMENTO



**Adriely Henriques
Miranda**
Mestranda
UFMG – Belo
Horizonte, Brasil



**Leandro Lopes da
Silva**
Professor
UFMG – Belo
Horizonte, Brasil

Resumo:

Alterações nas formas de uso de edificações ou dimensionamento inicial incorreto do sistema estrutural pode acarretar necessidade de recuperação ou reforço estrutural. Diversas técnicas são conhecidas e podem ser empregadas para este fim. Dentre elas, destaca-se o encamisamento devido ao menor custo e relativa simplicidade de execução. Alguns estudos e pesquisas foram realizados relativos à essa técnica, mas ainda há muito a se levantar sobre suas características e influência sobre o aumento da capacidade resistente do elemento recuperado e/ou reforçado. O presente artigo propõe investigar experimentalmente a influência de diferentes tratamentos de superfície, considerando a altura de ligação e espessura da camisa, sobre a ligação entre o concreto de pilar existente e o concreto utilizado em sua recuperação através do ensaio de luva. Assim, busca-se maior compreensão acerca da necessidade tanto de resultado no aumento da capacidade resistente, quanto no impacto gerado ao conceito do projeto arquitetônico idealizado sem descaracterizá-lo.

Palavras-chave: Recuperação; Reforço; Encamisamento; Tratamentos de superfície; Ensaio de luva.

1. INTRODUÇÃO

Construções anteriormente definidas para usos específicos sofrem modificações e ampliações e com isso pode ser necessário o reforço dos elementos estruturais. Além disto, dimensionamento

incorreto ou desgaste do elemento estrutural pode acarretar comprometimento da capacidade resistente exigida.

Diversas técnicas podem ser empregadas para reforço e recuperação estrutural, sendo a mais utilizada a de encamisamento com concreto que pode abranger toda a extensão (encamisamento total) ou somente um trecho (encamisamento parcial) do elemento a ser recuperado. Neste caso, para que haja bons resultados, destaca-se a importância da ligação entre o concreto do elemento estrutural (concreto velho) e o concreto utilizado na camisa (concreto novo) posto que para que o reforço atinja resultados satisfatórios é necessário garantir a transferência de esforços.

A técnica de encamisamento exerce influência sobre a geometria inicial do elemento estrutural posto que implica em aumento de sua seção transversal podendo resultar em restauração ou até ampliação de sua capacidade resistente. O impacto dessa alteração em algumas construções pode acarretar perda parcial do conceito arquitetônico idealizado. O melhor entendimento acerca da influência da altura e espessura da camisa pode reduzir de forma significativa o impacto gerado pela intervenção necessária.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Como forma de sanar problemas advindos de perda de desempenho do elemento estrutural, pode-se fazer uso de recuperação ou reforço. A diferença entre os dois termos, segundo Piancastelli [1], está relacionada ao efeito que a intervenção terá sobre o desempenho do elemento estrutural em comparação com seu desempenho inato. A recuperação visa devolver o desempenho perdido enquanto o reforço visa aumentar o desempenho inato.

A recuperação pode ocorrer através de várias técnicas como colagem de manta de polímeros reforçadas com fibra e aplicação de chapas e perfis metálicos. Atualmente, a mais utilizada é a de encamisamento com concreto armado devido ao menor custo e simplicidade de execução. A técnica consiste em aumento da seção por meio do envolvimento total ou parcial do pilar com concreto aliado ou não às armaduras, conforme se observa na figura 1. Como forma de reduzir um pouco a espessura necessária da camisa, Reis [2] sugere a utilização do concreto de alto desempenho.

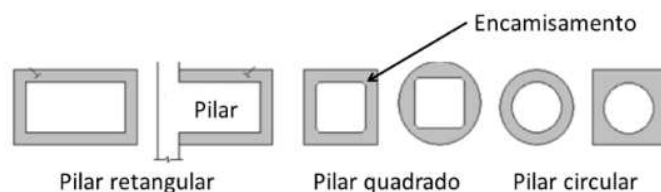


Figura 1: Geometria de pilares e encamisamentos

Fonte: Piancastelli [1] editado pela autora

O encamisamento pode ocorrer em toda a extensão do pilar ou somente em um trecho cuja capacidade resistente esteja comprometida, conforme se observa na figura 2. Quando é

realizado em todo o contorno do elemento estrutural, é denominado encamisamento total. No caso de ser realizado em somente uma parte da seção original da estrutura existente, diz-se que o encamisamento é parcial.

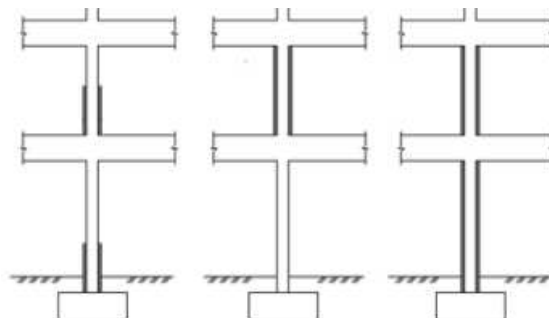


Figura 2: Encamisamento total e parcial
Fonte: Piancastelli [1] editado pela autora

Para que sejam alcançados resultados satisfatórios no encamisamento, a ligação entre o concreto utilizado no pilar a ser recuperado e o concreto que será utilizado para envolver o pilar existente assume grande importância, posto que sem essa ligação a transferência de esforços entre o pilar e a camisa fica comprometida reduzindo assim o aumento da capacidade resistente desejada. Esta ligação pode ocorrer de diferentes maneiras, como, por exemplo, conectores, adesivo ou apicoamento.

Dentre os tratamentos conhecidos e comumente empregados, o objetivo desta pesquisa visa proporcionar um comparativo prático entre três tratamentos determinando o que possibilita melhor ligação entre os elementos em questão.

2.1 Ensaios de Ligação (Aderência e Atrito)

Para análise de ligação entre concreto e materiais de reparo de estruturas, quatro normas podem ser referidas: *American Society for Testing and Materials (ASTM) C 1583* [3] que aborda o *Pull Off Test* (ensaio de arrancamento); *ASTM C 496* [4] que aborda o *Splitting Tensile Test* (ensaio de compressão diametral); e *ASTM C 882* [5] e *British Standards Institution (BS 12615)* [6] que abordam o *Slant Shear Test* (ensaio de cisalhamento inclinado). As duas últimas visam a avaliação da aderência entre concreto e resinas epóxi, entretanto o ensaio de cisalhamento inclinado passou a ser utilizado para avaliar a ligação de concreto à diferentes tipos de materiais de reparo estrutural.

O ensaio de compressão diametral consiste na aplicação de uma força diametral de compressão na direção do comprimento de um corpo de prova de concreto até que ocorra a falha, conforme figura 3. Segundo Harris et al. [7], apesar deste método não ter sido desenvolvido para elementos compostos, tem sido utilizado para caracterizar a ligação de interface entre dois materiais de concreto. No caso da caracterização da ligação da recuperação por encamisamento, o corpo de prova seria composto por metade representando o material do substrato (concreto velho) e a outra metade representando o material da camisa (concreto novo).

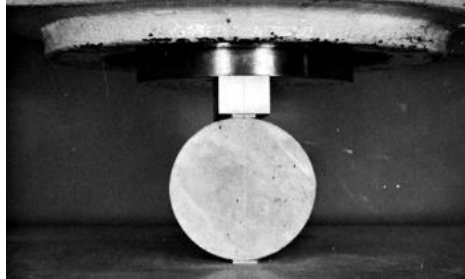


Figura 3: Corpo de prova posicionado em máquina de ensaio de compressão diametral
 Fonte: ASTM C 496

O ensaio de cisalhamento inclinado consiste em aplicação de força axial de compressão em um corpo de prova com superfície de ligação lisa e inclinada, conforme figura 4

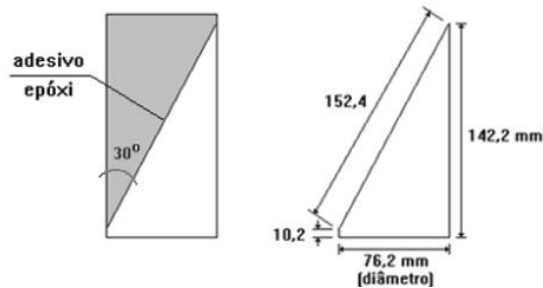


Figura 4: Corpo de prova para *Slant Shear Test*
 Fonte: Piancastelli [1]

O ensaio de arrancamento é um ensaio de tração em um corpo de prova no qual ocorre uma perfuração perpendicular à superfície do substrato deixando o núcleo intacto preso ao concreto. É colado um disco de aço na superfície superior do corpo de prova e aplicada uma carga de tração ao disco até que ocorra a falha, conforme se observa na figura 5

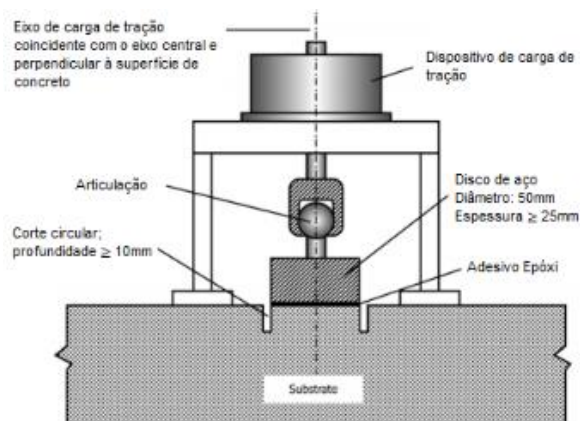


Figura 5: Corpo de prova para ensaio de arrancamento
 Fonte: ASTM C 1583 [3]

De acordo com Harris et al. [7], a utilização do ensaio de cisalhamento inclinado e do ensaio de arrancamento não contemplam as reais condições de sollicitação que os concretos estarão submetidos após o encamisamento de um pilar.

Piancastelli [1] propõe a utilização do ensaio de luva. Nos corpos de prova deste ensaio, a carga é transferida de um concreto para o outro, conforme ilustrado na figura 6. Neste ensaio, é possível analisar a aderência e atrito.

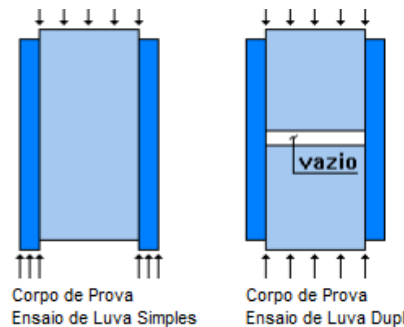


Figura 6: Entrada e saída de carga nos corpos de prova em ensaio de luva
Fonte: Piancastelli [1] editado pela autora

2.2 Reforço de Pilares

A aderência é responsável pela transferência de tensões entre os materiais. Esta propriedade é a responsável por impedir, ou minimizar, o deslocamento relativo entre estes. O atrito é uma força que surge se opondo à movimentação entre duas superfícies.

De importância fundamental no encamisamento de pilares, segundo Piancastelli [1], o atrito promove maior segurança no contato entre camisa e pilar. Desta forma, a elevada rugosidade na superfície do concreto pode gerar maior aproveitamento da tensão normal existente no contato camisa-pilar. Sendo assim, tratamentos de superfície que tragam maior rugosidade podem se apresentar como vantajosos para promoção de maior ligação entre os concretos de diferentes idades, aumentando assim a capacidade resistente.

Diferentes tratamentos de superfície são conhecidos e comumente empregados. Na literatura, encontram-se alguns estudos acerca destes tratamentos, fornecendo bases para melhor entendimento sobre as diferentes técnicas possíveis de ser empregadas.

Piancastelli [1] ressalta um comparativo entre técnicas de ligação de concretos destacando que o “sistema aderência-atrito” apresenta vantagens sobre a “técnica de pinos”, em função do maior deslocamento entre as partes que ocorre nesse segundo caso, e sobre a “ligação por colagem” devido à baixa resistência das colas epoxídicas ao calor e à dificuldade imposta pelo *pot life* (tempo de vida útil da mistura) e *open time* (tempo entre a mistura e junção dos elementos) curtos.

Chilwesa et al. [8] buscaram avaliar a ligação entre concretos variando os tipos de superfícies do concreto do substrato, sendo elas: lisa, escovada (escova de aço) e ranhurada. Os autores observaram que o acréscimo da rugosidade da superfície aumentou a resistência e ductilidade da ligação.

Harris et al. [7] apresentam um estudo experimental e numérico sob a ótica da ligação entre concretos normais e de ultra alto desempenho considerando seis tipos diferentes de tratamentos de superfície, demonstrados na figura 7. Os resultados apresentados demonstram que com a preparação da superfície é possível alcançar significativa melhora na ligação entre dois concretos.



Figura 7: Tipos de tratamento da superfície de deslizamento

Fonte: Harris et al. [7] editado pela autora

Conforme constatado pelos autores supracitados, os tratamentos de superfície exercem influência na ligação entre as superfícies de concreto com diferentes idades. A presente pesquisa objetiva investigar essa influência, através do ensaio de luva proposto por Piancastelli [1] na recuperação localizada de pilares por encamisamento.

3 ENSAIOS DE LUVA – PROGRAMA EXPERIMENTAL E METODOLOGIAS

Foi atribuído ao concreto presente em um elemento estrutural a ser recuperado o termo Concreto Velho. Baseado no trabalho de Piancastelli [1], a confecção dos corpos de prova foi realizada com cimento CPV, areia natural grossa, brita de gnaiss n° 1 e aditivo plastificante Muraplast FK 830. Para o concreto utilizado na camisa de reforço do elemento estrutural, foi empregada a denominação Concreto Novo. Foi utilizado o graute não retrátil, de alto desempenho e base cimentícia Emcekrete 40 da MC-Bauchemie com fator água/pó de 0.11.

A Investigação experimental através do ensaio de luva avaliando a ligação entre os concretos de diferentes idades sob a ótica do tratamento de superfície foi desenvolvida no Laboratório de Análise Experimental de Estruturas do Departamento de Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais.

Os moldes utilizados para a confecção dos corpos de prova de concreto velho, a serem utilizados nos ensaios de luva e caracterização, eram em material plástico com diâmetro de 10cm e altura de 20cm. Após cura do concreto e antes da confecção dos corpos de prova finais com os tratamentos de superfície definidos, foi feita a retificação em máquina de modo a alcançar uma superfície plana na base para os ensaios a serem realizados posteriormente. Sendo três as alturas definidas para a ligação entre concretos, foi realizado o recorte em máquina de corte com disco de corte diamantado para alcançar essas medidas (figura 8).



Figura 8: Retificação e recorte dos corpos de prova

Antes da moldagem da luva que iria cobrir o corpo de prova, a superfície foi preparada através dos tratamentos de superfície que seriam empregados.

O tratamento de furos nas superfícies foi realizado por meio de furadeira com broca número 6 para concreto. A padronização no espaçamento entre os furos foi estabelecida em aproximadamente 2,5cm como forma de alcançar maior semelhança entre as características do tratamento de superfície dos CPs garantindo melhor precisão de análise. O lixamento da superfície dos CPs foi realizado por meio de disco de escova de aço ligado à uma lixadeira. O corpo de prova era pressionado junto à escova e girado de modo a garantir que toda a superfície fosse contemplada. O adesivo estrutural à base de resina epóxi foi formulado para colagem de superfícies de concreto e outros materiais proporcionando alta aderência; resistência elevada à tração e compressão; impermeabilidade e rápido endurecimento. Para os estudos, utilizou-se o Tecbond MF da quartzolit. O tratamento com aplicação de adesivo passou primeiramente pelo lixamento da superfície. Após aplicação do adesivo, era colocada a fôrma em PVC e lançado o graute. A figura 9 demonstra os tratamentos nos CPs.



Figura 9: Tratamentos de superfície – Furos, lixamento e adesivo epóxi, respectivamente

Utilizando-se de moldes em PVC, foram confeccionados os corpos de prova do concreto novo envolvendo o concreto velho (figura 10).



Figura 70: Corpos de prova com camisa de concreto novo

4 ENSAIOS DE LUVA – SÉRIES E CORPOS DE PROVA

A realização dos ensaios de luva foi contemplada em seis séries baseadas no tratamento de superfície e resistência à compressão. Os ensaios de caracterização dos concretos, realizados em todas as séries, avaliaram a resistência à compressão (f_c), resistência à tração (f_t), e módulo de elasticidade (E). Cada série foi determinada primeiramente pelo tratamento de superfície empregado, sendo a resistência à compressão o fator secundário analisado.

- Série 1: CPs cilíndricos; tratamento de superfície com adesivo epóxi; concreto velho com f_c nominal igual a 20MPa; espessura da luva igual à 2,2 ou 4,6cm; ensaio de luva com altura de contato entre concretos igual à 10cm, 14cm e 17,5cm
- Série 2: CPs cilíndricos; tratamento de superfície com adesivo epóxi; concreto velho com f_c nominal igual a 10MPa; espessura da luva igual à 2,2 ou 4,6cm; ensaio de luva com altura de contato entre concretos igual à 10cm, 14cm e 17,5cm
- Série 3: CPs cilíndricos; tratamento de superfície com furos com furadeira; concreto velho com f_c nominal igual a 20MPa; espessura da luva igual à 2,2 ou 4,6cm; ensaio de luva com altura de contato entre concretos igual à 10cm, 14cm e 17,5cm

- Série 4: CPs cilíndricos; tratamento de superfície com furos com furadeira; concreto velho com f_c nominal igual a 10MPa; espessura da luva igual à 2,2 ou 4,6cm; ensaio de luva com altura de contato entre concretos igual à 10cm, 14cm e 17,5cm
- Série 5: CPs cilíndricos; tratamento de superfície com lixamento; concreto velho com f_c nominal igual a 20MPa; espessura da luva igual à 2,2 ou 4,6cm; ensaio de luva com altura de contato entre concretos igual à 10cm, 14cm e 17,5cm
- Série 6: CPs cilíndricos; tratamento de superfície com lixamento; concreto velho com f_c nominal igual a 10MPa; espessura da luva igual à 2,2 ou 4,6cm; ensaio de luva com altura de contato entre concretos igual à 10cm, 14cm e 17,5cm

Submetidos à compressão normal com carga aplicada de forma contínua e crescente até a ruptura, seguindo critérios estabelecidos pela NBR 5739:2018, os corpos de prova dos ensaios de luva eram constituídos por dois corpos de prova de concreto velho, com uma camada de isopor de 2cm entre eles – simulando a perda localizada da capacidade resistente do elemento estrutural – revestidos por uma camada de luva constituída pelo graute (figuras 11 e 12). Atingida a ruptura, era registrado o valor máximo de resistência alcançado. As imagens abaixo demonstram as características e alguns dos corpos de prova de diferentes alturas.

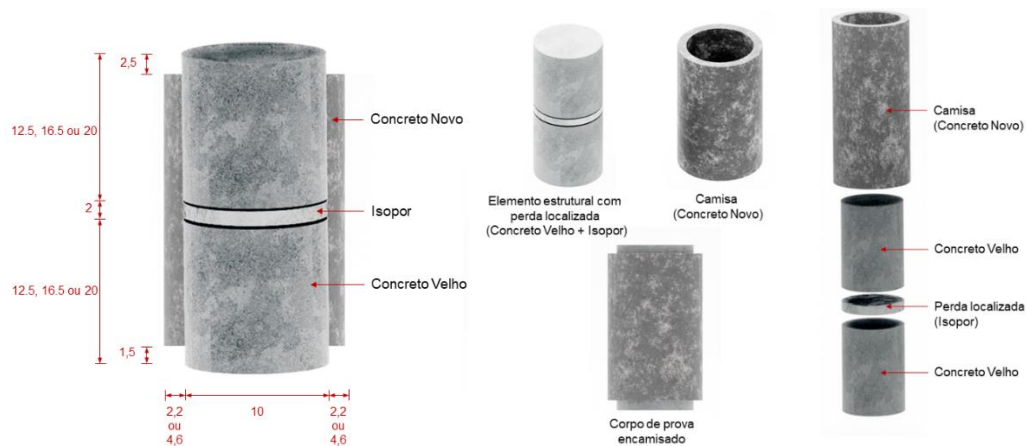


Figura 11: Características dos corpos de prova para o ensaio de luva



Figura 12: Ensaio de luva – Camisa H= 14cm e Espessura camisa= 4,6cm

5 ENSAIOS DE LUVA – RESULTADOS EXPERIMENTAIS E ANÁLISES

O comparativo entre os resultados obtidos possibilita entender como a resistência e, principalmente, o tratamento de superfície exerce influência sobre o resultado do aumento da capacidade resistente por encamisamento.

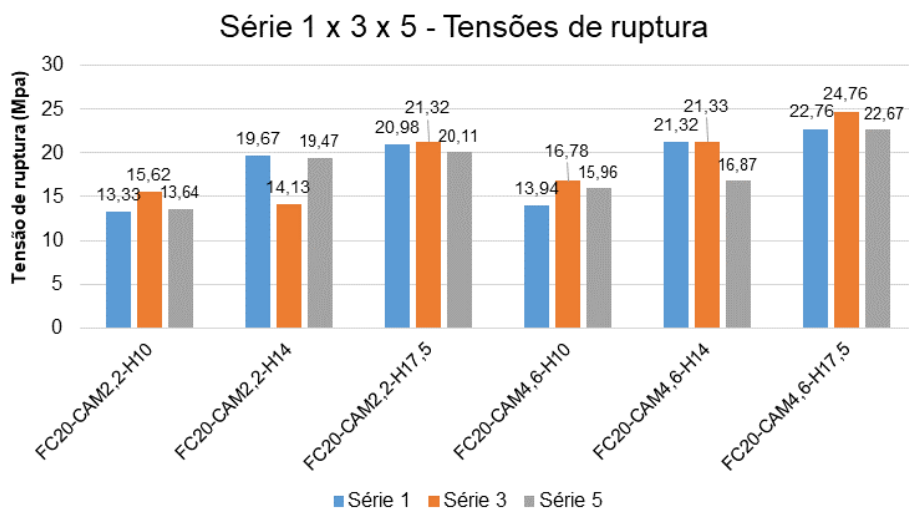


Figura 83: Tensões de ruptura – Séries 1, 3 e 5

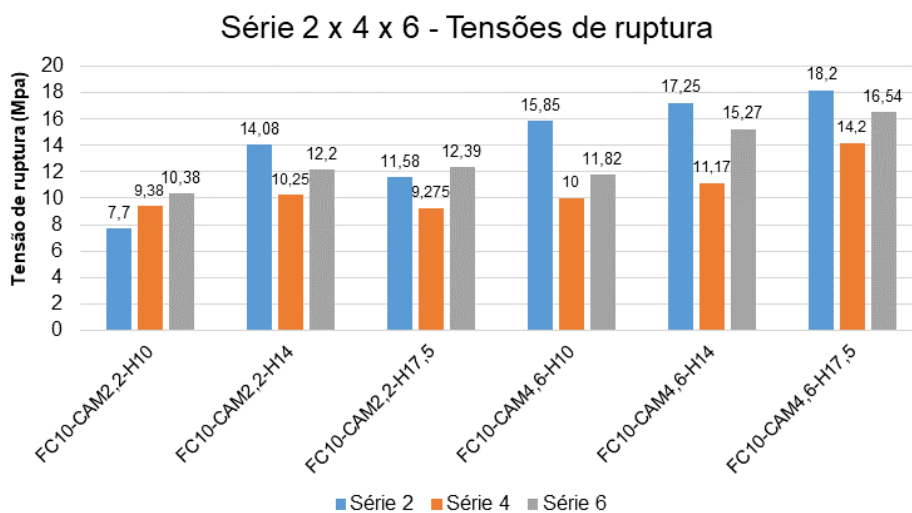


Figura 94: Tensões de ruptura – Séries 2, 4 e 6

Tabela 1: Valores médios de resistência à compressão dentro de cada variável e características do Concreto velho e Concreto novo

SÉRIE 1 23/set			SÉRIE 2 12/dez		
Tratamento	Adesivo Epóxi		Tratamento	Adesivo Epóxi	
	f_c 20MPa			f_c 10MPa	
Resistência média à compressão (MPa)			Resistência máxima à compressão (MPa)		
Camisa = 2,2 cm			Camisa = 2,2 cm		
H=10cm	H=14cm	H=17,5cm	H=10cm	H=14cm	H=17,5cm
13,33	19,67	20,98	7,7	14,075	11,575
Camisa = 4,6 cm			Camisa = 4,6 cm		
H=10cm	H=14cm	H=17,5cm	H=10cm	H=14cm	H=17,5cm
13,94	21,32	22,76	15,85	17,25	18,20
Ensaio de Caracterização - Valores Médios			Ensaio de Caracterização - Valores Médios		
	Concreto Velho	Graute		Concreto Velho	Graute
Tração (MPa)	3,27	3,30	Tração (MPa)	1,52	4,22
Compressão (MPa)	24,04	38,96	Compressão (MPa)	15,06	39,86
Módulo de Elasticidade (GPa)	22,36	25,21	Módulo de Elasticidade (GPa)	12,38	24,01
SÉRIE 3 31/out			SÉRIE 4 25/nov		
Tratamento	Furos com furadeira		Tratamento	Furos com furadeira	
	f_c 20MPa			f_c 10MPa	
Resistência média à compressão (MPa)			Resistência média à compressão (MPa)		
Camisa = 2,2 cm			Camisa = 2,2 cm		
H=10cm	H=14cm	H=17,5cm	H=10cm	H=14cm	H=17,5cm
15,62	14,13	21,32	9,38	10,25	9,275
Camisa = 4,6 cm			Camisa = 4,6 cm		
H=10cm	H=14cm	H=17,5cm	H=10cm	H=14cm	H=17,5cm
16,78	21,33	24,76	10,00	11,18	14,20
Percentual			Ensaio de Caracterização - Valores Médios		
	Concreto Velho	Graute		Concreto Velho	Graute
Tração (MPa)	2,85	2,93	Tração (MPa)	2,10	2,80
Compressão (MPa)	23,87	38,76	Compressão (MPa)	18,17	39,40
Módulo de Elasticidade (GPa)	27,18	27,84	Módulo de Elasticidade (GPa)	14,56	29,79
SÉRIE 5 07/out			SÉRIE 6 01/nov		
Tratamento	Lixamento		Tratamento	Lixamento	
	f_c 20MPa			f_c 10MPa	
Resistência média à compressão (MPa)			Resistência média à compressão (MPa)		
Camisa = 2,2 cm			Camisa = 2,2 cm		
H=10cm	H=14cm	H=17,5cm	H=10cm	H=14cm	H=17,5cm
13,64	19,47	20,11	10,38	12,20	12,39
Camisa = 4,6 cm			Camisa = 4,6 cm		
H=10cm	H=14cm	H=17,5cm	H=10cm	H=14cm	H=17,5cm
15,96	16,87	22,67	11,85	15,27	16,54
Ensaio de Caracterização - Valores Médios			Ensaio de Caracterização - Valores Médios		
	Concreto Velho	Graute		Concreto Velho	Graute
Tração (MPa)	3,53	3,61	Tração (MPa)	2,00	3,20
Compressão (MPa)	29,91	49,29	Compressão (MPa)	17,24	35,57
Módulo de Elasticidade (GPa)	27,97	28,02	Módulo de Elasticidade (GPa)	10,85	32,89

De acordo com a tabela 1 e figuras 13 e 14, algumas observações importantes são destacadas conforme se segue:

- Nas séries 1, 5 e 6, quanto maior a altura da camisa, maior a resistência final alcançada. Exceção se mostra nas séries 2 e 4 nas quais a camisa de 2,2cm de espessura e 14cm de altura se apresentou superior à altura de 17.5cm para as respectivas espessuras. Na série 3, a altura de 10cm e espessura de 2,2cm apresentou maiores resultados que a altura de 14cm;
- De modo geral, houve maior aumento na capacidade resistente entre as alturas de 10 e 14cm do que entre as de 14 e 17,5cm;
- Em todas as séries, a altura de contato entre concretos de 17,5cm apresentou os resultados mais elevados;
- Em todas as séries, a camisa de 4,6cm de espessura apresentou os resultados mais elevados;
- Para o caso de concreto velho com f_c 10MPa, o furo com furadeira foi o tratamento de superfície com maior eficiência;
- Para o caso de concreto velho com f_c 20MPa, o adesivo epóxi foi o tratamento de superfície com maior eficiência;
- Para o caso de concreto velho com f_c 10MPa, os menores valores de aumento da capacidade resistente foram obtidos através do lixamento para a camisa de 4,6cm. Para a camisa de 2.2cm, houve variações entre os tratamentos;
- Para o caso de concreto velho com f_c 20MPa, os menores valores de aumento da capacidade resistente foram obtidos através do furo com furadeira, resultados, estes, contrário ao encontrado para f_c 10MPa.

6 CONCLUSÕES

A análise dos resultados obtidos nos ensaios e estudo comparativo dos resultados visando determinar a influência dos tratamentos de superfície na capacidade resistente do sistema no contexto da técnica de encaminhamento permitiu melhor entendimento acerca da técnica de encamisamento. Como Piancastelli [1], é possível inferir que ainda há muito a ser estudado, contudo, entende-se que alguns pontos da análise experimental permitiram entender como os tratamentos de superfície, espessura e altura da camisa exercem influência sobre o aumento da capacidade resistente. Para concretos com resistência de 10MPa, o tratamento de furos com furadeira apresentou maior eficiência enquanto, para o de 20MPa, o adesivo epóxi alcançou melhores resultados. A espessura e altura da camisa influenciaram de forma significativa a eficácia de técnica de encamisamento. Engenharia e arquitetura se alinham para que essa recuperação e reforço necessários sejam realizados de forma efetiva, mas com o menor impacto arquitetônico possível.

7 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio das agências de pesquisa brasileiras CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais; grant PPM-00747-18), e CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico; grant 316240/2021-4).

8 REFERENCIAS

- [1] Piancastelli, E.M. *Estudo do desempenho de um novo ensaio na definição de parâmetros referentes à ligação entre concretos e à recuperação localizada de pilares*. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020. 367p.
- [2] REIS, L. S. N. *Sobre a Recuperação e Reforço das Estruturas de Concreto Armado*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001. 114p
- [3] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS INTERNATIONAL – ASTM International. ASTM C1583/C1583M-13: Standard Test Method for Tensile Strength of Concrete Surfaces and the Bond Strength or Tensile Strength of Concrete Repair and Overlay Materials by Direct Tension (Pull-Off Method). West Conshohocken, PA, 2013.
- [4] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS INTERNATIONAL – ASTM International. ASTM C496-96: Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens. West Conshohocken, PA, 2013.
- [5] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS INTERNATIONAL – ASTM International. ASTM C882-91: Standard Test Method for Bond Strength of Epoxy-Resin. Systems Used With Concrete by Slant Shear. West Conshohocken, PA, 2005.
- [6] BRITISH STANDARDS INSTITUTION - BS 6319-4:1984. Testing of resin and polymer/cement compositions for use in construction. Method for measurement of bond strength (slant shear method).
- [7] Harris, D.K., Gheitasi, A., Ahlborn, T. *The challenges related to interface bond characterization of ultra-high-performance concrete with implications for bridge rehabilitation practices*. Advances in Civil Engineering Materials, doi:10.1520 / ACEM20140034, 2015.
- [8] Chilwesa, M., Minelli, F., Reggia, A., Plizzari, G. *“Evaluating the shear bond strength between old and new concrete through a new test method”*. Magazine of Concrete Research, Paper 1600327, 2017.

RECUPERAÇÃO E REFORÇO ESTRUTURAL EM ESTEIO DE MADEIRA EM EDIFÍCIO HISTÓRICO.

Adriano Luís de Souza, Mestrando, UFMG – Belo Horizonte, Brasil.

Maurício Torres, Mestrando, UFMG – Belo Horizonte, Brasil.

Paula Silva Sampaio, Mestranda, UFMG – Belo Horizonte, Brasil.

João Paulo C. Rodrigues*, Professor, UFMG – Belo Horizonte, Brasil e UC – Coimbra, Portugal.

Resumo:

O presente estudo tem como objetivo analisar a intervenção estrutural da Igreja Matriz de Nossa Senhora de Córregos. Esta pesquisa se encontra no campo metodológico da pesquisa-ação, no qual foi feito um acompanhamento da execução do processo de restauração da estrutura em madeira de um esteio que é o único remanescente dos originais, uma vez que os demais foram amputados, recebendo prótese de pedra em sua base. A importância da aplicação da técnica de instalação de prótese, apresentada nesse artigo, se dá uma vez que corrobora com o resguardo da técnica construtiva do material e com a proteção e manutenção da originalidade da edificação, por esta ser a única estrutura conectada ao chão ainda existente.

Palavras-chave: Patrimônio cultural, esteio, reforço estrutural

1. IMPORTÂNCIA DA PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO

A preservação de edifícios do patrimônio histórico é de suma importância para a sociedade, uma vez que essas construções representam parte da identidade cultural e histórica de uma região ou país. Esses edifícios são testemunhos vivos do passado, transmitindo informações valiosas sobre a arquitetura, os estilos de vida, as tradições e as técnicas construtivas de determinada época.

Há várias razões pelas quais a preservação desses edifícios é fundamental. Em primeiro lugar, eles são um elo tangível com as gerações anteriores, proporcionando um senso de continuidade e conexão com o passado. Ao conservar essas estruturas, estamos preservando nossa herança cultural para as gerações futuras, permitindo que elas apreciem e aprendam com a história.

Além disso, a preservação do patrimônio histórico contribui para o desenvolvimento do turismo cultural. Muitas pessoas têm interesse em visitar locais históricos, museus e monumentos, o que impulsiona a economia local e promove o intercâmbio cultural entre diferentes regiões e países.

Outro aspecto importante é a valorização estética e ambiental. Os edifícios históricos muitas vezes possuem uma arquitetura única, detalhes ornamentais e materiais de alta qualidade que não são facilmente replicados nos dias de hoje. Ao preservar essas estruturas, estamos

*Autor correspondente – Departamento de Engenharia de Estruturas da Universidade Federal de Minas Gerais. Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha, Belo Horizonte – MG/CEP 31270-901, BRASIL., Telef.: +55 31 999888777. e-mail: jpaolocrod@ufmg.br

mantendo a diversidade e a riqueza do nosso ambiente construído, evitando a homogeneização e a perda de identidade arquitetônica das cidades.

Além disso, a reabilitação de edifícios históricos pode ter um impacto positivo no desenvolvimento sustentável. Em vez de construir novas estruturas, que consomem recursos naturais e energéticos significativos, a reutilização e adaptação de edifícios existentes reduzem a demanda por novas construções.

Por fim, a preservação do patrimônio histórico promove a educação e o conhecimento. Esses edifícios podem servir como espaços educativos, onde as pessoas podem aprender sobre a história, a cultura e as tradições de uma determinada sociedade. É uma responsabilidade coletiva proteger e conservar essas estruturas, garantindo que elas continuem a contar histórias e a inspirar as gerações presentes e futuras.

2. OBJETO DE ESTUDO

A Igreja de Nossa Senhora Aparecida de Córrego, situada em Córregos, Conceição do Mato Dentro, é um importante marco histórico e religioso na região. A igreja é dedicada à Nossa Senhora Aparecida, padroeira do Brasil, e atrai fiéis e visitantes de diversas partes do país.

Construída em um estilo arquitetônico tradicional, a igreja possui características que refletem a cultura e a identidade da comunidade local. Sua localização privilegiada proporciona uma vista deslumbrante da paisagem natural ao redor, tornando-a um local de beleza singular.

A Igreja de Nossa Senhora Aparecida em Córrego, Conceição do Mato Dentro, é um símbolo de fé, cultura e história. Sua presença na paisagem local é valorizada e sua conservação é essencial para garantir que as futuras gerações possam apreciar e se conectar com suas raízes religiosas e culturais.

A edificação tem características da arquitetura luso-brasileira do século XVIII. Sua construção em sistema de gaiola de madeira com fechamento em Adobe ou pau a pique, confeccionados com materiais, como; barro, cal, madeira e pedra, todos extraídos dos terrenos no entorno.

Na construção inicial o edifício se configurava apenas como uma capela, composta apenas pela nave e capela mor, com frontão triangular. Posteriormente sofreu novos acréscimos, como a sacristia laterais e o consistório, a fachada frontal com a torre, ampliando a nave e modificando a fachada da edificação.



Figura 01: Fachada frontal da Igreja de Nossa Senhora Aparecida Fonte: Internet – conhecaminas.com

3. DESCRIÇÃO DAS AÇÕES NA EDIFICAÇÃO

O estudo está baseado na restauração da Igreja Matriz de Nossa Senhora Aparecida, e contém propostas visando o saneamento dos seus problemas de degradação física dos seus elementos e a sua harmonização estética tipológica.

As alterações ocorridas ao longo do tempo, serão mantidas, à exceção da composição cromática dos elementos de madeira, na parte interna, em azul claro e da abertura de uma janela na torre. Também por uma questão estética, algumas intervenções serão readequadas, como o piso cimentado e o embasamento pintado na parte do lavabo na sacristia 6, as soleiras das arcadas da intervenção do século XX, o forro da capela lado evangelho e as emendas dos pisos executados sem observar a tonalidade da madeira e em emendas contínuas.

Para garantir a acessibilidade à Igreja, será construída uma rampa de acesso através da capela lado epístola. Os elementos desgastados pela ação do tempo, das intempéries e de ataques de insetos xilófagos serão objetos de intervenção para o resgate da sua integridade.

Para preservar as bases do monumento será readequado e ampliado o sistema de drenagem. As propostas baseiam-se nos levantamentos e diagnósticos elaborados em trabalhos já realizados anteriormente e nos critérios recomendados pelos documentos que tratam da restauração e conservação para bens de interesse de preservação.

A Igreja será dotada de novas instalações elétricas, para-raio, sistema de proteção contra incêndios, segurança e restauração dos elementos de arte aplicada, conforme projetos

específicos. Para a proteção contra incêndios será necessária a construção de uma caixa d'água subterrânea. O local escolhido foi na pequena praça gramada, aos fundos da Igreja.

Apesar do alto nível de intervenções descritas acima, aquela que terá a real importância neste trabalho serão as ações de cunho estruturais. Aquelas que buscarão dar uma segurança que esta edificação poderá persistir na paisagem de Conceição de Mato Dentro ainda por muitos anos.

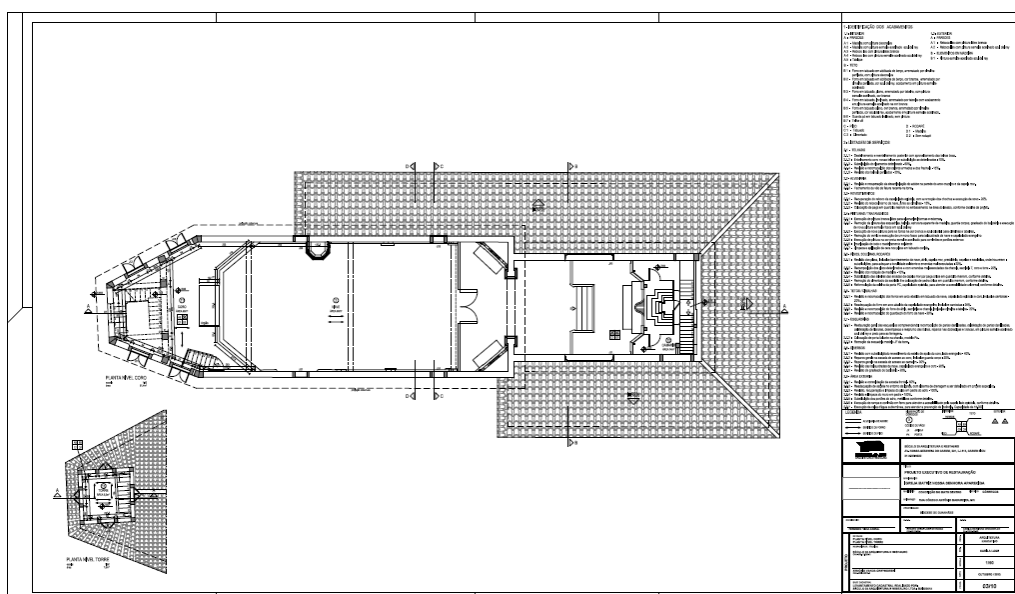


Figura 02: Projeto de restauro da Igreja de Nossa Senhora Aparecida. Fonte: Projeto Século 3D

4. TIPOLOGIA DA ESTRUTURA

Aspecto construtivo comum em edificações históricas, e mais comum ainda em edificações religiosas as estruturas de madeira em igrejas desempenham um papel fundamental na arquitetura e na estabilidade dessas edificações. Muitas igrejas históricas foram construídas com estruturas de madeira devido à disponibilidade regional desse material e à sua facilidade de trabalho.

No contexto das igrejas históricas, a estrutura de madeira pode ser encontrada em elementos como fundações, treliças, vigas, pilares, telhados, assoalhos e até mesmo em elementos decorativos. Essas estruturas foram cuidadosamente projetadas e construídas pelos artesãos e mestres carpinteiros da época, com técnicas e detalhes arquitetônicos específicos.

A madeira utilizada nas igrejas históricas muitas vezes é proveniente de árvores de grande porte e de espécies resistentes e duráveis, como o carvalho ou brauna, mas em outros casos são utilizadas aquelas madeiras mais abundantes da região. Essas madeiras possuem características estruturais que conferem resistência e estabilidade à edificação ao longo dos anos.

É importante ressaltar que, devido à sua natureza orgânica, as estruturas de madeira em igrejas históricas estão sujeitas a patologias e danos ao longo do tempo. Problemas como apodrecimento, infestação de insetos xilófagos e deformações devido à movimentação natural da madeira podem ocorrer.

A preservação e o cuidado com as estruturas de madeira em igrejas históricas são de extrema importância para a conservação do patrimônio cultural. As medidas de preservação devem incluir inspeções regulares, tratamentos de conservação, controle de umidade, reforços estruturais quando necessário e manutenção adequada, como limpeza e restauro.



Figura 03: Foto do restauro da Igreja de Nossa Senhora Aparecida. Fonte: Próprio Autor

5. PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE MADEIRA

As estruturas de madeira estão sujeitas a várias patologias que podem comprometer sua integridade e durabilidade. Algumas das principais causas de patologias em estruturas de madeira incluem:

- **Umidade:** A umidade é uma das principais causas de deterioração em estruturas de madeira. A exposição constante à umidade pode levar ao apodrecimento da madeira, permitindo o crescimento de fungos e bactérias que se alimentam dela. A presença prolongada de umidade também pode causar deformações, rachaduras e enfraquecimento da estrutura.
- **Insetos e organismos xilófagos:** Diversos insetos e organismos xilófagos se alimentam da madeira, causando danos significativos às estruturas. Os cupins, por exemplo, são conhecidos por sua capacidade de destruir madeira, enquanto as brocas de madeira também podem causar danos consideráveis.

- Deficiências no projeto ou na construção: Erros de projeto ou execução inadequada durante a construção podem comprometer a integridade das estruturas de madeira. Dimensionamento inadequado, conexões inadequadas ou uso de materiais de baixa qualidade podem levar a problemas estruturais ao longo do tempo.
- Movimentação e vibração: As estruturas de madeira estão sujeitas a movimentações naturais, como contração e expansão, devido às variações de umidade e temperatura. Se não forem consideradas devidamente durante o projeto e a construção, essas movimentações podem levar a deformações, rachaduras e falhas estruturais.
- Falta de manutenção adequada: A falta de cuidados regulares e de manutenção adequada pode acelerar o processo de deterioração das estruturas de madeira. A falta de tratamento protetor, a ausência de pintura ou verniz, e a falta de inspeções e reparos periódicos podem permitir a entrada de umidade, insetos e outros agentes nocivos, resultando em danos à estrutura ao longo do tempo.

É importante ressaltar que a prevenção e a manutenção adequadas são fundamentais para minimizar as patologias em estruturas de madeira. Inspeções regulares, tratamentos preservativos, controle de umidade, reparos oportunos e o uso de técnicas de construção adequadas são medidas essenciais para garantir a durabilidade e a vida útil dessas estruturas.



Figura 04: Foto do restauro da Igreja de Nossa Senhora Aparecida. Fonte: Próprio Autor

Acima é possível perceber a evidência da ação do intemperismo em uma das estruturas utilizadas como fundação da Igreja de Nossa Senhora Aparecida. É difícil afirmar com precisão

a real motivação da degradação estrutural apresentada, acredita-se que a estrutura culminou a este péssimo estado de conservação pela ação conjunta das causas acima apresentadas.

6. REABILITAÇÃO ESTRUTURAL

Toda a estrutura da igreja passou por uma minuciosa análise de forma a se verificar a possibilidade ou não de reabilitação das peças de madeira existente, sendo estruturais ou não, de forma a dar continuidade na história construtiva, sem, no entanto, trazer algum risco estrutural para a edificação. Algumas peças foram completamente condenadas estruturalmente, sendo necessário à sua total reposição, outras, foi possível a realização de reforços estruturais conforme demonstrado abaixo:



Figura 05: Vistas da estrutura que sofrerá a intervenção. Fonte: Próprio Autor

A estrutura em questão, apresentava uma aparente condição de conservação estrutural, possuindo um aspecto externo visual razoável considerando a idade da edificação e as

condições na qual a mesma se encontrava submetida. Ao se realizar um estudo mais técnico e profundo, foi possível verificar que a mesma possuía o seu interior com avançada deterioração, perdendo consideravelmente área (seção transversal), volumetria e consequente capacidade de resistência estrutural para a qual foi dimensionada.

Sabemos da existência de técnicas específicas para verificação das condições de conservação dos elementos de madeira, tais como:

- Termografia;
- Inspeção por ondas mecânicas;
- Técnicas de resistência ao furo;
 - Perfuração;
 - Penetração;
- Raio-X;
- Ultrassom

No entanto, sabemos ainda que a engenharia de madeiras em solo brasileiro é uma disciplina pouco estudada e difundida no mercado tradicional. Possuindo poucos profissionais com experiência e expertise na área, muitas das vezes as formas de análise das condições de conservação de uma estrutura de madeira se restringe tão somente na análise visual.

A seção transversal de uma estrutura de madeira desempenha um papel crucial em sua resistência e estabilidade. A seção transversal refere-se à forma geométrica da peça de madeira quando vista de lado, incluindo sua largura e altura.

A importância da seção transversal está relacionada à distribuição de cargas e à capacidade de resistir às forças aplicadas à estrutura. Aqui estão alguns pontos chave sobre a importância da seção em uma estrutura de madeira:

- Resistência estrutural: A seção transversal determina a capacidade da peça de madeira em resistir às cargas e forças que atuam sobre ela. Uma seção maior e mais robusta geralmente é capaz de suportar cargas maiores sem deformações excessivas ou falhas estruturais.
- Rigidez: A seção transversal afeta a rigidez da estrutura de madeira. Uma seção com maior área de seção transversal é geralmente mais rígida e menos suscetível a deformações ou flambagem sob cargas aplicadas.
- Durabilidade: A seção transversal também influencia a durabilidade da estrutura de madeira. Uma seção mais ampla e espessa pode fornecer maior proteção contra a entrada de umidade, insetos e outros agentes que podem causar danos à madeira.

Com o objetivo de promover o reestabelecimento da seção transversal da peça estrutural de forma a reabilitar as ações de resistência, rigidez e durabilidade foi proposto a realização de uma prótese complementar de madeira da mesma espécie da madeira ora existente.

O processo consiste na inserção de uma peça de madeira com as mesmas propriedades estruturais da existente, de forma a complementar e preencher o vazio causado pelas ações patológicas, sendo fixada com material epóxi garantindo o preenchimento e fixação da prótese.

Após a completa abertura, limpeza, tratamento contra os agentes bióticos existentes e regularização do vazio destinado ao preenchimento da prótese estrutural, a mesma é inserida no interior da peça existente com a menor folga possível. Após a sua inserção ela deve ser devidamente fixada por adesivos estruturais, grautes apropriados para elementos orgânicos, chapas, barras e parafusos metálicos.

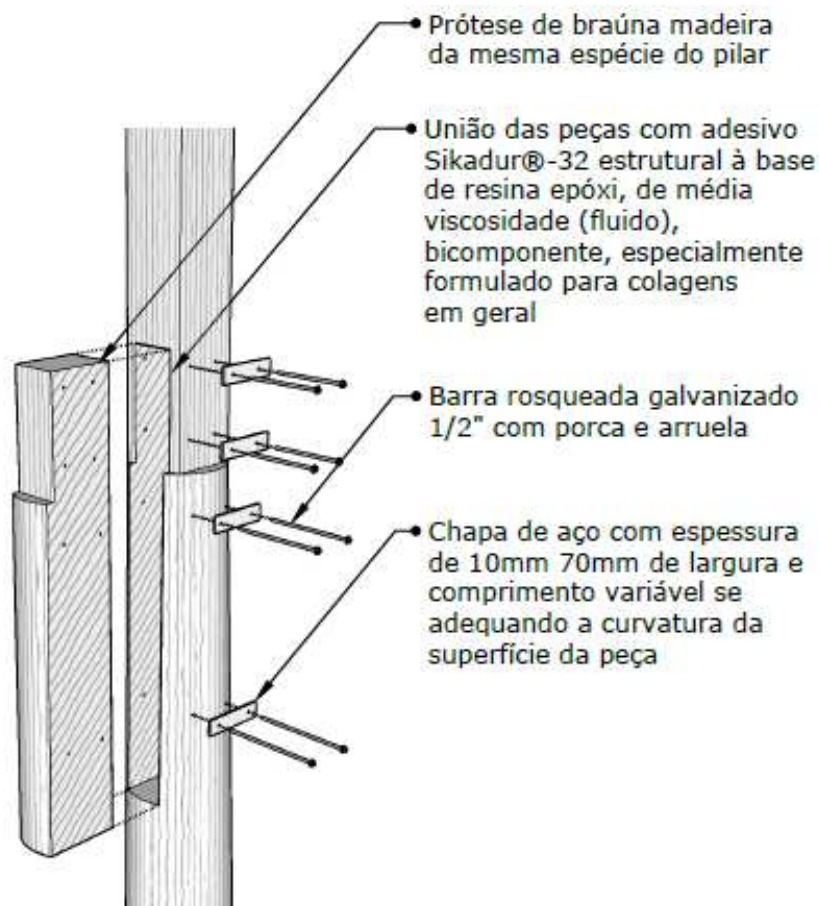


Figura 06: Detalhamento de reabilitação estrutural. Fonte: Projeto de Restauração

Além do tratamento estrutural acima mencionado, toda a estrutura deverá passar por uma minuciosa terapia contra os agentes bióticos. Tal terapia é de fundamental importância para cessar completamente as ações nocivas que estes agentes já se encontram realizando em toda a estrutura. Sendo necessário, portanto:

- Identificação previa das espécies bióticas degradadoras;
- Tratamentos fitossanitários: Térmico x Químico;
- Condições fundamentais dos preservativos (NBR 16143/2013):

- Exercer uma ação tóxica, inibitiva ou repulsiva em relação aos agentes biológicos;
- Possuir uma boa eficácia protetora ao longo do tempo de acordo com as condições de exposição da madeira tratada;
- Possuir uma grande facilidade de impregnação na madeira por procedimento adequado;
- Não alterar as propriedades da madeira;
- Não gerar ação corrosiva nos metais;
- Ser compatível com colas e produtos de acabamento;
- Nível controlado de toxicidade para o homem, animais ou plantas;
- Não aumentar a inflamabilidade da madeira;

7. CONCLUSÃO

A reabilitação de estruturas de madeira em patrimônios históricos desempenha um papel vital na preservação e no cuidado dessas edificações. Ao se restaurar, estamos assegurando que essas estruturas continuem a contar suas histórias e a transmitir sua importância cultural para as gerações futuras.

A reabilitação estrutural das peças de madeira, no processo de restauro desta tipologia arquitetônica, além de garantir sua estabilidade e durabilidade, permite que as edificações históricas se mantenham em condições seguras, evitando o colapso ou danos irreversíveis.

Com esta proposta de recuperação, e não de substituição, se preservar o sistema construtivo, as técnicas de fatura do peças e material original. Elementos fundamentais para a compreensão dos processos de construção de edifícios do passado, que em muitos casos já caíram no esquecimento.

Além disso, a reabilitação de estruturas de madeira em patrimônios históricos preserva a autenticidade e o caráter arquitetônico dessas construções. As técnicas utilizadas na reabilitação são cuidadosamente escolhidas para respeitar a estética original e os materiais tradicionais empregados na construção.

Por fim, o conhecimento técnico especializado na área de restauração e conservação de edifícios, é fundamental na hora da escolha de qual critério será adotado em cada intervenção. Todos os elementos que compõem o edifício histórico, material ou imaterial, deve ser analisado, estudado, compreendido, para que no processo de reabilitação todos os seus vários Valores sejam preservados ou recuperados.

8. REFERÊNCIAS

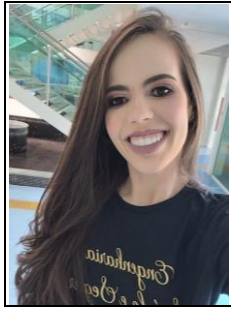
Miotto, J. L.; Dias, A. *Reforço e recuperação de estruturas de madeira* A Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina, v. 27, n. 2, jul./dez. 2006, p. 163-174.

MOREIRA, L. F. N.; CHAHUD, E. Vigas T compostas madeira/concreto. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 8., 2002, Uberlândia. Anais... Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2002. CD-ROM

RODRIGUES, J. P. C.; OLIVEIRA, R. L. G. *Dimensionamento de estruturas em situação de incêndio segundo as normas brasileiras*. 1² ed. São Paulo: Oficina de textos, 2021. 192p.

SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS

**AVALIAÇÃO DO RISCO DE INCÊNDIO NAS EDIFICAÇÕES QUE
COMPÕEM O PATRIMÔNIO CULTURAL EM ITABIRA
- MINAS GERAIS UTILIZANDO A METODOLOGIA DE ANÁLISE GLOBAL
DE RISCO.**



Larissa Peruci
Graduada pela
UNIFEI – Itabira,
Brasil



**Anna Rita Tomich
M. Felipe***
Professora
UNIFEI – Itabira,
Brasil



**Paulo Gustavo von
Krüger**
Professor
UFMG – Belo
Horizonte, Brasil

RESUMO:

O objetivo deste artigo é avaliar cinco patrimônios históricos culturais da cidade de Itabira-MG, com foco na área da engenharia voltada para análise de riscos de incêndios e segurança. O estudo foi desenvolvido, primeiramente, através de visitas técnicas nas edificações consideradas patrimônio histórico da cidade, em seguida foi preenchido um checklist com as observações encontradas e, posteriormente, realizado um estudo semiquantitativo com os dados levantados, a fim de analisar os riscos de incêndio, aplicou a metodologia de análise de risco global de incêndio baseada no método de Gretnener, adaptado para instrução técnica 35 (IT-35) do Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais. Deste modo, dentre os cinco patrimônios históricos analisados, somente um apresenta o coeficiente de segurança superior ou igual à unidade ($\gamma \geq 1$), apresentando situação de segurança em relação ao risco de incêndio. Por fim, foi proposto possíveis medidas de soluções e/ou adequações para garantir a segurança dos patrimônios históricos e de seus ocupantes.

Palavras-chave: Análise Global; Avaliação de Risco; Incêndio; Patrimônio Cultural

*Anna Rita Tomich M. Felipe – Departamento de Ciências Puras e Aplicadas - ICPA. Rua Irmã Ivone Drumond 200, Itabira – MG/CEP 35903-087, BRASIL,. Telef.: +55 31 3839-0806. e-mail: annarita@unifei.edu.br

1. INTRODUÇÃO

Itabira é um município localizado no interior do estado de Minas Gerais, região Sudeste, no quadrilátero Ferrífero, a leste da cidade de Belo Horizonte. A cidade mineira fundada no ano de 1720, conhecida como “Cidade do Ferro” e, também, pelas obras magníficas do poeta Carlos Drummond de Andrade, possui uma população estimada de, aproximadamente, 121.717 habitantes [1]. A cidade possui diversas edificações, dentre elas destaca-se o sobrado onde Drummond morou, sendo hoje um patrimônio dedicado à cultura em forma de construção arquitetônica do século XIX e mantida pela Fundação Cultural Carlos Drummond de Andrade.

Segundo dados da Prefeitura Municipal de Itabira, a cidade possui 162 patrimônios históricos culturais, que compreendem bens imateriais e bens materiais tombados pelo município no ano de 1988. Segundo Alves [2], “Tombamento” significa um ato administrativo que objetiva preservar bens de valor histórico, cultural e/ou arquitetônico. O mesmo não pode ser destruído, e só deve ser alterado mediante autorização do órgão responsável, sendo eles a instância federal (IPHAN) Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional, a instância estadual (IEPHA) Instituto Estadual de Patrimônio Histórico e Artístico de Minas Gerais e a instância municipal, a qual a prefeitura do município é responsável.

O centro histórico de Itabira, tombado pelo decreto nº 2449/1999, é contemplado pela composição das ruas Água Santa, Dr. Alexandre Drummond, Tiradentes e Praça do Centenário. A rua Tiradentes e a Praça do Centenário são, atualmente, as principais referências do centro histórico da cidade, e possuem um grande significado para o meio cultural, social e artístico. Nesses locais, encontram-se edificações antigas, como os casarões e os sobrados de arquitetura colonial mineira, constituindo o patrimônio cultural com bens imateriais tombados pelo COMPHAI (Conselho Municipal do Patrimônio Histórico de Itabira) [3].

Quando falamos de patrimônios culturais, temos que levar em conta a questão que esses são alvos suscetíveis a incêndios, sendo rapidamente consumidos pelo fogo, pois, muitas das vezes, são construídos e revestidos de madeiras, paredes de pau a pique, redes elétricas obsoletas altamente inflamáveis e até mesmo a própria deterioração promovida pela ação do tempo [4]. Antigamente, as edificações históricas eram construídas sem que houvesse planejamento no que diz respeito à questão da prevenção contra incêndio. Assim, as dimensões das portas, escadas, rotas de fuga, instalações elétricas, de gás, dentre outras não eram levadas em conta em sua totalidade [5].

Existem grandes relatos de incêndio em patrimônios históricos culturais no Brasil, prejuízos estes com valores artísticos, históricos, científicos e culturais. Há exemplos de incêndios, como o ocorrido em 2021, na Cinemateca Brasileira, em São Paulo, onde fica parte do acervo do Museu de Artes Modernas. Esse mesmo prédio já possuía episódios anteriores de incêndio, como em 2016, quando mais de 500 obras foram incineradas [6].

Houve, também, o caso do incêndio no prédio do Museu de História Natural da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), incidente no qual as chamas se alastraram pelo telhado. Havia um acervo significativo presente no museu, com mais de 20 mil itens, como coleções científicas e reserva vegetal. Também havia o presépio do Pipiripau, bens móveis, criados no século XX [7].

Em 2018, houve um incêndio no Museu Nacional, no Rio de Janeiro – considerado o maior museu de história natural do Brasil –, que destruiu um acervo com mais de 20 milhões de itens, como fósseis, múmias, livros raros, móveis imperiais, dentre outros. Quase 90% do

acervo do Museu Nacional e da história se perdeu em, aproximadamente, seis horas de chamas [8].

Em 2008, o casarão que funciona como Museu do Tropeiro, em Itabira, foi incendiado. O fogo começou no andar térreo, na sala de artesanato, e se alastrou, destruiu o forro do teto de assoalho, além de todas as peças e móveis do século XVIII que eram mantidos no local [9].

As edificações consideradas patrimônios históricos devem receber vistorias de segurança contra incêndio corriqueiras, visto que tais construções possuem uma grande relevância para a sociedade, com relíquias do passado, como obras, documentações e móveis da antiguidade. Alves (2003) relata que “Igrejas e edifícios públicos de maior porte possuem elementos decorativos insubstituíveis - altares, forros, esculturas - onde não se pode admitir que o fogo sequer comece, já que até mesmo um combate eficaz auxiliaria na destruição das obras de arte [10].”

Desse modo, o presente artigo tem como objetivo destacar a importância em conhecer os patrimônios culturais da cidade de Itabira, além de realizar um prognóstico e avaliar seus riscos de incêndio, por meio da metodologia de análise de risco global do método de Gretener, utilizando a versão adaptada a versão metodológica contida na instrução técnica 35 – IT35 do Corpo de Bombeiro Militar de Minas Gerais (CBMMG), proposta pelo professor Antônio Maria Claret de Gouveia, da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) [11], com o propósito de realizar um levantamento do coeficiente de segurança das edificações. Portanto, as características das edificações foram avaliadas utilizando um checklist de forma semiquantitativa das edificações consideradas patrimônios culturais municipais, decretadas como bens imateriais, próximas à rua Tiradentes, localizada na cidade de Itabira-MG. A escolha foi feita pelo fato de a rua ser um dos patrimônios históricos da cidade, onde possui mais de vinte imóveis e sobrados considerados patrimônios históricos e bens imateriais tombados pelo município. Assim, foram escolhidas cinco edificações, dentre elas o patrimônio histórico que é a Casa de Drummond, local que possui grande importância para a cidade onde o poeta residiu.

2. METODOLOGIA

O presente estudo apresentou um modelo de pesquisa descritiva (estudos de casos), com visitas técnicas aos patrimônios históricos culturais, com o objetivo de coletar dados e informações para preenchimento do checklist e realização da análise. Segundo Oliveira [10] [12], a pesquisa descritiva é abrangente e possibilita uma análise aprofundada do problema de pesquisa em questão, diante dos aspectos econômicos, sociais e políticos, e das percepções de diferentes grupos, frente a diversos tópicos.

Segundo a Norma [13] AS/NZS 4360, a análise semi qualitativa visa atribuir valores numéricos aos fatores observados na análise qualitativa, de modo que os valores não necessariamente correspondam à intensidade das consequências ou de suas probabilidades. Assim, foi realizada, também, uma pesquisa semi qualitativa /quanti-qualitativa/ qualitativa, na visão de Creswell e Clark, que estão mais voltadas para as ciências sociais. Nesse intuito, o estudo aborda elementos de orientação subjetiva e objetiva no tratamento de dados [14].

Assim, a pesquisa foi realizada de forma semi qualitativa, fato que permitiu qualificação abrangente de dados, percepção no dia a dia e possível avaliação da qualidade das informações catalogadas e adquiridas, partindo de um pressuposto: os cálculos do coeficiente de segurança das edificações que serão apresentados nos resultados deste artigo.

A priori, foi realizada uma ampla revisão bibliográfica sobre incêndios em patrimônio cultural. Para o diagnóstico, foi realizado um estudo de campo no qual foi possível fazer o levantamento dos dados atuais das edificações que constituem o patrimônio cultural e dos sistemas de prevenção e combate a incêndio dessa instituição. Também foi utilizado um checklist de pesquisas anteriores desenvolvidas pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). A utilização serviu para auxiliar na pesquisa das características referentes aos patrimônios culturais analisados, bem como o risco de incêndio nas edificações.

Deste modo, foi utilizada a metodologia da análise global de risco, desenvolvida a partir do método de Gretener (Kaiser, 1979/80) [15]. A sistematização adotada foi a versão da metodologia contida na Instrução Técnica 35, do Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais (CBMMG), que foi adaptada pelo professor Antônio Maria Claret de Gouveia da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) [16].

Portanto, foi possível observar as edificações e extrair informações necessárias para obtenção dos resultados, para assim considerar a segurança das edificações patrimoniais contra o risco de incêndio.

2.1 Amostra

Dentre os patrimônios da cidade, foram selecionados para estudos um conjunto de patrimônios culturais públicos, próximos à rua Tiradentes, sendo cinco patrimônios os quais foram feitas análises de dados, conforme prevê o método da Análise Global de Risco, adaptada pelo professor Antônio Maria Claret de Gouveia.

Desse modo, com o auxílio da documentação (Quadro ILA- Inventário de proteção do Patrimônio Cultural), cedida pela prefeitura da cidade de Itabira-MG, foi possível localizar cada edificação/sobrado considerado patrimônio histórico-cultural tombado pelo município.

A primeira edificação analisada foi a casa onde Carlos Drummond nasceu e morou durante onze anos da vida. Segundo a FCCDA [17], a casa foi construída com trinta e dois cômodos no século XIX, pelo seu bisavô, foi tombada pelo município como patrimônio histórico em 1988 e, hoje, é considerada um museu histórico, ao qual apresenta estrutura antiga, feita de madeira no estilo colonial. A edificação também possui alguns acervos fotográficos da época em bons estados de conservação, outros já degradados pelo tempo.

O Centro Itabirano de Artesanato foi inaugurado em 4 de julho de 1987, tombado pelo município como patrimônio histórico em 1988. O local, hoje, apresenta adequações em suas estruturas e funciona como um comércio de artefatos decorativos produzidos pelos membros da Associação Itabirana de Artistas de Artesãos (AIAA).

O Museu de Itabira, construído no início do século XIX, possui base de granito e hematita, com paredes de madeiras e vedação de pau a pique, o qual já foi utilizado como Casa da Câmara da cidade e antiga cadeia, em 1837. Somente em 1971, por meio da Lei Estadual nº5664, foi criado o Museu do Ferro em Itabira, e, em 1988, a edificação foi tombada pelo município como patrimônio histórico da cidade [18].

A Igreja Nossa Senhora do Rosário foi construída no final do século XVIII, com estrutura feita toda de madeira e vedada com barro, o piso é feito de campá (pedra que cobre sepultura) onde, no passado, foram enterrados negros, escravos e padres. A construção foi tombada em 1949 pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (Iphan), Processo nº 338-T, como patrimônio federal, devido à sua importância histórica, porém passou por uma reforma e foi reinaugurada em 2017.

A casa paroquial Monsenhor José Lopes dos Santos, localizada no centro histórico da cidade, possui dois pavimentos e um subsolo. Além disso, foi tombada pelo município como patrimônio histórico no ano de 1988. Foi reformada dez anos depois, no dia 09 de outubro de 1998, pela prefeitura e com o apoio de uma grande mineradora da cidade. Hoje, a edificação é uma residência de cinco sacerdotes e possui um funcionário em horário comercial.

2.2 Método análise global de risco

Para realizar este trabalho, adotou-se da versão da metodologia contida na Instrução Técnica 35 do Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais (CBMMG), cuja foi adaptada pelo professor Antônio Maria Claret de Gouveia da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), [11].

Assim, esta metodologia consiste em medir a segurança contra incêndio diante de doze (12) fatores descritos nesta instrução técnica, como por exemplo rotas de fuga, sinalização, hidrantes e entre outros [11].

O Método análise global de risco de incêndio proposto por Gouveia (2006), permite o equilíbrio nos fatores que dificultam a ocorrência de incêndio e os que permitem este fenômeno.

Para a realização deste método, foi usada diversas etapas que permitem identificar certos parâmetros e fatores que proporcionam os cálculos da análise global do risco de incêndio.

Os parâmetros são classificados em categorias: tipo de ocupação, característica da carga de incêndio; características construtivas; e por fim mas não menos importante, as políticas de preservação para todo o conjunto da edificação.

Também é analisada a densidade da carga de incêndio, altura do compartimento, distância da edificação em relação ao Corpo de Bombeiros mais próxima, condições de acesso à edificação, analisando uma ou mais fachadas; perigo de generalização, analisando elementos construtivos da edificação; importância específica da edificação, sendo patrimônio histórico da humanidade, tombado pela União, Estado ou Município.

Segurança contra incêndio (s) é a grandeza determinística que avalia o peso total dos parâmetros que dificultam a ocorrência de um incêndio em uma edificação ou conjunto de edificações [11]. Sendo assim, leva em consideração a medida e fatores de segurança que dificultam a propagação do incêndio: medidas sinalizadoras, medidas extintivas, medidas de infraestrutura, medidas estruturais e medidas políticas.

Já o risco de ativação (A) mensura a probabilidade da ação humana provoque um início de incêndio. E são classificados como: riscos decorrentes diretamente da atividade humana, riscos decorrentes das instalações elétricas e de gás e riscos devidos a fenômenos naturais. Além disso, os riscos podem ser obtidos de acordo com a ocupação da edificação, previsto no Anexo I do Decreto 43.805/2004 do Governo do Estado de Minas Gerais.

Por fim, é calculado o risco global de incêndio (R), é obtido pelo produto da exposição ao risco

de incêndio (E) entre o risco de ativação(A), exemplificada pela equação a seguir:

$$R = E.A$$

Encontrando o risco global de incêndio, calcula-se o coeficiente de segurança contra incêndio (γ), o qual é determinado da divisão das grandezas probabilísticas da segurança contra incêndio (S), pelo do risco global de incêndio (R), demonstrado na equação a seguir:

$$\gamma = \frac{S}{R}$$

Tendo o coeficiente de segurança superior ou igual a um ($\gamma \geq 1$), a edificação apresenta segura mediante ao fator de segurança. Contudo, o coeficiente de segurança seja inferior a um ($\gamma \leq 1$), a edificação requer novas medidas de prevenção para segurança contra incêndio.

3. RESULTADOS

Após as visitas técnicas para coletar as informações nas delimitações da amostra estudada, foi possível realizar a análise do risco de incêndio, através dos cálculos proposto pela análise de risco global de incêndio adaptado para a instrução técnica número 35 do CBMMG (Segurança contra incêndio em edificações históricas).

Um fator relevante em todos os cálculos é a questão da distância média em quilômetros e a rota do deslocamento em caso de sinistros em qualquer um dos patrimônios históricos estudados neste artigo. As edificações estudadas se concentram na mesma região, o centro histórico da cidade de Itabira, segundo a IT-35, do CBMMG, as edificações são consideradas próximas à sede do Corpo de Bombeiro Militar do município, com aproximadamente 3,7 km de distância, tempo médio de deslocamento de 12 minutos.

Os valores encontrados na avaliação do risco de Incêndio das cinco edificações analisadas foram distribuída na tabela 1 - Avaliação do risco de incêndio.

AVALIAÇÃO DO RISCO DE INCÊNDIO

EXPOSIÇÃO AO RISCO DE INCÊNDIO

Casa de Drummond	Centro Itabirano de Artesanato	Museu Itabira	de Igreja do Rosário	Casa Paroquial
(f)	(f)	(f)	(f)	(f)

Características construtivas (f1)	V	2	V	2	Q	1	Q	1	V	2
(f2) Grandeza da carga Incêndio	300 ≤ q < 400	1,2	300 ≤ q < 400	1,2	300 ≤ q < 400	1,2	200 ≤ q < 300	1,1	300 ≤ q < 400	1,2
(f3) Posição da carga de incêndio		2,3		1,5		1		1,3		2,3
Distância do Corpo de Bombeiros (f4)	Próx. 1 < D ≤ 6	1,2 5	Próx. 1 < D ≤ 6	1,2 5	Próx. 1 < D ≤ 6	1,2 5	Prx. 1 < D ≤ 6	1,2 5	Próx. 1 < D ≤ 6	1,25
Facilidade do acesso à edificação (f5)	Muito difícil	1,9	Muito difícil	1,9	Muito difícil	1,9	Muito Difícil	1,9	Muito difícil	1,9

RISCO DE ATIVAÇÃO

Casa Drummond	de	Centro Itabirano de Artesanato	Museu Itabira	de	Igreja do Rosário	do	Casa Paroquial
---------------	----	--------------------------------	---------------	----	-------------------	----	----------------

Natureza da ocupação	F-1 a F-11, exceto grupos anteriores	1,12	C; Comércio e centros de compras	1,5	F-1 a F-11, exceto grupos anteriores	1,12	F-1 a F-11, exceto grupos anteriores	1,12	A; Habitações unifamiliares e coletivas	1,25
Falha humana	Usuários não treinados	1,75	Usuários não treinados	1,75	Usuários não treinados	1,75	Usuários não treinados	1,75	Usuários treinados a cada 2 anos	1,25
Qualidade das instalações elétricas e instalações de gás	Instalação não projetada segundo as normas técnicas aplicáveis	1,5	Instalação não projetada segundo as normas técnicas aplicáveis	1,5	Instalação Projetada e executada; 2) uso inadequado (extensões sem projeto) e manutenção irregular	1,25	N/A	1,5	Instalação não projetada segundo as normas técnicas aplicáveis	1,5

FATORES DE SEGURANÇA

	Casa de Drummond (S)		Centro Artesanatos Itabirano de (S)		Museu de Itabira (S)		Igreja do Rosário (S)		Casa Paroquial	
Sinalizadores do incêndio	Alarme de incêndio com acionamento manual	1,5	Alarme de incêndio com acionamento manual	1,5	Detector de incêndio	2	N/A	1,5	Alarme de incêndio com acionamento manual	1,5

Medidas extintivas	Aparelho extintor	1,5	Aparelho extintor	1,5	Aparelho extintor	1,5	N/A	1,5	Aparelho extintor	1,5
Medidas de infraestrutura	Reserva de água	2	Reserva de água	2	Reserva de água	2	N/A	2	Reserva de água	2
Medidas estruturais - resistência da estrutura ao fogo (min)	≥ 30	1,25	≥ 30	1,25	≥ 60	2	≥ 30	1,25	≥ 60	2
Medidas acessórias	Sinalização das saídas de emergência e rotas de fuga	1,2	Planta de risco	1,1	Sinalização das saídas de emergência e rotas de fuga	1,2	N/A	1,1	Planta de risco	1,1

Tabela 1: Avaliação do risco de incêndio.

Fonte: Autoria própria com base na instrução técnica 35, CBMMG.

Em síntese, dentre as cinco edificações, quatro delas se encontram abaixo do coeficiente de segurança proposto pela norma $\gamma \geq 1$. Ou seja, não apresenta seguro contra incêndio, carecendo de melhorias para os possíveis riscos de combustão. Visto somente na Igreja do Rosário não foi possível o acesso do AVCB (Auto de Vistoria do Corpo de Bombeiros), todas as demais foram vistoriadas e liberadas pelo CBMMG.

O valor referente aos cálculos realizados após a análise de risco de incêndio será relatado a seguir diante de cada patrimônio público analisado.

3.1 Casa de Drummond

Atualmente, a Casa de Drummond é um museu aberto à visitação, composto por dois andares e um pomar ao fundo. A construção apresenta um pé direito de 3,61 metros, móveis e piso de madeira, além de algumas paredes de pau a pique revestidas de barro. Por ser um museu, segundo a IT-09 (Carga de Incêndio nas edificações e espaços destinados a uso coletivo), a carga de incêndio do local é equivalente a 300 /m². A mesma edificação possui somente uma saída de acesso para a rua principal, conta com placas de sinalização e aparelhos extintores. Segundo os cálculos referente à carga de incêndio da IT 35, a edificação não se encontra segura mediante ao fator de incêndio, pois, após os cálculos, o coeficiente de segurança da edificação encontrado é $\gamma = 0,26$.

A casa tem grande relevância para a história e para a população, nela encontram-se, por exemplo, alguns documentos originais do século XIX, porém carece de medidas de segurança contra o risco de incêndio. Sendo assim uma alternativa para a proposta de solução seria treinar os funcionários da casa pelo menos uma vez por ano, implantar detector de fumaça e plano de abandono, e capacitar/treinar os usuários para uma brigada de incêndio durante o funcionamento, esses são alguns exemplos de medidas rentáveis e efetivas para a edificação alcançar o coeficiente de segurança igual ou superior a um.

3.2 Centro Itabirano de Artesanato

O Centro Itabira de Artesanato funciona como um comércio de souvenirs. Segundo a IT-09 – Carga de Incêndio nas edificações e espaços destinados a uso coletivo, a carga de incêndio do local é equivalente a 300 MJ/m², apresenta um pé direito de 4,00 metros, composto por um pavimento e, também, o sótão onde acesso não foi possível, apesar de ser uma das áreas mais perigosas da edificação. A construção apresenta um ramo comercial, com piso de taco de madeira e paredes reformadas de alvenaria, possui somente uma saída para a rua principal e possui placas de sinalização. Segundo os cálculos referente a carga de incêndio da IT 35, a edificação não se encontra segura mediante ao fator de incêndio, pois após os cálculos o coeficiente de segurança da edificação encontrado é de $\gamma = 0,28$,

A edificação possui grande valor à cultura Itabira e aos artesãos da cidade, já que lá é um local onde são comercializados produtos feitos manualmente que retratam a história dos indivíduos. A edificação carece de algumas propostas de melhoria, dentre elas destaca-se o controle de materiais de acabamento e de revestimento, o qual alcançaria um coeficiente de segurança de 1,50, tornando-se, assim, um imóvel que dificulta significativamente a propagação de um incêndio. Além dos usuários serem treinados periodicamente.

3.3 Museu de Itabira

O Museu de Itabira ou Museu do ferro, segundo a IT-09– Carga de Incêndio nas edificações e espaços destinados a uso coletivo, possui uma carga de incêndio equivalente a 300 MJ/m², com pé direito de 4,50m, composto por dois andares e um subsolo de 2,5 metros de altura. A edificação possui piso de madeira, é dotada de passagens estreitas nas laterais e uma rua de acesso principal à frente, além de um chafariz ao fundo de acesso à uma segunda passagem. De acordo, com os cálculos referentes à carga de incêndio da IT 35, a edificação se encontra

segura mediante ao fator de incêndio, já que o coeficiente de segurança da edificação encontrado foi de $\gamma = 2,01$.

O museu já apresenta condições mínimas aceitáveis para a proteção contra incêndio, mas reforçar a segurança é uma alternativa bastante válida. Sendo assim, por ser um local que recebe muitos visitantes, os usuários da edificação deveriam ser treinados ao menos uma vez por ano mediante as falhas humanas, para garantir não só a própria segurança, mas também de todos presentes na edificação.

3.4 Igreja Nossa Senhora do Rosário

A Igreja Nossa Senhora do Rosário, local destinado ao uso coletivo, apresenta uma carga de incêndio equivalente a 200 MJ/m² segundo IT-09 – Carga de Incêndio nas edificações e espaços destinados a uso coletivo. Apresenta um pé direito de 8,48m, pisos, escadas e pilares de madeira. Segundo os cálculos referente a carga de incêndio da IT 35, a edificação não se encontra segura mediante ao fator de incêndio, o coeficiente de segurança da edificação encontrado foi de $\gamma = 0,73$.

A igreja possui obras barrocas e rococó, passou por uma reforma para ser reaberta ao público, mas carece de algumas medidas de segurança, como por exemplo um sistema de hidrantes externo com abastecimento por meio de reservatórios particular ou comunitário, o que facilitaria rapidamente o combate a incêndio, devido a edificação possuir grande parte de madeira o que facilita a propagação do fogo, além de usuários treinados, o que elevaria coeficiente de segurança para 2,54.

3.5 Casa Paroquial

A Casa Paroquial não é aberta à visitação e requer um agendamento para visitar o local, pois a construção funciona como residência dos sacerdotes. Assim, segundo a IT-09– (Carga de Incêndio nas edificações), a Casa Paroquial se enquadrada como habitação unifamiliar, apresenta uma carga de incêndio de 300 MJ/m², pé direito de 3,98 m, com pisos e janelas de madeira. Segundo os cálculos referentes à carga de incêndio da IT 35, o local não se encontra seguro mediante ao fator de incêndio, visto que o coeficiente de segurança obtido possui o seguinte valor $\gamma = 0,40$.

Como proposta de solução para um maior coeficiente de segurança, os usuários da casa devem ser treinados pelo menos uma vez ao ano. Ademais, apesar de não ser uma exigência na legislação, é interessante a casa possuir detector de incêndio, visto a dimensão da edificação, além de medidas de acessórios, como controle de materiais, acabamentos e revestimentos, o que elevaria o coeficiente de segurança para 2,93.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho visa analisar a segurança contra incêndio em patrimônios culturais na cidade de Itabira-MG, por meio do método de Análise de Risco Global de Incêndio, proposto pelo professor Antônio Maria Claret Gouveia, referente à segurança da edificação, conforme usado na instrução técnica 35 (IT-35) do Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais (CBMMG).

Foi possível analisar que dentre as cinco edificações estudadas, somente o Museu de Itabira

apresenta um coeficiente de segurança ($\gamma \geq 1$).

Em suma, os patrimônios históricos têm grande importância. Assim sendo, essas edificações carecem de uma maior atenção no quesito segurança, pelo fato de possuírem ampla importância cultural para a história não só do município, mas, também, da federação, além de manter diversos acervos históricos.

Dessa maneira, uma possível proposta de intervenção é implantar uma medida de segurança presente em cada tipo exposto, assim como alcançar o valor mínimo necessário do coeficiente de segurança, que deve ser igual ou superior a um, ou seja, seguro diante da metodologia estudada.

Ademais, a engenharia de incêndio preza não só pela segurança das edificações, mas também a preservação de todos os ocupantes e visitantes. Desse modo, foi possível analisar que as medidas de segurança em quatro das cinco edificações analisadas são insuficientes para manter a segurança contra incêndio. Assim, os patrimônios históricos requerem a implementação de novas medidas de segurança, a fim de reduzir os riscos de incêndio [22].

O treinamento constante do indivíduo presente nas edificações também se faz imprescindível, sendo essa uma das primeiras medidas de segurança. Pois, na maioria das vezes, o pânico das pessoas ao tentar se salvar e/ou salvar os demais pode ocasionar um número maior de vítimas.

É notório, a necessidade de uma revisão na norma e instrução técnica -35, visto que são necessários novos parâmetros para enquadrar todas as edificações nos fatores de segurança contra incêndio, dado que a norma parte do pressuposto de que os imóveis terão, pelo menos, o mínimo exigido. Um bom exemplo é o alarme de incêndio, sendo que, a maioria das estruturas analisadas não dispõe nem do mínimo exigido pela norma, o que torna a avaliação moderadamente problemática, pois não se enquadram na opção contida, tendo que partir de uma suposição.

Outra questão bastante similar está na Tabela 11D da IT35 –“Medidas estruturais e fatores de segurança”, cujo a resistência ao fogo já inicia a classificação em $\geq 30 \text{ min}$, mas, analisando, uma edificação a qual não possui extintor de incêndio, hidrantes, reservas de água e estrutura completamente feita de madeira, não terá resistência alguma ao fogo, sendo cabíveis, assim, medidas de melhoria de segurança, para futuras normas e instruções técnicas, tornando necessário a adoção de novos fatores de segurança.

Por tudo isso, mesmo quatro das cinco edificações analisadas possuírem o AVCB (Auto de Vistoria do Corpo de Bombeiros) somente uma edificação apresenta “segura”, o que demonstra incoerência entre a norma e a metodologia de análise global de risco. Sendo assim, é de fundamental importância utilizar outras metodologias de análise de risco a fim de comparar os resultados para se ter uma melhor resposta ao estudo e também é importante considerar a norma de desempenho, que visa analisar cada edificação na sua particularidade, na sua situação específica/real. Já que a primeira preocupação que a norma aborda é a segurança pela integridade física dos ocupantes e a segurança da edificação.

REFERÊNCIAS

- [1] IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2017). População estimada 2021. v4.6.23.3. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/itabira.html>. Acesso em: 05 Set. 2022.
- [2] ALVES, A. F. A. (2008). O Tombamento como Instrumento de Proteção ao Patrimônio Cultural. *Revista Brasileira De Estudos Políticos*, 98, 65-98. <https://pos.direito.ufmg.br/rbep/index.php/rbep/article/view/69> . DOI: 10.9732/69 Acesso em: 04 Jul. 2022.
- [3] LUCENA.C.C; BARROS.C; SOSTER.S.S. Quem somos | Ipatrimônio. (n.d.). Retrieved from <http://www.ipatrimonio.org/itabira-centro-historico-de-itabira#!/map=38329&loc=-19.55728291060387,-43.24785232543945,11>
- [4] KRUGER, P. G. V.; SILVA; FELLIPE, A. R. T. M.; LASMAR, E. E. et al.; (2021). Uma Avaliação do Risco de Incêndio na Cidade Histórica de Ouro Preto com base em Quatro Metodologias de Análise Estabelecidas. *Global Journal Of Human-Social Science Research*,. doi:10.34257/GJHSSBVOL21IS4PG1
- [5] POLLUM, J. (2016). A segurança contra incêndio em edificações históricas. Dissertação. Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 331f.
- [6] G1 (2021). Bombeiros controlam incêndio em galpão da Cinemateca Brasileira na Vila Leopoldina, Zona Oeste de SP. G1. Globo, São Paulo. (n.d.) <https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2021/07/29/incendio-atinge-galpao-da-cinemateca-brasileira-na-vila-leopoldina-zona-oeste-de-sp.ghtml>
- [7] G1 (2020). Prédio do Museu de História Natural da UFMG pega fogo em BH. G1. Globo, Minas.(n.d). <https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2020/06/15/predio-do-museu-de-historia-natural-da-ufmg-pega-fogo-em-bh.ghtml>
- [8] G1 (2018). O que se sabe sobre o incêndio no Museu Nacional, no Rio. G1. Globo, Rio de Janeiro. (n.d) <https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/2018/09/04/o-que-se-sabe-sobre-o-incendio-no-museu-nacional-no-rio.ghtml>
- [9] SILVA, A. (2013). Incêndio em museu destrói acervo do século XVIII. O Tempo, 5 out. 2008. <https://www.otempo.com.br/cidades/incendio-em-museu-destroi-acervo-do-seculo-xviii-1.280809>. Acesso em: 10 jul. 2022.
- [10] ALVES, R. M. (2003). Análise de risco de incêndios em edificações em Sítios Históricos. Dissertação. Departamento de Engenharia Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto.
- [11] CBMMG (Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais) (2018). Instrução Técnica no 35: Segurança contra incêndio em edificações que compõem o Patrimônio Cultural. 2.ed. 2018. Acesso em: 01 Out. 2022.

[12] OLIVEIRA, A. (2010). A descoberta que mudou a humanidade. **Ciência Hoje**, [S. l.], 16 jul. 2010. Disponível em: <https://cienciahoje.org.br/coluna/a-descoberta-que-mudou-a-humanidade/>. Acesso em: 28 out. 2022.

[13] AS/NZS 4360:2004. (2004). Gestão de riscos: a norma 2. ed. [São Paulo]: Risk Tecnologia Editora.

[14] COSTA, C. F.; MAGALHAES, A. R. T; SILVA, P. (2020). Proteção contra incêndio na educação infantil: aplicação de metodologias ativas em pesquisa-ação. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 9, e953998221, 2020 (CC BY 4.0) | ISSN 2525-3409 | DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i9.8221>.

[15] SILVA, V. P.; COELHO FILHO, H. S. (2007). Índice de Segurança contra Incêndio para Edificações. *Ambiente Construído*. Porto Alegre, v.7, n.4, p. 103-121.

[16] GOUVEIA, A. M. C. (2006). Análise de Risco de Incêndio em Sítios Históricos. IPHAN / Programa Monumenta. Brasília. Acesso em: 26 set. 2022.

[17] FCCDA (2022). Sobre a casa de Drummond. Fundação Cultural Carlos Drummond Andrade. <https://fccda.com.br/novo/casa-de-drummond/>. Acesso em: 08 Dez. 2022.

[18] ALVES, V. L. (2022). Expansão do Museu de Itabira e do ferro: Memórias, Ressignificação, Identidade e Integração. <https://issuu.com/vitorleitealves> Acesso em: 08 Dez. 2022.

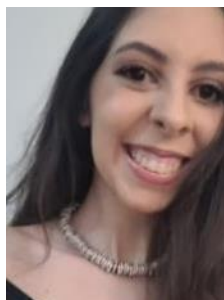
[19] CLARET de GOUVEIA, A. M. (2017). Introdução à Engenharia de Incêndio: para estudantes, arquitetos, engenheiros, administradores e bombeiros. Belo Horizonte. 3.ed.

[20] SILVA, V. P.; COELHO FILHO, H. S. (2007). Índice de Segurança contra Incêndio para Edificações. *Ambiente Construído*. Porto Alegre, v.7, n.4, p. 103-121.

[21] CLARET de GOUVEIA, A. M. (2017). Introdução à Engenharia de Incêndio: para estudantes, arquitetos, engenheiros, administradores e bombeiros. Belo Horizonte. 3.ed.

[22] MINERVINO, B. (2010). Disponível em analisederiscodeincendio.com.br/metodo-gretnener/. Acesso em: 08 set. 2022.

PROTEÇÃO AO FOGO DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS DE EDIFÍCIOS INDUSTRIAIS EM ZONAS DE INTERFACE URBANO - FLORESTAL



**Maria Luiza Calderaro
Moreira***
Mestranda
UFMG – Belo Horizonte,
Brasil



**João Paulo C.
Rodrigues**
Professor
UFMG – Belo
Horizonte,
Brasil e UC – Coimbra,
Portugal



Deives de Paula
*Universidade de
Coimbra, CERIS,
Itecons, Portugal*

Resumo:

Este artigo apresenta um estudo sobre o comportamento ao fogo de sistemas construtivos de paredes de fachada e coberturas de edifícios industriais em situação de incêndio. Mediante à revisão bibliográfica de trabalhos referentes a estudos de caso e ensaios experimentais, avaliaram-se os principais sistemas construtivos e materiais de revestimento acerca de seu comportamento ao fogo. A relevância do tema é fundamentada em minimizar a propagação do incêndio, bem como dificultar à entrada para o interior da edificação. Os resultados apontam o potencial inflamável de materiais como polietileno e poliuretano, que tiveram ampla utilização por vantagens econômicas e energéticas, mas que estão não-conformes às normatizações atuais existentes em um contexto mundial. Em contrapartida, painéis sanduíche com núcleo interno com material retardante às chamas apresenta comportamento adequado. Em síntese, o estudo enfatiza que a escolha dos revestimentos, consoante às classes de reação ao fogo estabelecidas por diversos países, auxilia na segurança da edificação.

Palavras-chave: industrial; comportamento ao fogo; fachada; cobertura.

*Autor correspondente – Departamento de Engenharia de Estruturas da Universidade Federal de Minas Gerais. Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha, Belo Horizonte – MG/CEP 31270-901, BRASIL. Telef.: +55 32 99100-4008. e-mail: marialuizacalderaro@ufmg.br

1. INTRODUÇÃO

Os edifícios industriais, que estão localizados em áreas distantes dos centros urbanos, estão, frequentemente, próximos às áreas florestais e sujeitos a incêndios de interface urbano florestal (WUI — *Wildland-Urban Interface*), que ocorrem na região de encontro entre a área de desenvolvimento urbano e o combustível florestal [1].

Thomas et al. [2] salienta a influência do clima, topografia e cobertura do solo como intervenientes desses incêndios. Tais pontos, por sua vez, têm influência direta no combustível vegetal e podem interferir na velocidade de propagação das chamas.

Todavia, a ação antropológica tem se destacado como um ponto de atenção no que concerne aos incêndios em zonas de interface (WUI). E, em vista disso, o desmatamento, o desenvolvimento urbano, a supressão do incêndio e as mudanças climáticas têm sido apontados como motivadores e acentuadores dos incêndios recentes [3].

Os incêndios na *Wildland-Urban Interface*, possuem grande impacto em diversas esferas, tais como ambientais, sociais e econômicas. De uma forma ampla, os custos e perdas originadas de incêndios na interface urbano-florestal são apontadas como perdas diretas, sejam elas humanas ou à estrutura e perdas indiretas, seja interrupções na atividade ou impactos ambientais [2]. Em especial estruturas industriais, o incêndio pode prejudicar a *supply chain*, comprometendo a produção.

Entretanto, na análise de riscos de uma região, enumerados por [1], avalia-se apenas os seguintes parâmetros, denominados por [4] como variáveis biofísicas, tais como:

1. Potencial comportamento ao fogo (Ex.: tipo e distribuição do combustível, inclinação do terreno e ventos predominantes).
2. Risco (Ex.: Estruturas, bacias hidrográficas e patrimônio histórico-cultural)
3. Infraestrutura (Ex.: Acesso a estradas, abastecimento de água e capacidade de combate aos incêndios)

Em um histórico, os incêndios florestais têm grande potencial destrutivo às estruturas. Como exemplos, o incêndio em Pedrógão Grande, em Portugal (2017), Camp Fire, nos Estados Unidos (2018) [5]. Em específico, em Portugal foram atingidas 521 empresas, com prejuízo estimado de 275 milhões de euros [6].

Em função dessa ocorrência, Guerreiro J. et al. [6] apresenta recomendações ao nível das empresas para minimização dos potenciais danos à propriedade. Entre eles, evitar o depósito de materiais inflamáveis próximos à fachada e priorizar a utilização de materiais de baixa inflamabilidade no exterior.

Consoante ao exposto, destaca-se a relevância do estudo de edifícios industriais submetidos ao incêndio de interface urbano-florestal. E, nesse sentido, esse trabalho visa apresentar as principais soluções construtivas para paredes de fachadas e coberturas, no que diz respeito ao comportamento ao fogo das mesmas.

2. COMPORTAMENTO AO FOGO DE PAREDES DE FACHADA

No que tange às edificações, as paredes de fachada possuem grande responsabilidade na proteção contra as ações externas. Em casos recentes, pode-se atestar a relevância deste elemento construtivo em situação de incêndio. No incêndio ocorrido no Grenfell Tower, a utilização de revestimentos combustíveis na fachada contribuiu para a rápida propagação das chamas pela edificação [7]. Tal tragédia trouxe maior atenção à contribuição deste elemento durante o incêndio e fomentou estudos para a caracterização e melhor entendimento do comportamento ao fogo das paredes de fachada e dos revestimentos utilizados.

Em vista disso, em função das propriedades térmicas e inflamabilidade do material de revestimento da fachada, destaca-se o potencial de contribuição do elemento ao incêndio, podendo ativamente alimentá-lo ou também permitir entrada das chamas para o interior da edificação [8], [9].

Em um estudo realizado por Lopes et al. [10], foram avaliados os danos sofridos por edifícios industriais após os incêndios florestais de 2017, em Portugal. A partir da análise dos materiais de revestimento das fachadas das edificações afetadas, os autores concluíram que:

- 44,9% das edificações havia uma parede de 2 metros de alvenaria, seguida de revestimento em chapas metálicas (*single steel sheeting*);
- 34,8% das edificações possuíam fachadas em blocos cerâmicos ou de concreto não-estrutural em toda a altura;
- 10,3% possuíam aberturas.
- 7,4% possuíam apenas chapas metálicas (*single steel sheeting*);
- 2,5% possuíam uma parede de 2 metros de alvenaria, seguida de painéis sanduíche com núcleo central de poliuretano (PUR);

A partir da análise de danos pós-incêndio, nas edificações com paredes de fachada em alvenaria foram constatadas trincas e colapso local dos blocos cerâmicos, provocada pelo aumento de tensões de origem térmica. Nos casos com blocos de concreto, foi verificada a ocorrência de *spalling* (Figura 1a).

Apesar dos danos registrados, a fachada foi majoritariamente capaz, a uma medida, de manter a integridade e isolamento. Seu colapso fora sobretudo provocado pelo colapso de elementos estruturais adjacentes a elas.

Já com relação ao *single steel sheeting*, foi observado em maior frequência a distorção e flambagem das chapas. Esse fenômeno é explicado pela expansão térmica combinada à restrição imposta pela fixação. A partir desta instabilidade, foram abertas entradas que permitiram a passagem de chamas e gases.

Por fim, constatou-se um caráter combustível nas fachadas de painel sanduíche com núcleo interno de poliuretano, que contribuiu para alimentação do incêndio (Figura 1b).



Figura 1: Análise de danos em paredes de fachada a) Destacamento e spalling de paredes de alvenaria b) Instabilidades e distorções de painel sanduíche com núcleo interno de PUR

2.1.1. Exterior Insulation Finishing Systems (EIFS)

O sistema EIFS (*Exterior Insulated Finished System*), também conhecido como ETICS (*External Thermal Insulation Composite System*), é fixado ao substrato, seja ele alvenaria, concreto ou metal, material de isolamento e tela soldada. (Figura 2).

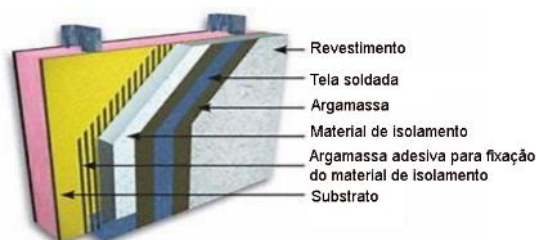


Figura 2: Camadas do revestimento em EIFS – Adaptado de [24]

Esse revestimento teve ampla utilização, motivado pelo seu baixo peso, fácil aplicação e propriedades térmicas que favorecem a eficiência energética [11]. No entanto, motivado por recentes incidentes de incêndios em fachadas, seu comportamento tem sido estudado e debatido.

O comportamento ao fogo desse tipo de solução foi analisado por Bonner et al. [8], com base em um banco de dados de ensaios experimentais. Os autores concluíram que em todos os 24 casos analisados os painéis ETICS, seja com material de isolamento de EPS ou lã de rocha, foram aprovados, não sendo observados nenhum dos critérios de falha.

No entanto, Zhou [12] argumenta que revestimentos ETICS com EPS são inflamáveis, sobretudo considerando a ação do intemperismo agindo sob a camada superior de acabamento resistente às chamas, que pode expor o material e comprometer ainda mais a segurança ao incêndio.

Em outro estudo, Hofmann et al. [13] avaliou a influência do material de isolamento no comportamento ao fogo do sistema EIFS com isolamento de EPS. O estudo está pautado no aumento das incidências em incêndios de fachada na Alemanha, agravados pelo uso de materiais combustíveis na fachada, que contribui para a rápida propagação das chamas. E, portanto, este tipo de revestimento foi extensivamente discutido.

A partir de ensaios experimentais no revestimento, foi constatado o potencial fator contra à segurança do desgaste do revestimento de proteção da fachada, tanto pelo uso, quanto por fatores climáticos. A partir deste, o material de isolamento pode ser exposto e, visto que é comum a utilização de EPS para esse fim, torna-se elevada a sua combustibilidade [13].

2.1.2. *Aluminum Cladding Panels (ACP)*

Os painéis de revestimento em alumínio (ACP – *Aluminum Cladding Panels*), também conhecidos como ACM (*Aluminum Composite Material*) ou painel sanduíche é um revestimento compósito formado por camadas externas de placas de alumínio coladas a um núcleo central polimérico. Como exemplos de materiais que podem ser utilizados como materiais de enchimento, há o polietileno, material combustível e de grande potencial de agravante ao incêndio. Outras variedades como FR e A2, como ilustrado na Figura 3, têm um melhor comportamento e são soluções mais adequadas para serem utilizadas.

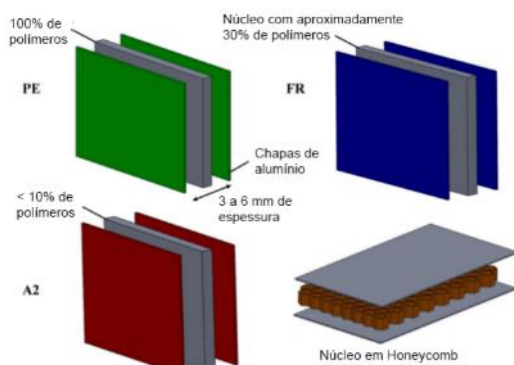


Figura 3: Diagramas esquemáticos de revestimentos ACP – Adaptado de [25]

Esse tipo de revestimento teve ampla aplicação em paredes de fachada em função de vantagens como isolamento, que favorece maior conforto térmico, durabilidade e baixo peso [14]. No entanto, no que diz respeito ao incêndio, o material utilizado no núcleo interno não pode ser combustível, para evitar que o próprio material contribua para alimentar o incêndio, ou até mesmo permitir a entrada das chamas para o interior.

A Figura 5 ilustra o comportamento ao fogo de um painel ACP, fabricado com polietileno, material combustível. Submetido ao calor, rapidamente transmitido pelas chapas de alumínio, o interior derrete e pode ignizar devido à sua inflamabilidade. Quando isso ocorre, as chamas se propagam

rapidamente pela fachada. Mesmo comportamento ilustrado é observado em análise de danos pós-incêndio em uma edificação (Figura 5).

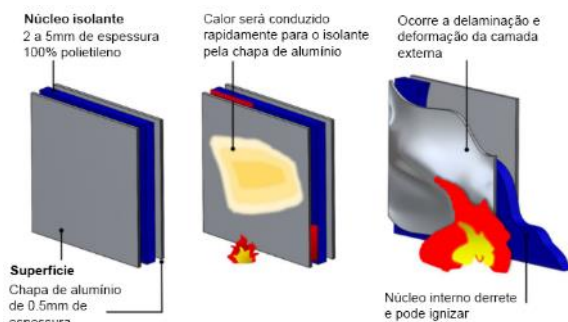


Figura 5: Comportamento ao fogo de revestimentos ACP com núcleo interno combustível [25]



Figura 5: Painel sanduíche com núcleo de poliisocianurato (PIR) pós-incêndio [26]

Como ponto de interesse, além do material do núcleo interno do revestimento, fatores como pontos de fragilidade estrutural devido à fixação, a conexão entre chapas pode ser comprometida em situação de incêndio e deve ser considerada [9].

Após o incêndio no Grenfell Tower, o governo britânico realizou uma série de ensaios para o estudo do sistema construtivo, isolamento e núcleo interno. Foram realizados 7 ensaios, ACM com enchimento em polietileno, referido por “ACM – PE”, ACM com revestimento retardante de incêndio (“ACM – FR”) e ACM com material de enchimento mineral, de baixa combustibilidade (“ACM – A2”). Para o material de isolamento, foram testados o PIR, conforme havia sido instalado no Grenfell Tower, e lã de rocha.

Os resultados dessa campanha de experimentos foram publicados pelo BRE e resumidos na Tabela 1.

Tabela 1 Resultados de ensaios experimentais realizados pelo BRE [16]

Ensaio experimental BS 8414-1 [15]	Com isolamento combustível (PIR)	Com isolamento em lã de rocha
Chapas de alumínio com núcleo interno mineral “ACM-A2”	Passou	Passou
Chapas de alumínio com núcleo interno com retardante ao fogo “ACM-FR”	Falhou aos 25 minutos	Passou
Chapas de alumínio com núcleo interno de polietileno “ACM-PE”	Falhou aos 8 minutos	Falhou aos 7 minutos

Para o estudo do comportamento ao fogo da solução, Guillaume et al. [16] realizou ensaios experimentais, consoante o normatizado pela ISO 13785-1 [17] para a avaliação de ACPs em diferentes composições.

Os autores realizaram ensaios em média escala. O revestimento da fachada foi fixado em placas de silicato de cálcio, presas à estrutura metálica. A carga de incêndio considerada no ensaio foi um *burner* de propano, de dimensões (1200 x 100 x 150) mm e 100 kW.

Para o material de revestimento foram ensaiados:

- Alpolic A2 de combustibilidade limitada, denominado por “ACM-A2”;
- Alpolic/fr-RF de combustibilidade reduzida, denominado por “ACM-FR”;
- Reynobond PE com núcleo interno em polietileno, denominado por “ACM-PE”.

Já para o material de isolamento:

- Kingspan K15, de espuma fenólica, denominado por “K15” e espessura de 50 mm;
- Celotex RS5000 PIR, com 50 mm de espessura e denominado por “PIR”;
- Lã de rocha Rockwool Duoslab, com 100 mm de espessura e denominado “MW”.

Por fim, os autores concluíram que, independentemente do material de isolamento, a solução com enchimento de polietileno não se comportou bem ao incêndio, com rápida propagação das chamas e elevada taxa de liberação de calor.

Dréan et al. [18] avaliou numericamente os cenários analisados experimentalmente por [16], sendo constatado que, apesar do material de isolamento influenciar no comportamento ao fogo da fachada, o material de enchimento é o parâmetro com maior influência no comportamento ao fogo global do revestimento.

Nessa seção foi descrito o comportamento ao fogo das soluções enumeradas por Lopes et al. [10], utilizadas para o revestimento de paredes de fachadas de edifícios industriais, bem como o EIFS. Foi pontuado que, diversos materiais que eram antes frequentemente utilizados, em função de suas inúmeras vantagens, apresentavam comportamento inadequado ao fogo.

No entanto, atualmente há normatizações em países como França [19] e Portugal [20] que estabelecem requisitos quanto às classes de reação ao fogo de paredes de fachada que devem ser atendidas para que o comportamento supracitado seja minimizado.

3. COMPORTAMENTO AO FOGO DA COBERTURA

De maneira análoga, a cobertura da edificação possui grande responsabilidade na situação de incêndio externo, em dificultar a entrada das chamas para a edificação.

Nesse sentido, deve-se analisar o comportamento ao fogo dos materiais utilizados, para este fim. As principais soluções construtivas foram elencadas por Lopes et al. [10], nas quais:

- 78,8% tinham chapas metálicas (*single steel sheeting*);
- 12,6% possuíam telhas de amianto, revestimento em pedras (*plane stone*) ou telhas cerâmicas.
- 8,6% possuíam cobertura com painel sanduíche com núcleo interno de poliuretano ou *steel sheeting* com espuma projetada de poliuretano;

Dessa maneira, nos casos nos quais a cobertura não possuía a devida resistência ao fogo, sua ruína era uma porta de entrada das chamas para o interior da edificação.

Em análise pós-danos, nos casos de coberturas em *steel sheeting*, foram percebidas distorções e instabilidades (Figura 6a). Já para os painéis sanduíches com enchimento de poliuretano, houve separação das placas metálicas do núcleo interno. A partir disso, foi verificada a exposição do núcleo combustível que permitiu a propagação do incêndio para o interior.

Um bom comportamento ao fogo foi verificado para os revestimentos construídos em pedra e amianto, na qual, foi observado bom isolamento térmico devido à composição dos materiais. No entanto, para os casos de cobertura revestida com amianto, o incêndio interno, que ocorreu devido à entrada das chamas por outros meios, registrou maiores temperaturas. E, portanto, tal situação se mostrou crítica à estrutura, que colapsou (Figura 6b).



Figura 6: Análise de danos na cobertura [10]

Outro fator relevante a respeito do comportamento ao fogo das coberturas está na presença de claraboias fabricadas, sobretudo, com policarbonato, material plástico. Durante a vida útil da estrutura, ela possui a função de fornecimento de luz natural no interior, mas pode ser prejudicial em situação de incêndio. Nos edifícios analisados, 75% deles possuía claraboias que contribuiu para a entrada das chamas na edificação.

As soluções previamente apresentadas, tanto no que diz respeito às paredes de fachada quanto para cobertura, são citadas por Moss et al. [21] como soluções comuns de serem encontradas na Nova Zelândia (Figura 7).

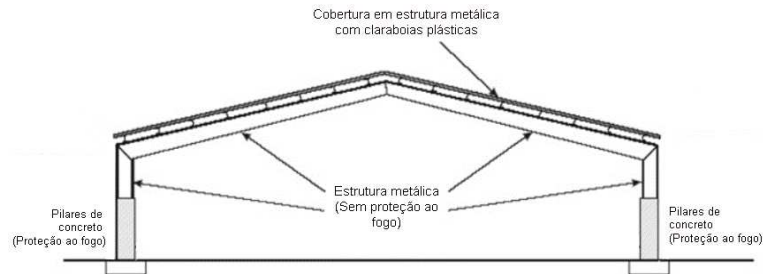


Figura 7: Solução típica de edifícios industriais na Nova Zelândia – Adaptado de [21]

No que tange aos revestimentos de cobertura, como exposto, os materiais utilizados nos revestimentos são semelhantes aos de paredes de fachada. E, portanto, se aproximam quanto ao comportamento ao fogo. Em análises de uma edificação após o incêndio, Mackiewicz et al. [22] verificou que as placas metálicas dos painéis sanduíches se descolaram do núcleo interno de poliestireno (Figura 8). No caso analisado, a severidade do incêndio não foi suficiente para que o núcleo interno, combustível, se ignizasse. Mas os autores ressaltam que se fosse o caso, teria significativa contribuição na alimentação do incêndio.

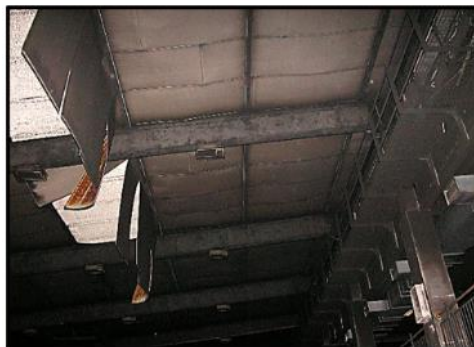


Figura 8: Cobertura do edifício após o incêndio [22]

Em ensaios experimentais, Manzello et al. [23] avaliou o comportamento ao fogo de coberturas com revestimentos cerâmicos. O equipamento *Dragon*, desenvolvido pelo NIST (Figura 9), simula a situação de incêndio florestal, através da queima de madeira. Nessa configuração, o ensaio experimental concluiu que os pequenos fragmentos de madeira ignizados que atingiam o corpo de prova (Figura 10a) levavam à queima da estrutura de madeira abaixo do revestimento (Figura 10b). Portanto, configura-se como um ponto de atenção para a utilização deste revestimento.



Figura 9: Equipamento utilizado em ensaio [23]



(a)



(b)

Figura 10: Corpo de prova durante ensaio [23]

4. CONCLUSÕES

Em suma, esse artigo discorreu acerca do comportamento ao fogo de revestimentos de fachada e cobertura e suas implicações na propagação das chamas e, inclusive, no comportamento da estrutura. Tomou-se como base um estudo de caso que elencou as principais soluções construtivas empregadas em edifícios industriais, bem como trabalhos relativos ao comportamento dessas soluções. A partir dos mesmos, são elencadas as principais conclusões:

Em primeiro lugar, ficou evidente que a escolha inadequada dos materiais de revestimento impacta substancialmente na segurança da edificação, em uma escala global. Esses pontos não se restringem apenas à propagação das chamas pela fachada e cobertura, mas também no impedimento, ou não, do incêndio entrar na edificação e até mesmo influenciam nas temperaturas desenvolvidas no interior.

Para as paredes de fachada, o concreto e painel sanduíche com núcleo interno em material resistente às chamas apresentam bom comportamento ao fogo. Em contrapartida, chapas metálicas e ACM com núcleo de poliestireno e poliuretano desempenharam insatisfatoriamente. Além de não retardarem a propagação das chamas, a segunda solução tem um potencial de alimentar o incêndio. Todavia, vale destacar que além do material de revestimento, a fixação possui responsabilidade no comportamento ao fogo global do elemento e também deve ser avaliada.

Além disso, no que tange às coberturas, o núcleo interno dos painéis sanduíches apresentam comportamento semelhante ao tratado previamente para as fachadas. Um ponto de atenção, no entanto, são as claraboias, muitas vezes fabricadas em material poliméricos, com comportamento ruim ao fogo. Podem atuar, portanto, como fonte de entrada das chamas na edificação.

Portanto, para um projeto mais assertivo quanto aos edifícios industriais, as regulamentações prescrevem as classes de reação ao fogo das paredes de fachada e cobertura e contribuem significativamente para aumentar a segurança das estruturas.

REFERÊNCIAS

- [1] A. Maranghides *et al.*, “WUI Structure/Parcel/Community Fire Hazard Mitigation Methodology,” Gaithersburg, MD, Mar. 2022. doi: 10.6028/NIST.TN.2205.
- [2] D. Thomas, D. Butry, S. Gilbert, D. Webb, and J. Fung, “The costs and losses of wildfires: a literature survey,” Gaithersburg, MD, Nov. 2017. doi: 10.6028/NIST.SP.1215.
- [3] D. A. DELLASALA, J. E. WILLIAMS, C. D. WILLIAMS, and J. F. FRANKLIN, “Beyond Smoke and Mirrors: a Synthesis of Fire Policy and Science,” *Conservation Biology*, vol. 18, no. 4, pp. 976–986, Aug. 2004, doi: 10.1111/j.1523-1739.2004.00529.x.
- [4] A. D. Syphard *et al.*, “Human Influence on California Fire Regimes,” *Ecological Applications*, vol. 17, no. 5, pp. 1388–1402, Jul. 2007, doi: 10.1890/06-1128.1.
- [5] A. Maranghides *et al.*, “A Case Study of the Camp Fire – Fire Progression Timeline,” Gaithersburg, MD, Jan. 2021. doi: 10.6028/NIST.TN.2135.
- [6] Guerreiro J. *et al.*, “Avaliação dos incêndios ocorridos entre 14 e 16 de outubro de 2017 em Portugal Continental. Relatório Final.” Lisboa, 2018.
- [7] S. T. McKenna *et al.*, “Fire behaviour of modern façade materials – Understanding the Grenfell Tower fire,” *J Hazard Mater*, vol. 368, 2019, doi: 10.1016/j.jhazmat.2018.12.077.
- [8] M. Bonner, W. Wegrzynski, B. K. Papis, and G. Rein, “KRESNIK: A top-down, statistical approach to understand the fire performance of building facades using standard test data,” *Build Environ*, vol. 169, p. 106540, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.buildenv.2019.106540.
- [9] T. B. Y. Chen, A. C. Y. Yuen, G. H. Yeoh, W. Yang, and Q. N. Chan, “Fire Risk Assessment of Combustible Exterior Cladding Using a Collective Numerical Database,” *Fire 2019, Vol. 2, Page 11*, vol. 2, no. 1, p. 11, Feb. 2019, doi: 10.3390/FIRE2010011.
- [10] R. F. R. Lopes, J. P. C. Rodrigues, A. L. Camargo, and A. J. B. Tadeu, “Resilience of Industrial Buildings to Wildland-Urban Interface Fires,” in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2022. doi: 10.1088/1755-1315/1101/2/022034.
- [11] B. Zhou, H. Yoshioka, T. Noguchi, K. Wang, and X. Huang, “Upward Fire Spread Rate Over Real-Scale EPS ETICS Façades,” *Fire Technol*, vol. 57, no. 4, pp. 2007–2024, Jul. 2021, doi: 10.1007/S10694-021-01103-3.
- [12] B. Zhou and K. Wang, “New Understanding of Fire Spread on the EPS ETICS Façade,” *Q2*, vol. 21, p. 7, 2021, Accessed: May 07, 2023. [Online]. Available: <https://www.sfpe.org/publications/periodicals/sfpeeuropedigital/sfpeurope22/europeiss ue22feature1>
- [13] A. Hofmann, S. Kaudelka, and S. Hauswaldt, “Fire safety of FAÇADES with polystyrene foam insulation,” *Fire Mater*, vol. 42, no. 5, pp. 466–474, Aug. 2018, doi: 10.1002/fam.2662.
- [14] A. C. Y. Yuen *et al.*, “Evaluating the fire risk associated with cladding panels: An overview of fire incidents, policies, and future perspective in fire standards,” *Fire Mater*, vol. 45, no. 5, pp. 663–689, Aug. 2021, doi: 10.1002/fam.2973.

- [15] BSI, *BS 8414-1 - Fire performance of external cladding systems - Test method for non-loadbearing external cladding systems fixed to, and supported by, a masonry substrate*. 2020.
- [16] E. Guillaume, T. Fateh, R. Schillinger, R. Chiva, and S. Ukleja, "Study of fire behaviour of facade mock-ups equipped with aluminium composite material-based claddings, using intermediate-scale test method," *Fire Mater*, vol. 42, no. 5, pp. 561–577, Aug. 2018, doi: 10.1002/fam.2635.
- [17] ISO, *Reaction-to-fire tests for façades — Part 2: Large-scale test (ISO Standard No. 13785-2:2002)*. 2002, p. 16.
- [18] V. Dréan, B. Girardin, E. Guillaume, and T. Fateh, "Numerical simulation of the fire behaviour of façade equipped with aluminium composite material-based claddings— Model validation at intermediate scale," *Fire Mater*, vol. 43, no. 7, pp. 839–856, Nov. 2019, doi: 10.1002/fam.2745.
- [19] França, *Arrêté du 17 août 2016 relatif à la prévention des sinistres dans les entrepôts couverts soumis à autorisation sous la rubrique 1510, y compris ceux relevant également de l'une ou plusieurs des rubriques 1530, 1532, 2662 ou 2663 de la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement*. França, 2016, p. 11. Accessed: Feb. 23, 2023. [Online]. Available: <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000033117556/?isSuggest=true>
- [20] Portugal, *Despacho n.º 8591/2022, de 13 de julho*. Portugal, 2022, pp. 67–72.
- [21] P. J. Moss, R. P. Dhakal, M. W. Bong, and A. H. Buchanan, "Design of steel portal frame buildings for fire safety," *J Constr Steel Res*, vol. 65, no. 5, pp. 1216–1224, May 2009, doi: 10.1016/J.JCSR.2008.09.003.
- [22] M. Mackiewicz, J. R. Krentowski, P. Knyziak, and R. Kowalski, "The influence of the fire temperature on the condition of steel roof structure," *Eng Fail Anal*, vol. 146, p. 107080, Apr. 2023, doi: 10.1016/J.ENGFAILANAL.2023.107080.
- [23] S. L. Manzello, Y. Hayashi, T. Yoneki, and Y. Yamamoto, "Quantifying the vulnerabilities of ceramic tile roofing assemblies to ignition during a firebrand attack," *Fire Saf J*, vol. 45, no. 1, pp. 35–43, Jan. 2010, doi: 10.1016/j.firesaf.2009.09.002.
- [24] R. Almasri, A. Alardhi, and S. Dilshad, "Investigating the Impact of Integration the Saudi Code of Energy Conservation with the Solar PV Systems in Residential Buildings," *Sustainability*, vol. 13, no. 6, p. 3384, Mar. 2021, doi: 10.3390/su13063384.
- [25] A. C. Y. Yuen *et al.*, "Evaluating the fire risk associated with cladding panels: An overview of fire incidents, policies, and future perspective in fire standards," *Fire Mater*, vol. 45, no. 5, pp. 663–689, Aug. 2021, doi: 10.1002/fam.2973.
- [26] L. Pyl, L. Schueremans, W. Dierckx, and I. Georgieva, "Fire safety analysis of a 3D frame structure based on a full-scale fire test," *Thin-Walled Structures*, vol. 61, pp. 204–212, Dec. 2012, doi: 10.1016/j.tws.2012.03.023.

INCONFORMIDADES E VULNERABILIDADES DAS SAÍDAS DE EMERGÊNCIA: CAUSAS DE FERIMENTOS E ÓBITOS NO INCÊNDIO DA BOATE KISS



Rodrigo Almeida Freitas *

Investigador e aluno de Doutorado UC - Coimbra



João Paulo Correia Rodrigues

Professor e investigador UC – Coimbra e UFMG

Resumo:

As saídas de emergências compõem uma das medidas fundamentais de Segurança Contra Incêndio e Pânico (SCIP). Resumidamente, essas devem prover o escoamento dos ocupantes de uma edificação, de forma rápida e segura, além de permitir a entrada, menos insalubre possível, de equipes de socorro. Especificamente no incêndio da boate Kiss as saídas de emergência demonstraram não ser efetivas em cumprir esses objetivos, especialmente quanto à evacuação do público da boate. Vídeos demonstram uma evacuação caótica. O presente estudo visa estudar, revelar e ponderar as inconformidades e vulnerabilidades das saídas de emergência no incêndio da boate Kiss.

Palavras-chave: incêndio, evacuação, saídas de emergência, vulnerabilidades.

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho visa estudar o incêndio ocorrido, em janeiro de 2013, na denominada boate “Kiss”, no estado do Rio Grande do Sul, no Brasil. Este acontecimento é considerado (lamentavelmente) o segundo pior incêndio, em número de óbitos, ocorrido no Brasil. Foram, infelizmente, 242 (duzentos e quarenta e dois) óbitos no incêndio, sendo 231 óbitos no local e 11, posteriormente, nos hospitais [1][2]. Além disso, consideram-se 636 (seiscentos e trinta e seis) feridos

* Autor correspondente – Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Civil, Rua Luís Reis Santos, 3030-788 Coimbra, Portugal e-mail: rodrigo.almeida.freitas@gmail.com

diretamente com o incêndio, sem contabilizar pais, familiares e amigos afetados pelas consequências do incêndio.

Resumidamente, o princípio de incêndio caracterizou-se pela ignição de uma espuma após o uso de um artefato pirotécnico dentro dos salões da boate. O incêndio, além do número assustador de vítimas, também se destaca pela similaridade com outros incêndios ocorridos pelo mundo. Os padrões, além de ignição de espuma acústica com artefatos pirotécnicos, envolvem: os clubes noturnos, hipóteses de superlotação e ausência e/ou insuficiência de documentos e licenças. Esse é um padrão de incêndio que infelizmente repete-se em clubes noturnos e boates e já estudado por alguns autores [3][4][5][6][7].

O número de óbitos desse sinistro de incêndio é terrivelmente assustador, ainda mais considerando que o incêndio não atingiu completamente a boate e nem houve ruína da edificação. A boate, em seu nível térreo, era um espaço menor que 750 m², valor que aparenta oferecer menor dificuldade de evacuação e menor impacto de um eventual incêndio. Assim, é necessário um estudo para entender o que fez as pessoas não evacuarem a boate e ficarem expostas aos produtos tóxicos da fumaça.

2. METODOLOGIA

Esse trabalho é uma investigação de incêndio. Dentro da investigação de incêndio, pode-se organizar e subdividir o estudo das causas do incêndio em: causas do surgimento do incêndio, causa do desenvolvimento e propagação, causas dos danos e prejuízos e causas de ferimentos e óbitos. Assim, esse trabalho tem como objetivo apurar causas de ferimentos e óbitos, especialmente aquelas relacionadas às saídas de emergência.

Dentro desse contexto, esse trabalho tem como objetivos específicos:

1. Estudar a edificação da boate Kiss, bem como a legislação de saídas de emergência vigente à época do incêndio;
2. Comparar as saídas de emergências executadas com a prescrição normativa;
3. Tentar reproduzir o comportamento dos ocupantes durante o incêndio, por meio de simulações computacionais de evacuação;
4. Revelar o máximo de fatos, circunstâncias, fatores, ações, omissões e contribuições relacionadas às saídas de emergência no sinistro de incêndio da boate Kiss;
5. Ponderar peso e relevância de cada ameaça e vulnerabilidade quanto às saídas de emergência;
6. Reforçar o caráter multifatorial e multicausal do sinistro de incêndio;
7. Propor recomendações de forma a mitigar impacto semelhante e evitar a recorrência do mesmo padrão de incêndio, fundamentados em metodologia de investigação de incêndio;
8. Fomentar o aperfeiçoamento da Segurança Contra Incêndio e Pânico (SCIP) do Brasil.

Para execução desse trabalho, executou-se uma visita e inspeção na boate Kiss. Essa ainda está preservada, com as condições pós-incêndio, mesmo após mais de 10 anos do incêndio. De posse de dados e informações, adotou-se a metodologia de investigação de incêndio de Freitas e Rodrigues [8], além das diligências previstas na NFPA 921 [9]. O software utilizado nas simulações computacionais foram o Pyrosim/FDS e Pathfinder.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As saídas de emergência são compostas de acessos, escadas, rampas, elevadores, portas e descargas. Assim, de forma a organizar informações e análise de resultados, reuniram-se dados das saídas de emergência da boate Kiss, em especial inconformidades e vulnerabilidades. A Figura 1 ilustra a planta baixa do pavimento térreo e do mezanino da boate Kiss. A edificação, resumidamente, possuía duas rotas de fuga principais, uma única entrada e uma única saída. Além disso possuía duas escadas de madeira para o acesso ao mezanino.

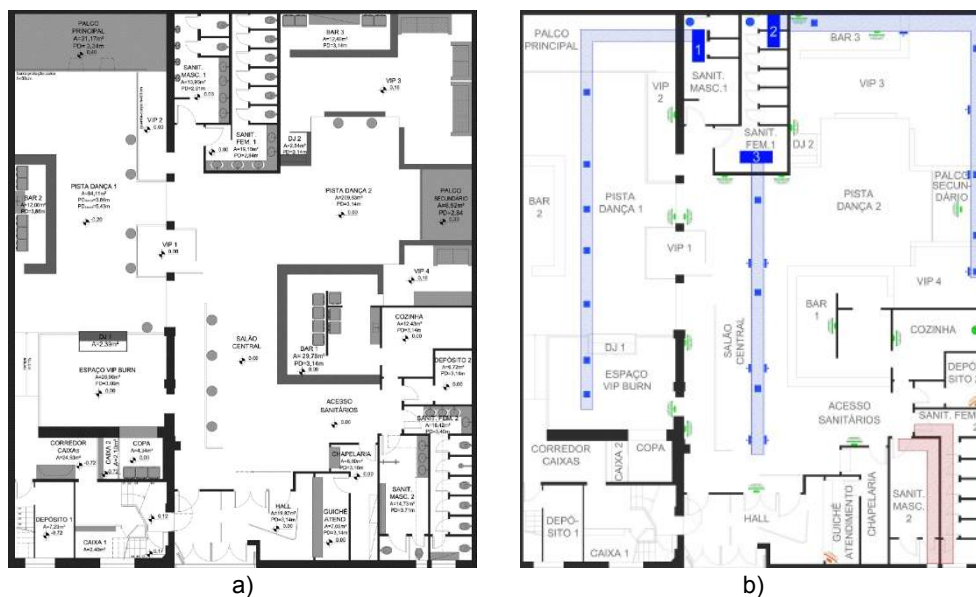


Figura 1: Arquitetura da Kiss [10]– a) Pavimento térreo b) Sistema de ar-condicionado/exaustão

A lotação máxima da Kiss, segundo a polícia local [10], era 769 pessoas. O CREA local [11] calcula que a população máxima seria de 691 pessoas. Hennemann [12] cita os cálculos de 741, 770 e 771 pessoas como público máximo da Kiss. Um Estudo de Impacto de Vizinhança, realizado por uma arquiteta contratada pelos prepostos da Kiss, cita a capacidade máxima de 700 pessoas [1]. Evidencia-se que a lotação máxima da Kiss era entre 691 a 771 pessoas; de forma a simplificar, neste trabalho será adotada a mediana dos valores acima citados como lotação adequada da boate, ou seja, 741 pessoas.

A boate Kiss possuía diversos obstáculos em suas duas rotas de fuga. Tanto pelo do salão principal (Figura 2a), como pela rampa de saída da pista de dança principal (Figura 2b), havia guardas e corrimãos em suas extensões. Especialmente no corredor do salão principal, as guardas acarretavam a formação de, no mínimo, duas filas de pessoas durante a evacuação. Além disso, havia mesas e cadeiras fixas nas proximidades das rotas de fuga. Um ocupante que saíssem pelo corredor principal teria que passar por quatro portas, totalizando 3,90 metros de largura, para alcançar a descarga da edificação. Todas as portas possuíam barra antipânico e abriam no sentido de fuga.

Já um ocupante que saíssem pelo corredor em rampa, para chegar à descarga, passaria por corredor, uma escada de quatro degraus e uma porta. Havia nesse corredor, que possuía a largura mínima de 0,90 metros, dois caixas para pagamento de comandas de consumo. As escadas de ligação com o mezanino também desaguavam nesse corredor. Assim, esse corredor recebia três fluxos de pessoas no total.



Figura 2: Rotas de fuga da Kiss – a) corredor do salão principal b) rampa da pista de dança

Um ocupante que saíssem pelo salão principal, para chegar na descarga, ainda teria que passar por uma estreita passagem formada pela limitação de duas guardas. Exatamente a frente das quatro portas havia uma guarda horizontal, com uma porção móvel no final da sua extensão (Figura 3a). Mas os obstáculos não finalizam nas rotas de fuga, na descarga havia também outros diversos obstáculos. Havia diversas guardas e corrimãos, organizadores de fila, obstruindo a descarga, conforme demonstra a Figura 3b.



Figura 3: obstáculos da Kiss – a) guarda horizontal móvel b) organizadores de fila

Todas essas guardas foram colocadas para organizar filas de entrada e saída e para prevenir que clientes saíssem sem pagar as comandas [1]. Segundo o depoimento de testemunhas [1], essas guardas foram colocadas ao longo de vários meses, em pequenas reformas gerenciadas

pelos sócios da boate. É possível ver a existência de corrimãos na descarga da Kiss desde julho de 2011, conforme imagem pública existente no Google StreetView (Figura 4). Além disso, é importante registrar que a licença de aprovação de vistoria foi emitida pelo Bombeiro local em agosto de 2011 [1].

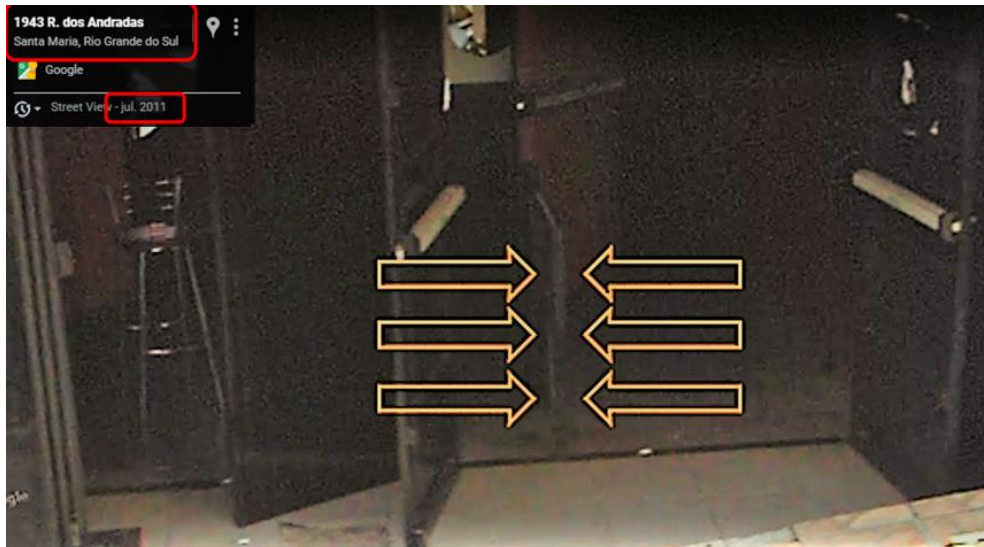
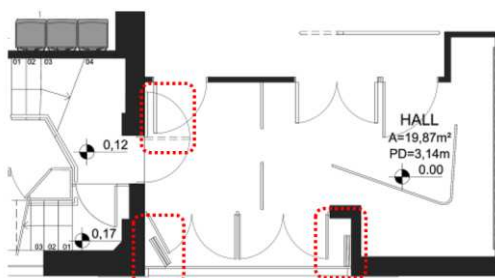


Figura 4: organizador de fila registrado em julho de 2011

Infelizmente a descarga ainda continha mais obstáculos. As próprias folhas de portas das saídas de emergência transformavam-se em uma redução o vão livre de outras passagens de portas e aberturas. A Figura 5a demonstra como três folhas de portas impediam a abertura de outras portas ou reduziam o vão de passagem de portas, reduzindo a largura livre de passagem. Na porção final das saídas de emergência da boate Kiss, na última porta a ser vencida, ainda havia um degrau formado pela calçada do passeio público da rua, conforme demonstra a Figura 5b.



a)



b)

Figura 5: obstáculos na descarga – a) folhas de porta [10] b) degrau

Algumas reconstruções computacionais foram feitas pela UFSM [13]. A Figura 6a demonstra exatamente como era a conexão entre a pista de dança principal e o corredor do salão central da boate. Nessa imagem também é possível ver as luzes decorativas dos ambientes. É possível ver esse mesmo cenário na situação pós-incêndio (Figura 6b), destacando-se a dificuldade que um ocupante teria de vencer os diversos obstáculos pela rota de fuga.

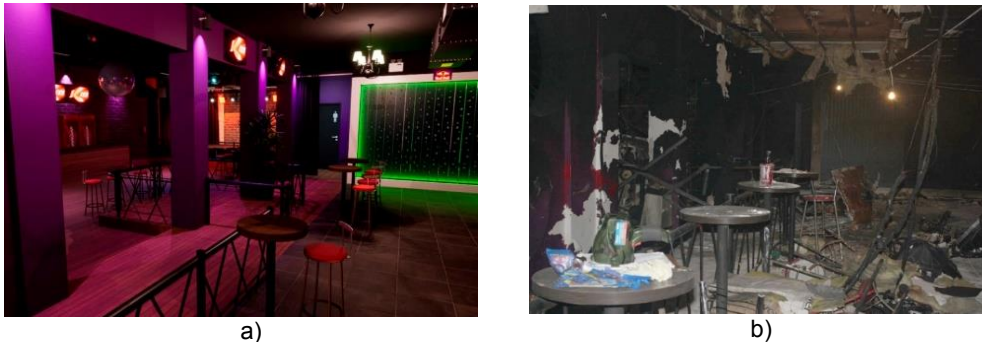


Figura 6: Boate Kiss – a) cenário reconstruído [13] b) cenário pós-incêndio [13]

A norma de referência no Brasil [14] prescreve que deve haver uma distância máxima a percorrer para alcançar uma área segura. Na boate Kiss essa distância era 33,53 metros, conforme demonstra a Figura 7a. A prescrição normativa, considerando-se uma única saída, é 10 m. e, considerando mais de uma saída, 20 m. Além disso, a boate Kiss contava com sinalização e iluminação de emergência com cobertura insuficiente e inadequada, conforme demonstra a Figura 7b.

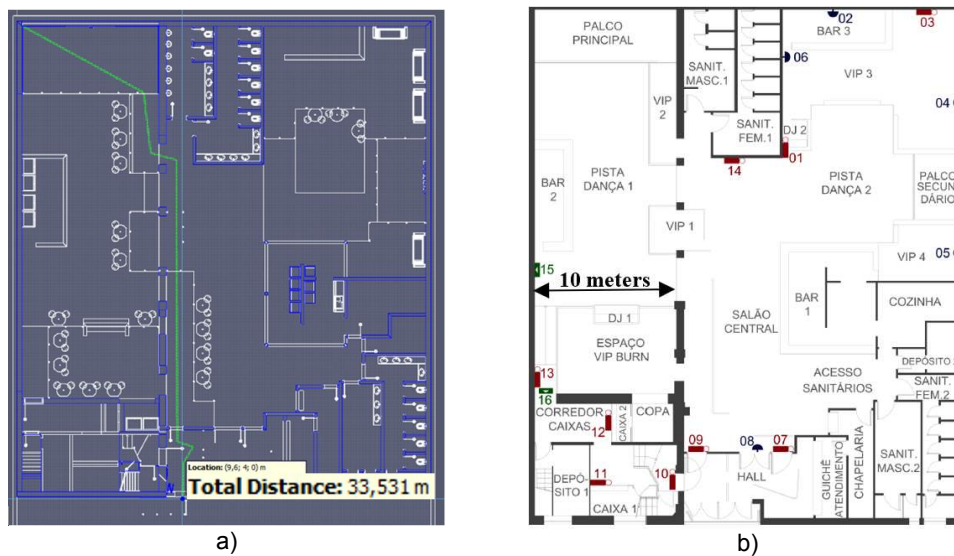


Figura 7: Boate Kiss – a) Distância a percorrer b) Sinalização (em verde) e iluminação (em vermelho) de emergência

Reunidas as principais características e vulnerabilidade das saídas de emergência da boate Kiss, passou-se a tentar entender o comportamento do incêndio e dos ocupantes durante o sinistro. A arquitetura da boate Kiss foi projetada em softwares de simulação computacional (Figura 8a). Dessa forma, executaram-se nesse trabalho dois conjuntos de simulações. O primeiro conjunto de simulações envolveu principalmente o transporte de fumaça (Figura 8b). O segundo conjunto de simulações englobou uma série de simulações de evacuações dos ocupantes.

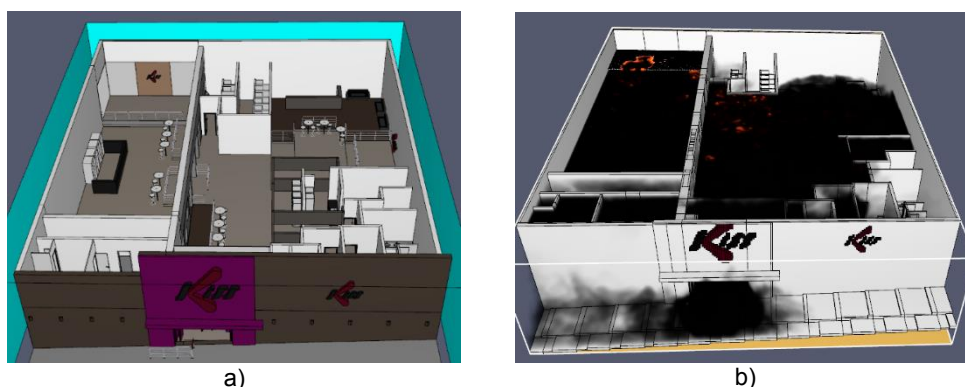


Figura 8: Boate Kiss – a) arquitetura no FDS/Pyrosim b) simulação de incêndio

Conforme demonstra-se na Figura 8b, a fumaça tomou conta de todo o pavimento térreo. É importante lembrar que essa fumaça continha os produtos tóxicos decorrentes da queima dos materiais incendiados, especialmente da espuma que era usada como eventual proteção acústica no palco. Segundo laudos [10][15], a combustão da espuma liberava dióxido de carbono, monóxido de carbono e cianeto de hidrogênio. Esses dois últimos gases são extremamente prejudiciais à saúde animal, tornando insalubre o ambiente da boate Kiss.

Com a visualização dos resultados da simulação, pode-se verificar o potencial o comportamento da fumaça na boate. A Figura 9 demonstra o comportamento inicial da fumaça, com a fumaça preenchendo a pista de dança principal da boate. Nesse espaço havia vigas aparentes e paredes que permitiram a formação de um colchão de fumaça nesse ambiente. Logo, os ocupantes que permaneciam na pista de dança ficaram expostos a um ambiente extremamente insalubre.



Figura 9: Simulação do incêndio de 20 a 50 segundos.

Posteriormente, após o teto de fumaça (plano neutro) vencer a profundidade de vigas expostas, a fumaça passa a deslocar-se para outros ambientes. A Figura 10 demonstra exatamente essa situação. O ambiente imediatamente tomado por fumaça foi o corredor do salão central, que formava a principal rota de fuga da Kiss. Aqui é necessário recordar que havia apenas uma única abertura na boate: a entrada que também era a saída. Logo, a descarga da boate após algum tempo, transformou-se em um ambiente insalubre devido à fumaça que se direcionava para a única ventilação existente, em busca de oxigenação. Os ocupantes que eventualmente permaneceram na descarga estavam em um ambiente escuro (opaco devido à fumaça) e sujeitos a temperaturas altas e produtos tóxicos.

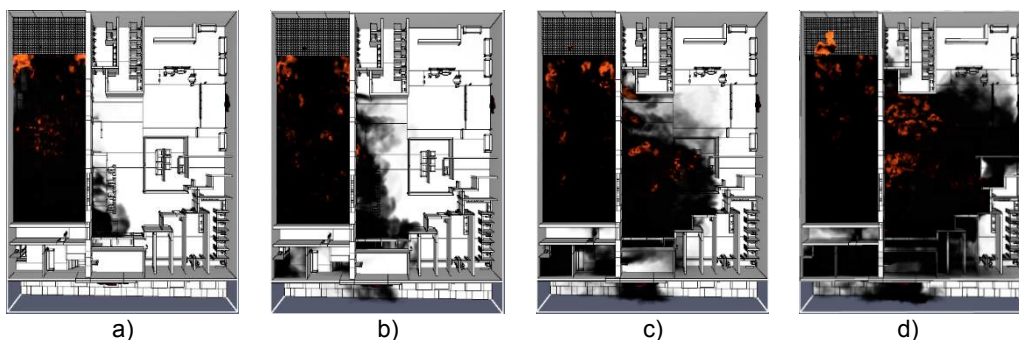


Figura 10: Simulação do incêndio com 60 segundos, 63 s., 66 s. e 69 s.

É muito importante observar que o tempo da simulação computacional não é necessariamente um intervalo de tempo real do incêndio. O tempo de simulação é similar a um tempo de ensaio em laboratório, em condições experimentais e não exatamente iguais ao dia do incêndio. Tendo em vista a existência do vídeo do surgimento do incêndio, comparou-se o tempo real do surgimento do incêndio com o tempo da simulação, obtendo-se razoável validação para os momentos iniciais do incêndio, conforme demonstram Figura 11.

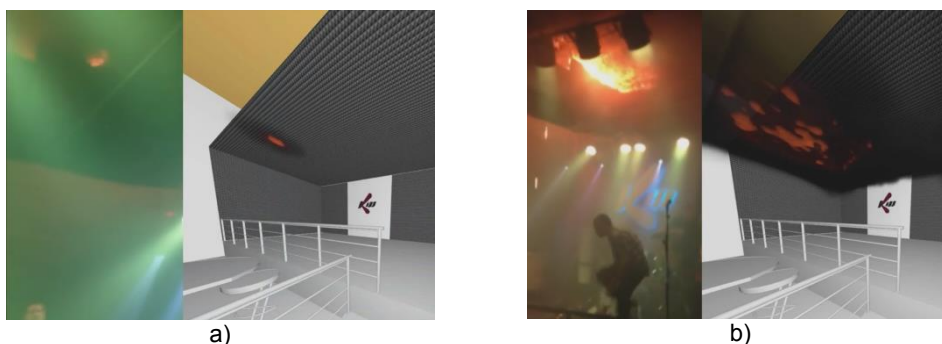


Figura 11: Incêndio real e incêndio modelado – a) em 04 segundos b) em 16 segundos

Há imagens que demonstram parte da evacuação no corredor do salão principal da boate, proveniente do celular de um ocupante da boate durante o sinistro. No intuito de reunir mais uma evidência do desenvolvimento do incêndio, especialmente quanto ao movimento de fumaça, é possível comparar esse vídeo do incêndio real com a reconstrução da UFSM [13] (Figura 12a) e

com a simulação. É possível visualizar no início do vídeo (Figura 12b) que o teto do corredor central, próximo à entrada do espaço Vip Burn, estava começando a receber fumaça proveniente da pista de dança principal. Esse mesmo movimento de fumaça é evidenciado na simulação computacional (vide Figura 12c). Acredita-se que as imagens provêm razoável validação à simulação executada. Durante o vídeo, que dura 1 minuto e 20 segundos, é possível perceber que o teto do corredor central da boate é tomado de fumaça rapidamente.



Figura 12: Corredor em frente ao espaço Vip Burn – a) reconstrução[13] b) vídeo c) simulação

Nesse mesmo vídeo é possível verificar que a evacuação era caótica. As pessoas empurravam-se e gritavam. De forma a tentar entender o que ocorria durante a evacuação, uniu-se os resultados da simulação computacional de incêndio com a simulação computacional de evacuação. A Figura 13a demonstra exatamente o ambiente da pista de dança principal com 85 segundos do surgimento do incêndio. Observa-se que havia, além de fumaça, chamas visíveis nas costas dos ocupantes, o que certamente foi assustador para quem estava na pista de dança. Nesse mesmo tempo, a porção intermediária do corredor central (Figura 13b) já possuía quantidade relevante de fumaça, o que dificultava a evacuação, além de gerar mais pânico. Foi possível também perceber que as camadas superiores do ambiente próximo à descarga (Figura 13c) também estava preenchida por fumaça. Ou seja, as rotas de fuga, em toda sua extensão possuía fumaça.

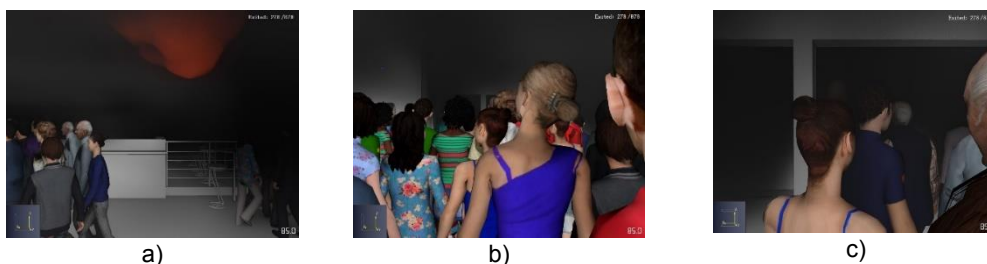


Figura 13: Simulação de incêndio e evacuação – a) pista de dança principal b) porção inicial do corredor principal c) porção terminal do corredor principal

Conforme informações do processo judicial [16], verifica-se (lamentavelmente) o registro de 242 óbitos e 636 feridos. Diversas fontes citam diferentes números quanto aos óbitos ocorridos na boate e no hospital. Fontes [2] indicam 200 óbitos existentes no local do incêndio, sendo que

mais da metade estariam localizados no banheiro. Outra informação [17] cita que, dos 242 óbitos, 11 foram em ambiente hospital e todos os outros foram constatados como mortos ainda na boate. Não se encontra disponível publicamente um número oficial. Não são contabilizados, nesse trabalho, como óbitos do incêndio os eventuais suicídios de familiares de vítimas e sobreviventes do incêndio.

Em entrevista a um dos bombeiros que atenderam a ocorrência, citou-se que foram (lamentavelmente) registrados 134 corpos dentro da boate. Desses, 130 corpos estavam nos banheiros próximos a entrada da boate (Figura 14a). Já Hennemann [12] cita em torno de 150 óbitos nos banheiros (Figura 14b). Nesse estudo será considerado o número obtido em entrevista a um dos bombeiros que atendeu o incêndio. Apesar de não haver certeza, cita-se que os demais corpos estavam no palco principal, na pista de dança secundária, no Espaço VIP Burn e no corredor central. Reforça-se que tais informações não são harmonizadas, tendo em vista que diferentes fontes citam diferentes números.



Figura 14: Óbitos da Kiss – a) potencial localização do óbitos b) cenário pós incêndio nos banheiros

Assim, passou-se a investigar determinados momentos da simulação de evacuação. A Figura 15 ilustra respectivamente a densidade de pessoas, o nível de serviço e a velocidade das pessoas na evacuação da Kiss com 30 segundos de evacuação. A Figura 15c demonstra que a baixa velocidade de evacuação dos ocupantes, especialmente no corredor do salão principal. Conforme visto anteriormente, esse corredor era exatamente que recebera uma quantidade relevante de fumaça.

A simulação de evacuação demonstra as condições críticas de aglomeração e de fluxo de pessoas, além do travamento da evacuação nas duas rotas de fuga principais. A superlotação, única descarga existente, diversas inconformidades nas rotas de fuga e uma variedade de obstáculos das saídas consolidaram, infelizmente, um cenário crítico para os ocupantes.

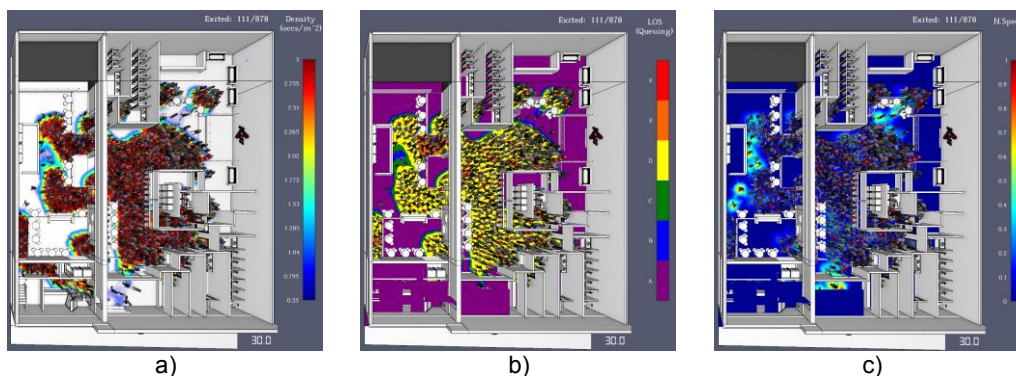


Figura 15: evacuação simulada no tempo 30s – a) densidade de pessoas b) nível de serviço c) velocidade

Considerando tantas vulnerabilidades das saídas de emergência, passou-se a estudar qual seria o fator que mais potencializou atrasos na evacuação. Assim, por meio de simulação computacional de evacuação, inicialmente aferiu-se o tempo de evacuação de diversos cenários de ocupantes presentes, conforme Tabela 1. O cenário C representa a lotação eventualmente permitida para a Kiss. O cenário F representa os ocupantes no dia do incêndio. Comparou-se, em termos percentuais, o aumento e diminuição do tempo de evacuação, adotando-se o cenário C como referência.

Tabela 1: Simulações de evacuação executadas no Pathfinder

Cenários com base na lotação	Comparação das lotações (%)	1) Condições reais (segundos)	Comparação dos tempos de evacuação (%)	
A	691	93%	401,8	100%
B	700	94%	396,5	99%
C	741	Público permitido	400,5	-----
D	769	104%	433,8	108%
E	771	104%	424,5	106%
F	878	118%	480,3	120%
G	1000	135%	555,0	139%
H	1300	175%	680,0	175%
I	1500	202%	inviável	inviável

De forma a ponderar o peso de eventuais correções das vulnerabilidades, executaram-se mais simulações computacionais de evacuação. Assim, seria possível verificar qual inconformidade das saídas de emergência teve o pior impacto no tempo de evacuação. Foram executadas simulações corrigindo apenas uma única inconformidade e posteriormente simulou um cenário corrigindo-se o máximo de vulnerabilidades possíveis. A Tabela 2 expõe os resultados obtidos. É possível verificar, considerando apenas uma única correção nos cenários, que adicionando-se duas descargas obtém-se a contribuição menos relevante, ou seja, a menor diminuição do tempo de evacuação. Já o cenário com três descargas representa a contribuição mais relevante, ou seja, a maior diminuição do tempo de evacuação. A menor diminuição do tempo de evacuação é obtida operando-se múltiplas correções, conforme última coluna da Tabela 2.

Tabela 2: Simulações de evacuação de cenários hipotéticos
Tempo da evacuação completa (segundos)
Comparação do tempo de evacuação do cenário hipotético com o cenário real (%)

Cenários com base na lotação	1) Condições reais	Alterando-se apenas uma única inconformidade, mantendo-se as demais				6) Sem guardas, larguras adequadas e com 3 descargas
		2) Sem guardas e corrimãos	3) Largura adequada	4) 2 descargas	5) 3 descargas	
C 741	400,5 100%	300,0 74,91%	295,8 73,85%	325,0 81,15%	259,5 64,74%	172,5 43,07%
F 878	480,3 100%	417,30 86,88%	353,8 73,66%	386,0 80,37%	315,8 65,75%	252,30 52,53%

5. CONCLUSÃO

Não foi possível apresentar todos os ensaios e testes executados nesse trabalho. Resumidamente esse trabalho focou nos estudos de diversos documentos da Kiss (em especial licenças e processos judiciais), em dados levantados em visita *in loco* e em testes especializados e exames de simulação computacional para avaliar as saídas de emergência da boate Kiss. Resumidamente, a os fatos, circunstâncias, fatores, ações, omissões e contribuições relacionadas às saídas de emergência no sinistro de incêndio da boate Kiss

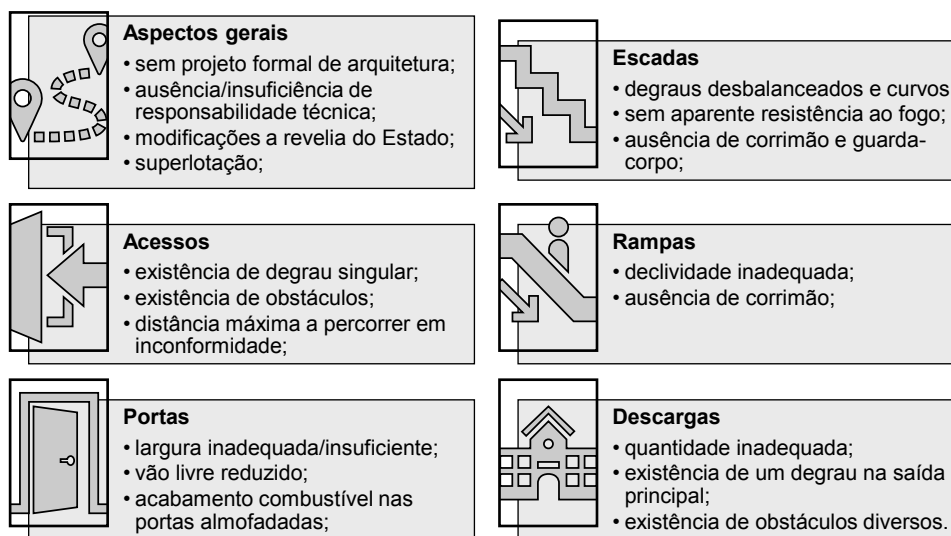


Figura 16: Inconformidades e vulnerabilidades encontradas nas saídas de emergência da Kiss

Apesar de haver citações, na mídia não especializada em SCIP, de uma ou duas causas para os óbitos ocorridos no incêndio da boate Kiss, há diversas e variadas causas. Essas, por sua vez, são decorrentes de diversas vulnerabilidades e inconformidades das saídas de emergência da boate Kiss. Assim, reforça-se que o sinistro de incêndio é multifatorial e multicausal.

REFERÊNCIAS

- [1] Estado do Rio Grande do Sul (2013). Relatório final de Inquérito Policial. Incêndio Boate Kiss. Polícia Civil do Estado do Rio Grande do Sul. Santa Maria, Brasil.
- [2] Arbex, D. (2018). Todo dia a mesma noite: a história não contada da boate Kiss. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2018.
- [3] Duval, R. F. (2006). NFPA Case Study: nightclub fires. National Fire Protection Association, Fire Investigations Department. Accessed on August 10th 2021, at: <https://www.springfieldmo.gov/DocumentCenter/View/10224/NFPA-Case-Study-Nightclub-Fires>.
- [4] NFPA (2013). O beijo da morte. O devastador incêndio da boate Kiss ressalta mais uma vez como as deficiências normativas contribuem para estas armadilhas mortais a nível mundial. NFPA Journal Junho de 2013, ano 15, número 2, 18-25 Accessed on August 10th 2021, at: <https://www.nfpajla.org/pt/arquivos/lugares-de-reunioes-publicas-discotecas/993-el-beso-de-la-muerte>.
- [5] Grosshandler, W., Bryner, N., Madrzykowski, D. and Kuntz, K. (2005), Report of the Technical Investigation of The Station Nightclub Fire (NIST NCSTAR 2), Vol. 1, National Construction Safety Team Act Reports (NIST NCSTAR), National Institute of Standards and Technology (NIST), Gaithersburg, MD, USA [online]. Accessed on August 7th, 2021, at: https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=100988.
- [6] Grosshandler, W., Bryner, N., Madrzykowski, D. and Kuntz, K. (2005), Report of the Technical Investigation of The Station Nightclub Fire: Appendices (NIST NCSTAR 2), Vol. 2, National Construction Safety Team Act Reports (NIST NCSTAR), National Institute of Standards and Technology (NIST), Gaithersburg, MD, USA [online]. Accessed on August 7th, 2021, at: https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=100989.
- [7] Strick, J. (2014). Development of Safety Measures for Nightclubs. Accessed on September 15th, 2021, at: <http://lup.lub.lu.se/student-papers/record/4522713>.
- [8] Freitas, R.A., Rodrigues, J.P.C. A fire investigation methodology for buildings. Architecture, Structures and Construction 2, 269–290 (2022). <https://doi.org/10.1007/s44150-022-00057-6>.
- [9] NFPA 921 (2021). Guide for fire and explosion investigations. National Fire Protection Association (NFPA), p. 456. Duval, R. F. (2006). NFPA Case Study: nightclub fires. National Fire Protection Association, Fire Investigations Department. Accessed on August 10th 2021, at: <https://www.springfieldmo.gov/DocumentCenter/View/10224/NFPA-Case-Study-Nightclub-Fires>.
- [10] Estado do Rio Grande do Sul (2013). Laudo Pericial 12.268/2013. Exame pericial em local de incêndio com vítimas fatais. Instituto Geral de Perícias. Incêndio Boate Kiss. Polícia Civil do Estado do Rio Grande do Sul. Santa Maria, Brasil.
- [11] Conselho Regional de Arquitetura do Rio Grande do Sul. Relatório técnico. Análise do sinistro na Boate Kiss. Santa Maria, RS. Porto Alegre: CREA-RS, 2013. Acessado em 10 OUT 2012: <http://www.crea-rs.org.br/site/documentos/documentos10/RELATORIO%20COMISSAO%20ESPECIAL%20FINAL.pdf>.
- [12] Hennemann, G. G. (2019). Análise crítica do incêndio da boate Kiss segundo simulação computacional. Trabalho de Conclusão de Curso não publicado. Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo, Brasil.

- [13] UFSM (2021). A Kiss antes do incêndio. Dispositivo interativo digital resultante da reconstrução 3D da boate foi coordenado por professora da UFSM e é utilizado como ferramenta no julgamento da tragédia. Universidade Federal de Santa Maria. Revista Arco. Accessed on September, 10th, 2022, at: <https://www.ufsm.br/midias/arco/a-kiss-antes-do-incendio/>
- [14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2001). NBR 9077. Saída de Emergência em edifícios. Rio de Janeiro, Brazil.
- [15] Estado do Rio Grande do Sul (2013). Laudo Pericial 15.209/2013. Exame de espuma flexível de cor cinza-chumbo e de coloração amarelada. Instituto Geral de Perícias. Incêndio Boate Kiss. Polícia Civil do Estado do Rio Grande do Sul. Santa Maria, Brasil.
- [16] TJRS (2013). Caso boate Kiss. Processo nº: 2130000696-7 da 1ª Vara Criminal de Santa Maria. 19,1 mil p. Accessed on September, 10th, 2022, at: <https://www.tjrs.jus.br/novo/caso-kiss/>.
- [17] Kegler, B. (2016). Redes de comunicação pública, visibilidade e permanência do acontecimento público Tragédia Kiss (Santa Maria, Brasil, 2013). Accessed on September, 10th, 2022, at: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/147960>.

AValiação DO RISCO DE INCêNDIO DE EDIFÍCIOS EXISTENTES: O caso do Mercado Central de BH



**Michelle Teodoro
Coutinho**
Aluna UFMG, Belo Horizonte, Brasil.

Resumo:

Os incêndios se configuram como uma grave problemática que ameaça, além de vidas humanas, a integridade e a segurança de edificações relevantes e, a partir desse fato o trabalho irá demonstrar uma análise de risco de incêndio por meio do estudo de caso de um edifício de grande valor histórico e cultural para o estado de Minas Gerais: o Mercado Central da cidade de Belo Horizonte. Os objetivos desse trabalho visam a proposição, a nível construtivo, de melhorias relativas aos materiais, estrutura e aspectos arquitetônicos, e de sistemas regulamentados pelo Corpo de Bombeiros direcionados a prevenção de incêndios; desse modo, será possível assegurar uma utilização mais segura da edificação em estudo, a fim de proteger seus ocupantes e frequentadores, além de proteger seu valor material. Para a realização da análise, será utilizado o Método de Gretener em comparação com a metodologia utilizada pelo Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais para a avaliação de risco, atrelado ao levantamento de características do edifício como carga de incêndio existente, tipo de estrutura, materiais de construção, existência ou não de sistemas de extinção ou detecção de incêndio, existência de brigada de incêndio devidamente treinada, entre outros.

Diante fatores técnicos e construtivos que condicionam o risco de incêndio nas edificações, esperam-se das análises a obtenção de resultados críticos e desfavoráveis, de modo que se faz necessária a atuação ativa em estratégias de prevenção em prol da segurança na utilização do edifício do Mercado Central de Belo Horizonte, a fim de evitar a perda de vidas e a destruição do patrimônio material sob o qual é reconhecido.

Palavras-chave: Análise do Risco de Incêndio. Método de Gretener. Segurança contra Incêndios em Edificações. Mercado Central de Belo Horizonte. Prevenção de Incêndios.

1. Introdução

A ocorrência de incêndios em edificações de tipologias diversas, configura uma problemática complexa que envolve, além de fatores construtivos relacionados à arquitetura e engenharia, a exposição de vidas e de bens atrelados a valores históricos e culturais inestimáveis ao risco de perdas e/ou danos. Na cidade de Belo Horizonte, localizada no estado de Minas Gerais, esses eventos já provocaram a morte de pessoas e danos irreparáveis a imóveis de grande relevância, como ocorrido na Santa Casa de Misericórdia, em que três pacientes perderam a vida ao aspirar a fumaça advinda de um incêndio, bem como o incidente no Instituto de Educação de Minas Gerais (IEMG), cujos danos prejudicam a preservação do estilo eclético, característico da cidade. A legislação de BH, prevê, por meio da Lei Nº 6824/1995, a necessidade das edificações classificadas como de uso coletivo, sendo elas: residenciais multifamiliares, comerciais, de serviço ou indústria, se enquadrarem nas normas de prevenção e combate a incêndios. Por sua vez, a legislação a ser atendida segue subordinada às instruções técnicas do corpo de bombeiros, também essenciais para a fundamentação do projeto AVCB existente.

No trabalho em questão será realizada uma comparação qualitativa entre a metodologia utilizada pelo Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais e o método de Gretener para a avaliação do risco de incêndio. Assim, serão apresentados os objetivos da pesquisa, além de seu desenvolvimento e a metodologia aplicada ao contexto do Mercado Central de Belo Horizonte, bem como as conclusões obtidas a partir do desenvolvimento desse trabalho.

2. Objetivos

A pesquisa visa avaliar o grau de risco do edifício que abriga o Mercado Central de Belo Horizonte, em suas presentes condições de uso e ocupação, de forma a considerar os materiais existentes no local e aspectos como a presença de fontes de calor e itens inflamáveis, além de ponderar a existência de equipamentos e sistemas de prevenção e combate a incêndios. A partir dos resultados obtidos por meio da comparação qualitativa das metodologias apresentadas, a fim de verificar, principalmente, a eficácia dos métodos legais em vigência, será discutida possibilidade de inclusão de fatores considerados no Método de Gretener para a análise do risco de incêndio em edificações no estado de Minas Gerais.

3. Desenvolvimento

O Mercado Central de BH é uma edificação tombada desde o ano de 1977 pelo Conselho Deliberativo do Patrimônio Cultural do Município de Belo Horizonte (CDPCM-BH), o que implica em uma série de restrições à reformas, modificações e adaptações em sua forma e estrutura, para proteger seu aspecto arquitetônico original. Esses impedimentos inviabilizam o tratamento dos componentes construtivos e substituição de materiais que possam apresentar baixo

desempenho em situações de incêndio, condicionando as estratégias de prevenção e combate aos equipamentos de proteção.

O Método de Gretener apresenta maior especificidade de parâmetros no que diz respeito à análise dos usos e materiais presentes na edificação para determinar o risco de incêndio, desse modo, o Corpo de Bombeiros de Minas Gerais utiliza uma síntese desses para a determinação do coeficiente de segurança contra incêndios. Assim, a metodologia será adaptada conforme a IT-35 em vista da prevalência da legislação estadual e da necessidade de preservação do patrimônio cultural em conformidade com as normas vigentes.

4. Metodologia

É proposta uma análise comparativa, que analisa os resultados obtidos por meio da aplicação do método de avaliação do risco de incêndio previsto na IT-35 em comparação com os aspectos de mesma natureza utilizados na metodologia de Gretener, de modo a analisar a viabilidade de uma complementação das medidas de prevenção e combate a incêndio previstas pela legislação em vigor.

Inicialmente, foi realizado o levantamento dos usos desenvolvidos nas lojas do Mercado Central a fim de determinar a Densidade da Carga de Incêndio estipulada para o edifício, que segundo a IT-09 do Corpo de Bombeiros de Minas Gerais, deveria ser determinada pela atividade de maior potencial danoso, tendo seu valor considerado para a totalidade da edificação. Em seguida, os demais fatores de risco foram determinados, em função da caracterização do prédio como dificultador da propagação vertical do incêndio em função de sua segmentação de dois pavimentos separados por uma laje em concreto armado e detentor de fácil acesso das equipes de brigada e socorro em função da presença de entradas em todas as fachadas. Os determinantes do risco de ativação identificados foram a caracterização como tipologia comercial ou centro de compras, além da presença de uma brigada treinada e de sistemas elétricos e de gás devidamente projetados, porém negligenciados em termos de manutenção e utilização. A mesma sequência de análises foi realizada para a aplicação no método de Gretener, o qual será comparado qualitativamente com aquele utilizado pela lei estadual.

A estipulação dos Fatores de Segurança se deu em função da presença de medidas sinalizadoras, extintivas, de infraestruturas, estruturais e acessórias, como a presença de alarmes de acionamento manual, hidrantes, chuveiros e reserva técnica, além da caracterização da estrutura no que diz respeito a resistência ao fogo e da existência de rotas de fuga demarcadas em projeto. Assim, foi obtido o coeficiente de segurança de 8,65, que assegura um bom desempenho da edificação em situações de incêndio de acordo com as determinações do corpo de bombeiros local e em conformidade com o Projeto AVCB aprovado. No entanto, é necessário considerar que o método de Gretener, apesar de fazer o uso de fatores similares para avaliar a reação e proteção ao risco de incêndio, consta de maior detalhamento quanto às características construtivas, além de possuir fatores de correção significativos, relacionados ao número de utilizadores do espaço, aspecto extremamente relevante uma vez que o Mercado Central de Belo

Horizonte é uma edificação cuja utilização já ultrapassou 30 mil pessoas diariamente em diversas ocasiões.

TIPO DE EDIFICAÇÃO	CARACTERÍSTICAS	f ₁
Q	Não permite, ou pelo menos, dificulta significativamente a propagação do incêndio nas direções horizontal e vertical.	1,0
T	Não permite, ou pelo menos, dificulta significativamente a propagação do incêndio na direção vertical.	1,25
V	Nenhuma das condições acima.	2,0

Figura 1: Fatores de Risco Associados às Características Construtivas (f₁)

No que se refere ao perigo de propagação, distinguem-se três tipos de edifícios:

- **Tipo Z:** *Construção em células* dificulta e limita a propagação horizontal e vertical do fogo
- **Tipo G:** *Construção de grande superfície* permite e facilita a propagação horizontal do fogo, não a vertical
- **Tipo V:** *Construção de grande volume* favorece e acelera a propagação horizontal e vertical do fogo

Gênero de construção Modo de construção (em relação à propagação do fogo)	A	B	C
	Maciça (resistência ao fogo ≥ F30)	Mista (resistência ao fogo variável)	Combustível (resistência ao fogo ≤ F30 cb)
Em células Local de 30 – 200 m ²	Z	Z ⁽¹⁾ G ⁽²⁾ V ⁽³⁾	V
De grande superfície Andares separados entre si	G	G ⁽²⁾ V ⁽³⁾	V
De grandes volumes Conjunto do edifício, vários andares ligados	V	V	V

- (1) - Separações entre células e andares resistentes ao fogo.
 (2) - Separações entre andares resistentes ao fogo, entre células insuficientemente resistentes ao fogo
 (3) - Separações entre células e andares insuficientemente resistentes ao fogo

	Relação entre o comprimento e a largura do compartimento de incêndio								factor de amplidão de superfície g
	8:1	7:1	6:1	5:1	4:1	3:1	2:1	1:1	
Superfície do compartimento de incêndio AB em m^2	800	770	730	680	630	580	500	400	0,4
	1 200	1 150	1 090	1030	950	870	760	600	0,5
	1 600	1 530	1 450	1 370	1 270	1 150	1010	800	0,6
	2 000	1 900	1 800	1 700	1 600	1 450	1 250	1 000	0,8
	2 400	2 300	2 200	2 050	1 900	1 750	1 500	1 200	1,0
	4 000	3 800	3 600	3400	3 200	2 900	2 500	2 000	1,2
	6 000	5 700	5 500	5 100	4 800	4 300	3 800	3 000	1,4
	8 000	7 700	7 300	6 800	6 300	5 800	5 000	4 000	1,6
	10 000	9 600	9 100	8 500	7 900	7 200	6 300	5 000	1,8
	12 000	11 500	10 900	10 300	9 500	8 700	7 600	6 000	2,0
	14 000	13 400	12 700	12 000	11 100	10 100	8 800	7 000	2,2
	16 000	15 300	14 500	13 700	12 700	11 500	10 100	8 000	2,4
	18 000	17 200	16 400	15 400	14 300	13 000	11 300	9 000	2,6
	20 000	19 100	18 200	17 100	15 900	14 400	12 600	10 000	2,8
	22 000	21 000	20 000	18 800	17 500	15 900	13 900	11 000	3,0
	24 000	23 000	21 800	20 500	19 000	17 300	15 100	12 000	3,2
	26 000	24 900	23 600	22 200	20 600	18 700	16 400	13 000	3,4
	28 000	26 800	25 400	23 900	22 200	20 200	17 600	14 000	3,6
	32 000	30 600	29 100	27 400	25 400	23 100	20 200	16 000	3,8
	36 000	34 400	32 700	30 800	28 600	26 000	22 700	18 000	4,0
40 000	38 300	36 300	35 300	31 700	28 800	25 200	20 000	4,2	
44 000	42 100	40 000	37 600	34 900	31 700	27 700	22 000	4,4	
52 000	49 800	47 200	44 500	41 300	37 500	32 800	26 000	4,6	
60 000	57 400	54 500	51 300	47 600	43 300	37 800	30 000	4,8	
68 000	65 000	61 800	58 100	54 000	49 000	42 800	34 000	5,0	

Figura 2: Tipo d

A compartimentação vertical ocorre pela presença de uma laje de concreto armado que separa as lojas do estacionamento, porém os vãos existentes acabam por impedir que a estrutura se configure como um impedimento integral à propagação do incêndio. Além disso, não pode ser considerada a existência de compartimentação horizontal em função do desconhecimento do material das paredes internas, que isolam apenas o fundo das lojas, sendo insuficientes para a tarefa de impedir a propagação do fogo. Desse modo, o edifício é enquadrado numa mesma categoria nos dois métodos comparados, sendo tipo T segundo o Corpo de Bombeiros e tipo G, segundo Gretener. No entanto, o último apresenta a relação largura x comprimento do pavimento, juntamente a sua área total para quantificar o que se denomina Fator de amplidão da superfície, aspecto diretamente interligado a caracterização do edifício dentro dos tipos de construção apresentados, auxiliando a percepção volumétrica do local.

DENSIDADE DE CARGA INCÊNDIO (MJ/m^2)	f_2
$q \leq 100$	0,5
$100 \leq q < 200$	1,0
$200 \leq q < 300$	1,1
$300 \leq q < 400$	1,2
$400 \leq q < 600$	1,3
$600 \leq q < 800$	1,4
$800 \leq q < 1200$	1,5

DENSIDADE DE CARGA INCÊNDIO (MJ/m ²)	f ₂
1200 ≤ q < 1700	1,6
1700 ≤ q < 2500	1,7
2500 ≤ q < 3500	1,8
3500 ≤ q < 5000	1,9
5000 ≤ q < 7000	2,0
7000 ≤ q < 10000	2,1
10000 ≤ q < 14000	2,2
14000 ≤ q < 20000	2,3

Figura 3: Densidade de carga de incêndio (f₂) ou carga de incêndio mobiliária

O anexo A da IT-09 do Corpo de Bombeiros define a carga de incêndio por ocupação, sendo considerada, para fins de cálculo, a de maior valor dentre as atividades desempenhadas no local.

Carga de incêndio mobiliária, factor q								
Q _m	(MJ)	q	Q _m	(MJ)	q	Q _m	(MJ)	q
	m ²			m ²			m ²	
Até	50	0,6	401 - 600	1,3	5 001 - 7 000	2,0		
51 -	75	0,7	601 - 800	1,4	7 001 - 10 000	2,1		
76 -	100	0,8	801 - 1 200	1,5	10 001 - 14 000	2,2		
101 -	150	0,9	1 201 - 1 700	1,6	14 001 - 20 000	2,3		
151 -	200	1,0	1 701 - 2 500	1,7	20 001 - 28 000	2,4		
201 -	300	1,1	2 501 - 3 500	1,8				
301 -	400	1,2	3 501 - 5 000	1,9	mais de 28000	2,5		

Figura 4: Carga de Incêndio Mobiliária (GREENER)

Já o método de Gretnener faz necessária a apuração da carga de incêndio mobiliária de cada um dos estabelecimentos, sendo imprescindível adotar o valor relativo ao maior potencial destrutivo, cuja contribuição seja igual ou maior a 10% da carga total do pavimento, obtida pela soma das cargas individuais das lojas determinadas em função de sua tipologia e dos materiais presentes em seu interior, multiplicadas por sua área individual. Os resultados obtidos em cálculo apresentaram significativa similaridade nas duas metodologias aplicadas, o que presume a eficiência de ambos quanto a estipulação dos valores assumidos por tipologia.

TIPO DA EDIFICAÇÃO	PROFUNDIDADE DO SUBSOLO (m)			ALTURA DO PISO MAIS ELEVADO (m)		
	S > 4	4 < S ≤ 8	8 < S ≤ 12	H ≤ 6	6 < H ≤ 12	6 < H ≤ 12
Q	1,0	1,9	3,0	1,0	1,3	1,5
T	1,3	2,4	4,0	1,3	1,6	2,0
V	1,5	3,0	4,5	1,5	2,0	2,3

Figura 5: Fatores de risco associados a posição da carga de incêndio (f₃)

Edifícios de vários andares					
Andar				E ⁺	e
desde	o	11.º	andar	cota do nível do pavimento	
		8º	“	≤34m	2,00
“	“	7º	“	≤25m	1,90
“	“	6º	“	≤22m	1,80
“	“	5º	“	≤19m	1,85
“	“	4º	“	≤16m	1,75
“	“	3º	“	≤13m	1,65
“	“	2º	“	≤10m	1,50
“	“	1º	“	≤7m	1,30
r/chão				<4m	1,00

Figura 6: Nível do andar, ou altura útil do local (GREENER)

O pé direito da área ocupada pelas lojas até o piso do estacionamento é de 6,15m, já o pé direito máximo da área de estacionamento é de 8,80m, sendo considerado o fator em que $6 < H < 12$ segundo o Corpo de Bombeiros. Gretener trás uma análise relativa a partir da cota do nível do pavimento, o que dificulta a análise de particularidades construtivas e segmenta de forma ineficaz edifícios com vãos e distribuições de pavimentos distintos.

DENOMINAÇÃO	DISTÂNCIA (km)	f ₄
1 – muito próximo	$D \leq 1$	1,0
2 – próximo	$1 < D \leq 6$	1,25
3 – Medianamente distante	$6 < D \leq 11$	1,6
4 – Distante	$11 < D \leq 16$	1,8
5 – Muito distante ou inexistente	$D > 16$	4,0

Figura 7: Fatores de risco associados à distância do Corpo de Bombeiros (f₄)

Escalões de intervenção	s _z	Escalões de intervenção dos corpos locais de Bombeiros					Ausência BE
		Escalão Tempo	Instalação sprinkler	BE Escalão 1 + 2	BE Escalão 3	BE Escalão 4	
41	E ₁	≤ 15 min	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
42	E ₂	< 30 min.	1,00	0,90	0,95	1,00	0,80
43	E ₃	> 30 min.	0,95	0,75	0,90	0,95	0,60

Figura 8: Escalões de Intervenção (GRETENER)

A unidade do Corpo de Bombeiros mais próxima, localizada na Av. Amazonas, 3155 - Barroca, Belo Horizonte - MG, 30170-000, fica a 2,6km de distância do Mercado Central, sendo caracterizada como próxima, em função da facilidade e rapidez do acesso em caso de sinistro. Já Gretener utiliza o tempo de acesso como variável principal neste cálculo, sendo esse de no máximo 15 minutos em condições normais de trânsito.

DENOMINAÇÃO DO ACESSO	CONDIÇÕES DA EDIFICAÇÃO	f ₅
Fácil	1) Acesso da viatura pelo menos a duas fachadas da edificação, quando a edificação é do tipo Q ou T ou a três fachadas, quando a edificação é do tipo V; e 2) Hidrante público instalado no máximo a 75 m da edificação ou instalação de hidrante interno ou externo na edificação.	1,0
Restrito	1) Acesso a uma das fachadas, quando a edificação é do tipo Q ou T ou a duas fachadas quando a edificação é do tipo V; e 2) Hidrante público instalado no máximo a 75 m da edificação ou instalação de hidrante interno ou externo na edificação.	1,25
Difícil	1) Acesso a uma só fachada da edificação; e 2) Hidrante público instalado no máximo a 75 m da edificação ou instalação de hidrante interno ou externo na edificação.	1,6
Muito difícil	Acesso a uma só fachada da edificação; hidrante público a mais de 75 m da edificação.	1,9

Figura 9: Fatores de risco associados às condições de acesso (f₅)

A presença de saídas diretamente ligadas ao exterior em 3 das 4 fachadas do Mercado Central é um fator que pode ser considerado facilitador do acesso de viaturas em caso de problemas.

5. Risco de Ativação

DESCRIÇÃO	OCUPAÇÃO	A ₁
Habitacões unifamiliares multifamiliares e coletivas	A	1,25
Hotéis, pensoes, pousadas, apart-hotéis e semelhantes	B	
Escolas de todos os tipos, espaços para cultura física, centros de treinamento e outros	E	
Comércios e centros de compras	C	1,50
Escritórios, agências bancárias, oficinas de eletrodomesticos, laboratórios fotográficos, de análises clínicas e químicos	D	
Restaurantes, lanchonetes, bares, cafés, boates, clubes, salões de baile	F-6, F-8	
Serviços de saúde e Institucionais	H	
Locais de reunião de público que não os anteriores.	F-1 a F-11, exceto os grupos anteriores	1,12

Figura 10: Fatores de risco devido aos riscos de ativação conforme a ocupação (A₁) ;

Factor A	Perigo de activação	Exemplos
0,85	fraco	muséus
1,00	normal	apartamentos, hotéis, fabricação de papel
1,20	médio	fabricação de máquinas e aparelhos
1,45	elevado	laboratórios químicos, oficinas de pintura
1,80	muito elevado	fabricação de fogos de artifício, fabricação de vernizes e pinturas

Figura 11: Combustibilidade e Perigo de Fumo/Corrosão/Toxicidade

As categorias para a classificação do risco de ativação do método de Gretener não contemplam a tipologia de comércios e mercados, sendo necessário avaliar se os comércios existentes estão inseridos nas categorias apresentadas e considerar o de maior perigo para se avaliar o todo.

DESCRIÇÃO	A ₂
Usuários treinados e reciclados no treinamento ao menos uma vez por ano.	1,12
Usuários treinados e reciclados no treinamento ao menos uma vez a cada dois anos.	1,25
Usuários não treinados.	1,75

Figura 12: Falhas Humanas (A2)

O método de Gretener avalia 7 categorias de brigadas de incêndio de acordo com seu treinamento, sua disponibilidade, manuseio e posse de equipamentos de combate ao fogo, sendo extremamente específica quanto ao que denomina “Bombeiros de Empresa”, sendo esses a brigada treinada contratada pelo próprio empreendimento.

CARACTERIZAÇÃO DAS INSTALAÇÕES	A ₃
1) Instalações projetadas e executadas segundo as normas técnicas aplicáveis; 2) uso e manutenção regulares	1,12
1) Instalações projetadas e executadas segundo as normas técnicas aplicáveis; 2) uso inadequado (extensões sem projeto) e manutenção irregular	1,25
1) Instalações não projetadas segundo as normas técnicas aplicáveis	1,50

Figura 13: Qualidade das instalações elétricas e de gás (A3)

Diante do fato de que as ligações elétricas internas das lojas não são verificadas e incluídas em projeto, assume-se que exista risco em função de inadequações no uso e irregularidade nas manutenções necessárias. Gretener não apresenta um fator de categorização para o aspecto de qualidade das instalações elétricas e de gás.

6. Fatores de Segurança

DESCRIÇÃO	SÍMBOLO	FATOR DE SEGURANÇA
Alarme de incêndio com acionamento manual	S ₁	1,5
Detector de incêndio	S ₂	2,0
Detector de calor e fumaça com transmissão automática do sinal de alarme para o Corpo de Bombeiros ou para Central de segurança da Brigada de Incêndio da Edificação	S ₃	3,0

Figura 14: Medidas sinalizadoras do incêndio e fatores de segurança

Transmissão de alerta	s ₂	20	Transmissão de alerta ao posto de alerta de incêndio	
		21	Através de um posto ocupado em permanência (por exemplo, cubículo porteiro com telefone)	
		22	Através de um posto ocupado em permanência (de noite pelo menos 2 pessoas) com telefone	
		23	Transmissão de alerta automática a partir de uma central de detecção ou sprinkler para um posto de alarme de incêndio por meio de uma linha telefónica sem controle em permanência	
		24	Transmissão de alerta automática a partir de uma central de detecção ou sprinkler para um posto de alerta de incêndio por linha telefónica controlada em permanência (linha alugada ou TUS) (*) (*) Linha TUS é uma linha telefónica controlada constantemente. Se a linha ficar fora de uso, soa um alarme (ver medida s ₂₂) (NT)	
				1,05
				1,10
				1,10
				1,20

Figura 15: Transmissão de alerta (GRETENER)

Gretenner difere as medidas sinalizadoras de acordo com o modo como o alerta é feito, levando em consideração fatores que não são relevantes para o corpo de bombeiros, como a permanência de um funcionário em frente ao telefone e características específicas da linha telefônica utilizada em caso de alertas automáticos.

DESCRIÇÃO	SÍMBOLO	FATOR DE SEGURANÇA
Aparelhos extintores	S ₄	1,5
Sistema de hidrantes internos à edificação sem reserva técnica conforme as normas.	S ₅	4,0
Sistema de hidrantes internos à edificação com reserva técnica conforme as normas.	S ₆	10,0

DESCRIÇÃO	SÍMBOLO	FATOR DE SEGURANÇA
Brigada de incêndio em plantão durante o funcionamento	S ₇	6,0
Brigada de incêndio em plantão permanente	S ₈	8,0
Instalação interna de chuveiros automáticos	S ₉	12,0
Instalação externa de chuveiros automáticos	S ₁₀	6,0

Figura 16: Medidas extintivas e fatores de segurança

DESCRIÇÃO	SÍMBOLO	FATOR DE SEGURANÇA
Sistema de hidrantes externo com abastecimento por meio de reservatório público.	S ₁₁	6,0
Sistema de hidrantes externo com abastecimento por meio de reservatório particular ou comunitário.	S ₁₂	6,0
Reserva de água	S ₁₃	2,0

Figura 17: Medidas de infraestrutura

Medidas normais				n	
n ₁	10	Extintores portáteis		1,00	
	11	suficientes			
	12	insuficientes ou inexistentes			
n ₂	20	Bocas de incêndio armadas		1,00	
	21	suficientes			
	22	insuficientes ou inexistentes			
n ₃	30	Fiabilidade do sistema de abastecimento de água		Reserva de água para incêndio** - grande risco - mais de 3600 l/minuto mínimo 480 m ³ - risco médio - mais de 1800 l/minuto mínimo 240 m ³ - pequeno risco - mais de 900 l/minuto mínimo 120 m ³	
					Pressão de saída no hidrante
					menos de 2 bar
					mais de 2 bar
					mais de 4 bar
	31	Reservatório elevado com reserva de água para incêndio ou bomba de nível freático, independente da rede elétrica, com reservatório			0,70
	32	Reservatório elevado de água para incêndio sem reserva, com bomba de nível freático, independente da rede elétrica			0,65
	33	Bomba de nível freático independente da rede elétrica, sem reservatório			0,60
	34	Bomba de nível freático dependente da rede elétrica, sem reservatório			0,50
	35	Águas naturais			0,50
n ₄	40	Comprimento da conduta de transporte		1,00	
	41	Comprimento da conduta < 70 m (Distância entre o hidrante e a entrada do edifício)			
	42	Comprimento da conduta 70-100 m			
	43	Comprimento da conduta > 100 m			
n ₅	50	Pessoal instruído		1,00	
	51	Disponível e treinado			
	52	Inexistente			

Figura 18: Medidas Normais (GRETENER)

A metodologia de Gretner apresenta maior diversidade de opções em vista dos 3 fatores anteriores considerados pelo Corpo de Bombeiros, a exemplo da vazão disponível no sistema de abastecimento e do volume de reserva de incêndio, previstas na legislação construtiva, mas não consideradas para o cálculo em questão, além da dependência dos sistemas da rede elétrica, cuja importância faz-se necessária em função da grande possibilidade de falhas elétricas em situações de incêndio.

RESISTÊNCIA AO FOGO DA ESTRUTURA (min)	SÍMBOLO	FATOR DE SEGURANÇA
≥ 30	S ₁₄	1,25
≥ 60	S ₁₅	2,0
≥ 90	S ₁₆	3,0
≥ 120	S ₁₇	4,0

Figura 19: Resistência ao fogo da estrutura

Estrutura resistente	Elementos das fachadas, coberturas		Componentes de fachadas multi-camadas com camadas exteriores incombustíveis*	Madeira matérias sintéticas
	Betão tijolo metal	incombustível	combustível/protégida	combustível
Betão, tijolo, aço outro metais, incombustível	1,0		1,05	1,1
Construção em madeira: - F 30 cb - madeira / revestimento F 30 - maciça combustível: as dimensões cumprem os regulamentos	1,1		1,15	1,2
Construção em madeira: as dimensões não cumprem os regulamentos	1,2		1,25	1,3

*E autorizada parte da camada exterior combustível se não for possível a propagação vertical do incêndio.

Figura 20: Medidas estruturais

Medidas inerentes à construção						
$F = f_r \cdot f_e \cdot f_s \cdot f_a$						
f_r	11	Estrutura resistente (partes resistentes: paredes, vigas, pilares)				1,30
	12	≥ F 60				1,20
	13	< F 30 cb				1,00
f_e	Fachadas					
	Altura das janelas: 2/3 da altura do andar					
	21	≥ F 60				1,15
22	F 30/F 30 cb				1,10	
23	< F 30 cb				1,00	
f_s	Pavimentos**					
	(Elementos horizontais de separação horizontal entre níveis)					
	Número de andares					
	Ligações verticais					
	Z+G					
	V					
nenhuma ou isoladas						
Protégidas*						
não protegidas						
31	≥ F 60	2	1,20	1,10	1,00	
		≥ 2	1,30	1,15	1,00	
32	F 30	2	1,15	1,05	1,00	
		≥ 2	1,20	1,10	1,00	
33	F 30 cb	2	1,10	1,05	1,00	
		≥ 2	1,15	1,10	1,00	
34	< F 30 cb	2	1,05	1,00	1,00	
		≥ 2	1,10	1,05	1,00	
f_a	Superfície das células					
	Corta-fogo providas de divisórias F 30, F 30 cb, portas corta-fogo T 30.					
	Relação de áreas AF/AZ (em percentagem da área em planta da célula corta-fogo).					
	≥ 10%					
	< 10%					
	< 5%					
41	AZ < 50 m ²	F 30	1,40	1,30	1,20	
		F 30 cb	1,30	1,20	1,10	
42	AZ < 100 m ²	F 30	1,30	1,20	1,10	
		F 30 cb	1,20	1,10	1,00	
43	AZ ≤ 200 m ²	F 30	1,20	1,10	1,00	
		F 30 cb	1,10	1,00	1,00	

Nota: F 30 cb (resistência ao fogo de 30 minutos para estruturas de madeira)
* Aberturas protegidas no seu contorno por uma instalação sprinkler reforçada ou por uma instalação de dilúvio ou por cortina para-fumo.
** Não é válido para telhados.

Figura 21: Medidas Inerentes à Construção (GRETENER)

A análise da resistência ao fogo do edifício realizada pelo Corpo de Bombeiros considera a estrutura como um todo, de forma genérica; uma vez que Gretener apresenta a segmentação em Estrutura Resistente (compreende pilares, vigas e paredes estruturais), Fachadas (considerando inclusive a altura das janelas e o tamanho de seus vãos) e Superfícies das Células (compreendendo a existência de células e portas corta-fogo), sua análise apresenta maior detalhamento em termos de aspectos construtivos, o que facilita a aplicação de melhorias em termos de modificações arquitetônico-estruturais.

DESCRIÇÃO	SÍMBOLO	FATOR DE SEGURANÇA
Planta de risco	S ₁₈	1,1
Plano de intervenção	S ₁₉	1,2
Plano de abandono	S ₂₀	1,2
Sinalização das saídas de emergência e rotas de fuga	S ₂₁	1,2
Iluminação de emergência	S ₂₂	1,2
Controle de Materiais de Acabamento e de Revestimento	S ₂₃	6,0
Controle de fumaça	S ₂₄	10,0
Compartimentação horizontal	S ₂₅	2,0
Compartimentação vertical	S ₂₆	2,0

Figura 22: Medidas acessórias

Dentre os Fatores de Correção apresentados no método Gretener, é dado destaque aos relacionados a Exposição ao perigo acrescido das pessoas, cuja aplicação é feita considerando os demais fatores avaliados acrescidos da ocupação e utilização diária do espaço, dividida em p=1 Exposições, museus, locais de divertimento, salas de reunião, escolas, restaurantes, grandes lojas; p=2 Hotéis, pensões, lares infantis, albergues de juventude; p=3 Hospitais, lares para pessoas idosas, estabelecimentos diversos.



Figura 23: Equipamentos de prevenção e combate a incêndios

Fonte: acervo pessoal da autora, 2022.

7. Conclusão

O Mercado Central de Belo Horizonte é um icônico centro de comércio e cultura que abriga uma variedade de estabelecimentos comerciais, tornando-se um ponto de referência para moradores e visitantes. No entanto, como em qualquer espaço público, a segurança contra incêndios é uma preocupação fundamental para garantir a proteção das vidas humanas e do patrimônio ali presentes. Nesse sentido, a análise de risco de incêndio desempenha um papel crucial na identificação e prevenção de possíveis cenários de perigo.

O presente estudo teve como objetivo comparar o Método de Gretener, reconhecido por sua abordagem detalhada e minuciosa, com a análise de risco de incêndio prevista pelo Corpo de Bombeiros de Minas Gerais, no contexto específico do Mercado Central. Por meio dessa comparação, buscamos identificar as diferenças significativas entre as duas metodologias, com ênfase na possibilidade de complementação e aprimoramento da análise de risco prevista legalmente no estado.

Ao longo deste trabalho, exploramos aspectos cruciais da análise de risco de incêndio, como a compartimentação vertical e horizontal, a carga de incêndio mobiliária, o tempo de acesso dos bombeiros, as categorias de brigadas de incêndio, a avaliação das instalações elétricas, entre outros. Analisando cada um desses aspectos, identificamos diferenças marcantes entre as duas abordagens, destacando a maior precisão e detalhamento fornecidos pelo Método de Gretener.

Com base nas comparações realizadas, é notório que Gretener se constitui como o método mais detalhado em diversos aspectos relevantes para a análise de risco de incêndio no Mercado Central de Belo Horizonte. Essa abordagem minuciosa, que considera fatores como a segmentação da análise construtiva e estrutural e a quantidade de usuários do espaço, permite uma avaliação mais precisa e abrangente dos riscos associados a incêndios nesse ambiente complexo.

Assim, a utilização do Método de Gretener como complemento à análise de risco de incêndio realizada pelo Corpo de Bombeiros de Minas Gerais no Mercado Central pode proporcionar um panorama mais completo e aprimorado da segurança contra incêndios. Essa abordagem mais detalhada contribui para a identificação de áreas de maior risco e auxilia na implementação de medidas preventivas e corretivas adequadas, garantindo a proteção das vidas humanas e do patrimônio nesse importante centro de comércio e cultura.

Referências

1. CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE MINAS GERAIS. IT 35 – Segurança Contra Incêndio em Edificações Históricas. Belo Horizonte, Minas Gerais, Copyright, 2015, 8 p.
2. CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE MINAS GERAIS. IT 09 – Carga de Incêndio nas Edificações e Área de Risco. Belo Horizonte, Minas Gerais, Copyright, 2015, 9 p.
3. CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE MINAS GERAIS. IT 06 – Segurança Estrutural das Edificações. Belo Horizonte, Minas Gerais, Copyright, 2015, 11 p.
4. UC. UNIVERSIDADE DE COIMBRA. Manual de Uso do Método Gretener – Material disponibilizado durante o Congresso Luso-Brasileiro em Arquitetura e Engenharia, 2023, 53p.

ALTERNATIVAS DE PROJETO PARA PROTEÇÃO PASSIVA NOS EDIFÍCIOS INDUSTRIAIS

Deives de Paula^{(a)*}, João Paulo C. Rodrigues^(b), Aline L. Camargo^(c), Rúben F. R. Lopes^(d),
Maria Luiza C. Moreira^(e)

(a) *Universidade de Coimbra, CERIS, Itecons, Portugal (deives.paula@itecons.uc.pt)*

(b) *Universidade de Coimbra, CERIS, Itecons, Portugal e Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil (jpaoloc@dec.uc.pt)*

(c) *Universidade de Coimbra, CERIS, Itecons, Portugal (aline.camargo@itecons.uc.pt)*

(d) *Universidade de Coimbra, CERIS, Itecons, Portugal (ruben.lopes@itecons.uc.pt)*

(e) *Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG (marialuizacalderaro@ufmg.br)*

RESUMO

O incêndio representa um dos eventos mais danosos à vida e à natureza, podendo provocar tanto perda de vidas humanas, de fauna e flora nas florestas, e destruição do patrimônio e sítios ambientais e/ou arqueológicos. Os incêndios florestais, comuns em diversas partes do mundo, quando se aproximam das zonas urbanas são denominados incêndios de Interface Urbano-Florestal. Tendo como caso particular, devido às questões de planejamento urbano, os incêndios de Interface Industrial-Florestal (IIF). As áreas de IIF são constituídas por zonas industriais que se encontram ou estão dispersas na vegetação florestal. Os incêndios na IIF podem resultar em perdas significativas, para além das mencionadas anteriormente, gerando sérias consequências ao desenvolvimento da região e do país, como a interrupção de empresas e sua atividade produtiva. As características da carga de incêndio na vegetação limítrofe à propriedade industrial e o potencial de contribuir com a propagação do incêndio, juntamente com as características construtivas e de operação dos edifícios industriais na interface com a floresta são questões relevantes para a definição das medidas de proteção contra incêndio para proteger estes edifícios do risco de incêndio florestal.

A reação ao fogo dos sistemas construtivos dos edifícios industriais devem restringir a ignição e limitar ao máximo sua propagação inicial, evitando ou retardando a entrada deste no interior do edifício. Este artigo busca consolidar os aspetos relevantes para proteção dos edifícios industriais contra os incêndios florestais, explorando alternativas de projeto que podem ser incorporadas às medidas de proteção passiva na envolvente exterior dos edifícios, tendo em conta o cenário de incêndios florestais ocorridos em Portugal.

Palavras chave: incêndio; interface industrial florestal; edifícios industriais; proteção passiva.

* Autor correspondente - deives.paula@itecons.uc.pt, University of Coimbra, CERIS, Department of Civil Engineering, Itecons, Coimbra, Portugal.

1. INTRODUÇÃO

O incêndio representa um dos eventos mais danosos à vida e à natureza, podendo provocar tanto a perda de vidas humanas, de fauna e de flora nas florestas, e da destruição do patrimônio e de sítios ambientais e/ou arqueológicos. Em relação aos incêndios que ocorrem na interface industrial florestal, tais eventos podem resultar em grandes perdas e sérias consequências ao desenvolvimento da região e do país, como a interrupção de empresas e sua atividade produtiva, o massivo desemprego e prejuízos econômicos significativos. A Interface Industrial-Florestal (IIF) é um dos casos de Interface Urbano-Florestal (IUF), onde as Zonas Industriais se encontram com as Zonas Florestais que as envolvem [1].

Segundo McNamee *et. al* [2] há a necessidade do desenvolvimento de relativas ao entendimento dos incêndios nas zonas de interface de forma que as edificações se tornem mais resilientes. Manzello *et al.* [3] expõe que a propagação do incêndio na interface urbano florestal é um problema multidimensional, tornando-o um fenômeno mais complexo do que o incêndio em edifícios ou o estudo da propagação de incêndios florestais e embora as causas iniciais de grandes incêndios urbanos sejam variadas, há semelhanças na propagação subsequente do incêndio. Na interface industrial florestal, as características da carga de incêndio associadas à natureza da vegetação (tipo de vegetação, altura, afastamento e adensamento) e a proximidade desta com o edifício industrial tem o potencial de contribuir com o início e o desenvolvimento do incêndio na envolvente externa destes edifícios.

A projeção de partículas incandescentes, a frente de chamas que avança da floresta em direção aos edifícios e o fluxo de calor radiante proveniente da combustão da vegetação adjacente aos mesmos são as principais situações condições que propiciam a ignição dos elementos construtivos e seus materiais. Durante os eventos de incêndio florestal em zonas de interface industrial florestal, pode ocorrer a destruição parcial ou total do edificado. Em Portugal, os incêndios de Pedrógao Grande e Góis [4,5] provocaram 64 vítimas e envolveram em chamas aproximadamente 490 casas e quase 50 indústrias, mas os grandes incêndios de 15 de outubro de 2017 [6,7], fortemente influenciados pelo Furacão Ophélia, provocaram um total de 48 mortes e afetaram 521 empresas, com perdas financeiras num total de 275 milhões de Euros.

Diante das perdas promovidas por incêndios e da complexidade que o problema do incêndio nas zonas de IIF apresenta, este artigo busca consolidar os aspetos de projeto relevantes para proteção dos edifícios industriais contra os incêndios externos, os quais podem ser aplicados à arquitetura do edifício e suas medidas de proteção passiva, tendo em conta o cenário de incêndios florestais ocorridos em Portugal.

2. Mecanismos de propagação dos incêndios florestais

Os efeitos dos incêndios florestais nos elementos de construção tem como origem as características da forma como estes incêndios incidem nos edifícios ao longo do tempo. As condições de ataque aos edifícios podem ser divididas em três categorias principais [8]: por meio do depósito de fagulhas ou partículas inflamadas que são transportadas pelo vento; por radiação proveniente da frente de chama e; o ataque com chamas diretas.

A predominância do ataque por fagulhas e/ou partículas inflamadas carregadas pelo vento foi observada em diversos eventos de incêndios florestais [8], sendo que o risco associado a este tipo de ataque é influenciado por um conjunto de aspetos. Tais aspetos são a quantidade, forma e o material das fagulhas; a quantidade de partículas combustíveis que são transportadas pelo vento durante o ataque; a duração do ataque, e as condições ambientais sob as quais as fagulhas sejam depositadas, adjacentes ao edificado ou se ingressam ao interior dos edifícios.

O impacto da radiação em uma edificação industrial é sinónimo da proximidade das chamas provenientes do incêndio florestal em curso, pois as chamas são a própria fonte de radiação. Alguns elementos construtivos podem não ser danificados mesmo expostos ao fluxo de calor radiante por períodos curtos. Entretanto, outros elementos podem ser severamente danificados por exposições de longa duração com fluxos de calor radiante relativamente baixos. *Potter and Leonard* [9] relatam a utilização de curva de exposição a distintos perfis de fluxo de calor radiante em função do tempo, um caminho para determinar a sensibilidade dos elementos de construção e estabelecer critérios de seleção para os materiais e respetivos sistemas construtivos.

A propagação do calor radiante ocorre de forma linear e os objetos visivelmente opacos vão bloquear esta propagação, incluindo as árvores, cercas, persianas, etc. Objetos transparentes como o vidro permitem que algum calor radiante passe por eles, por meio de refração das ondas eletromagnéticas. O tipo de vidro e os revestimentos externos da parte envidraçada têm grande influência nestas situações.

A energia que é absorvida pelos elementos construtivos, proveniente do calor radiante, provoca-lhes aquecimento, incluindo os materiais ao redor deles e no interior dos edifícios, podendo resultar nas seguintes situações:

- Falha estrutural de um componente de um edifício, por fusão ou fissuração;
- Ignição de um componente do edifício, devido ao seu aquecimento, a ponto de liberar gases inflamáveis que são facilmente inflamados pelas partículas inflamadas (ignição pilotada - com a presença de chamas);
- No aquecimento de um componente do edifício até o ponto em que os gases se inflamam espontaneamente (ignição não pilotada ou espontânea);
- Na perda de humidade da superfície do material de forma rápida, aumentando a sua capacidade de inflamar e/ou capacidade de sustentar a propagação da chama, levando a uma das duas condições acima.

O impacto das chamas diretamente à estrutura pode ocorrer quando a frente de chamas do incêndio florestal esteja a arder na proximidade do edifício, seja por meio da vegetação envolvente, na ignição de materiais armazenados, em pequenas coberturas ou nas cercas. Seja por qualquer um dos três mecanismos de ataque aqui citados, os elementos construtivos da envolvente exterior dos edifícios industriais podem ser ignizados, e podem permitir a ignição de materiais no interior destes edifícios, e estes mecanismos funcionam sinergicamente com a predominância do ataque por radiação.

De forma geral, os componentes construtivos com materiais combustíveis incorporados

possuem um valor de fluxo de calor radiante a partir do qual podem inflamar, ou seja, um valor limite para a sua ignição. Há limites para a ignição pilotada ou não pilotada, sendo normalmente os valores mais baixos para a ignição pilotada. No caso dos eventos de incêndio florestal, considerar o valor limite para ignição pilotada dos materiais é o mais apropriado, pois normalmente depositam-se uma quantidade expressiva de partículas inflamadas que são capazes de iniciar a ignição.

Em relatório publicado pelo CSIRO [9] os elementos de madeira apresentaram valores da ordem de 12 kW/m² para ignição pilotada, e de forma coincidente, os elementos da janela de vidro comum (com uma única pele de vidro) têm valor de referência semelhante para a sua rutura. Estes valores são equivalentes aos estabelecidos como referência para ignição pilotada de materiais celulósicos, utilizados para determinar a distância mínima segura de separação entre edifícios [10,11]. O vidro temperado apresenta sua rutura com valores de fluxo de calor radiante na ordem de 40 kW/m² [9].

Nas envolventes externas dos edifícios, ou seja, nas paredes de fachada e nas coberturas destes, as características de reação ao fogo dos materiais utilizados precisam funcionar como medidas passivas contra a ação dos incêndios, limitando a sua propagação inicial, e apresentar comportamento no sentido de evitar, ou de retardar ao máximo, que o incêndio avance ao interior do edifício industrial.

Diante disto, se há o potencial risco da ocorrência do incêndio florestal e de que os materiais utilizados na construção das fachadas e das coberturas possam contribuir significativamente para o início e crescimento do incêndio para o interior do edifício, encontra-se uma situação que merece a atenção. Portanto, tratar os aspetos do ponto de vista arquitetónico quanto do ponto de vista dos materiais incorporados à envolvente exterior da edificação torna-se uma alternativa importante como medida passiva contra a ação dos incêndios florestais.

3 Abordagem para proteger os edifícios industriais frente aos incêndios florestais

3.1 Contextualização da abordagem

De forma geral, os objetivos para a segurança contra incêndio nos edifícios são necessários de forma a definir o nível de desempenho a ser alcançado, e podem ser distintos em função da sua ocupação, do risco, relação custo/benefício, estatísticas etc. Tais objetivos também dependem de quais são as medidas para segurança contra incêndio consideradas para a edificação, incluindo a sua fiabilidade e qualidade de implantação. Algumas questões para definir o nível de desempenho quanto ao objetivo envolvem a limitação do princípio de incêndio; limitação do crescimento rápido do incêndio, e; a limitação da ocorrência da inflamação generalizada (*Flashover*). O sistema de classificação de reação ao fogo na Europa, no caso as Euroclasses de reação ao fogo, tem como base a limitação da ocorrência da inflamação generalizada [12] sendo atualmente considerada em Portugal no Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios RT-SCIE [13]. No Brasil, segue-se abordagem equivalente, proposta por Berto [14].

Dentro deste contexto a premissa é de que o princípio de incêndio seja limitado, tenha menos condições de se propagar, e ficar restrito a, normalmente a um ou dois compartimentos. As

medidas relativas à resistência ao fogo abrangem sobretudo os dois últimos objetivos (restabelecer as atividades no edifício e restringir os danos aos bens e ao edifício). Ou seja, as medidas de proteção passivas precisam desempenhar caráter protetivo perante a ocorrência de um incêndio.

Há duas fases distintas na produção dos edifícios que são relevantes para definir a incorporação da segurança contra incêndio [14]: a fase de concepção e construção da habitação e a fase de uso normal dos edifícios por meio de seus ocupantes. Na primeira fase (concepção dos edifícios) deve-se pensar em estabelecer materiais e sistemas construtivos com melhor comportamento frente aos incêndios florestais. A concepção mais robusta em projeto das soluções construtivas, as quais exijam o mínimo de ações de manutenção e tenham maior durabilidade são questões colocadas por *Ramsay and Rudolph* [8] para tornar os edifícios mais seguros frente aos incêndios florestais.

A segunda fase (ocupação do edifício) as ações devem ser conduzidas pelos ocupantes no sentido de mitigar ou reduzir os riscos frente aos incêndios florestais, realizando-se intervenções no ambiente industrial de forma a evitar acúmulo de detritos nas diversas partes do exterior dos edifícios, de evitar o armazenamento de materiais combustíveis em locais propensos a ignição por meio do exterior e de preservar o afastamento de áreas de armazenamento de materiais brutos ao ar livre fora em relação aos edifícios industriais e suas infraestruturas.

Tendo em conta a complexidade dos mecanismos de ataque dos incêndios florestais aos edifícios, deve-se tratar o problema com uma abordagem sistêmica em que as medidas passivas de proteção contra incêndio sejam dimensionados sob a ótica do desenvolvimento do incêndio vindo do exterior, visando a preservação do edifício e no sentido de evitar danos e prejuízos econômicos de grande monta. A Tabela 1 apresenta esta abordagem que pode ser aplicada nos edifícios industriais em zonas de IIF.

Tabela 1 – Objetivos de SCI versus princípios de projeto para edifícios em áreas propensas aos incêndios florestais.

Objetivos (O) \ Princípios (P)	P1: Reduzir os pontos de acúmulo de fagulhas e de detritos	P2: Reduzir a utilização de materiais combustíveis na envolvente exterior	P3: Evitar o ingresso de fagulhas e partículas inflamadas carregadas com o vento	P4: Proporcionar a continuidade dos serviços públicos essenciais
O1: Reduzir as ignições por fagulhas e detritos em combustão impulsionados pelo vento	✓	✓	✓	✓
O2: Reduzir as ignições pelos efeitos do calor radiante	-	✓	-	✓
O3: Reduzir as ignições por contato direto com a chama	✓	✓	-	✓

O4: Reduzir os danos causados pelo vento	-	-	✓	-
--	---	---	---	---

Durante os eventos de incêndios florestais a maioria dos incêndios no edificado iniciam-se por meio de pequenas ignições. As ignições têm a progressão lenta no início, podem encontrar condições para evoluir progressivamente por todo o edifício. As fontes de ignição externas aos edifícios nas zonas de IUF podem ser facilitadas com o acúmulo de folhas e outros detritos antes e durante o incêndio florestal. Folhas secas e galhos acumulados nas proximidades dos edifícios são fontes que favorecem o início de ignições, e quando levados pela ação do vento, acumulam-se no exterior dos edifícios, contra as superfícies verticais e sobre elementos horizontais, sob os edifícios e no interior dos edifícios, através de frestas no telhado e nos revestimentos das paredes. Fagulhas e partículas inflamadas em chamas depositadas sobre o combustível fino acumulado podem ignizá-lo, iniciando-se as chamas e atingir outros materiais potencialmente combustíveis no edifício.

É importante destacar que para que esta ignição ocorra na envolvente externa é necessária a combinação de dois fatores. Um deles é a capacidade dos materiais associados aos componentes do edifício (materiais incorporados aos sistemas construtivos) resistirem ao ataque térmico e o outro está relacionado com as condições de ignição destes materiais com o acúmulo de folhas e detritos adjacentes a estes componentes. Ou seja, o primeiro essencialmente está associado com as questões relativas a reação e resistência ao fogo.

O segundo aspeto pode ser tratado no âmbito do projeto arquitetónico do edifício industrial e podem ser estudadas alternativas ao projeto dos componentes dos edifícios industriais no sentido de atingir os objetivos específicos apontados na Tabela 1 para tornar estes ambientes mais resilientes aos mecanismos de ataque dos incêndios florestais citados neste artigo, sendo estas alternativas apresentadas no tópico a seguir.

3.2 Aspetos de projeto para tornar o edifício industrial mais resiliente perante os incêndios florestais

Em um edifício novo ou em remodelação de um edifício podem ser utilizadas diversas soluções de projeto as quais podem contribuir para a melhoria do desempenho da edificação durante eventos de incêndio florestal. Por exemplo, uma cobertura com geometria e formas complexas e que tenha reentrâncias internas, o uso de caleiras internas, juntas difícil acesso e numerosos pontos de acúmulo de material vegetal morto, podem ser substituídas por uma cobertura com plano inclinado simples, e todas as águas da cobertura inclinadas para fora, utilizando-se as caleiras próximas ao beirado de forma externa. Em alguns casos, uma opção de projeto pode eliminar completamente a vulnerabilidade à ignição ou a ocorrência de danos. Em outros, uma opção pode apenas reduzir a vulnerabilidade sob aquele aspeto. A eliminação é sempre preferível a redução. Por exemplo, a ignição em espaços subterrâneos pode ser eliminada pelo uso de construção de laje no solo, enquanto o fechamento dos espaços subterrâneos pode apenas reduzir a vulnerabilidade.

A Tabela 2 apresenta algumas alternativas que podem ser utilizadas em novos projetos ou na remodelação de edifícios existentes, com base nos objetivos e princípios de projeto destacados

na Tabela 1. Nos itens 3.2.1 a 3.2.6 estão descritas alternativas de projeto para a redução da vulnerabilidade dos edifícios frente aos incêndios florestais conforme os objetivos de SCI.

Tabela 2 – Descrição das alternativas de projeto (AP) – Adaptadas de *Ramsay and Rudolph* [8]

Componente do Edifício	Descrição da Alternativa de Projeto (AP) proposta para o componente da habitação		Objetivos de SCI a atingir (O1 a O4)	Princípios de Projeto Utilizados (P1 a P4)
Geometria da envolvente exterior	AP1.1	Use uma forma plana com o menor número possível de cantos reentrantes	O1	P1
	AP1.2	Utilizar materiais de construção com característica não combustível	O1	P2
Geometria da cobertura	AP2.1	Tornar o perfil da cobertura o mais simples possível	O1	P1
	AP2.2	Utilizar materiais não combustíveis em pontos de acúmulo de fagulhas e partículas em chamas	O1	P2
Revestimento da cobertura	AP3.1	Substituir ou proteger componentes de madeira em áreas onde fagulhas e partículas inflamadas possam acumular	O1	P2
	AP3.2	Instalar manta de isolamento contra humidade e vento	O1	P3
	AP3.3	Realizar a vedação de pequenas aberturas na cobertura	O1	P3
	AP3.4	Proteger as clarabóias nas coberturas	O1	P3
	AP3.5	Projetar e construir a estrutura da cobertura e seu revestimento contra a ação de ventos extremos	O4	P3
Caleiras e tubos de queda para águas pluviais	AP4.1	Eliminar as caleiras da cobertura	O1	P1
	AP4.2	Evitar a utilização de caleiras estreitas	O1	P1
	AP4.3	Instalar caleiras visíveis e acessíveis à manutenção	O1	P1
	AP4.4	Instalar tampas ou filtros sobre as caleiras na cobertura para reduzir a entrada de detritos	O1	P4
Paredes Externas	AP5.1	Eliminar ou reduzir os pontos vulneráveis	O1	P1
	AP5.2	Utilizar materiais de construção com característica não combustível	O1, O2 e O3	P2
	AP5.3	Instalar manta de isolamento contra humidade e vento	O1	P3
Portas e Janelas	AP6.1	Proteger soleiras de portas e peitoris de janelas	O1	P1
	AP6.2	Usar vidro especial para evitar rutura	O1, O2, O3 e O4	P3
	AP6.3	Utilização de persianas e estores para evitar rutura dos vidros	O1, O2, O3 e O4	P3
	AP6.4	Use telas de proteção contra insetos em malha de metal para evitar rutura dos vidros	O1, O2, O3 e O4	P3
	AP6.5	Instalar vedações à base das portas	O1	P3

3.2.1 Geometria da envolvente exterior

As decisões sobre a geometria da planta do edifício são no início de um programa arquitetónico ou quando há alterações ou acréscimos de espaços. De modo geral, uma forma de uma planta mais simples, com menos cantos e reentrâncias, tem o potencial de eliminar pontos de ignição.

- **AP1.1 - Desenvolver a planta do edifício com o menor número possível de cantos reentrantes:** Podem ocorrer ignições nesses cantos reentrantes quando as bordas inferiores das paredes encontram as superfícies horizontais, como o solo ou o topo de um deck ou varanda. Ver Figura 1.
- **AP1.2 - Utilizar materiais não combustíveis nos cantos reentrantes:** O uso de materiais incombustíveis nos cantos reentrantes é uma alternativa possível, quando não se desejar removê-los. No entanto, plantas arquitetónicas com geometrias complexas e cantos reentrantes podem levar a soluções de coberturas que resultem em condições favoráveis para a acumulação de detritos.

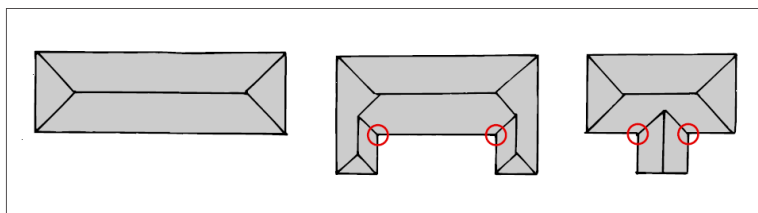


Figura 1 – Simplificação dos cantos reentrantes (círculos em vermelho) [8]

3.2.2 Perfil da cobertura

O perfil da cobertura é em grande parte influenciado pela geometria da planta de um edifício. O objetivo a ser atingido é que a cobertura tenha a capacidade de escoar com facilidade os detritos e o acúmulo de vegetação morta.

- **AP2.1 - Simplificar o perfil da cobertura:** É possível obter inclinando-se todo o perfil da cobertura para fora de forma contínua, evitando quebras. As caleiras internas e nos parapeitos normalmente são mais propensas a acumularem os detritos e as fagulhas, especialmente se as árvores estiverem sobre a projeção do edificado ou se estiverem próximas ao mesmo. A Figura 2 mostra exemplos de perfis indesejáveis (marcados em vermelho) e como estes podem ser simplificados em termos de projeto. Quando são realizados acréscimos de áreas a edifícios existentes, pode acrescentar pontos vulneráveis para o acúmulo de galhos e folhas, com a junção entre o edifício existente e a área acrescida. Pode ser agravado pelo fato desta junção estar fora do ângulo de visão e seja difícil de se alcançar para realizar as manutenções.

- **AP 2.2 - Use materiais não combustíveis nos pontos de acúmulo de brasas e detritos em chamas:** Os problemas com os perfis de cobertura mostrados na Figura 2 podem ser reduzidos se forem utilizados materiais incombustíveis nos pontos circulados nas figuras. Nas situações que existam, por exemplo, painéis de madeira, que sejam necessários por razões estruturais ou para fixações, eles podem ser revestidos por material não combustível (ex.: como chapa metálica).

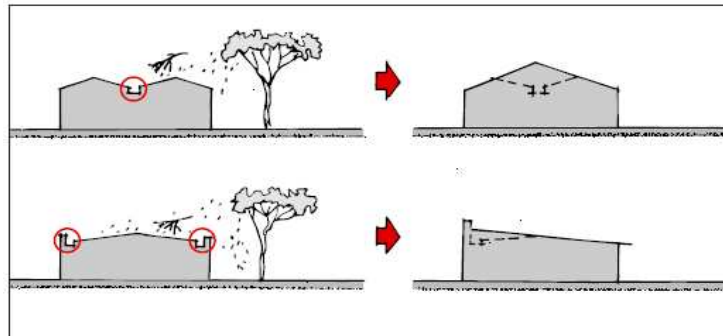


Figura 2 – Exemplo de perfis de cobertura indesejáveis e propostas de simplificação em projeto (Adaptado de Ramsay and Rudolph [8])

3.2.3 Revestimento da cobertura

Grande parte dos incêndios nas habitações começam nos telhados e nos seus vãos. O acúmulo de folhas e detritos, combinado com as fagulhas e partículas em chamas podem ser soprados por meio de pequenos vãos dentro e ao redor do revestimento do telhado e também se acumular dentro do espaço interior a cobertura. Dependendo do revestimento do telhado, com a ação de ventos extremos, podem sair do lugar (por exemplo telhas cerâmicas), permitindo que brasas e detritos em chamas entrem no interior da habitação. Quanto mais inclinada for a cobertura, menos propensa a acumular detritos, fagulhas e partículas inflamadas. Os revestimentos da cobertura devem ser afixados com segurança e também vedados de acordo com as recomendações técnicas fabricantes das soluções.

- **AP3.1 - Substituir ou proteger componentes de madeira adjacentes a áreas onde detritos e fagulhas possam se acumular:** A madeira usada como painel debaixo do revestimento do telhado pode ser substituída por chapa metálica.
- **AP3.2 - Fornecer manta de isolamento contra humidade e vento:** No cenário australiano, para coberturas com telhas asfálticas (tipo *shingle*), são utilizadas mantas de isolamento contra a ação da humidade e do vento, para melhoria do desempenho térmico na habitação. No caso de Portugal, esta solução é pouco utilizada. Esta manta de isolamento deve apresentar baixa inflamabilidade, de forma a não permitir o avanço do incêndio com a ignição por depósito de partículas inflamadas. A Figura 3 apresenta em vermelho pontilhado a inserção da manta de isolamento nos beirados, nas cumeeiras e entre o revestimento da cobertura e sua estrutura.

- **AP3.3 - Vedar o espaço da cobertura:** Nas situações em que revestimento do telhado contém aberturas, como claraboias, chaminés, equipamentos de ar condicionado, painéis fotovoltaicos, entre outras situações equivalentes, devem ser providenciadas maneiras para evitar a entrada de fagulhas com técnicas de remates com material incombustível e de selagem do tipo corta-fogo. Além disso, deve-se atentar para a impermeabilização de pontos vulneráveis, como cumeeiras e beirados, que existem na grande maioria dos telhados. Ver Figura 4.

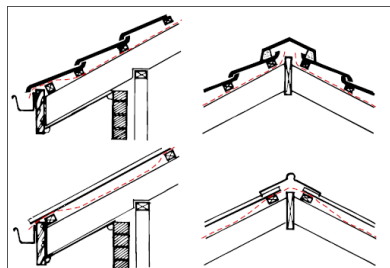


Figura 3 – Manta de isolamento contra umidade e vento [8]

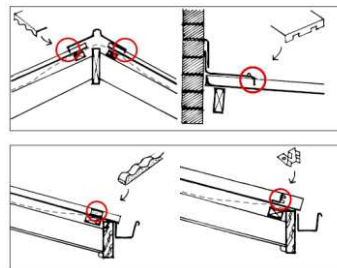


Figura 4 – Vedação do revestimento da cobertura [8]

- **AP3.4 - Tornar as claraboias resistentes a ação do calor:** Os materiais termoplásticos usados para a ajudar na iluminação do revestimento de algumas coberturas (ex. telhas translúcidas em policarbonato) podem sofrer o derretimento, e sofrer o colapso sob o calor intenso dos incêndios florestais, permitindo assim a entrada de partículas inflamadas. Deve-se utilizar elementos de iluminação zenital com materiais incombustíveis (ex. vidros resistentes ao fogo) e com estrutura de fixação e remates também incombustíveis.
- **AP3.5 - Projetar e instalar o revestimento da cobertura e sua estrutura para a ação de ventos extremos:** As fixações do revestimento e da estrutura devem ser inspecionadas e mantidas regularmente para verificar qualquer folga do revestimento da cobertura com a sua estrutura. A vedação dos pontos descritos no item anterior reduz a oportunidade do vento movimentar a cobertura e seus elementos.

3.2.4 Caleiras e tubos de queda para águas pluviais

- **AP4.1 - Eliminar as caleiras do telhado:** Em locais onde a captação e a descarga de água pluvial da cobertura não é necessária, a eliminação das caleiras e modificação do perfil da cobertura para escoar a água para fora da projeção do edifício é uma opção. Caso seja necessária a captação e descarga da água pluvial proveniente da cobertura, esta pode ser direcionada para valas com brita (ou seixos rolados) e o escoamento ser conduzido nos tubos de drenagem instalados nas valas. Ver Figura 5.
- **AP4.2 - Evitar o uso de caleiras estreitas:** Fica dificultada a remoção de folhas e outros detritos combustíveis de caleiras estreitas. Caleiras em vales estreitos e

reentrantes podem propiciar condições para a acumulação de fagulhas e partículas inflamadas.

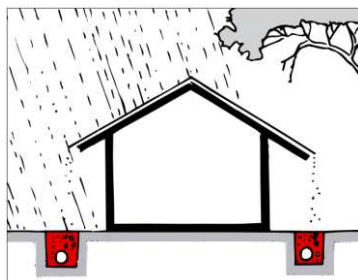


Figura 5 – Exemplo de eliminação de caleiras e tubos de queda [8]

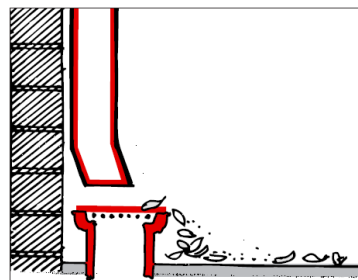


Figura 6 – Exemplo de acessibilidade para os tubos de queda [8]

- **AP4.3 - Tornar as caleiras facilmente visíveis e acessíveis:** caleiras na cobertura que não estejam à vista ou não são prontamente acessíveis (por exemplo, caleiras atrás de paredes de platibandas) provavelmente não serão limpas com a frequência necessária. Uma forma para de manter os tubos de queda limpos é deixar a sua descarga em uma abertura de drenagem coberta por uma tela, e entre esta abertura de descarga e a tela de drenagem conter um espaço para a limpeza. Ver Figura 6.
- **AP 4.4 - Use tampas ou filtros sobre as caleiras do telhado para reduzir a entrada de detritos:** Vários dispositivos, incluindo os seguintes, estão disponíveis: tampas de chapa metálica; telas com malha de metal e plástico; protetores de plástico com fenda. Apesar disto, todas essas tampas e filtros podem permitir que algum detrito entre na calha e os detritos possam ainda se acumular na parte superior do dispositivo. Portanto, a manutenção regular com determinada frequência é necessária.

3.2.5 Paredes Externas

- **AP 5.1 - Elimine transições entre planos com pontos vulneráveis:** As transições entre planos com outros elementos de construção podem propiciar a acumulação de fagulhas e partículas inflamadas, e podem ser removidos por uma análise de projeto. Ver círculos em vermelho na Figura 7.
- **AP 5.2 – Utilização de materiais incombustíveis:** O uso de blocos cerâmicos, blocos de betão, chapas de aço ou de alumínio são incombustíveis e são materiais que reduzem as ações de manutenção ao longo da vida do edifício.
- **AP 5.3 - Fornecer tela de proteção contra a humidade e vento:** No caso de paredes revestidas com materiais como madeira, PVC ou chapa de fibrocimento, as mesmas são mais suscetíveis a danos por calor radiante ou por objetos trazidos carregados com o vento. O uso de tela de isolamento contra humidade e vento por

trás deste revestimento é uma boa prática, mas esta tela tem que ter baixa combustibilidade, ou seja, bom comportamento em termos de reação ao fogo.

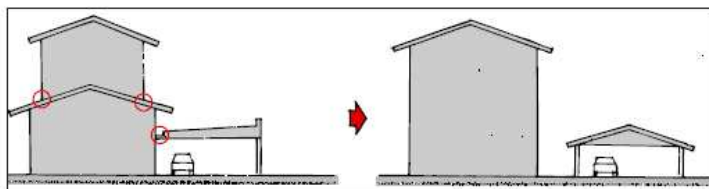


Figura 7 – Exemplo de remoção de transições entre paredes e outros elementos de construção [8]

3.2.6 Portas e Janelas

As portas são muitas vezes feitas de materiais combustíveis, têm aberturas sob elas e as soleiras podem acumular brasas e detritos em chamas. As portas e janelas de vidro estão sujeitas a quebrar sob o impacto do calor e dos objetos transportados pelo vento, permitindo a entrada de brasas e detritos em combustão, e as esquadrias são muitas vezes feitas de materiais combustíveis. Ventilações e outras pequenas aberturas oferecem oportunidades para a entrada de brasas e detritos finos em combustão.

- **AP 6.1: Proteger soleiras de portas e os peitoris das janelas:** As portas e janelas externas devem estar niveladas com a extremidade exterior das soleiras e peitoris, respetivamente, de forma que evite a acumulação de detritos e de fagulhas nessas superfícies horizontais. A instalação de uma tela mosquiteira na parte externa da soleira também é uma alternativa apropriada. Ver Figura 8.
- **AP 6.2 - Use elemento envidraçado adequado contra o fogo:** O uso de vidro temperado em portas e janelas é uma solução mais apropriada. O vidro aramado é uma opção para ambientes que requeiram obstrução da visibilidade com o exterior. A redução da área de vidro nos painéis contribui na redução da probabilidade da quebra destes elementos.
- **AP 6.3: Instalar persianas para evitar rutura de vidros:** A utilização de persianas do lado de fora das portas e janelas protegem o vidro. As persianas podem ser eficazes, mas elas têm a desvantagem de ser um sistema ativo porque exigem que as pessoas as fechem (e as mantenham fechadas entre nos eventos de incêndios florestais). As persianas em material incombustível (aço ou alumínio) articuladas, deslizantes ou do tipo estore, são alternativas apropriadas. Os estores têm a vantagem de terem pequenas fendas visíveis que permitem que as pessoas vejam o que está acontecendo do lado de fora durante a passagem de uma frente de incêndio florestal.
- **AP 6.4 – Usar telas com malha de metal:** O uso de telas do lado de fora das portas e portadas para proteção contra insetos é algo que pode ser adequado no sentido de evitar a rutura do vidro das portas e janelas durante os incêndios florestais. Pequenas

aberturas nas paredes podem ser grelhas de ventilação, elementos de drenagem e aberturas para exaustores, com tela em metal e malha de abertura inferior a 2 mm.

- **AP6.5 – Vedar pequenas lacunas:** As portas devem ser vedadas no sentido de vedar as frestas na base das portas. Ver Figura 9.

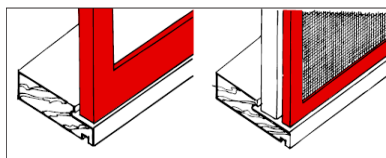


Figura 8 – Proteção de soleiras [8]

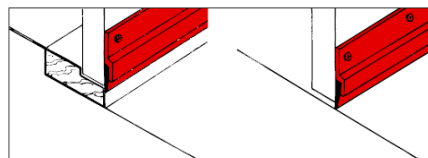


Figura 9 – Vedação à base das portas [8]

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente artigo teve como objetivo apresentar alguns dos principais aspetos de projeto que são relevantes no sentido de mitigar ou reduzir os pontos de ignição nos edifícios industriais, tendo em conta a dinâmica dos incêndios florestais e seus efeitos no edificado. Alguns aspetos consideram características da realidade australiana, entretanto, grande parte das situações ali colocadas aplicam-se ao cenário de construção em Portugal, as quais podem ser incorporadas a novos projetos ou a remodelações com o foco na proteção dos edifícios contra a ação de incêndios florestais.

A busca por estas informações relativas a esta temática está inserida no rol de atividades do engenheiro civil ou do arquiteto durante a fase de projeto da edificação, os quais devem buscar este esclarecimento junto aos fornecedores das soluções, no caso, os fabricantes dos produtos da construção. Não existe para os profissionais de engenharia e de arquitetura uma base de dados que apresente, por tipo de material ou sistema construtivo, o seu comportamento ao fogo. Quando o profissional não tem contacto ou vivência prática com a temática de segurança ao incêndio em edifícios, pode se fazer a seleção de soluções não adequadas, e que contribuam de forma favorável ao desenvolvimento de incêndios nas habitações, e que muitas vezes, podem não atender ao disposto na regulamentação de SCIE vigente.

Portanto, ao desenvolvedor do projeto do edifício é importante perceber a importância dos requisitos em termos de comportamento ao fogo dos elementos de construção para tornar a habitação mais segura sob o aspeto do incêndio florestal, e sua inserção dentro da proposta arquitetónica no sentido de tornar o edifício mais resiliente aos incêndios florestais.

AGRADECIMENTOS

O autor gostaria de agradecer à Fundação para a Ciência e Tecnologia pelo financiamento de sua investigação no projeto PCIF/AGT/0109/2018 “House-Refuge - Desenvolvimento de melhores práticas e normas para construções e suas envolventes em áreas de risco de incêndio florestal, no âmbito do Concurso de Projetos de Investigação Científica e

Desenvolvimento Tecnológico no Âmbito da Prevenção e Combate a Incêndios Florestais – 2018.

REFERÊNCIAS

- [1] Johnston, L. M. & Flannigan, M. D. (2018). Mapping Canadian wildland fire interface areas. *International Journal of Wildland Fire*, 27(1), 1. <https://doi.org/10.1071/wf16221>
- [2] McNamee, M.; Meacham, B.; Hees, P. v.; Bisby, L.; Chow, W.K.; Coppalle, A.; Dobashi, R.; Dlugogorski, B.; Fahy, R.; Fleischmann, C.; Floyd, J.; Galea, E. R.; Gollner, M.; Hakkarainen, T.; Hamins, A.; Hu, L.; Johnson, P.; Karlsson, B.; Merci, B.; Ohmiya, Y.; Rein, G.; Trouvé, A.; Wang, Y.; Weckman, B.; IAFSS agenda 2030 for a fire safe world, *Fire Safety Journal*, Volume 110, 2019, 102889, ISSN 0379-7112.
- [3] Manzello, S. L.; Bianchi, Raphaelae; Gollner, M. J.; Gorham, D.; McAllister, S.; Pastor, E.; Planas, E.; Reszka, P.; Suzuki, S.; Summary of workshop large outdoor fires and the built environment, *Fire Safety Journal*, Volume 100, 2018, Pages 76-92, ISSN 0379-7112.
- [4] Moura J., Rego F. e Caldeira D. (2017). Relatório Análise e apuramento dos factos relativos aos incêndios que ocorreram em Pedrógão Grande, Castanheira de Pera, Ansião, Alvaiázere, Figueiró dos Vinhos, Arganil, Góis, Penela, Pampilhosa da Serra, Oleiros e Sertã, entre 17 e 24 de junho de 2017. CTI, Assembleia da Republica, Lisboa, Portugal, 297 pp.
- [5] Viegas, D. (2017), O complexo de incêndios de Pedrogão Grande e concelhos limítrofes, iniciado a 17 de junho de 2017. CEIF, Universidade de Coimbra, 238 pp.
- [6] Guerreiro J., Fonseca C., Salgueiro A., Fernandes P., Iglesias E., de Neufville R., Mateus F., Ribau M., Silva J., Moura J., Rego F. e Caldeira D. (2018). Relatório Avaliação dos incêndios ocorridos entre 14 e 16 de outubro de 2017 em Portugal Continental CTI, Assembleia da Republica, Lisboa, Portugal, 274 pp.
- [7] Viegas, D. (2019), Análise dos Incêndios Florestais Ocorridos a 15 de outubro de 2017. CEIF, Universidade de Coimbra, 260 pp.
- [8] Ramsay, C., Rudolph, L. (2003), *Landscape and building design for bushfire areas*. CSIRO Publishing, Collingwood.
- [9] Leonard, J. (2009), Report to the 2009 Victorian Bushfires Royal Commission Building performance in Bushfires. CSIRO, Disponível em: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2323.6641>.
- [10] Building Research Establishment. Fire Research Station - External fire spread: building separation and boundary distances. Fire Research Station, 1991.
- [11] Law, M. (1963), Heat Radiation from Fires and Building Separation. Fire Research Technical Paper No. 5, Department of Scientific and Industrial Research and Fire Offices Committee, Joint Fire Research Organization, Her Majesty's Stationery Office, London.
- [12] Vahabi, H., Reza Saeb, M. and Malucelli, G. (2022), Analysis of Flame Retardancy in Polymer Science, *Analysis of Flame Retardancy in Polymer Science*.
- [13] Secretaria de Estado da Administração Interna, 2020. "Portaria n.º 135/2020 de 2 de junho - Alteração ao Regulamento Técnico de Segurança contra Incêndio em Edifícios (SCIE), aprovado pela Portaria n.º 1532/2008, de 29 de dezembro", *Diário da República* n.º 107/2020, Série I de 2020-06-02, 2 – 214, Portugal.
- [14] Berto, A.F. (1991), Medidas de proteção contra incêndio: Aspectos fundamentais a serem considerados no projeto arquitetônico dos edifícios. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, FAU-USP, São Paulo, 1991. 351p.

MEDIDAS ATIVAS DE PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO PARA EDIFÍCIOS INDUSTRIAIS

Deives de Paula^{(a)*}, João Paulo C. Rodrigues^(b), Aline L. Camargo^(c),
Rúben F. R. Lopes^(d), Maria Luiza Calderaro Moreira^(e)

(a) Universidade de Coimbra, CERIS, Itecons, Portugal (deives.paula@itecons.uc.pt)

(b) Universidade de Coimbra, CERIS, Itecons, Portugal e Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil (jpaulocr@dec.uc.pt)

(c) Universidade de Coimbra, CERIS, Itecons, Portugal (aline.camargo@itecons.uc.pt)

(d) Universidade de Coimbra, CERIS, Itecons, Portugal (ruben.lopes@itecons.uc.pt)

(e) Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil (marialuizacalderaro@ufmg.br)

RESUMO

A ocorrência de um incêndio, cuja origem pode ser acidental ou intencional, causa danos irreparáveis. No sentido de mitigar ou reduzir seus efeitos devastadores faz-se necessário implementar, para todo o tipo de edificação, a segurança contra incêndio, de forma a evitar perdas humanas e econômicas. Para isso, vários aspectos devem ser levados em conta, sendo os principais: o desenvolvimento de regulamentações e normalizações; educação das pessoas em segurança contra incêndios; aplicação sistêmica da segurança contra incêndio nos projetos arquitetônicos das edificações; correto uso e na manutenção dos sistemas de combate a incêndio. Em relação aos incêndios que ocorrem na interface industrial florestal, tais eventos podem resultar em grandes perdas e sérias consequências ao desenvolvimento da região e do país, como a interrupção de empresas e sua atividade produtiva, o massivo desemprego e prejuízos econômicos significativos. Tendo como caso particular, devido às questões de planejamento urbano, os incêndios de Interface Industrial-Florestal (IIF), estas áreas são constituídas por zonas industriais que se encontram ou estão dispersas na vegetação florestal. As medidas de proteção ativa podem ser adotadas e devem ser cuidadosamente analisadas para a proteção dos edifícios industriais nestas situações. Este artigo busca consolidar os aspetos relevantes para proteção ativa contra incêndio em edifícios industriais, com o foco no combate e mitigação dos incêndios externos e no desenvolvimento deste para o interior do edifício, com base em normas internacionais de referência no tema e no cenário de aplicação em Portugal.

Palavras chave: incêndio; interface industrial florestal; edifícios industriais; proteção ativa.

* Autor correspondente - deives.paula@itecons.uc.pt, University of Coimbra, CERIS, Department of Civil Engineering, Itecons, Coimbra, Portugal.

1. INTRODUÇÃO

O incêndio representa um dos eventos mais danosos à vida e à natureza, podendo provocar tanto a perda de vidas humanas, de fauna e de flora nas florestas, e da destruição do patrimônio e de sítios ambientais e/ou arqueológicos. Em relação aos incêndios que ocorrem na interface industrial florestal, tais eventos podem resultar em grandes perdas e sérias consequências ao desenvolvimento da região e do país, como a interrupção de empresas e sua atividade produtiva, o massivo desemprego e prejuízos econômicos significativos. A Interface Industrial-Florestal (IIF) é um dos casos de Interface Urbano-Florestal (IUF), onde as Zonas Industriais se encontram com as Zonas Florestais que as envolvem [1].

Segundo McNamee *et. al* [2] há a necessidade do desenvolvimento de relativas ao entendimento dos incêndios nas zonas de interface de forma que as edificações se tornem mais resilientes. Manzello *et al.* [3] expõe que a propagação do incêndio na interface urbano florestal é um problema multidimensional, tornando-o um fenômeno mais complexo do que o incêndio em edifícios ou o estudo da propagação de incêndios florestais e embora as causas iniciais de grandes incêndios urbanos sejam variadas, há semelhanças na propagação subsequente do incêndio. Na interface industrial florestal, as características da carga de incêndio associadas à natureza da vegetação (tipo de vegetação, altura, afastamento e adensamento) e a proximidade desta com o edifício industrial tem o potencial de contribuir com o início e o desenvolvimento do incêndio na envolvente externa destes edifícios.

A projeção de partículas incandescentes, a frente de chamas que avança da floresta em direção aos edifícios e o fluxo de calor radiante proveniente da combustão da vegetação adjacente aos mesmos são as principais condições que propiciam a ignição dos elementos construtivos e seus materiais. Durante os eventos de incêndio florestal em zonas de interface industrial florestal, pode ocorrer a destruição parcial ou total do edificado. Em Portugal, os incêndios de Pedrogão Grande e Góis [4,5] provocaram 64 vítimas e envolveram em chamas aproximadamente 490 casas e quase 50 indústrias, mas os grandes incêndios de 15 de outubro de 2017 [6,7], fortemente influenciados pelo Furacão Ophélia, provocaram um total de 48 mortes e afetaram 521 empresas, com perdas financeiras num total de 275 M€.

Diante das perdas promovidas por incêndios e da complexidade que o problema do incêndio nas zonas de IIF apresenta, o presente artigo traz uma abordagem para a proteção da envolvente externa frente aos incêndios florestais e dentro deste contexto apresentam-se algumas medidas de proteção ativa que podem ser utilizadas como suporte à proteção passiva da envolvente externa dos edifícios industriais.

2. Mecanismos de propagação dos incêndios florestais

Para uma melhor compreensão dos efeitos dos incêndios florestais nos elementos de construção, estão apresentadas as principais características dos mecanismos de ataque aos edifícios durante tais incêndios e seu desenvolvimento ao longo do tempo. As condições de ataque aos edifícios podem ser divididas em três categorias principais [8]: por meio do depósito

de fagulhas ou partículas inflamadas que são transportadas pelo vento (Fig. 1.a); por radiação proveniente da frente de chama (Fig 1.b), e; o ataque com chamas diretas (Fig 1.c).

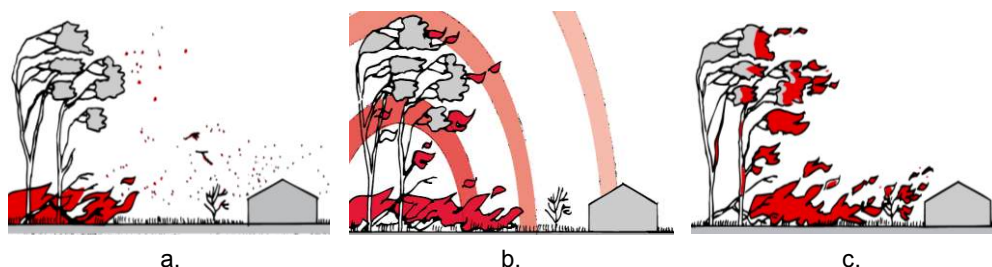


Figura 1: Mecanismos de ataque do incêndio florestal aos edifícios (Ramsay and Rudolph, 2003 [8])

O ataque por fagulhas e/ou partículas inflamadas carregadas pelo vento tem papel predominante em diversos incêndios florestais [8], sendo influenciado por um conjunto de fatores: a quantidade, forma e o material das fagulhas; a quantidade de partículas combustíveis que são transportadas pelo vento durante o ataque; a duração do ataque, e as condições ambientais sob as quais as fagulhas sejam depositadas, adjacentes ao edificado ou se ingressam ao interior dos edifícios.

Nas envolventes externas dos edifícios (paredes de fachada e coberturas) as características de reação ao fogo dos materiais utilizados precisam funcionar como medidas passivas contra a ação dos incêndios, limitando a sua propagação inicial, e apresentar comportamento no sentido de evitar, ou de retardar ao máximo, que o incêndio avance ao interior do edifício industrial. Entretanto, há situações em que os edifícios à época de sua instalação não tenham sido concebidos considerando os eventos de incêndios florestais e podem não dispor de condições apropriadas para conter a ação de incêndio externo tendo em conta apenas a sua proteção passiva. Consideremos ainda que, pela natureza de sua carga de incêndio e respetiva atividade industrial, não estejam enquadrados em uma categoria de risco que seja obrigatório protegê-lo por sistema automático para supressão de incêndios, como por exemplo, um sistema de proteção contra incêndio por chuveiros automáticos.

Diante disto, se há o potencial risco da ocorrência do incêndio florestal e de que os materiais utilizados na construção das fachadas e das coberturas possam contribuir significativamente para o início e crescimento do incêndio para o interior do edifício, encontra-se uma situação particular que merece a atenção, em que a proteção exterior da edificação e do interior de sua estrutura com o uso de sistemas ativos para o combate inicial ao incêndio pode ser uma alternativa como medida de primeira intervenção ao combate ao incêndio.

3. Utilização de medidas ativas em edifícios industriais

De forma geral, os objetivos para a segurança contra incêndio nos edifícios são necessários de forma a definir o nível de desempenho a ser alcançado, e podem ser distintos em função da sua ocupação, do risco, relação custo/benefício, estatísticas, etc. Tais objetivos também dependem de quais são as medidas para segurança contra incêndio consideradas para a edificação, incluindo a sua fiabilidade e qualidade de implantação. Algumas questões

importantes, para definir o nível de desempenho quanto ao objetivo, envolvem: a limitação do princípio de incêndio, limitação do crescimento rápido do incêndio e a limitação da ocorrência da inflamação generalizada (*Flashover*). O sistema de classificação de reação ao fogo na Europa, no caso as Euroclasses de reação ao fogo, e tem como base a limitação da ocorrência da inflamação generalizada [13] sendo atualmente considerada em Portugal no Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios RT-SCIE [14] e nos edifícios inseridos em zonas de interface urbano florestal, encontram-se disposições específicas no Despacho nº 8521 de 13 de julho 2022 [15]. No Brasil, segue-se abordagem equivalente, proposta por Berto [16].

Dentro deste contexto a premissa é de que o princípio de incêndio seja limitado, tenha menos condições de se propagar, e ficar restrito a, normalmente a um ou dois compartimentos. As medidas relativas à resistência ao fogo abrangem sobretudo os dois últimos objetivos (restabelecer as atividades no edifício e restringir os danos aos bens e ao edifício), bem como requisitos adicionais ou equipamentos como sistemas de chuveiros automáticos para supressão de incêndios podem permitir, em última análise, salvaguardar o edifício [13]. Ou seja, as medidas de proteção passivas precisam desempenhar caráter protetivo perante a ocorrência de um incêndio. No caso de um incêndio vindo do exterior, a utilização de uma abordagem conjunta com medidas de proteção ativa é uma alternativa possível.

Há duas fases distintas na produção dos edifícios que são relevantes para definir a incorporação da segurança contra incêndio [16]: a fase de concepção e construção da habitação e a fase de uso normal dos edifícios por meio de seus ocupantes. Na primeira fase (concepção dos edifícios) deve-se pensar em estabelecer materiais e sistemas construtivos com melhor comportamento frente aos incêndios florestais. Ramsay and Rudolph [8] descrevem que uma concepção mais robusta do projeto dos edifícios no sentido em que as soluções construtivas exijam o mínimo de ações de manutenção e tenham maior durabilidade, tornam a edificação mais resistente a ação dos incêndios externos, como é o caso dos incêndios florestais. Algumas opções que se enquadram neste aspecto, são: paredes em alvenaria de blocos cerâmicos ou de betão, pisos em betão, coberturas inclinadas com água única ou duas águas sem cantos reentrantes com material incombustível.

A segunda fase, a qual envolve a ocupação do edifício, as ações devem ser conduzidas no sentido de mitigar ou reduzir os riscos frente aos incêndios florestais, realizando-se intervenções no ambiente industrial de forma a evitar acúmulo de detritos nas diversas partes do exterior dos edifícios, de armazenar materiais potencialmente combustíveis em locais que evitem a ignição por meio de fontes de calor vindas do exterior, e dimensionar o afastamento de áreas de armazenamento de materiais brutos ao ar livre fora em relação aos edifícios industriais e suas infraestruturas. Tendo em conta a complexidade dos mecanismos de ataque dos incêndios florestais aos edifícios, adotar uma abordagem sistêmica que incluem medidas passivas e ativas de proteção contra incêndio, aumentará a resiliência do edifício industrial frente o desenvolvimento do incêndio florestal, podendo reduzir e até evitar danos e prejuízos econômicos de grande monta.

3.1 O uso de água como agente extintor

A utilização de água no controle e supressão dos incêndios tem o desempenho reconhecido

internacionalmente, tendo em conta as suas propriedades térmicas relevantes que contribuem para redução do calor proveniente das chamas, a redução dos produtos (ou gases) aquecidos no processo de combustão ou na redução do calor na superfície do combustível. Ainda, durante a aplicação da água em direção ao local do incêndio, a mudança de fase de água líquida para vapor é particularmente eficaz na redução de energia térmica e na produção de grande quantidade de vapor d'água, e pode contribuir significativamente para a extinção de incêndios, reduzindo a concentração de oxigênio da atmosfera circundante, situação em que geralmente o fogo ficará confinado [17]. O uso da água sob a forma de jato sólido ou de jato em leque (spray) é reconhecidamente eficiente no combate aos incêndios em combustíveis sólidos que queimam na superfície (enquadrados como incêndios Classe A) [17] em materiais de natureza orgânica (compostos de carbono). Em materiais sólidos há normalmente a formação de brasas incandescentes, sendo comum este comportamento em diversos materiais presentes nos edifícios. Tendo em conta a amplitude de aplicação da água como agente extintor, estão apresentadas a seguir algumas medidas de proteção ativa para o combate ao incêndio que normalmente são utilizadas em edifícios industriais, e podem ser direcionadas para o combate ao incêndio na envolvente exterior destes edifícios, como é o caso dos incêndios florestais.

3.2 Sistemas de chuveiros automáticos para supressão e controle de incêndios

O sistema de chuveiros automáticos para supressão e controle de incêndios tem como objetivo lançar a água o mais próximo do local de origem em forma de *spray*. Em relação a outras tecnologias para supressão e controle de incêndios, é amplamente utilizada nas edificações de médio e alto risco de incêndio, como por exemplo grandes centros comerciais e edifícios industriais. A NFPA 13 [18] define que os sistemas de chuveiros automáticos para supressão e controle de incêndios consistem de uma rede de tubulações dimensionada conforme padrões de engenharia, a qual inclui a fonte de abastecimento de água, válvula de controlo de água, alarme de fluxo de água, dreno e os chuveiros automáticos instalados. A parte aérea do sistema de chuveiros automáticos inclui a distribuição da rede de tubulação no edifício afixada nas estruturas ou em determinada área a ser protegida, geralmente suspensas, e os chuveiros automáticos instalados nesta rede atendem a um padrão sistêmico de cobertura. Este sistema geralmente é ativado pelo calor de um incêndio, e após a abertura do elemento termossensível do chuveiro automático, descarrega a água sobre a área deste incêndio, sendo apresentado um esquema típico na Figura 3.

A eficácia dos sistemas de proteção por chuveiros automáticos é comprovada por meio da análise das ocorrências de incêndios em que os chuveiros automáticos tiveram êxito na supressão e/ou no controle do incêndio no interior dos edifícios. Frank *et. al* [19] consolidou tais resultados, cujos valores variam de 86 a 98,8% de eficácia no controle e/ou supressão de incêndios, obtidos nas estatísticas de incêndios dos Estados Unidos, Reino Unido, Austrália e Nova Zelândia, demonstrando um alto nível de confiabilidade deste sistema para a proteção do risco de incêndio nas edificações. Ressalta-se que o desempenho destes sistemas depende de alguns fatores essenciais, como o tipo de chuveiro automático e suas características, a idade do sistema e sua degradação ao longo do tempo; a realização das ações de inspeção, testes e manutenção periódicas; os padrões e tecnologias disponíveis na ocasião da instalação; modificações na edificação ou no risco a ser protegido; o projeto arquitetônico da edificação;

influência de outras utilidades (p. ex. sistemas de aquecimento e de ventilação) e modificação da fonte de suprimento de água.

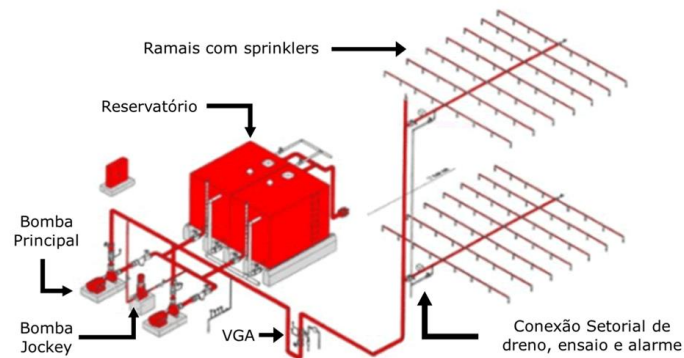


Figura 3 – Esquema básico de um sistema de proteção contra incêndio por chuveiros automáticos, do tipo tubo molhado para proteção do interior de ambientes industriais.

A característica do manto florestal exterior às edificações e dos materiais de construção utilizados nos edifícios enquadram-se como incêndios Classe A e por esta razão os sistemas ativos de proteção contra incêndio têm a sua relevância na proteção dos edifícios industriais. Dentro deste contexto, existem alguns documentos que trazem recomendações para a proteção da envolvente externa dos edifícios aos incêndios florestais.

A norma proprietária FM DS 9-19 [20] possui recomendações para proteção de propriedades comerciais e industriais que estejam inseridas em zonas propensas a incêndios florestais. A abordagem deste documento tem como objetivo verificar a necessidade da envolvente externa da edificação a ser protegida por um ramal do sistema de chuveiros automáticos com base no potencial fluxo de calor radiante de um incêndio florestal e do afastamento do edifício com o manto florestal. Com base no afastamento do edifício com a vegetação envolvente, que é a distância crítica para exposição ao calor radiante, da classificação da vegetação e da declividade do terreno, obtêm-se a estimativa do fluxo de calor radiante na envolvente externa do edifício. Ainda, deve-se determinar o afastamento horizontal em todas as direções de exposição das paredes de fachada do edifício, e caracterizar a direção predominante de exposição ao incêndio florestal com base em dados estatísticos da região. A Figura 4 apresenta um exemplo de situação de como os sistemas de chuveiros automáticos podem ser inseridos para a proteção da envolvente externa, em função do posicionamento do edifício em relação ao manto florestal (ou floresta).

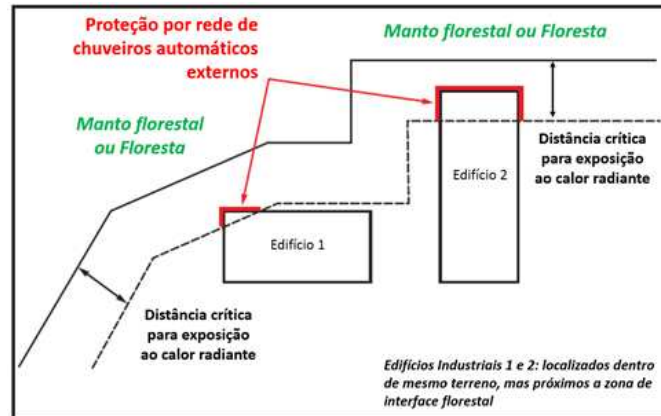


Figura 4 –Localização do sistema de chuveiros automáticos na envolvente externa dos edifícios industriais (extraído e adaptado na norma FM 9-19 [19]).

Os valores podem variar de 12,5 kW/m² a 50 kW/m² e tem como base uma separação entre paredes de fachada combustíveis e não combustíveis. Para as paredes de fachada classificadas como não combustíveis, estas podem suportar fluxos de calor até 30 kW/m² e para as classificadas como combustíveis, estas estão limitadas ao fluxo de calor de, no máximo, 12,5 kW/m². Caso o valor do fluxo de calor radiante estimado para a parede de fachada próxima a envolvente florestal seja superior aos limites descritos conforme o material da fachada, pode-se: i) Aumentar a distância da vegetação envolvente com o edifício, reduzindo a carga de incêndio na envolvente exterior; ii) Substituir a parede de fachada existente por outra que apresente desempenho capaz de suportar a exposição ao calor radiante estimado, ou; iii) Instalar o sistema de chuveiros automáticos para proteção da envolvente externa do edifício.

Prioritariamente, busca-se resolver as questões com a resolução dos itens i) e ii) acima. Caso não seja possível, utiliza-se a alternativa de proteção com o sistema de chuveiros na envolvente externa. Sendo considerada a alternativa iii), o caudal por chuveiro automático na envolvente externa pode ser estimado na Tabela 2 da FM DS 9-19 [19], em função da natureza do material da parede de fachada (combustível ou não combustível), de sua altura, do fluxo de calor externo e do espaçamento entre chuveiros.

O coeficiente de descarga (Fator K) do chuveiro automático a ser utilizado depende do espaçamento dos chuveiros e seu respetivo caudal. Quando o espaçamento entre chuveiros for de 1,8 m, o caudal pode variar entre 38,9 a 92,5 l/min e se ampliar este espaçamento para 3,7 m, varia-se o caudal entre 70 a 166,5 l/min. Os chuveiros automáticos devem ser do tipo lateral vertical (*sidewall vertical*) com orientação em pé ou pendente, de resposta rápida e temperatura nominal de operação de 72°C. Quanto às recomendações de instalação na rede hidráulica da envolvente exterior, o chuveiro automático deve ficar afastado de 150 a 300 mm da parede, com o defletor posicionado na direção da parede externa e o elemento termossensível visível à provável fonte de calor radiante. O trecho da rede hidráulica externa

voltada à proteção contra a exposição ao incêndio florestal não deve ser superior a 75 m de comprimento, de forma a limitar o comprimento da rede hidráulica exposta a ação do incêndio externo. Caso exista a possibilidade de exposição ao incêndio florestal em duas ou mais direções, deve ser avaliada cada direção separadamente em relação ao número de chuveiros automáticos que podem entrar em operação.

Em investigação conduzida pela FM Global [21] foi realizado o desenvolvimento de uma solução técnica para chuveiro automático com elemento termossensível ativado por radiação proveniente do incêndio em cuba com líquido inflamável. Tal situação também é encontrada nos incêndios florestais com o calor radiante presente na frente chama, sendo uma possibilidade de aplicação desta tecnologia, entretanto não explorada neste citado estudo. Os chuveiros ativados por radiação (*Radiation-Activated Sprinklers*) investigados neste estudo operaram entre 64 a 126 s, com fluxos de calor médio de 2,8 kW/m², afastados 2 m na horizontal e 3 m na vertical do local de origem do incêndio. Os valores de fluxo radiante em que estes chuveiros operaram são aproximadamente ¼ menor do que o limite para ignição pilotada de materiais celulósicos [11,12].

3.3 Sistemas de água nebulizada (water spray)

Os sistemas de água nebulizada (ou dilúvio), também conhecidos como sistemas de *water spray* e segundo a NFPA 15 [22], são compostos por uma rede de distribuição hidráulica conectada a uma fonte de suprimento de água e com projetores instalados à esta rede, de forma a fornecer uma descarga de água específica em região a ser protegida. Tais sistemas podem ser acionados de forma automática ou de forma manual, pela brigada de incêndio e geralmente são constituídos de uma rede hidráulica com chuveiros abertos (não automáticos), dispostos com determinado espaçamento e orientação de instalação em rede hidráulica, onde os chuveiros realizam a aspersão de água de forma simultânea sob determinada região a ser protegida contra a ação do incêndio. A forma e a velocidade de aspersão dos chuveiros sob a área de cobertura dependem da abordagem utilizada no dimensionamento do sistema.

Podem ser utilizados para proteção de área de armazenagem, instalações ou equipamentos contra a ação de incêndios, como é caso dos riscos de sistemas e de instalações elétricas de alta e média tensão, como transformadores, interruptores de óleo, motores, bandejas de cabos e suas passagens; combustíveis sólidos comuns, como papel, madeira e têxteis; substâncias líquidas e gasosas inflamáveis; determinados tipos de materiais sólidos perigosos, como propelentes e pirotécnicos e na mitigação de vapor. As Figuras 5.a e 5.b apresentam exemplos de sistemas de água nebulizada em ambientes industriais.

A norma australiana AS 5414 [23] inclui requisitos de projeto, instalação e manutenção de sistemas de aspersão por água (*water spray*) para proteção dos elementos construtivos expostos aos incêndios florestais. Estes são para aplicação nos casos em que a exposição ao calor radiante definida na norma da norma AS 3959 [24] não supere o valor de 19 kW/m². Recomenda-se o uso destes sistemas para habitações, motéis, hotéis, pensionatos, edifícios residenciais, locais de reunião de público (teatros, cinemas, auditórios, galerias de arte, salas de exposições e locais semelhantes onde se reúnem um grande número de pessoas), mas não há restrições de uso destes em indústrias. A Figura 6 apresenta um esquema isométrico com alguns pontos de proteção que são considerados neste tipo de sistema.



a.



b.

Figura 5 - Sistemas do tipo water spray para proteção contra incêndio:
a) transformador em indústria. b) cilindro de armazenamento de gás liquefeito de petróleo.

Os chuveiros projetores devem ser distribuídas de forma a descarregar a água sobre todos os pontos vulneráveis de possível entrada de partículas incandescentes. Isto inclui, mas não se restringe, a proteção das janelas, beirados, as águas de telhados e respetivos cantos reentrantes, espaços abaixo de estruturas, nas portas (incluindo as portas de garagem) e em, pelo menos, 2 metros de área ao redor da edificação. Os chuveiros projetores de água neste tipo de sistema são diferentes dos encontrados nos sistemas de chuveiros automáticos e são equivalentes aos citados na NFPA 15 [22] operando em forma de dilúvio (em simultâneo) sob a área protegida. Todos os sistemas devem ser hidráulicamente dimensionados, sendo que a quantidade de água a ser aplicada depende do tipo de superfície: 10 l/m² para elementos envidraçados convencionais; 5 l/m² para coberturas, pisos em deck, elementos envidraçados blindados e outros tipos de superfícies, e; 1 l/m² por área de piso ao redor da edificação.

A simultaneidade de chuveiros projetores em operação é uma questão relevante e envolve a setorização dos circuitos hidráulicos que serão distribuídos na edificação, para maximizar a eficiência dos mesmos durante um evento de incêndio. Por exemplo: setoriza-se um circuito para a cobertura, um para elementos envidraçados e portas e outro para a envolvente exterior do edifício. Estes sistemas para edificações requerem uma reserva técnica de incêndio, que contenha, no mínimo, 22 m³ de água, e que considere uma operação contínua do sistema de, no mínimo, 30 minutos.

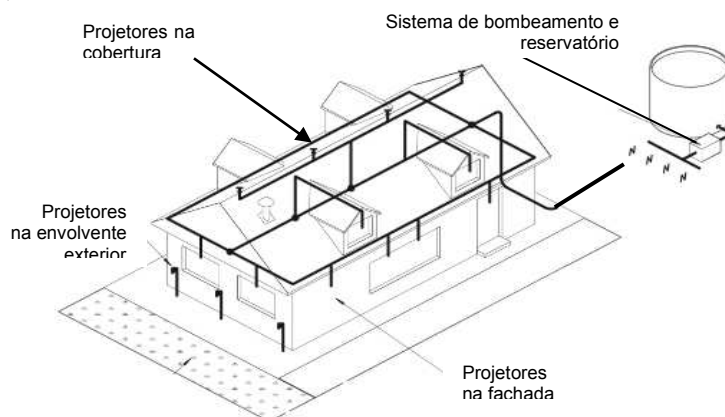


Figura 6 – Exemplo de sistema water spray segundo a AS 5414 [22].

O acionamento destes pode ser feito de forma manual ou ser feito de forma automática. Entretanto, o acionamento automático deve ser provisionado por meios de detecção adequados, como sistemas de detecção linear (por cabo), sistemas de detecção pontual de temperatura ou sistemas de detecção de chama. A norma AS 5414 não recomenda o uso de chuveiros automáticos como meio de detecção em razão do tempo de abertura destes perante o avanço de um incêndio florestal, pois a parcela que predominante de calor nos incêndios florestais é de calor radiativo e os chuveiros automáticos normalmente são operados pela presença do calor convectivo proveniente dos gases quentes do incêndio em curso.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de medidas de proteção ativa para proteção da envolvente externa dos edifícios nas zonas de interface industrial florestal, em função dos avanços já promovidos com a utilização das tecnologias apresentadas e sua reconhecida eficiência operacional no combate a incêndios, é uma possibilidade para complementar as medidas de proteção passiva incorporadas ao edifício, de forma a tornar o edifício industrial mais resiliente aos incêndios florestais.

A abordagem adotada na norma FM DS 9-19 tem como essência a aplicação sistêmica dos conceitos de engenharia de segurança ao incêndio, como a estimativa do fluxo de calor irradiado pela vegetação envolvente, as características construtivas da envolvente externa quanto a reação ao fogo, o controle de fontes de ignição externas pela brigada de incêndio e seu preparo técnico quanto ao atendimento à emergências de incêndio, não sendo um problema simplesmente equacionado por critérios prescritivos simplificados de dimensionamento para atribuição de medidas de proteção ativa, mas sim privilegiando a proteção passiva como medida preferencial para a proteção da envolvente externa e colocando como alternativa a proteção ativa como medida complementar.

A utilização de sistemas de chuveiros automáticos ou de sistemas de água nebulizada (dilúvio) aplicados à proteção da envolvente externa de edifícios industriais contra os incêndios florestais ainda requer aprofundamento. Nota-se que a abordagem proposta na norma AS 5414 é um caminho possível para tal equacionamento e que critérios de dimensionamento para ambientes industriais podem ser definidos em função de análises experimentais em escala real, de forma a reproduzir as cargas de incêndio adjacentes a estes edifícios industriais e sistemas construtivos comumente utilizados na envolvente externa, comparando o desempenho entre as soluções de proteção e sistemas construtivos protegidos, de forma a propor critérios de proteção para situações particulares.

As recomendações da norma FM 9-19 e AS 5414 não são restritas apenas aos parâmetros e configurações dos sistemas hidráulicos no local de exposição ao incêndio, mas leva-se em conta uma abordagem integrada, que envolve características de como deve ser o armazenamento de água para o combate e sua quantidade, de como deve ser protegida a casa de bomba contra a ação destes incêndios, qual o tipo de conjunto hidropressor e sua fonte de alimentação para operação, e de fatores que envolvam a resposta dos ocupantes perante fontes de ignição e da capacidade de resposta à emergências do edifício.

Reforça-se a necessidade de que os sistemas de chuveiros automáticos ou de dilúvio devem ser projetados e instalados com base no risco da ocupação a ser protegida, seja tanto para os ambientes internos quanto para os externos, de forma que estes atuem com o desempenho esperado no controle e/ou na supressão de incêndios. Ao considerar a extensão destes sistemas para a proteção do exterior do edifício, a partir de sistemas existentes dentro das áreas de risco das edificações industriais, tal extensão deve ser objeto de uma criteriosa análise de projeto e de cálculo hidráulico para verificar o atendimento e considerar uma abordagem integrada entre as medidas passivas e ativas de proteção contra incêndio, visando o melhor desempenho possível destas medidas perante uma situação real de incêndio. Além disto, devem ter um acompanhamento rigoroso de todo o processo de construção e de comissionamento, no sentido de cumprir todas as premissas definidas em projeto, garantindo que seja entregue em condições operacionais plenas e com os devidos registos e testes comprobatórios de desempenho requeridos para a aplicação pretendida, para que os responsáveis pela edificação possam dar seguimento às ações de inspeção, testes e manutenção de forma a preservar a sua prontidão operacional.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Fundação para a Ciência e Tecnologia o financiamento do Projeto PCIF/MOS/0129/2018 - “InduForestFire – Metodologias Interdisciplinares para a Protecção de Zonas Industriais a Incêndios Florestais” no âmbito do Concurso de Projetos de Investigação Científica e Desenvolvimento Tecnológico no Âmbito da Prevenção e Combate a Incêndios Florestais – 2018.

REFERÊNCIAS

- [1] Johnston, L. M. & Flannigan, M. D. (2018). Mapping Canadian wildland fire interface areas. *International Journal of Wildland Fire*, 27(1), 1. <https://doi.org/10.1071/wf16221>
- [2] McNamee, M.; Meacham, B.; Hees, P. v.; Bisby, L.; Chow, W.K.; Coppalle, A.; Dobashi, R. Dlugogorski, B.; Fahy, R.; Fleischmann, C.; Floyd, J.; Galea, E. R; Gollner, M.; Hakkarainen, T.; Hamins, A.; Hu, L.; Johnson, P.; Karlsson, B.; Mercic, B.; Ohmiya, Y.; Rein, G.; Trouvé, A.; Wang, Y; Weckman, B.; IAFSS agenda 2030 for a fire safe world, *Fire Safety Journal*, Volume 110, 2019, 102889, ISSN 0379-7112.
- [3] Manzello, S. L.; Bianchi, Raphaele; Gollner, M. J.; Gorham, D.; McAllister, S.; Pastor, E.; Planas, E.; Reszka, P.; Suzuki, S.; Summary of workshop large outdoor fires and the built environment, *Fire Safety Journal*, Volume 100, 2018, Pages 76-92, ISSN 0379-7112.
- [4] Moura J., Rego F. e Caldeira D. (2017). Relatório Análise e apuramento dos factos relativos aos incêndios que ocorreram em Pedrogão Grande, Castanheira de Pera, Ansião, Alvaiázere, Figueiró dos Vinhos, Arganil, Góis, Penela, Pampilhosa da Serra, Oleiros e Sertã, entre 17 e 24 de junho de 2017. CTI, Assembleia da Republica, Lisboa, Portugal, 297 pp.
- [5] Viegas, D. (2017), O complexo de incêndios de Pedrogão Grande e concelhos limítrofes, iniciado a 17 de junho de 2017. CEIF, Universidade de Coimbra, 238 pp.
- [6] Guerreiro J., Fonseca C., Salgueiro A., Fernandes P., Iglesias E., de Neufville R., Mateus F., Ribau M., Silva J., Moura J., Rego F. e Caldeira D. (2018). Relatório Avaliação dos incêndios ocorridos entre 14 e 16 de outubro de 2017 em Portugal Continental CTI, Assembleia da Republica, Lisboa, Portugal, 274 pp.

- [7] Viegas, D. (2019), Análise dos Incêndios Florestais Ocorridos a 15 de outubro de 2017. CEIF, Universidade de Coimbra, 260 pp.
- [8] Ramsay, C., Rudolph, L. (2003), Landscape and building design for bushfire areas. CSIRO Publishing, Collingwood.
- [9] Potter, M., Leonard, J. (2010), Spray System Design for Ember Attack - Research Findings and Discussion Paper, CSIRO; p. 30.
- [10] Leonard, J. (2009), Report to the 2009 Victorian Bushfires Royal Commission Building performance in Bushfires. CSIRO, Disponível em: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2323.6641>.
- [11] Building Research Establishment. Fire Research Station - External fire spread: building separation and boundary distances. Fire Research Station, 1991.
- [12] Law, M. (1963), Heat Radiation from Fires and Building Separation. Fire Research Technical Paper No. 5, Department of Scientific and Industrial Research and Fire Offices Committee, Joint Fire Research Organization, Her Majesty's Stationery Office, London.
- [13] Vahabi, H., Reza Saeb, M. and Malucelli, G. (2022), Analysis of Flame Retardancy in Polymer Science, Analysis of Flame Retardancy in Polymer Science.
- [14] Secretaria de Estado da Administração Interna, 2020. "Portaria n.º 135/2020 de 2 de junho - Alteração ao Regulamento Técnico de Segurança contra Incêndio em Edifícios (SCIE), aprovado pela Portaria n.º 1532/2008, de 29 de dezembro", Diário da República n.º 107/2020, Série I de 2020-06-02, 2 – 214, Portugal.
- [15] Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil, 2022. "Despacho n.º 8591/2022 - Requisitos para adoção de medidas de proteção relativas à resistência do edifício à passagem do fogo, a constar em ficha de segurança ou projeto de especialidade no âmbito do Regime Jurídico de Segurança contra Incêndio em Edifícios." DR n.º 134/2022, Série II de 2022-07-13, 67 – 72, Portugal.
- [16] Berto, A.F. (1991), Medidas de proteção contra incêndio: Aspectos fundamentais a serem considerados no projeto arquitetônico dos edifícios. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, FAU-USP, São Paulo, 1991. 351p.
- [17] Grant, G; Brenton, J; Drysdale, D; Fire suppression by water sprays, Progress in Energy and Combustion Science, Volume 26, Issue 2, 2000, Pages 79-130, ISSN 0360-1285.
- [18] NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. NFPA 13 : Standard for the installation of sprinkler systems, Quincy: NFPA, 2016. 453p.
- [19] Frank et al.: A review of sprinkler system effectiveness studies. Fire Science Reviews 2013.
- [20] FACTORY MUTUAL INSURANCE COMPANY. FM DS 9-19. Wildland Fires. FM GLOBAL. Norwood. 2017-2020. 12p.
- [21] FACTORY MUTUAL INSURANCE COMPANY. Research-Technical Report: Radiation-Activated Sprinklers. FM GLOBAL. Norwood. 2017.
- [22] Standard Australia. Australian Standard AS 5414:2012 – Construction of buildings in bushfire-prone areas. <http://www.as3959.com.au/as-3959-download/>, 2018.
- [23] NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. NFPA 15 : Standard for the installation of water spray systems, Quincy: NFPA, 2016. 453p.
- [24] Standard Australia. Australian Standard AS 5414:2012 – Bushfire water spray systems. <https://www.standards.org.au/standards-catalogue/sa-snz/building/fp-024/as--5414-2012>.

ESTUDO COMPARATIVO DO RISCO DE INCÊNDIO EM EDIFÍCIOS DE SERVIÇOS PROFISSIONAIS APLICANDO ALGUMAS REGULAMENTAÇÕES DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO BRASILEIRAS E A PORTUGUESA

**Bernardete de Lourdes
Ferreira Minervino***

Aluna de Doutorado
UC – Coimbra, Portugal

**Cristina Calmeiro
dos Santos**

Professora Adjunta
Instituto Politécnico
de Castelo Branco

**Paulo Gustavo von
Krüger**

Professor
UFMG – Belo
Horizonte, Brasil

João Paulo C. Rodrigues

Professor
UFMG – Belo Horizonte,
Brasil e UC – Coimbra,
Portugal

Resumo:

Neste artigo foi analisada a aplicação do Método de Gretener a uma edificação destinada a escritórios e salas de serviços profissionais, detalhando seus critérios de aplicação e discutindo os aspectos mais controversos deste processo e seus resultados. Para tal, criou-se uma edificação hipotética de médio porte e esta foi analisada conforme a legislação de SCI de dois estados federativos no Brasil e conforme a legislação de Portugal. Os resultados mostraram que uma edificação no Brasil, ainda que atenda às exigências de segurança previstas na legislação, é considerada insegura pelo Método de Gretener. E que a mesma edificação, se estiver situada em Portugal, atendendo à legislação daquele país, é considerada segura. Na conclusão, são levantados alguns pontos que podem explicar os resultados encontrados na aplicação do método.

Palavras-chave: Risco de incêndio. Legislação. Segurança Contra Incêndio. Método de Gretener.

1. INTRODUÇÃO

O risco de incêndio é uma constante realidade em todas as edificações. Analisar o grau de segurança para a edificação propriamente dita e para as pessoas que a utilizam é fundamental para diminuir a frequência e a gravidade de tais ocorrências.

Existem diversos métodos de análise de risco de incêndio que podem ser aplicados às edificações. Neste artigo, foi analisada a aplicação do Método de Gretener a uma edificação destinada a escritórios e salas de serviços profissionais, detalhando seus critérios de aplicação e discutindo os aspectos mais controversos deste processo e seus resultados. Para tal, criou-

se uma edificação hipotética de médio porte e esta foi analisada conforme a legislação de proteção contra incêndio de dois estados federativos no Brasil e conforme a legislação de Portugal. A edificação foi analisada sob três pontos de vista diferentes para cada legislação e os resultados foram discutidos considerando as diferenças encontradas nas legislações e suas possíveis adaptações na aplicação do método. Os resultados mostraram que uma edificação no Brasil, ainda que atenda às exigências de segurança previstas na legislação, é considerada insegura pelo Método de Gretener. E que a mesma edificação, se estiver situada em Portugal, atendendo à legislação daquele país, é considerada segura. Na conclusão, são levantados alguns pontos que podem explicar os resultados encontrados na aplicação do método.

2. DO MÉTODO DE GREENER

O método de Gretener foi criado em 1965, pelo engenheiro Suíço Max Gretener, sendo um dos métodos de análise de risco de incêndio mais utilizados em todo o mundo. Silva Filho [1] afirma ser este um dos métodos de análise de risco de incêndio mais difundidos, servindo de base para a elaboração de normas técnicas em diversas nações, inclusive no Brasil.

Embora tenha sido originalmente desenvolvido para edificações industriais, o Método de Gretener foi aprimorado e atualizado para poder ser utilizado em diversos tipos de edificação. Há um pressuposto na teoria do método de que a edificação deve, desde o princípio, atender a condições mínimas de segurança contra incêndio para um conjunto de requisitos, conforme descrito no manual de uso [2] do próprio método: “O método supõe que são estritamente observadas as regras gerais de segurança, [...] bem como as prescrições correspondentes às instalações técnicas. Tais medidas não podem ser substituídas por quaisquer outras. (p.4).

De acordo com Valentim [3], o método considera que as características referentes a propagação para edificações adjacentes, instalações técnicas e segurança de pessoas devem ser estritamente obedecidas e não podem ser substituídas por outras. Consequentemente, este é o motivo pelo qual o método não avalia a eficiência de tais parâmetros, uma vez já os considera cumpridos. É possível, ainda, aplicar a avaliação pelo Método de Gretener na edificação inteira ou em apenas uma parte desta, desde que seja garantida a compartimentação e isolamento da área analisada.

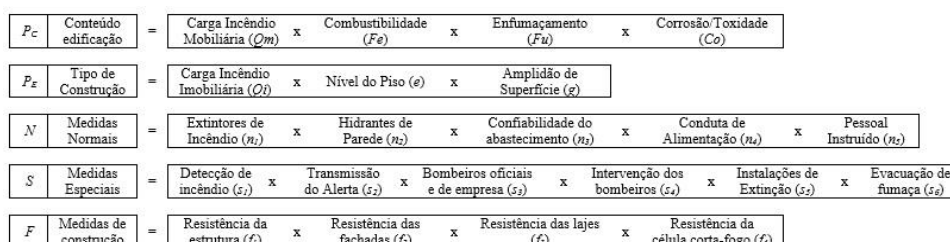


Figura 1: Resumo esquemático do cálculo dos fatores de exposição ao perigo

O método possui uma estrutura de cálculo simplificada, baseada na multiplicação dos valores pré-estabelecidos para os parâmetros de risco de incêndio. A Figura 1 apresenta o cálculo dos

fatores de exposição ao perigo e das medidas de segurança consideradas pelo Método de Gretener.

A Figura 2, por sua vez, apresenta a relação entre as equações que determinam o valor final do coeficiente de segurança contra incêndio γ . É o valor do coeficiente γ que determina o grau de segurança da edificação.

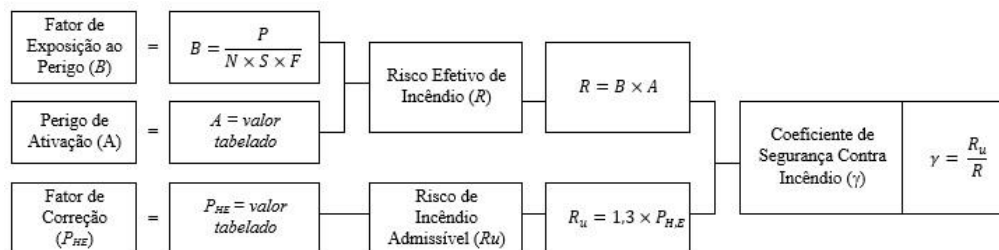


Figura 2: Resumo esquemático das equações determinantes para o coeficiente de segurança γ

A edificação é considerada segura se o quociente de segurança contra incêndio (γ) for maior ou igual a 1 (um) e insegura se o quociente for menor do que 1 (um).

O Método de Gretener possui suas próprias tabelas para atribuir valores aos parâmetros considerados. Esta avaliação deve ser feita pelo analista com base em uma visita técnica *in loco*, considerando os aspectos reais e atuais existentes na edificação. Silva Filho [1] afirma, concordando com outros autores da área, que “o grande potencial da metodologia de Gretener provém da simplicidade das fórmulas matemáticas usadas, paralelamente com a utilização de tabelas desenvolvidas através de fundamentação estatística”. (p. 28)

Por se tratar de um método semiquantitativo e de fácil aplicação, pode dar um resultado rápido quanto ao grau de segurança de diversos tipos de edificação.

3. DA EDIFICAÇÃO ANALISADA

Para fins de aplicação do método e análise das particularidades de tal aplicação em edificações brasileiras, conforme é o objetivo do presente artigo, foi criada uma edificação hipotética com as seguintes características construtivas:

- Edificação de três pavimentos (térreo e mais dois pavimentos tipo), destinada ao funcionamento de escritórios administrativos e técnicos (serviços profissionais);
- Área de 3575 metros quadrados por pavimento;
- A altura entre as lajes é de três metros;
- A edificação possui um átrio central sem cobertura;
- Fachadas do tipo ‘pele de vidro’, sem garantia de compartimentação horizontal ou vertical;
- A população fixa (presente diariamente) prevista em cada pavimento é de 511 pessoas;
- A rota de fuga em caso de emergência é composta por corredores de 2,5 metros de largura e seis escadas não enclausuradas de 1,25 metros de largura;

- A distância máxima a percorrer desde o local mais distante no 3º pavimento até a saída da edificação foi medida em 38 metros.

A edificação representa construções contemporâneas comuns em todo o mundo, mas que são submetidas a legislações diferentes. Trata-se de um modelo simples e comum de edificação, para servir como objeto deste estudo. O objetivo é analisar a aplicação do Método de Gretener acordo com as exigências normativas locais.

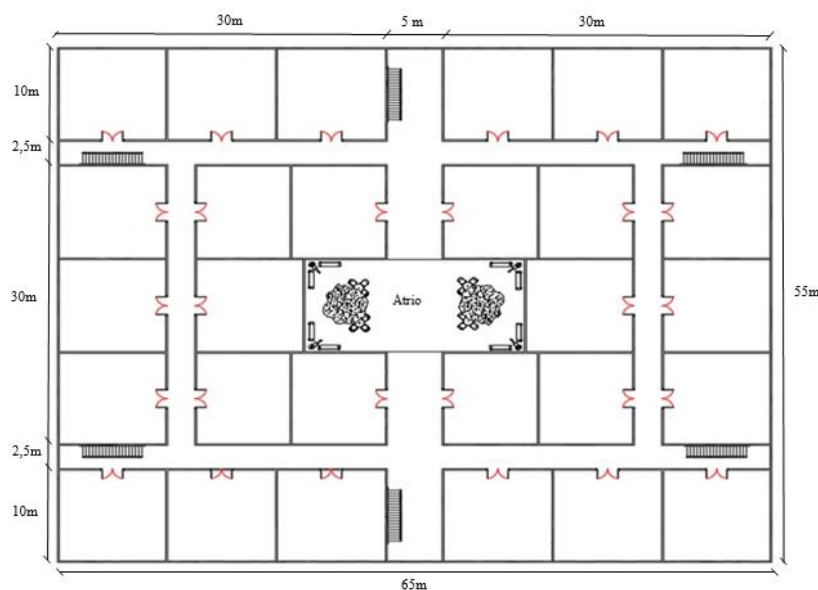


Figura 3: Planta-baixa do pavimento tipo

A Figura 3 apresenta a planta baixa do pavimento tipo da edificação com suas salas, corredores e escadas, bem como o átrio no centro da construção. Por suas características construtivas, não há impedimento para propagação do fogo entre as salas (devido à fachada do tipo 'pele de vidro') ou entre os pavimentos (devido ao átrio e às escadas não enclausuradas). A edificação é construída em alvenaria, concreto nos pilares e nas lajes, e o fechamento é feito com vidros instalados em moldes e armações metálicas.

Para ampliar os aspectos desta análise específica, quanto aos sistemas de proteção contra incêndio e quanto às medidas de segurança presentes na edificação, foram consideradas três hipóteses distintas:

- Na primeira hipótese, a edificação possui todos os sistemas de proteção contra incêndio previstos pelo Método de Gretener, independente de estes serem exigidos pelas normas de regulamentação local ou não;
- Na segunda hipótese, a edificação possui apenas os sistemas de proteção contra incêndio exigidos pelas normas de regulamentação local;
- Na terceira hipótese, a edificação não possui os sistemas de proteção contra incêndio exigidos pela regulamentação local.

As três diferentes hipóteses foram consideradas para que o método fosse testado e os resultados pudessem ser analisados, conforme será mostrado nos capítulos 5 e 6.

4. DA LEGISLAÇÃO APLICADA

No Brasil, cada um dos 27 estados da federação tem a sua própria legislação de segurança contra incêndio. Esta pluralidade de legislações causa diferenças nas exigências dos sistemas de proteção contra incêndio entre os estados federativos, ainda que se considere uma edificação com as mesmas características construtivas.

Portugal, por sua vez, têm sua legislação própria que segue os preceitos estipulados pela União Europeia (UE). Desde 2003 foi criado do Serviço Nacional de Proteção Civil, que foi responsável pelo processo de padronização e atualização das normas de segurança contra incêndio no país. Em 2008 foi publicado o Decreto-lei 220/2008 [4], que regulamentou as exigências de SCI e adotou a classificação da reação ao fogo de produtos de construção e o sistema de classificação da resistência ao fogo praticado na União Europeia. O Regulamento Técnico de Segurança contra Incêndio em Edifícios (SCIE) [5] traz as exigências mínimas de segurança para as edificações em todo o território português.

Tendo em conta este aspecto quanto às legislações, foram consideradas três abordagens para o presente estudo:

- A edificação fictícia foi analisada de acordo com a legislação de proteção contra incêndio do Distrito Federal (DF). A capital do país tem legislação própria, que é, em alguns aspectos, diferente das legislações dos demais estados da federação. Simultaneamente, o Distrito Federal possui muitas edificações com as características da edificação hipotética objeto deste estudo.
- A edificação fictícia foi analisada de acordo com a legislação de proteção contra incêndio do estado de São Paulo (SP). As normas técnicas de segurança contra incêndio de São Paulo servem como referência para as legislações de diversos outros estados, sendo, portanto, importante e representativa para uma análise comparativa.
- A edificação fictícia foi analisada de acordo com a legislação de proteção contra incêndio de Portugal. Considerando que o Método de Gretener é utilizado amplamente na União Europeia, foi selecionado um país membro para efeitos de comparação.

Para julgar os parâmetros do Método de Gretener é preciso considerar as exigências de cada legislação. O método prevê que alguns parâmetros sejam julgados apenas quanto a atender ou não atender à respectiva legislação. Considerando que as exigências podem mudar de um estado para o outro, ou de um país para o outro, o resultado do julgamento pode também divergir.

Com relação a este aspecto do método, Favarin [6] afirma que, na aplicação do Método de Gretener, adaptações precisam ser feitas, devendo-se adotar valores intermediários quando não há uma correspondência exata entre a situação real da edificação e o parâmetro previsto no método. Segundo a autora, estas adaptações devem ficar a cargo da interpretação de cada analista que estiver aplicando o respectivo método de análise de risco.

Outros autores também discutem a necessidade de adaptação, como Silva Filho [1], segundo o qual “os métodos podem ser utilizados a fim de averiguar a segurança contra incêndio das edificações, desde que sejam feitas as devidas considerações, afim de adaptá-los a realidade do país em que são utilizados.” (p. 81).

Na legislação brasileira, os sistemas são exigidos para cada edificação com base em características como a área total construída, o risco inicial com base na destinação da edificação, a carga incêndio armazenada e a altura dos pavimentos.

Em Portugal, o dimensionamento é feito com base em características como a utilização-tipo da edificação, a altura dos pavimentos, a categoria de risco e na população. O Quadro 1 apresenta uma comparação entre as exigências normativas do Distrito Federal, do Estado de São Paulo e de Portugal, para a edificação fictícia criada para este estudo.

Quadro 1: Comparação das exigências legislativas entre Distrito Federal, São Paulo e Portugal

Parâmetros	Distrito Federal	São Paulo	Portugal
Destinação	Grupo 9	D1	Tipo III
Risco inicial	Risco A - baixo	Risco médio	Risco B 3ª categoria
Extintores de incêndio	Alcançável a, no máximo, 15 metros	Alcançável a, no máximo, 20 metros	Alcançável a, no máximo, 15 metros
Brigada de incêndio	4 brigadistas profissionais 154 brigadistas voluntários	38 brigadistas voluntários com treinamento de nível intermediário	5 brigadistas (elementos de equipa)
Detecção	Não é exigida	Não é exigida	Sistema exigido
Sprinklers	Não é exigida	Não é exigida	Sistema exigido
Exaustor/fumaça	Não é exigida	Não é exigida	Sistema exigido
Células corta-fogo	Não é exigida	É exigida com área máxima de 2500m ²	É exigida com área máxima de 1600m ²

É possível constatar que os critérios podem mudar dependendo de onde a edificação está localizada. Uma vez que o método analisa alguns parâmetros com base na legislação local, o resultado final da análise também pode ser diferente para uma mesma edificação, dependendo do local onde está construída.

5. DA APLICAÇÃO DO MÉTODO

Para a aplicação do método no presente estudo foram consideradas nove situações específicas para a edificação. Nas situações 1, 2 e 3 a edificação está localizada no Distrito Federal. Na situação 1, a edificação possui todos os sistemas de proteção contra incêndio considerados pelo método. Na situação 2 a edificação possui apenas os sistemas exigidos pela legislação do Distrito Federal. Na situação 3 a edificação está em desacordo com a legislação do Distrito Federal e não possui todos os sistemas exigidos. Da mesma forma, as situações 4, 5 e 6 apresentam as mesmas características, respectivamente, porém, usando como referência

a legislação do Estado de São Paulo. E por fim, as situações 7, 8 e 9 apresentam as mesmas características, respectivamente, porém, usando como referência a legislação de Portugal.

O Quadro 2 indica a presença ou falta dos sistemas de proteção contra incêndio na edificação, bem como as demais características consideradas pelo Método de Gretener para analisar o risco de incêndio.

Quadro 2: Sistemas existentes na edificação em cada situação analisada

Situação hipotética	fator	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Localização	-	DF	DF	DF	SP	SP	SP	PT	PT	PT
Extintores	n_1	sim	sim	não	sim	sim	não	sim	sim	não
Hidrantes	n_2	sim	sim	não	sim	sim	não	sim	sim	não
Relação:reservatório/pressão	n_3	sim	sim	não	sim	sim	não	sim	sim	não
Conduta de alimentação	n_4	sim	não	não	sim	não	não	sim	sim	não
Pessoal instruído	n_5	sim	não	não	sim	não	não	sim	não	não
Vigilância/portaria	s_1 / s_2	sim	não	não	sim	não	não	sim	sim	não
Instalação de extinção	s_5	sim	não	não	sim	não	não	sim	sim	não
Evacuação de fumaça	s_6	sim	não	não	sim	não	não	sim	sim	não
Chuveiros automáticos	s_5 / f_3	sim	não	não	sim	não	não	sim	sim	não

Os julgamentos dos parâmetros do Método de Gretener foram feitos considerando as três situações previstas para a edificação, conforme capítulo 3, e as exigências de legislação do Distrito Federal [7], [8], [9] e [10]; do estado de São Paulo [11], [12], [13] e [14]; e de Portugal [4] e [5]; conforme capítulo 4.

O Quadro 3 apresenta os valores considerados para cada parâmetro em cada uma das nove situações analisadas, bem como os resultados dos cálculos aplicados e o valor final do coeficiente de segurança γ .

Quadro 3: Planilha de cálculo do Método de Gretener

		Dimensionamento do prédio								
Situações analisadas		1	2	3	4	5	6	7	8	9
pavimento tipo da edificação	compartim.	V	V	V	V	V	V	V	V	V
	comprimento	$l = 65$	65	65	65	65	65	65	65	65
	largura	$b = 55$	55	55	55	55	55	55	55	55
	comp.:larg	$l/b = 1,2:1$	1,2:1	1,2:1	1,2:1	1,2:1	1,2:1	1,2:1	1,2:1	1,2:1
	área em (m ²)	$\text{área} = 3575$	3575	3575	3575	3575	3575	3575	3575	3575
carga incêndio		$Q_m = 800$	800	800	800	800	800	800	800	800
		Perigos Potenciais								
Conteúdo da Edificação	fator q	Q_m	q = 1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
	fator c	Combust.	c = 1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
	fator r	Enfumaç.	r = 1	1	1	1	1	1	1	1
	fator k	Corros./tox.	k = 1	1	1	1	1	1	1	1
	perigo ao conteúdo		= 1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68
o de Con	fator i	Q_{im}	i = 1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05

	fator e	nível do piso	e	=	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
	fator g	ampl.superf	g	=	1,485	1,485	1,485	1,485	1,485	1,485	1,485	1,485	1,485	1,485
		valor do perigo inerente ao tipo de construção		=	2,027	2,027	2,027	2,027	2,027	2,027	2,027	2,027	2,027	2,027
	Perigo potencial	P		=	3,405	3,405	3,405	3,405	3,405	3,405	3,405	3,405	3,405	3,405
Medidas Contra o Desenvolvimento do Incêndio														
Medidas Normais	fator n ₁	extintores	n ₁	=	1	1	0,9	1	1	0,9	1	1	0,9	1
	fator n ₂	hidrantes	n ₂	=	1	1	0,8	1	1	0,8	1	1	0,8	1
	fator n ₃	Abastec.	n ₃	=	0,85	0,85	1	0,85	0,85	1	0,85	0,85	1	1
	fator n ₄	aliment.	n ₄	=	1	0,9	0,9	1	0,9	0,9	1	1	0,9	0,9
	fator n ₅	pessoal	n ₅	=	1	0,8	0,8	1	1	0,8	1	1	0,8	0,8
	Coef. medidas normais	N		=	0,85	0,612	0,518	0,85	0,765	0,518	0,85	0,85	0,85	0,518
Medidas Especiais	fator s ₁	detecção	s ₁	=	1,45	1	1	1,45	1	1	1,45	1,45	1	1
	fator s ₂	alerta	s ₂	=	1,1	1	1	1,1	1	1	1,2	1,1	1	1
	fator s ₃	bombeiros	s ₃	=	1,6	1	1	1,7	1,2	1	1,7	1,6	1	1
	fator s ₄	tempo	s ₄	=	1	1	0,6	1	0,75	0,6	1	1	0,6	0,6
	fator s ₅	extinção	s ₅	=	2	1	1	2	1	1	2	2	1	1
	fator s ₆	evacuação	s ₆	=	1,2	1	1	1,2	1	1	1,2	1,2	1	1
	Coef. medidas especiais	S		=	6,125	1	0,6	6,508	0,9	0,6	1	1	1	1
Medidas de Construção	fator f ₁	estrutura	f ₁	=	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1
	fator f ₂	fachadas	f ₂	=	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,15	1,15	1	1
	fator f ₃	lajes	f ₃	=	1,15	1	1	1,15	1	1	1,1	1,1	1	1
	fator f ₄	células c/f	f ₄	=	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Coef. medidas construção	F		=	1,644	1,43	1,43	1,644	1,43	1,43	1,644	1,644	1	1
	fator de exposição	B		=	0,398	3,891	7,656	0,374	3,459	7,656	0,343	0,398	10,95	10,95
	perigo de ativação	A		=	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
	risco efetivo de incêndio	R		=	0,338	3,308	6,508	0,318	2,94	6,508	0,292	0,338	9,306	9,306
	fator de correção	P _{HE}		=	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
	risco admissível	R _u		=	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91
	Coef. de Segurança	r		=	2,69	0,28	0,14	2,86	0,31	0,14	3,12	2,69	0,01	0,01

Na aplicação do método, foram observados os seguintes pontos de destaque:

- Para o *fator n₃: confiabilidade do abastecimento de água*, que trata do tipo e localização do reservatório de água que vai suprir o sistema de hidrantes, nas situações 3, 6 e 9 foi utilizado o valor igual a 1, não previsto na tabela do método, porque não há a previsão de que não exista o sistema de hidrantes na edificação para julgar este parâmetro.
- Para o *fator n₄: conduta de alimentação*, que trata da existência e localização dos hidrantes urbanos, não há legislação no Brasil que preveja a distância máxima a qual deve ser posicionado o hidrante urbano. Nas situações 1 e 4 foi considerado como hidrante próximo (a menos de 70 metros de distância). Nas situações 2, 3, 5, 6 e 9 foi considerado um hidrante a mais de 100 metros de distância ou inexistente. Nas situações 7 e 8 foi considerado um hidrante a 30 metros de distância, conforme prevê a legislação portuguesa.
- O *fator n₅: pessoal instruído* trata das brigadas de incêndio particulares. Neste contexto, é considerado 'pessoal instruído' uma pessoa com treinamento para manipular os extintores portáteis e/ou hidrantes de parede, que também saiba utilizar o sistema de alarme e conheça as possibilidades de evacuação da edificação. No Brasil, esta é a função da brigada de incêndio voluntária ou dos brigadistas com treinamento básico.

- Para os fatores s_1 : detecção de incêndio e s_2 : transmissão e alerta, que tratam do tipo de detecção de incêndio e do tipo de alerta que pode ser dado ao corpo de bombeiros. Para as situações 1, 4, 7 e 8 foi considerado que há uma portaria com vigilância permanente, onde se localiza a central de alarme. Para as demais situações, foi considerado que não há porteiro ou vigilante disponível fora do horário de funcionamento da edificação. Como não há previsão para a ausência de vigilância na respectiva tabela do método, foi considerado o valor igual a 1.
- Para o fator s_3 : bombeiros oficiais e de empresa, que trata da existência e características do corpo de bombeiros oficial e da brigada de incêndio da própria edificação*, foi considerado o dimensionamento de brigada de incêndio previsto nas respectivas normas. Sendo assim:
 - Para a situação 1 foi considerado (CBO 7 + sem BE), considerando uma situação ideal, na qual a distribuição dos quartéis do corpo de bombeiros é feita de forma que várias unidades possam atender a uma emergência em um mesmo endereço.
 - Para as situações 2 e 3 foi considerado (CBO 1 + sem BE), pois o dimensionamento de brigada no Distrito Federal não atende ao mínimo exigido pelo Método de Gretener.
 - Para a situação 4, foi considerado (CBO 7 + BE1), pois o dimensionamento de brigada na legislação do estado de São Paulo atende ao mínimo exigido pelo método e, nesta situação, a edificação poderia ser alcançada por vários quartéis da cidade ao mesmo tempo.
 - Para a situação 5 foi considerado (CBO 1 + BE1), pois neste caso a situação não é a ideal, mas atende à norma local.
 - Para a situação 6, foi considerado (CBO 1 + sem BE), pois nesta situação a edificação não atende às exigências da norma local.
 - Para a situação 7, foi considerado (CBO 7 + sem BE), considerando uma situação ideal, na qual a distribuição dos quartéis do corpo de bombeiros é feita de forma que várias unidades possam atender a uma emergência em um mesmo endereço, embora o número de brigadistas previsto pela norma não atenda ao mínimo exigido pelo método.
 - Para as situações 8 e 9, foi considerado (CBO 1 + sem BE), pois a legislação local prevê 5 brigadistas, mas este número não atende ao mínimo previsto pelo método
- O fator s_4 : escalões de intervenção do corpo de bombeiros trata do tempo de deslocamento do corpo de bombeiros até o local da edificação e também considera as medidas de primeira resposta como chuveiros automáticos ou brigada de incêndio particular. Para as situações 1, 7 e 8 foi considerado tempo menor que 15 minutos e a existência de chuveiros automáticos. Para a situação 2 foi considerado tempo menor que 15 minutos, sem BE. Para a situação 3 foi considerado tempo maior que 30 minutos, sem BE. Para a situação 4 foi considerado tempo menor que 15 minutos com BE1. Para a situação 5 foi considerado tempo maior que 30 minutos com BE1. Para as situações 6 e 9 foi considerado tempo maior que 30 minutos sem BE.

* CBO (Corpo de Bombeiros Oficial) e BE (bombeiros de empresa) são os diversos tipos de corpos de bombeiros e de brigadas de incêndio considerados pelo Método de Gretener. O manual de uso do método [2] traz uma explicação detalhada sobre as características de cada tipo para orientar a classificação do parâmetro.

- Para o fator s_5 : instalações de extinção, que trata da existência de chuveiros automáticos ou proteção por extinção a gás, para as situações 1 e 4 foi considerada a presença de chuveiros automáticos, ainda que a norma técnica local não exija. Para as situações 7 e 8 foi considerada a existência do sistema, conforme exigido pela norma portuguesa. Para as demais situações, foi considerado o valor igual a 1, uma vez que não há previsão da não existência de chuveiros automáticos neste parâmetro.
- Para o fator s_6 : instalações automáticas de evacuação de calor e fumaça, foi considerada a existência do sistema nas situações 7 e 8, conforme prevê a norma portuguesa. Nas demais situações foi considerado o valor igual a 1, pois o método não prevê valores relacionados à ausência deste mesmo sistema.
- Para o fator f_3 : lajes, que trata da resistência a fogo das lajes e coberturas, nas situações 1, 4, 7 e 8 foi considerado que a edificação tem chuveiros automáticos e que a estrutura construtiva é do tipo V. Nas demais situações, foi considerada a situação na qual não existem chuveiros automáticos na edificação.
- Para o fator f_4 : células corta-fogo, que trata da compartimentação horizontal, os valores ficaram iguais porque não há como garantir o isolamento das salas pela fachada. Sendo assim, não há células corta-fogo na edificação.

Os pontos destacados nesta seção foram detalhados para que ficassem claros quais foram os critérios aplicados no presente estudo e suas consequências na atribuição dos valores para cada parâmetro.

6. DA DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A aplicação do Método de Gretener nas nove situações consideradas neste estudo resultou em valores distintos do coeficiente de segurança γ . Embora os resultados, em uma mesma situação, tenham sido próximos, as diferenças encontradas mostraram que a aplicação direta, utilizando os parâmetros do próprio método em sobreposição às legislações estaduais, nem sempre é possível de ser realizada.

Para as situações 1, 4 e 7, nas quais a edificação possui todos os sistemas de proteção contra incêndio considerados pelo método, ou seja, tem uma situação de proteção que o método considera ideal, os resultados foram aproximados. Na situação 1, considerando a legislação do Distrito Federal, o coeficiente de segurança foi de $\gamma = 2,69$. Na situação 4, considerando a legislação do Estado de São Paulo, o valor do coeficiente de segurança foi de $\gamma = 2,86$. Já na situação 7, considerando a legislação de Portugal, o coeficiente de segurança foi de $\gamma = 3,12$.

Os três valores encontrados nas situações 1, 4 e 7 são bastante próximos e indicam a segurança da edificação, sendo, em média, três vezes maior do que o valor mínimo estipulado pelo método, de $\gamma = 1$. Nas três situações, o método conclui que a edificação é segura e, de acordo com as respectivas legislações locais, elas estão de acordo com os padrões de segurança.

Para as situações 2, 5 e 8, nas quais a edificação atende aos parâmetros da legislação local, os resultados também foram aproximados. Na situação 2, considerando a legislação do Distrito

Federal, o coeficiente de segurança foi de $\gamma = 0,28$. Na situação 5, considerando a legislação do Estado de São Paulo, o valor do coeficiente de segurança foi de $\gamma = 0,31$. E na situação 8, considerando a legislação de Portugal, o valor do coeficiente de segurança foi de $\gamma = 2,69$.

Ao analisar as situações 2, 5 e 8, as diferenças entre as exigências de legislação ficaram mais evidentes. O dimensionamento da brigada de incêndio, que afeta diretamente os valores do *fator n_5 : pessoal instruído*, foi determinante para a diferença nos resultados. No entanto, uma característica relevante foi identificada: o fato de que, se a edificação cumpre as exigências da legislação de São Paulo ou do Distrito Federal, ainda assim, ela é considerada insegura pelo Método de Gretener. Se a mesma edificação estiver localizada em Portugal, cumprindo com as exigências da legislação local, ela será considerada segura.

Para as situações 3, 6 e 9, nas quais a edificação não atende aos parâmetros da legislação local e não possui os sistemas básicos de proteção contra incêndio, os resultados do coeficiente de segurança foram $\gamma = 0,14$, $\gamma = 0,14$ e $\gamma = 0,01$, respectivamente. Este resultado indica que, para uma edificação sem medidas de proteção contra incêndio, o método consegue identificar o grau de insegurança.

Durante a aplicação do método, foi preciso adaptar os valores atribuídos aos parâmetros em determinadas situações. Isso ocorreu quando não havia, nas tabelas do método, previsão para a não existência dos sistemas de hidrantes (*fator n_3*), chuveiros automáticos (*fator s_1 e fator s_5*), exaustão de fumaça (*fator s_6*) ou vigilância para o sistema de alarme (*fator s_1 e fator s_2*). Os valores foram considerados iguais a 1 para estes critérios a fim de não comprometer o resultado final de cada coeficiente, uma vez que as equações são de multiplicação simples.

Um fato notório na utilização das tabelas do Método de Gretener é que, para alguns parâmetros válidos, o valor atribuído pelo método é igual a 1 (um). Isso ocorre, por exemplo, com as situações ideais dos fatores n_1 , n_2 , n_3 , n_4 e n_5 . Para estes fatores, a condição mais segura recebe o valor igual a 1. No entanto, ao aplicar a equação de multiplicação para determinar o valor do Fator de Medidas Normais - N ($N = n_1 \times n_2 \times n_3 \times n_4 \times n_5$), os coeficientes iguais a 1 não interferem no resultado.

O mesmo ocorre com a condição mais segura para o fator s_4 . No entanto, para os fatores s_1 , s_2 , s_5 e s_6 , não há previsão de valor a ser atribuído quando os respectivos critérios não existirem. Considerando que o cálculo do Fator de Medidas Especiais - S também é uma multiplicação simples ($S = s_1 \times s_2 \times s_3 \times s_4 \times s_5 \times s_6$), os valores das condições mais seguras para estes critérios não interferem no resultado final do coeficiente. Atribuir o valor igual a 1 ou não atribuir nenhum valor quando o sistema não existir, também não interfere no resultado final do valor de S.

Há, ainda, que se comentar o fato de que as condições de atribuição de valor para o *fator n_1 : extintores de incêndio*, *fator n_2 : hidrantes* e *fator n_5 : pessoal instruído*, se restringem a julgar se o parâmetro atende ou não atende a legislação de segurança local. Não há, nestes casos, a opção de julgar quando o sistema existe, mas, por algum motivo, não está totalmente de acordo com a legislação. Considerando o fato de que as exigências de legislação podem ter diferenças de um local para o outro, uma pequena diferença no sistema pode ser aceita em um

local e não ser aceita em outro, sem que seja possível considerar adaptações ou mesmo um funcionamento ou dimensionamento parcial para a aplicação do Método de Gretener.

7. DAS CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Método de Gretener é um dos mais tradicionais e difundidos em todo o mundo para analisar o risco de incêndio em edificações. No entanto, a aplicação direta deste método, com os valores previstos nas tabelas próprias e as orientações do manual de uso são limitantes em diversos aspectos. Isto ocorre nas edificações que são projetadas sob a ótica de normas diferentes do padrão europeu, com base no qual o Método de Gretener foi desenvolvido.

As legislações de proteção contra incêndio estão em constante evolução e atualização. E é notória a diferença de legislação entre os países ou até mesmo entre estados federativos, como acontece no Brasil.

Quando um método se baseia em analisar se a edificação atende ou não as normas locais, sem considerar as diferenças entre estas mesmas normas, pode apresentar resultados mascarados ou pouco eficientes em retratar a realidade da proteção contra incêndio na edificação.

Restringir-se a uma legislação específica limita o método a ser aplicado apenas em edificações que seguem a mesma legislação. Caso contrário, o método pode acabar por considerar edificações inseguras apenas por não cumprir a legislação de referência do próprio método e não por oferecer real risco de incêndio.

Da mesma forma, quando um método estabelece seus próprios critérios de avaliação com base em uma legislação local, pode estar desconsiderando possíveis soluções previstas em legislações distintas, que sejam igualmente eficientes.

As legislações consideradas neste estudo divergem em aspectos importantes. A legislação portuguesa, por exemplo, é mais segura ao exigir vigilância para detecção e alarme de incêndio e os sistemas de extração de fumaça e chuveiros automáticos. A legislação do Distrito Federal é mais segura ao exigir que o pessoal instruído na edificação tenha uma formação mais abrangente para realizar a primeira intervenção em caso de incêndio. Já a legislação de São Paulo apresenta parâmetros mais baixos para considerar o dimensionamento de brigada de incêndio, prevendo apenas brigadistas de nível básico para esta edificação.

É importante que sejam realizados estudos voltados para a comparação entre as diferentes legislações, com seus respectivos parâmetros e exigências. Uma pesquisa mais ampla sobre o tema pode servir para determinar o grau de eficiência e aplicabilidade destes parâmetros, afim de determinar quais são mais seguros e contribuir para uma padronização entre as legislações.

Este artigo não pretende esgotar o assunto, mas apenas iniciar uma discussão sobre o impacto das análises de risco em relação às diferenças de legislação e os possíveis desdobramentos dos resultados ao retratar o real risco de incêndio nas edificações.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Silva Filho, Valdoir dos Santos. - *Avaliação de Risco de Incêndio: Aplicação Comparativa entre os Métodos Gretener e FRAME em um Galpão Industrial*. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Santa Maria/RS, 2017, 99p.
- [2] UC, Universidade de Coimbra -. *Manual do Método de Gretener*. Coimbra/Portugal, 2019. Material Didático/Disciplina: Modelação de Evacuação e Risco de Incêndio. 56p.
- [3] Valentim, Tânia Marisa Andrez. - *Avaliação do Risco de Incêndio por Aplicação do Método GRETENER*. Tomar/Portugal : Escola Superior de Tecnologia de Tomar, 2014.
- [4] Portugal. - *Decreto-Lei 220/2008, de 12 de fevereiro*. Estabelece o regime jurídico da segurança contra incêndios em edifícios (SCIE). Diário da República, 1.ª série - N.º 220 - 12 de Novembro de 2008.
- [5] Portugal. - *Portaria 1532/2008*. Aprova o Regulamento Técnico de Segurança contra Incêndio em Edifícios (SCIE). Diário da República, 1.ª série — N.º 250 — 29 de Dezembro de 2008.
- [6] Favarin, Eleusa de Vasconcellos. - *Avaliação do Risco de Incêndio em Edificações em Conformidade com a Legislação de Prevenção e Proteção Contra Incêndio do Estado do Rio Grande do Sul através do Método de Gretener: um Estudo de uma IES*. Dissertação, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria/RS, 2015, 80p.
- [7] CBMDF. *Norma Técnica N° 01/2016-CBMDF* - Medidas de Segurança Contra Incêndio. Brasília/DF, 2016.
- [8] CBMDF. *Norma Técnica N° 02/2016-CBMDF* - Risco de Incêndio e Carga de Incêndio. Brasília/DF, 2016.
- [9] CBMDF. *Norma Técnica N° 03/2015-CBMDF* - Sistema de Proteção por Extintores de Incêndio. Brasília/DF, 2015.
- [10] CBMDF. *Norma Técnica N° 07/2011-CBMDF* - Brigada de Incêndio. Brasília/DF, 2011.
- [11] São Paulo. *Decreto 63.911/2018*. Regulamento de Segurança contra Incêndio das edificações e áreas de risco no Estado de São Paulo e estabelece outras providências. São Paulo/SP, 2018.
- [12] CBPMESP. *Instrução Técnica 14/2019* - Carga de incêndio nas edificações e áreas de risco. São Paulo/SP, 2019.
- [13] CBPMESP. *Instrução Técnica 17/2019* - Brigada de Incêndio. São Paulo/SP, 2019.
- [14] CBPMESP. *Instrução Técnica 21/2019* - Sistema de proteção por extintores de incêndio. São Paulo/SP, 2019.

ANÁLISE DOS CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO DOS EDIFÍCIOS NAS REGULAMENTAÇÕES DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO NOS ESTADOS DO BRASIL

**Bernardete de Lourdes
Ferreira Minervino***

Aluna de Doutorado
UC – Coimbra, Portugal

**Cristina Calmeiro
dos Santos**

Professora Adjunta
Instituto Politécnico
de Castelo Branco

**Paulo Gustavo von
Krüger**

Professor
UFMG – Belo
Horizonte, Brasil

João Paulo C. Rodrigues

Professor
UFMG – Belo Horizonte,
Brasil e UC – coimbra,
Portugal

Resumo:

Diante da variedade de legislações de segurança contra incêndio aplicadas no Brasil, é comum encontrar divergências nos parâmetros determinados em cada um dos 27 estados da federação. Elaborar um projeto de incêndio já é uma atividade que exige considerar uma imensa gama de características normativas e funcionais. Elaborar projetos diferentes em dois ou mais estados da federação é uma tarefa ainda mais complexa, uma vez que os parâmetros e as exigências mudam de um estado para o outro. Neste estudo será apresentada uma análise das divergências encontradas nas legislações estaduais, no que se refere ao dimensionamento dos sistemas de segurança contra incêndio exigidos para edificações urbanas e será feita uma proposta de ajuste para os quesitos de classificação de destinação das edificações. O objetivo é sugerir um início para o processo de padronização dos parâmetros de segurança contra incêndio.

Palavras-chave: Classificação de edificações. Legislação. Segurança Contra Incêndio. Padronização de legislações.

1. INTRODUÇÃO

Diante da variedade de legislações de segurança contra incêndio aplicadas no Brasil, é comum encontrar divergências nos parâmetros determinados em cada um dos 27 estados da federação. As divergências vão desde o código de classificação, passando pelos valores adotados como parâmetros no dimensionamento dos sistemas e até mesmo na forma como o processo de construção ou adaptação de uma edificação é realizado.

Elaborar um projeto de incêndio já é uma atividade que exige considerar uma imensa gama de características normativas e funcionais. Elaborar projetos diferentes em dois ou mais estados da federação é uma tarefa ainda mais complexa, uma vez que os parâmetros e as exigências mudam de um estado para o outro.

O motivo das divergências entre as legislações tem mais a ver com os aspectos administrativos do que com os aspectos técnicos dos quais tais legislações tratam. Neste estudo será apresentada uma análise das divergências encontradas nas legislações estaduais, no que se refere ao dimensionamento dos sistemas de segurança contra incêndio e será feita uma proposta de ajuste para os quesitos de classificação de destinação das edificações. O objetivo é sugerir um início para o processo de padronização dos parâmetros de segurança contra incêndio.

2. DA LEGISLAÇÃO DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO

A Segurança Contra Incêndio (SCI) é uma combinação de ações e recursos de prevenção e combate que visa prevenir uma situação de incêndio, controlar esta situação (caso ocorra), prover a evacuação segura de pessoas de dentro do local incendiado até um local seguro e garantir o acesso das equipes de salvamento e socorro [1]. A importância da SCI para a proteção de vidas e patrimônios é do senso comum, embora sua aplicabilidade seja passível de discussões abrangentes, diferentes interpretações e divergências quanto à aplicabilidade e responsabilidade pela mesma.

2.1. Competência para legislar

Embora existam registros de breves legislações acerca de segurança contra incêndio ainda no século XIX, estas eram demasiado vagas e visavam tão somente ações de combate uma vez que o fogo fosse detectado [2]. Foi apenas na década de 1970 que começaram a surgir legislações mais específicas tratando de segurança contra incêndio. Ainda que vagas, já mostravam um direcionamento para os dispositivos de controle das chamas e de facilitação de fuga dos ocupantes da edificação.

As normas mais específicas, definindo critérios técnicos para implementação de sistemas e dimensionamento voltado para cada tipo de edificação, só começaram a ser aprovadas no Brasil na segunda metade do século XX. Isso se deve ao fato de que não havia apelo popular que instigasse os legisladores neste sentido, até que ocorreram grandes incêndios que tiveram destaque na imprensa e mostraram a necessidade urgente de prevenir tais tragédias. “A ausência de grandes incêndios que resultassem em perdas consideráveis, quer seja de patrimônio ou da quantidade de vidas perdidas, não favoreceram, pelo menos até o início dos anos 70, uma discussão relevante sobre o assunto no país. [3] (p. 188)

No Brasil, a competência para legislar segue uma hierarquia definida pela Constituição Federal de 1988. Uma vez que a União não elabore lei que regule um determinado assunto, cabe aos estados da federação a competência para legislar sobre o referido tema, no que suas

respectivas assembleias legislativas julgarem pertinente. Este fato fica estabelecido no §3º do Artigo 24 “Inexistindo lei federal sobre normas gerais, os Estados exercerão a competência legislativa plena, para atender a suas peculiaridades” [4]. Diversos assuntos que precisam de regulação e normatização são tratados a nível estadual no cumprimento deste artigo. No entanto, isso acaba gerando diferenças significativas entre os estados no trato de um mesmo assunto, como ocorre com o tema de segurança contra incêndio.

Considerando a função definida pelo Artigo 144 da Constituição Federal, os estados, em sua totalidade, possuem leis que determinam as competências dos corpos de bombeiros para elaborar regulamentos e normas técnicas sobre segurança contra incêndio, seguindo os objetivos de salvar vidas e salvaguardar o patrimônio, nesta ordem de prioridade. “A segurança pública, dever do Estado, direito e responsabilidade de todos, é exercida para a preservação da ordem pública e da incolumidade das pessoas e do patrimônio, através dos seguintes órgãos: [...] V - Polícias militares e corpos de bombeiros militares.” [4]

Por ser um país de dimensões continentais, dividido em um grande número de unidades federativas que detêm autonomia para legislar sobre segurança contra incêndio, muitas discrepâncias são encontradas entre estas legislações, sem que haja um motivo técnico que justifique tais diferenças, exceto o fator da autonomia de competência legislativa estadual.

Os regulamentos de segurança contra incêndio e as normas técnicas elaboradas e aplicadas em cada estado apresentam divergências que ocorrem não apenas nas definições de parâmetros técnicos, mas também na própria abrangência de cada norma estadual e nas competências atribuídas a cada corpo de bombeiros.

Ao analisar este aspecto, Rodrigues [5] afirma que, em cumprimento ao §5º do Artigo 144 da Constituição Federal “aos corpos de bombeiros militares, além das atribuições definidas em lei, incumbe a execução de atividades de defesa civil” [4], existe a necessidade de os estados federativos assumirem o papel de legislar de forma mais específica sobre SCI.

As Constituições Estaduais e as Leis Estaduais de Organização Básica (LOB) dos Corpos de Bombeiros Militares ou das Polícias Militares onde são integrados, definiram competência pela segurança contra incêndio e pânico nas edificações aos Corpos de Bombeiros Militares com diferentes abrangências, desde as atribuições limitadas à análise, fiscalização e licenciamento, até a possibilidade adicional de regulamentação, pesquisa e investigação dos incêndios. [5] (p 59)

Devido a esta autonomia, as formas como as informações técnicas são elaboradas e apresentadas nos 27 estados da federação são diferentes entre si. Do mesmo modo, os procedimentos para aprovação de projetos de incêndio, a representação das informações técnicas, o dimensionamento dos sistemas de SCI e, o mais grave, os parâmetros que determinam as condições mínimas de segurança também divergem.

Há, ainda, a constatação de que a atualização das normas técnicas estaduais depende muito da estrutura organizacional de cada corpo de bombeiros. Havendo estados que fazem revisões constantes de suas legislações e outros que as têm bastante desatualizadas [5].

[...] projetistas e empreendedores deverão sempre verificar com muita atenção as regulamentações vigentes em cada Estado, pois terão que projetar prédios baseados em ditames arcaicos, [...] assim

como cumprir regulamentos atuais, que tratam o mesmo tema, a instalação predial dos sistemas de segurança contra incêndio. Esta discrepância indubitavelmente onera a sociedade e torna questionável a credibilidade técnica do que está sendo exigido. [5] (p 41)

O Quadro 1 mostra o ano da última atualização da legislação que trata do dimensionamento de sistemas de segurança contra incêndio em cada estado da federação:

Quadro 1: Normas estaduais de SCI atualmente em vigor

UF	Legislação	Ano	UF	Legislação	Ano
AC	Norma Técnica 01/2022	2022	PB	Norma Técnica 04/2013	2013
AL	Instrução Técnica 01/2021	2021	PR	Lei 4335/2013	2013
AP	Norma Técnica 02/2020	2020	PE	Decreto 53308/2022	2022
AM	Decreto 24054/2004	2004	PI	Decreto 17688/2018	2018
BA	Decreto 16.302/2015	2015	RJ	Decreto 42/2018	2018
CE	Norma Técnica 01/2008	2008	RN	Instrução Técnica 01/2022	2022
DF	Norma Técnica 01/2016	2016	RS	Decreto 51803/2014	2014
ES	Decreto 2423-R/2009	2009	RO	Instrução Técnica 01/2022	2022
GO	Norma Técnica 01/2020	2020	RR	Lei Compl. 82/2004	2004
MA	Norma Técnica 01/2021	2021	SC	Instrução Normativa 1/2022	2022
MT	Norma Técnica 01	2020	SP	Decreto 3.911/2018	2018
MS	Lei 4335/2013	2013	SE	Instrução Técnica 01/2021	2021
MG	Decreto 47998/2020	2020	TO	Norma Técnica 01/2022	2022
PA	Instrução Técnica 01/2019	2019			

É perceptível, ao comparar as datas de publicação das legislações estaduais, que alguns estados estão há quase 20 anos utilizando a mesma legislação, apesar de todo o avanço tecnológico ocorrido nas duas últimas décadas no campo nas áreas de incêndio e prevenção.

O próprio acesso a estas normas também varia de um estado para o outro. Alguns estados apresentam todos os parâmetros de dimensionamento dos sistemas de SCI em um único documento. Outros apresentam os parâmetros dispersos em dois ou mais documentos que precisam ser consultados em conjunto para o correto dimensionamento.

A legislação do estado de São Paulo é utilizada como referência para a maioria dos outros estados da federação, o que facilita a atualização, uma vez que quando São Paulo atualiza suas normas, os demais estados também o fazem por consequência.

2.2. Primeiro passo para padronização

Em 2017 foi entrado em vigor a Lei Federal 13.425 [6], que ficou popularmente conhecida como 'Lei Kiss'. Esta lei foi uma resposta do poder legislativo federal aos vários questionamentos levantados sobre segurança contra incêndio após o incêndio na Boate Kiss, ocorrido na cidade de Santa Maria/RS em 27 de janeiro de 2013. Após o incêndio, que vitimou 242 pessoas, houve uma comoção nacional e um apelo para que houvesse mais rigor nas exigências de

segurança contra incêndio e na fiscalização dos estabelecimentos de concentração de público. A sociedade clamava para que outra tragédia como esta jamais se repetisse.

No entanto, a Lei Kiss é pouco abrangente no que se refere aos assuntos técnicos que permeiam a segurança contra incêndio. Destaca-se a seguir os principais pontos tratados na lei:

- Foram enumeradas as funções inerentes aos corpos de bombeiros militares: planejar, analisar, avaliar, vistoriar, aprovar e fiscalizar as medidas de prevenção e combate a incêndio e a desastres em estabelecimentos, edificações e áreas de reunião de público (Art. 3º);
- Foi estabelecida a responsabilidade do poder público e dos corpos de bombeiros militares para realizar as fiscalizações e vistorias periódicas nos estabelecimentos comerciais e de serviços e nos edifícios residenciais multifamiliares (Art. 5º);
- Foi estabelecido que os cursos de graduação em Engenharia e Arquitetura em funcionamento no Brasil, em universidades e organizações de ensino públicas e privadas, bem como os cursos de tecnologia e de ensino médio correlatos, deveriam incluir o conteúdo relativo à prevenção e ao combate a incêndio e a desastres em seus respectivos currículos, em um prazo máximo de seis meses (Art. 8º);
- Foi estabelecido que as informações sobre incêndios ocorridos no Brasil em áreas urbanas deveriam ser reunidas em um sistema unificado de informações, com a participação da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, integrado ao sistema de informações e monitoramento de desastres (Art. 15).

Embora a lei pareça estrategicamente abrangente, ela não teve efeito prático significativo. Os corpos de bombeiros militares continuaram com as funções que já eram previstas nas legislações estaduais de SCI, os cursos de graduação de engenharia e arquitetura não adequaram seus currículos ao que previa a lei e um banco de informações integrados sobre as ocorrências de incêndio em áreas urbanas, até o momento, não foi criado.

Além do descumprimento, houve, ainda, especialmente no Rio Grande do Sul, local da tragédia que originou a Lei Kiss, uma série de flexibilizações tanto nas exigências de segurança quanto nos prazos para execução e fiscalização das mesmas. Todos estes fatos acabaram por reverter ou impedir qualquer progresso prático pretendido pelos autores da lei.

Embora não tenha sido efetiva, a Lei Kiss mostrou uma inclinação a enxergar a padronização de exigências e a centralização de informações como um caminho natural para otimizar a aplicação, execução e fiscalização das normas de segurança contra incêndio.

2.3. O exemplo de Portugal

A realidade na União Europeia (EU) já mostra avanços na unificação de normas com o intuito de facilitar tanto a regulação quanto a execução da segurança contra incêndio. Desde a fundação da União Europeia, os seus países membros entendem que a padronização de assuntos técnicos facilita a aplicação e execução de projetos entre os países, além de ser um impulso às pesquisas científicas, possibilitando o estudo em vários países seguindo os mesmos parâmetros.

Evoluindo no sentido da padronização de normas, Portugal implementou, em 2008, o Decreto-Lei n.º 220/2008 [7]. Este Decreto-lei promoveu a união de termos, características e exigências técnicas que antes estavam dispersas em normas separadas e, muitas vezes, divergentes entre si. Além disso, desde de 2003 o Serviço Nacional de Proteção Civil foi criado para ajudar na articulação entre as entidades envolvidas nas operações de socorro. Centralizar a organização dos órgãos envolvidos nas respostas a emergências e catástrofes facilitou o processo de padronização que culminou no Decreto Lei n.º 220/2008.

Atualmente existe a Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil, que é responsável pela 'proteção e socorro às populações em situações de emergência, acidente grave ou catástrofe, através de ações de prevenção, de resposta, de apoio ou de recuperação", incluindo a normatização da segurança contra incêndio em todo o país. O movimento em outros países já é direcionado para a padronização de parâmetros. Portugal segue a tendência de outros países da União Europeia ao padronizar sua legislação e harmonizar os parâmetros com os que são aplicados nos demais países.

O Brasil tem ainda o desafio de padronizar as normas entre os seus estados federativos, que apresentam divergências desnecessárias e que prejudicam a boa aplicação das medidas de segurança contra incêndio. O processo pode ser iniciado levando, também, em consideração os parâmetros aplicados nos demais países de referência, otimizando o processo de padronização e ampliando o seu alcance para as legislações internacionais.

Vale salientar que as convergências nas normas, sendo algumas delas cópias da legislação do estado de São Paulo é um indicativo de que não há que, necessariamente, criar uma lei federal para padronizar as legislações técnicas de segurança contra incêndio. Basta que haja consenso entre os corpos de bombeiros em adotar um texto idêntico em todos os estados da federação. A elaboração de tal texto deve, por consequência, contar com a participação de representantes de todos os 27 estados.

3. PARÂMETROS USADOS NO DIMENSIONAMENTO DAS MEDIDAS DE SCI

O dimensionamento dos sistemas de segurança contra incêndio é feito com base em quatro parâmetros principais presentes da edificação: destinação, área total, altura e risco inicial. É com base nestes quatro parâmetros, e na relação entre eles, que são definidos quais sistemas são exigidos em cada edificação, bem como a abrangência e a capacidade dos mesmos. Primeiro é preciso determinar a destinação da edificação. De posse desta informação são analisados os parâmetros de altura máxima, área total da edificação e o risco inicial para, finalmente, definir quais são os sistemas exigidos. A diferença entre os limites destes parâmetros é um dos principais pontos de divergência entre as legislações estaduais.

3.1. Classificação quanto à destinação

A destinação é o primeiro parâmetro a ser analisado e já mostra diferenças significativas entre as legislações estaduais. De uma forma geral, esta classificação conta com catorze categorias principais, cada uma com subcategorias que podem variar de um estado para o outro. São elas: 1) Residencial; 2) Serviço de hospedagem; 3) Comercial; 4) Serviço profissional; 5) Escolar; 6) Concentração de público; 7) Serviço automotivo; 8) Hospitalar; 9) Indústria; 10) Depósito; 11) Energia; 12) Explosivo; 13) Especial e 14) Setor Primário.

Nas doze primeiras categorias há convergência nas classificações dos diferentes estados da federação. Embora os códigos possam ser diferentes nas subcategorias, é possível identificar as similaridades nestas classificações. A décima terceira categoria é a categoria Especial, onde são classificadas diversas ocupações que não se enquadram nas doze primeiras, e onde encontram-se a maior taxa de divergência entre as normas estaduais. Há, ainda, em três estados da federação (Acre, Goiás e Rondônia) uma décima quarta categoria denominada 'Setor Primário', que abarca três subcategorias (agricultura, zootécnica e mineração).

3.2. Classificação quanto a altura

A altura é o segundo parâmetro a ser analisado para dimensionar os sistemas de SCI a serem exigidos em uma edificação. Para esta análise é importante enfatizar que a altura, para fins de dimensionamento de sistemas, é definida como "medida em metros entre o ponto que caracteriza a saída ao nível de descarga, sob a projeção do paramento externo da parede da edificação, ao piso do último pavimento". [1]

Para utilizar a altura da edificação como parâmetro, as legislações estaduais consideram uma determinada altura mínima a partir da qual começam a ser exigidos os sistemas de SCI. Em 24 estados (89% do total), são consideradas seis faixas de altura, conforme se segue: 1) Apenas o pavimento térreo; 2) altura $\leq 6,00$ m; 3) $6,00$ m < altura $\leq 12,00$ m; 4) $12,00$ m < altura $\leq 23,00$ m; 5) $23,00$ m < altura $\leq 30,00$ m e 6) altura acima de $30,00$ m. A cada nova faixa de altura, aumentam a quantidade ou a extensão dos sistemas de SCI exigidos para a edificação. As diferenças mais marcantes ocorrem em alguns estados, como é explicado a seguir:

- No Distrito Federal são consideradas quatro faixas de altura para os pavimentos de subsolo e oito faixas de altura para os pavimentos aéreos. As variações acontecem a cada três metros de altura até os 15 metros, além das faixas de 30 e 60 metros;
- O estado de Pernambuco considera seis faixas de altura para o dimensionamento dos sistemas de SCI: 6 metros, 8 metros, 9 metros, 12 metros, 14 metros e 20 metros;
- O estado do Mato Grosso do Sul utiliza a altura de 10 metros, determinando sistemas diferentes para edificações acima ou abaixo desta altura;
- O estado do Rio de Janeiro utiliza também apenas uma faixa, determinando sistemas diferentes para edificações de até 2 pavimentos ou de mais de 2 pavimentos.

Pode-se perceber que existem diferenças significativas entre os critérios utilizados como limite nas diferentes legislações. No entanto, não há uma justificativa para tais diferenças. Nenhuma norma apresenta um motivo para a fixação do critério de limite das faixas de altura, ou embasamento para a escolha do número.

3.3. Classificação quanto a área

Do total de 27 estados federativos, vinte deles (74% do total) utilizam o limite de 750m² de área para dimensionar os sistemas, considerando exigências para edificações com área total menor ou maior do que esta pré-determinada. Outros sete estados utilizam marcas diferentes ou utilizam 750m² como limite inicial, e acrescentam outras áreas que podem determinar a exigência ou não de um determinado sistema.

O dilema mais perceptível na marcação de áreas fixas que determinam a exigência ou não de um sistema é o fato de não haver um embasamento claro para tal definição. Não está explícito como surgiu o entendimento de que 750m² é a área ideal para determinar a exigência ou não de um sistema. Não há um estudo específico, visando testar ou simular diferentes áreas, que traga embasamento teórico para a fixação da faixa limite em 750m², ao invés de 700m² ou 800m², por exemplo. As normas que divergem e utilizam outras áreas como parâmetro determinantes o fazem baseadas em preceitos igualmente não justificados.

3.4. Classificação quanto ao risco inicial

Do número total de 27 estados federativos, 21 deles (78% do total) utilizam a classificação de risco baseada exclusivamente na carga incêndio presente na edificação. Nestes casos, a carga incêndio é determinada por tabelas fornecidas na própria legislação, com foco no material armazenado ou na destinação do edifício. Nestes casos, a classificação é feita em três faixas (risco baixo, risco médio e risco alto). Apenas seis estados utilizam classificação divergente:

- O Distrito Federal e a Paraíba utilizam uma classificação com cinco faixas de risco baseadas na destinação da edificação (A, B-1, B-2, C-1 e C-2);
- O estado de Minas Gerais utiliza uma classificação de três faixas considerando a destinação e a área total da edificação, com parâmetros diferentes dos demais estados federativos (Nível 1, Nível 2 e Nível 3);
- O estado do Pará utiliza a mesma classificação de três faixas da maioria dos outros estados, mas a vincula ao número máximo de pessoas na edificação para determinar o grau de risco inicial.
- O estado do Rio de Janeiro utiliza uma classificação de quatro faixas (risco pequeno, risco médio 1, risco médio 2 e risco alto), com parâmetros diferentes dos demais estados. Os limites entre as faixas de classificação estão fixados em 1000MJ/m² e 1200MJ/m². O risco pequeno é determinado pela ocupação da edificação, sem considerar a carga incêndio presente no local.
- O estado de Santa Catarina utiliza uma classificação de quatro faixas (risco desprezível, risco pequeno, risco médio e risco alto). Os limites entre as faixas de classificação estão fixados em 100 MJ/m², 300 MJ/m², 1000MJ/m² e 1200MJ/m²

No caso da definição de risco inicial da edificação, além das divergências entre os parâmetros serem muito marcantes e não terem uma justificativa para tal, há, ainda, a discussão em torno da eficácia deste tipo de classificação.

A carga incêndio, por si só, embora tenha grande influência no desenvolvimento de um incêndio e na liberação do fluxo de calor, não é suficiente para determinar um risco inicial. Embora seja um critério determinístico de fácil aplicação nas normas técnicas, o seu uso como único critério para determinação do risco inicial não é consenso entre os especialistas da área. Alguns estados já apresentam variações, levando em conta a destinação. Mas este, sozinho, também não é fator determinante em um incêndio. Podendo haver vários outros parâmetros que podem ter um impacto até maior no início do incêndio ou no desenvolvimento do mesmo. “[...] recentemente tomou maior vulto a preocupação de que não é somente a carga de incêndio que define a gravidade de um incêndio, mas as condições de sobrevivência das pessoas em espaços com grande concentração de público.” [5] (p.235)

4. CLASSIFICAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES QUANTO À DESTINAÇÃO

A classificação das edificações quanto à ocupação é o critério inicial analisado para o dimensionamento dos sistemas de SCI. Há diversas fontes para classificação de atividades, desde as legislações de atividade econômica até as legislações tributárias. [8]

As legislações de segurança contra incêndio apenas absorveram classificações já existentes com a visão de risco voltada para início e desenvolvimento do incêndio. Algumas legislações de SCI já consideram, ainda, as características da população que ocupa a edificação, como as condições de movimentação e estado de alerta as pessoas. Esta adaptação empírica está presente em todas as legislações que determinam a classificação das edificações quanto à destinação em categorias principais, como foi discutido no item 3.1. O Quadro 2 traz uma visão mais detalhada dos parâmetros utilizados nas legislações estaduais para classificação de destinação. São identificadas as categorias principais e as subcategorias aceitas em cada legislação estadual. A última coluna apresenta a porcentagem de estados federativos que adotam as subcategorias citadas.

Quadro 2: Categorias e subcategorias de classificação das edificações quanto à destinação

Principal	Subcategorias adotadas pelos estados federativos						Total
Residencial	A-1 A-2 A-3						
	Adotadas em 24 estados			A-4 A-5 A-6			89%
				Adotadas no RJ			4%
Hospedagem	B-1 B-2						
	Adotadas em 25 estados						93%
Comercial	C-1 C-2 C-3						
	Adotadas em 24 estados			C-4			89%
				Adotada no RJ			4%
Serviços profissionais	D-1 D-2 D-3 D-4						
	Adotadas em 23 estados				D-5		85%
					Adotada no RJ e RS		7%
Escolar	E-1 E-2 E-3						
	Adotadas no RJ			E-4 E-5 E-6			4%
				Adotadas em 24 estados			89%

	<u>F-1 F-2 F-3 F-4 F-5 F-6 F-7 F-8 F-9 F-10</u>	
Concentração de Público	Adotadas em 10 estados	<u>F-11</u> 37%
		Adotada em 14 estados <u>F-12</u> 52%
		Adotada apenas no RS 4%
	<u>G-1 G-2 G-3 G-4</u>	
Serviço automotivo	Adotadas no AM	<u>G-5 G-6</u> 4%
	Adotada em 16 estados	59%
	Adotada em 8 estados	30%
	<u>H-1 H-2 H-3 H-4</u>	
Hospitalar	Adotadas no RJ	<u>H-5</u> 4%
	Adotadas no ES	<u>H-6</u> 4%
	Adotadas em 23 estados	85%
	<u>I-1 I-2 I-3</u>	
Indústria	Adotadas em 25 estados	89%
	<u>J-1 J-2 J-3 J-4</u>	
Depósito	Adotadas em 25 estados	89%
	<u>L-1 L-2 L-3</u>	
Explosivo	Adotadas em 25 estados	89%
	<u>M-1 M-2 M-3 M-4 M-5 M-6 M-7 M-8 M-9 M-10 M-11 M-12</u>	
Especiais	Adotadas em 14 estados*	52%
	* Os demais estados, além do número variado de subcategorias, ainda têm definições diferentes para cada uma, com base na realidade local	
	<u>N-1 N-2 N-3</u>	
Setor primário	Adotadas em 3 estados	11%

Dos 27 estados federativos considerados, dois não foram abordados na tabela acima. O Distrito Federal usa nomenclaturas diferentes, embora a base da classificação seja bastante semelhante aos demais estados. O estado de Pernambuco adota apenas as categorias principais para classificar as edificações quanto à destinação.

É possível observar que, em nove categorias (residencial, hospedagem, comercial, serviços profissionais, escolar, hospitalar, indústria, depósito e explosivos) ao menos 23 estados (85% do total) utilizam uma classificação de destinação idêntica.

Em sete categorias (residencial, comercial, serviços profissionais, escolar, concentração de público, serviço automotivo e hospitalar) foram encontradas divergências na quantidade de subcategorias e na nomenclatura de algumas delas. Uma categoria (energia) identificada pelo código K existe apenas na legislação de seis estados. Sendo que, no caso específico do estado de Santa Catarina, possui duas subcategorias para esta principal.

A categoria 'Especial' é a única que apresenta divergências consideráveis, que serão detalhadas a seguir: 1) Túnel; 2) Líquidos ou gases inflamáveis e combustíveis / Tanques ou parque de tanques; 3) Central de comunicação; 4) Canteiros de obras/Propriedade em transformação; 5) Silos; 6) Vegetações; 7) Pátio de contêineres; 8) Posto de revenda de GLP risco I; 9) Posto de revenda de GLP risco II; 10) Minas subterrâneas; 11) Atividades

agropastoris e Olarias; 12) Torres de telefonia móvel; 13) Transporte e navegação e 14) Resíduos. A categoria 'Setor Primário' é idêntica nos três estados nos quais é adotada: 1) Botânica; 2) Zootecnica e 3) Mineração.

A comparação entre as legislações mostra que há mais convergências do que divergências entre as normas. Este fato facilita uma possível padronização dos parâmetros de classificação, uma vez que não haja questionamentos sobre a validade ou eficácia dos mesmos.

5. PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO PADRONIZADA

A Tabela 3 apresenta um resumo da proposta de padronização das categorias e subcategorias de classificação das edificações pela destinação sugerida por esta autora. Esta tabela organiza as classificações existentes nas diversas legislações estaduais em vigor, harmonizando seus pontos convergentes. Os pontos divergentes são adotados na categoria 'Especiais' para que possam ser previstos em todas as legislações estaduais.

As categorias principais são identificadas por letra e a subcategoria pelo número, formando um código único de classificação, sendo: A: Residencial; B: Hospedagem; C: Comercial; D: serviços profissionais; E: Escolar; F: Local de reunião de público; G: Garagem; H: Hospitalar e institucional; I: Indústria; J: Depósito; L: Explosivo; M: Especiais e N: Setor Primário.

Quadro 3: Proposta de padronização da classificação das edificações pela destinação

Cód.	Subcategoria	Cód.	Subcategoria
A-1	Residenciais unifamiliares	G-4	Oficinas
A-2	Residenciais multifamiliares	G-5	Hangares
A-3	Habitações coletivas	G-6	Marinas, portos, garagens náuticas
A-4	Agrupamento resid. unifamiliar	H-1	Hospitais veterinários
A-5	Agrupamento resid. multifamiliar	H-2	Locais para pessoas com limitações físicas ou mentais
A-6	Mista (residencial e comércio)	H-3	Hospitais e assemelhados
B-1	Hotéis	H-4	Repartição pública, edificações das forças armadas e policiais
B-2	Hotéis residenciais	H-5	Locais de restrição de liberdade
C-1	Comércio de pequeno porte	H-6	Clinicas e consultórios médicos e odontológicos
C-2	Comércio de médio porte	I-1	Indústrias onde $Q_m \leq 300 \text{ MJ/m}^2$
C-3	Shoppings centers	I-2	Indústrias onde $300\text{MJ/m}^2 \leq Q_m \leq 1200\text{MJ/m}^2$
C-4	Quiosques	I-3	Indústrias onde $Q_m \geq 1200 \text{ MJ/m}^2$
D-1	Prestação de serviço	J-1	Depósitos de material incombustível
D-2	Agência bancária	J-2	Depósitos onde a carga de incêndio é igual ou menor a 300 MJ/m^2
D-3	Serviços de reparação (exceto os classificados como G-4)	J-3	Depósitos onde $300\text{MJ/m}^2 < \text{carga de incêndio} < 1200\text{MJ/m}^2$

D-4	Laboratórios e estúdios	J-4	Depósitos onde a carga de incêndio é igual ou maior a 1200 MJ/m ²
E-1	Escolas em geral	L-1	Comércio de produtos explosivos
E-2	Escolas especiais	L-2	Indústria de produtos explosivos
E-3	Espaço para cultura física	L-3	Depósito de produtos explosivos
E-4	Centro de treinamento profissional	L-4	Show pirotécnico
E-5	Pré-escola	M-1	Túneis
E-6	Escolas para portadores de deficiências	M-2	Armazenagem de líquidos ou gases inflamáveis e combustíveis
F-1	Museus e bibliotecas	M-3	Central de comunicação
F-2	Templos religiosos	M-4	Canteiros de obras
F-3	Centros esportivos e de exibição	M-5	Silos
F-4	Terminais de passageiros	M-6	Vegetações
F-5	Artes cênicas e auditórios	M-7	Pátio de contêineres
F-6	Clubes sociais e de diversão	M-8	Torres de telefonia móvel
F-7	Eventos temporários	M-9	Loteamento
F-8	Local para refeição (restaurantes)	M-10	Transporte e navegação
F-9	Recreação pública (zoológico, parques)	M-11	Resíduos e tratamento de lixo
F-10	Exposição permanente de objetos e animais	M-12	Central de distribuição de energia
F-11	Boates	M-13	Usinas
G-1	Garagem SEM acesso de público e sem abastecimento	N-1	Botânica
G-2	Garagem COM acesso de público e sem abastecimento	N-2	Zootécnica
G-3	Garagem COM abastecimento	N-3	Mineração

Há, ainda, que se destinar uma quarta coluna à exemplificação das edificações dentro de cada classificação, como é feito na maior parte das tabelas das legislações atuais. Esta coluna pode ser utilizada tanto para ajudar o usuário da norma a compreender os efeitos práticos da classificação quanto para dirimir dúvidas a respeito de classificações mais complexas. Para o preenchimento desta coluna pode ser utilizada, como base, a exemplificação da norma de São Paulo e acrescidas as demandas dos demais estados da federação para seus contextos específicos.

As categorias principais e subcategorias, ainda que não sejam adotadas atualmente pelos estados, podem constar em sua legislação para uso futuro. Não há impedimentos para que a classificação adotada em um estado possa ser utilizada pelos demais, como ficou demonstrado nas convergências mostradas ao longo deste estudo.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A padronização dos parâmetros determinísticos das legislações de segurança contra incêndio é uma necessidade. Não há justificativa plausível para diferenças entre parâmetros de classificação e dimensionamento dos sistemas, uma vez que os objetivos das normas são

convergentes. A classificação pela destinação, por ser o primeiro parâmetro a ser analisado, deve também ser o primeiro parâmetro a ser padronizado nas 27 legislações estaduais. Um movimento inicial para reorganizar as exigências de segurança contra incêndio no Brasil.

Os demais parâmetros iniciais requerem estudos específicos e mais aprofundados para analisar e discutir a sua eficiência e aplicabilidade, e somente então decidir sobre sua padronização.

A classificação por altura apresenta divergências que podem ser eliminadas, mas é preciso haver um estudo sobre as faixas limites em que as exigências serão aplicadas. O que pode ser feito por simulação computacional de desenvolvimento do incêndio e da evacuação de pessoas, para que sejam gerados dados teóricos quanto à funcionalidade dos limites a serem estabelecidos.

A classificação por área, que também é divergente nas legislações, pode seguir o mesmo procedimento de simulação computacional. Tal simulação pode incluir, ainda, não apenas a área como também diferentes configurações de arquitetura (*layout*) para determinar a influência dos mesmos no desenvolvimento do incêndio e na sua compartimentação.

A classificação de risco inicial é a que requer mais estudos com diferentes abordagens. O risco inicial depende não apenas da carga incêndio, mas também dos fatores de ignição que podem estar presentes no local, o estado de manutenção dos equipamentos e rede elétrica, bem como a forma de armazenamento e distribuição dos materiais presentes na edificação.

O consenso sobre as exigências dos sistemas de SCI e sobre os parâmetros a serem considerados neste dimensionamento pode ser atingido por iniciativa das próprias corporações, sem que seja necessária, obrigatoriamente, uma lei unificada. Este entendimento pode tornar o processo de padronização mais rápido e menos burocrático. O objetivo da segurança contra incêndio é salvar vidas e salvaguardar o patrimônio. É necessário um esforço conjunto para facilitar o acesso e a aplicação das normas de SCI tanto por projetistas, fiscalizadores e a comunidade em geral.

Este estudo visa dar continuidade a uma discussão que já ocorre sobre a necessidade de padronização das legislações técnicas de segurança contra incêndio. E, principalmente, propor um início de mudança que poderá impactar positivamente no cenário da segurança contra incêndio em nosso país.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

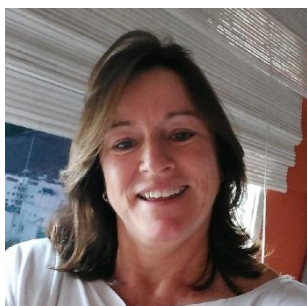
- [1] CBPMESP. *Instrução Técnica Nº 03/2019*. Terminologia de segurança contra incêndio.
- [2] Araújo, M.A.S. *Papel do Corpo de Bombeiros na segurança contra incêndio*. In: Seito, Alexandre Itiu et. al. (Coords). *A segurança contra incêndio no Brasil*. São Paulo: Projeto Editora, 2008. p. 297-310.
- [3] A. Hahnemann, C. Corrêa, E. Rabbani (2017), "Evaluación de seguridad contra incendio: método alternativo aplicado a edificaciones brasileña", *Revista ALCONPAT*, 7 (2), pp.

186-199, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v7i1.178>

- [4] Brasil. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988.
- [5] Rodrigues, Eduardo Estêvam Camargo. Sistema de Gestão da Segurança contra Incêndio e Pânico nas Edificações: Fundamentação para uma Regulamentação Nacional. Tese de Doutorado. UFRGS, 2016, 336p.
- [6] Brasil. Lei 13.425/2017. Estabelece diretrizes gerais sobre medidas de prevenção e combate a incêndio e a desastres em estabelecimentos, edificações e áreas de reunião de público e dá outras providências.
- [7] Portugal. Decreto Lei n.º 220/2008. Estabelece o regime jurídico da segurança contra incêndios em edifícios, abreviadamente designado por SCIE. Ministério da Administração Interna.
- [8] IBGE. Tabelas de Códigos e Denominações (Cnae Completa). Disponível em: <https://cnae.ibge.gov.br/>

SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO

BAMBU - IMPACTO AMBIENTAL COMO SEQUESTRADOR DE GÁS CARBÔNICO



Karolina Poznyakov¹
Mestranda em
Engenharia Ambiental
Universidade Federal do
Rio de Janeiro (UFRJ)
Rio de Janeiro - Brasil



Carina Mariane Stolz
Professora
Universidade Federal do
Rio de Janeiro (UFRJ)
Rio de Janeiro - Brasil



Eduardo Qualharini
Professor
Universidade Federal do
Rio de Janeiro (UFRJ)
Rio de Janeiro - Brasil

Resumo

Pesquisar opções de matérias-primas utilizadas na construção pouco impactantes ao ambiente é essencial no desenvolvimento sustentável do país. Assim, o bambu se destaca como possível alternativa. O Bambu é reconhecido como um material “verde”, com potencial renovável, flexível, adaptável, eclético e caracterizado por sua leveza e resistência. O bambu, além de ter baixo consumo de produção, contribui com o ambiente por ser eficiente no resgate de carbono, reduzindo o efeito estufa. Este artigo apresenta a eficiência do bambu no sequestro de gás carbônico através de abordagem quali-quantitativa no levantamento de artigos, referências bibliográficas seguidos da interpretação dessas informações.

Palavras-chave: Bambu. Impacto ambiental. Sequestro de carbono. Construção verde. Sustentabilidade.

¹ Autor correspondente – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. Tel.: +55 21 995716270. email: karol.poznyakov@poli.ufrj.br

1. INTRODUÇÃO

O alto consumo de energia pelos materiais mais utilizados na indústria da construção gera a necessidade da busca por opções que unam o conceito de origem renovável ao de sustentabilidade. Assim, o bambu se apresenta como uma importante alternativa, considerando seu crescimento acelerado e elevada produção.

O bambu é um meio florestal que exhibe excepcional desenvolvimento, constituindo produção de biomassa cerca de duas vezes a do eucalipto, no mesmo intervalo de tempo, podendo ser utilizado na construção por apresentar propriedades físico-mecânicas apropriadas, e elevada durabilidade, quando tratado com substâncias conservantes, apresentando interessante opção à madeira, ao concreto e ao aço [1].

O bambu é utilizado pela humanidade há milhares de anos, principalmente no Oriente, em países como China, Índia, Japão, Indonésia e Filipinas, e no Ocidente, em terras como Colômbia e Costa Rica. De maneira geral, nos continentes americano e asiático, principalmente, onde existem indústrias direcionadas para exploração e comercialização de produtos como pisos, forros e laminados [2].

Documentadamente, o bambu tem oferecido abrigo, alimento, utensílios, ferramentas e uma infinidade de outros itens. Estima-se que o material colabora para a sobrevivência de mais de centenas de milhares de pessoas [3].

Devido a grande quantidade de bambu existente na Ásia, os orientais implementaram técnicas para a sua viabilização na indústria da construção civil, bem como apresentaram seu uso no setor de irrigação, instrumentos mecânicos para a locomoção, móveis, etc. Na América Latina, foram desenvolvidas tecnologias novas de construção com bambu em conjunto com outros materiais, como o aço, o concreto e a madeira, propiciando a construção de imponentes estruturas, resistentes e belas [4].

Assim, ao se deparar com as vantagens da utilização desse recurso natural, sendo uma opção sustentável para a engenharia, pesquisadores têm dispendido esforços para o dimensionamento da capacidade estrutural dessa matéria prima florestal, bem como de sua trabalhabilidade, isto é, é possível moldar os mais variados formatos e dimensões com o auxílio de formas [5]. Assim sendo, as pesquisas observaram que *Guadua angustifolia* e *Phyllostachys pubescens* foram às espécies de bambu mais frequentemente utilizadas, com principais aplicações para laminados, termoplásticos e na construção de treliças, em estado bruto, e no tratamento de esgoto [6].

Em relação a *Guadua angustifolia*, o maior número de ocorrências pode estar diretamente relacionado à existência natural de espécies de *Guadua* na América do Sul, a qual, conforme o Projeto Radam (Radar da Amazônia), foi possível identificar uma região de mais de 7 milhões de hectares de bambus do tipo *Guadua* no bioma Amazônico [7].

2. ESTRUTURA

O bambu é da família Poaceae, subfamília *Bambusoideae* e da tribo *Bambuseae*. Segundo o Sistema de Engler, ele pertence à divisão *Angiospermae* e à classe das *Monocotyledoneae*.

Com mais de 1200 tipos identificados, trata-se de uma planta bastante harmonizada aos diversos climas desde montanhas com baixas temperaturas até regiões tropicais próximas a linha do Equador [8]. Existem aproximadamente 75 tipos de bambu catalogados sendo que essa identificação é dificultada pela imprevisibilidade da floração, e pode estar relacionada à morte da touceira [9]. Aproximadamente 64% das plantações se encontram no sudeste da Ásia, 33% na América do Sul e o restante na África e Oceania [10]. É uma planta tropical e que cresce mais rápido do que qualquer outra planta florestal, precisando, de três a seis meses, em média, para que um broto tenha sua altura máxima, de até 30 metros, as quais são espécies chamadas de gigantes [11].

Na sua maioria, os tipos mais estudados no Brasil são oriundos do continente asiático, como *Bambusa vulgaris*, *B. tuldoides*, *Dendrocalamus strictus*, *D. giganteus* e *Phyllostachys aurea* [1]. As nativas necessitam de pesquisas mais aprofundadas e concentram-se em algumas regiões de mata atlântica, e da região amazônica, em especial no estado do Acre. Estudos realizados no Projeto Radam, por meio de imagens de satélites, determinaram a existência de aproximadamente 7 milhões de hectares de bambus no estado do Acre [7].

Quanto ao sistema radicular, os bambus agrupam-se em Paquimorfos ou Entouceirantes (*Bambusa*, *Guadua* e *Dendrocalamus*) e Leptomorfos ou alastrantes (*Phyllostachys*, *Arundinaria* e *Sasa*). Os primeiros dispõem de rizomas grossos e curtos com gemas laterais e, o segundo grupo têm rizomas que se desenvolvem no solo de forma a abranger grandes áreas (Figura 1). Ainda existem os Anfipodiais, que compartilham das características dos dois tipos (*Chusquea*), de cordo com Lopez [12].

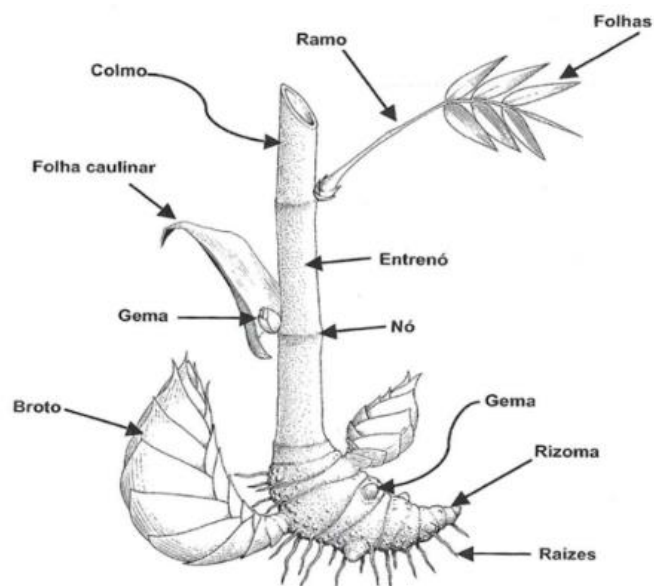


Figura 1: Partes do bambu.

Fonte: Greco e Cromberg [13].

3. PROPRIEDADES

O bambu possui reduzido peso específico, o que diminui o custo da sua manipulação e do seu transporte [14]. Azzini et al. [1] afirmam que a planta apresenta elevada resistência físico-mecânica, flexibilidade e leveza, além de excepcional vigor vegetativo, o que resulta na velocidade do desenvolvimento dos colmos (7,88 cm/dia e 22,0 cm/dia, para *Guadua angustifolia* e *Dendrocalamus giganteus*, respectivamente) e mostra elevado progresso em altura no período de 80 a 110 dias.

Na pesquisa realizada por Ghavami e Marinho [14], foram executados testes mecânicos em algumas espécies de bambu (*Dendrocalamus giganteus*, *Guadua angustifolia*, *Guadua angustifolia*, *Guadua tagoara*, *Phyllostachys heterocycla pubescens*-Mosó, e *Phyllostachys bambusoides*-Matake), sendo possível esquematizar as propriedades mecânicas e físicas, além de apontar o módulo de tensão e resistência na superfície do colmo devido ao nível de flexão dos bambus, objeto do estudo. Organismos internacionais ligados à cultura do bambu [15] classificaram 20 espécies como prioritárias com base em requisitos relativos ao cultivo, ao processamento e aos produtos. Algumas destas espécies e suas principais características podem ser observadas no Quadro 1.

Quadro 1: Espécies prioritárias de bambus

Espécie	Altura dos colmos (m)	Diâmetro dos colmos (cm)	Espessura das paredes (cm)	Comprimento do entrenó (cm)	Usos
<i>Bambusa balcooa</i>	20 a 24	8 a 15	2 a 2,5	30 a 45	Construções, casas e pontes
<i>Bambusa bambos</i>	15 a 30	15 a 18	1 a 1,5	20 a 40	Estrutural, material de construção e placa de bambu (Plybamboo)
<i>Bambusa blumeana</i>	15 a 25	6 a 10	0,5 a 3	25 a 60	Construção, laminado de bambu
<i>Bambusa tulda</i>	Até 30	5 a 10	0,4 a 0,7	40 a 70	Estruturas de madeira de qualidade média, construção
<i>Bambusa vulgaris</i>	8 a 20	5 a 10	0,7 a 1,5	25 a 35	Construção, andaimes
<i>Dendrocalamus asper</i>	20 a 30	8 a 20	1,1 a 2	20 a 45	Estrutural, útil para construção pesada em comunidades rurais
<i>Dendrocalamus giganteus</i>	24 a 60	10 a 20	2,5	40 a 50	Bambu gigante, utilizado na indústria de laminado colado
<i>Gigantochloa apus</i>	8 a 30	4 a 13	1,5	36 a 45	Múltiplos usos, como ripas e laminados, materiais de construção e fins estruturais
<i>Gigantochloa levis</i>	Até 30	5 a 16	1 a 1,2	45	Estrutural
<i>Gigantochloa pseudoarundinacea</i>	7 a 30	5 a 13	2	35 a 45	Estruturas de madeira, materiais de construção, tubulações de água
<i>Melocanna baccifera</i>	10 a 20	5 a 7	0,5 a 1,2	20 a 50	Coberturas em construções de casas

Fonte: INBAR [15]

4. SEQUESTRO DE CARBONO

O Sequestro de Carbono (“Mecanismo de Desenvolvimento Limpo”) é uma expressão utilizada para indicar a saída do gás carbônico (CO₂) da atmosfera e sua transformação em oxigênio (O₂). Esta técnica já é realizada de forma espontânea pelos solos, oceanos e florestas, onde os micro-organismos e os organismos, através da fotossíntese, prendem o carbono e soltam o oxigênio na atmosfera [16].

Algumas ações foram sugeridas no Tratado de Kyoto, em 1997 [17], para a diminuição dos níveis de CO₂ na atmosfera, que estabeleceu, naquele momento, como objetivo para países desenvolvidos, a redução em 5% da emissão de gases que ocasionam o efeito estufa (GEE) até o ano de 2012. Na conferência do clima da Organização das Nações Unidas (ONU), em 2009, em Copenhague, o governo brasileiro declarou uma meta voluntária para redução dos gases de efeito estufa entre 36,1% e 38,9%, até 2020. Na recente COP26², em 2021 [18], em Glasgow, Escócia, o Brasil assumiu um novo compromisso de mitigar suas emissões de gases de efeito

² COP26 é abreviatura de “Conferência das Partes da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), 16ª edição.

estufa em 50%, até 2030. O Pacto de Glasgow³ também motiva os países a acelerar a mudança para a utilização de energia de baixa emissão, incluindo fortes dedicações para a eliminação gradual de energia oriunda de usinas de carvão, onde não se utilizam tecnologias como o sequestro de carbono (CCS⁴) bem como a sua captura, utilização e armazenamento simultaneamente (CCUS⁵).

Para minimizar o nível de dióxido de carbono na atmosfera há dois cenários possíveis: a redução das emissões do gás ou a retenção do dióxido de carbono produzido em excesso, o chamado sequestro de carbono [19].

Segundo Coltri et al. [20], que vêm pesquisando a possibilidade de utilizar coeficientes de vegetação para aferir a biomassa e o potencial de captura e estoque de carbono das plantações de café, a captura é uma medida da quantidade de carbono que a planta extrai da natureza e incorpora em sua biomassa. Quando se modifica o bambu, ou qualquer outro vegetal em produtos (móveis, por exemplo), está se armazenando o carbono e reduzindo os problemas ambientais. Entretanto, o estoque na biomassa que a planta armazena eternamente no tronco, nos ramos, nas folhas, só se perde quando há a derrubada ou a queima de sua peça. “Estima-se que 50% da biomassa em uma planta seja composta por carbono, mas isso pode mudar de acordo com a espécie”, declaram os pesquisadores.

Durigan [21], observa que a taxa de absorção depende de três aspectos: da temperatura, que se altera conforme a disponibilidade de nutrientes, de água do meio e do tipo de vegetação (florestas homogêneas ou geneticamente modificadas retêm o carbono até 10 vezes mais rápido do que as florestas naturais), bem como, do armazenamento de carbono na atmosfera (quanto mais elevada é a concentração, mais veloz é a fixação).

Tanto o eucalipto quanto o bambu capturam carbono da atmosfera para compor sua biomassa viva. Para se definir o potencial de sequestro de carbono do bambu, compara-se a quantidade de carbono estocada na madeira e no bambu, com o total de CO₂ emitido no transcorrer de sua cadeia produtiva [22].

O estudo de Delgado [23] apresenta uma análise elementar tanto do bambu quanto do eucalipto. Na análise, a alteração de carbono entre os dois tipos de vegetais analisados foi de 2,7%. Logo,

³ O Pacto Climático de Glasgow, documento final da COP26, representa o acordo entre mais de 200 países envolvidos nas negociações. Foi assinado em 13 de novembro de 2021.

⁴ CCS – *Carbon Capture and Storage*.

⁵ CCUS – *Carbon capture, utilization and storage*.

considerando desprezível a diferença entre a quantidade de carbono tanto do bambu quanto do eucalipto, utilizou-se a mesma equação de Reis et al. [24] para ambos. De acordo com esse cálculo, a quantidade carbono (C) apresentada é igual a 50% do peso da madeira. Dessa forma, tanto 1 tonelada de bambu quanto 1 tonelada de eucalipto têm 0,5 tonelada de carbono. Entretanto, como cada 1 kg de carbono (C) corresponde a 3,67 kg de CO₂eq⁶, cada tonelada de bambu ou eucalipto são armazenados 1.835 kg de CO₂eq.

5. MÉTODOS PARA DETERMINAÇÃO DO RESGATE DE CARBONO

A maioria dos cálculos realizados a partir da biomassa são através de uma metodologia aprovada em 2005 pela UNFCCC (*United Nations Framework Convention on Climate Change*)⁷ [25], a qual acompanha e controla o estoque de carbono em florestas. Similar ao método LiDAR⁸, utilizado no cálculo da biomassa em árvores que pode ser utilizada para calcular a biomassa do bambu [26].

Segundo Delgado [23], o nível de carbono é calculado por meio da biomassa e baseia-se na dimensão das plantas em uma determinada região. É um cálculo pouco científico e sugestionado por diversas razões, como a taxa de luminosidade, a temperatura da região analisada, a idade da planta, a influência de outras plantas na região estudada. Esse cálculo consiste em selecionar uma área específica de uma floresta ou plantação, e apontar as medidas de tamanho e peso de todo vegetal apresentado naquela região, como no caso do bambu, considera-se os colmos, folhas, galhos e, inclusive, raízes. Na sequência, é utilizada uma equação matemática que resulta na quantidade de carbono naquela região. Neste cálculo, são consideradas as modificações de densidade aparente e de espessura da camada analisada.

Este método relaciona muitas variáveis que o induzem sendo, por consequência, um método indeterminado e pouco confiável. Delgado [23] explica que poucos pesquisadores separam as amostras por idade. São consideradas todas as espécies naquela determinada região, e muitas vezes existem outros tipos de plantas que, conforme o método, devem ter suas medidas consideradas também. Entretanto, alguns realizaram análise em uma mesma plantação em

⁶ O fator de conversão de carbono em dióxido de carbono igual a 3,67 foi obtido pela razão entre a massa molecular do dióxido de carbono (CO₂) igual a 44 g/mol e a massa atômica do carbono (C) igual a 12 g/mol.

⁷ Convenção-Quadro das Nações Unidas Sobre Mudança do Clima. Promulga a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, assinada em Nova York, em 9 de maio de 1992.

⁸ LiDAR (*Light Detection and Ranging*) é uma tecnologia de valor essencial para obtenção dos dados florestais e empregada para a obtenção de medidas diretas da vegetação, como altura do dossel, o número de indivíduos, o volume e o diâmetro da copa.

áreas próximas, e os resultados se apresentaram muito diferentes. Isso se deve porque a iluminação direta varia de uma área para outra, seja pela existência de vegetações mais altas ou pela geografia do local. Outro fator relevante a considerar é que as equações utilizadas são realizadas a partir de padrões internacionais, isto é, não são desenvolvidas considerando as condições de clima e solo específicos podendo sub ou superestimar a biomassa analisada.

Segundo Delgado [23], na Universidade Paulista, alguns pesquisadores mediram o fluxo de CO₂ em três níveis, em uma plantação comercial de bambu: implantação, adaptação e operação, objetivando uma avaliação mais integralizada das quantidades de CO₂ eliminadas e estocadas ao longo dos 25 anos de vida útil. O objetivo foi medir a taxa real de absorção de carbono de uma plantação, visando avaliar o potencial real de uma plantação de bambu e, considerando que uma relevante quantidade de CO₂ é emitida através dos insumos utilizados na implantação e manutenção da cultura, isto é, utilização do óleo diesel. Os resultados relataram que o bambu é uma planta com alto potencial de armazenamento de carbono (entre 31.860 e 77.039 kgCO₂/ha ano).

Borges et al. [27], analisaram a taxa de absorção do CO₂ medida de algumas espécies de microalgas comumente utilizadas na agricultura. Foi medida a taxa de fotossíntese desses microorganismos, e foi possível quantificar o fluxo de carbono através dos indicadores fotossintéticos das curvas Pxl (taxa de fotossíntese X irradiância de saturação) e descobriram a época do ano mais adequada para o florescimento de espécies determinadas, considerando-se condições de nutrientes e de temperatura favoráveis. As espécies com taxas maiores de produção e crescimento de biomassa apresentavam melhor eficiência fotossintética e baixa liberação de carbono no máximo ponto de saturação de luz, onde acontece a máxima produção fotossintética. Eles compararam espécies de microalgas diferentes e determinaram para quais teriam os maiores valores de absorção.

Oliveira et al. [26] calcularam na respiração do solo e no carbono na biomassa em plantio comercial de seringueiras no Paraná. Através da utilização do método de Walkley-Black⁹, eles moeram as amostras em laboratório e o conteúdo de carbono foi determinado para cada subamostra.

Na Alemanha, pesquisadores realizaram um experimento com um micro sensor com uma ponta de 2 micrômetros de diâmetro para medir o fluxo de carbono através dos poros estomatais de

⁹ O método do Walkley-Black (1934) é o método para determinação do carbono mais utilizado nos laboratórios brasileiros, de simples execução e dispensa o uso de equipamentos especializados.

folhas de plantas. A montagem deste sensor consistia em um micro eletrodo de pH baseado no transporte de H⁺, concentricamente arranjado dentro a uma micropipeta. Os resultados determinaram que este micro sensor é uma ferramenta eficiente para se monitorar o fluxo de CO₂ em lugares de difícil acesso por ferramentas convencionais [28].

6. SEQUESTRO DE CARBONO PELO BAMBU

Pesquisadores [29] encontraram um valor médio do teor de carbono resultante nas amostras de bambu de 44,33%. O valor médio da porcentagem de hidrogênio foi de 6% para as mesmas amostras e a porcentagem de nitrogênio foi reduzida em todas as amostras. Ao comparar com serragem de *Eucalyptus* sp, os teores de C, H, e N, apresentaram resultados muito semelhantes.

Conforme Lana et al. [29], a análise apresenta que o teor de carbono aumenta a cerca de 42-43% até 44-45% com a idade do bambu. Esses níveis foram obtidos para as amostras contendo todas as partes do colmo de cada idade (amostras 2Stot, 1Atot, 2Atot, 2,5Atot, 3Atot e 4Atot). Este aumento é pouco significativo e demonstra que o nível de carbono no bambu permanece o mesmo, apesar da sua idade. Entretanto, quando foram analisadas isoladamente os três pontos principais do colmo - parte externa, interna e do meio - verificou-se que o teor de carbono é levemente mais baixo na parte interna do colmo, sendo que esta diferença cresce com a idade do bambu. O mesmo ocorre com os teores de hidrogênio. Para esta pesquisa não foram considerados os níveis de nitrogênio.

6.1 Estimativa da Absorção de CO₂ Devido ao Aumento da Biomassa do Bambu

Observando a taxa de crescimento do bambu e o conteúdo de carbono armazenado, foram realizados cálculos para determinar a absorção aproximada de dióxido de carbono (CO₂). Esta análise está relacionada com a velocidade de crescimento e o ciclo de produtividade das espécies, pois quanto mais rápido é o crescimento da planta, maior é o acúmulo de biomassa e maior é o sequestro de carbono [29].

A Tabela 1 apresenta a produtividade e o ciclo da cultura para três tipos diferentes de plantas: pinus, eucalipto e bambu. Ressalta-se que a produtividade de bambu (40-60 t/ha.ano) é maior que a do pinus e é próxima a do eucalipto (30-50 t/ha.ano), entretanto, o ciclo do bambu é de apenas 2-6 anos. Isso implica que o tempo de plantio e de colheita do bambu é de 2 a 6 anos enquanto o tempo de plantio e de colheita do eucalipto varia entre 7 e 10 anos [23].

Tabela 1: Comparativo de produtividade Pinus x Eucalipto x Bambu

	Pinus	Eucalipto	Bambu
Ciclo cultural - anos	15-25	7-10	2-6
Produtividade – t/ha.ano	25-35	30-50	40-60

Fonte: Adaptado de DELGADO [23].

Caso uma plantação de bambu produza em média 50 toneladas de bambu por hectare em um ano, e sua composição possui 44% de carbono, então um hectare de bambu retém em média 22 toneladas de carbono por hectare por ano. O eucalipto, por exemplo, armazena em média, produzindo 40 t/ha.ano, 17,6 toneladas de carbono por hectare por ano, significando, em média, uma diferença de 20% a mais.

Observando a taxa média de produtividade de cada espécie, tem-se que a média de produção do pinus é de 30 t/ha.ano, do eucalipto 40 t/ha.ano e do bambu 50 t/ha.ano. Para o caso em que os três tipos de plantas são plantados ao mesmo tempo, em dois anos poderá ser feito o primeiro corte do bambu, em sete anos o primeiro corte do eucalipto e em quinze anos o primeiro corte do pinus. Ainda, conforme informações da Associação Catarinense de Bambu, o replantio do bambu se dá por mais de 100 anos, já que novos brotos surgem espontaneamente a cada ano. O pinus é replantado após cada corte, isto é, a cada 15 anos, o eucalipto rebrota após o corte, porém deve ser replantado depois de 4 ciclos, assim sendo, no 28º ano.

Se a média da produção do bambu é de 50 t/ha.ano, e a colheita pode ser feita bienalmente, a cada colheita está sendo armazenado cerca de 45% de carbono por espécie. Até que a porcentagem de carbono do pinus e do eucalipto sejam parecidas à porcentagem de carbono armazenada pelo bambu, e se as espécies forem colhidas no tempo certo de colheita e armazenadas, ao longo de 15 anos terá sido armazenado cerca de 14t de carbono pelo pinus, 35t pelo eucalipto e 154 t pelo bambu.

Ainda, observando a média de produção anual do bambu de 50 t/ha.ano tem-se que, para cada unidade de carbono armazenado, foi capturado uma molécula de CO₂. Anualmente, como foi visto que, acumula-se em média 22t de carbono em 1ha de bambu, e multiplicando estes valores da razão entre as massas molares do CO₂ e do carbono, conclui-se que serão sequestrados 80t de CO₂ por ano. Realizando os mesmos cálculos comparativos para o pinus e para o eucalipto tem-se que o pinus armazena por ano uma média de 47t de CO₂ e o eucalipto 63t. Essa diferença justifica a tese de o bambu ser um eficiente sequestrador de carbono.

7. CONCLUSÕES

Muitos cientistas no mundo têm pesquisado técnicas de armazenar o carbono na superfície terrestre. Várias pesquisas têm sido desenvolvidas e implementadas em florestas, plantas e algas para se descobrir a maneira mais eficiente de se fazer isso. Mesmo que o bambu seja considerado um sequestrador de carbono devido a sua velocidade de crescimento, pouca informação pode sustentar essa ideia, pois quase não existem projetos no mundo designados para medir o carbono.

É importante frisar que durante o tempo demandado para que uma floresta seja considerada madura, muitas toneladas de carbono foram extraídas da atmosfera e retidos na biomassa, a qual já traz significativas mudanças climáticas e reduzindo consideravelmente o progresso do efeito estufa.

Por fim, conclui-se que o bambu se mostra como um material de muitas propriedades, porém pouco exploradas e, o campo de estudos e pesquisa é bastante amplo. Este artigo pode ser considerado como um ensaio preliminar que sugere as infinitas vantagens do uso do bambu e abre um campo para futuros estudos de forma aprofundada.

REFERÊNCIAS

- [1] AZZINI, A., SANTOS, R.L. PETTINELLI JÚNIOR, A. BAMBU: *Material alternativo para construções rurais*. Campinas, SP, Instituto Agronômico de Campinas, Boletim Técnico, n. 171, p. 1-18, 1997 BAMBUSC. Site da Associação Catarinense de Bambu.
- [2] LOPEZ, H. O. *Bamboo, The gift of the gods*. Oscar Hidalgo Lopez editor, 2003, 553 p.
- [3] SASTRY, C.B. *Timber for the 21st Century*. on line . Inbar, 1999.
- [4] SOBRINHO JÚNIOR, Antônio da Silva. *Avaliação do efeito de parâmetros microestruturais e de processo de impregnação de fluidos em colmos de bambusa vulgaris*. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2010.
- [5] ARCHILA, H.; KAMINSKI, S.; TRUJILLO, D.; ESCAMILLA, E.Z.; HARRIES, K. A. *Bamboo reinforced concrete: a critical review*. Materials and Structures, v. 51, n. 4, p. 102, 2018
- [6] TEDESCHI, Samara Pereira, et al. *O uso do bambu: o papel da cadeia produtiva no setor moveleiro e da construção civil no Brasil*. Dissertação (Mestrado em Ciência, Tecnologia e Sociedade) – Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2011.
- [7] PEREIRA, M. A. R.; BERVALDO, A. L. *Bambu de Corpo e Alma*. Bauru, SP: Canal6, 2007.
- [8] LIU, D.; ZOHONG, T.; CHANG, P. R.; LI, K.; WU, Q. *Starch composites reinforced by bamboo cellulosic crystals*. Bioresource Technology 101 (2010) 2529–2536.
- [9] LIESE, W. *The anatomy of bamboo culms*. Beijing, Technical Report, International Network for Bamboo and Rattan, 1998. 203 p
- [10] MASTAI, Y. *Materials science-advanced topics*. 1aed. Intechopen, 2013.
- [11] FARRELY, David. *The book of bamboo*. San Francisco, EUA. Sierra Club Books. 1984, 340p.il.

- [12] LOPEZ, H. O. *Bambu, su cultivo y aplicaciones en: fabricación de papel, construcción, arquitectura, ingeniería, artesanía*. Cali, estudios Técnico Colombianos Ltda, 1974, 176 p.
- [13] GRECO, T.M.; CROMBERG, M. *Bambu: cultivo e manejo*. Florianópolis: Insular. 184p., 2011.
- [14] GHAVAMI, K.; MARINHO, A. B. *Propriedades físicas e mecânicas do colmo inteiro do bambu da espécie Guadua angustifolia*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 9, n. 1, p. 107–114, mar. 2005.
- [15] INBAR - *INTERNATIONAL NETWORK OF BAMBOO AND RATTAN. Priority species of bamboo and rattan*. New Delhi, India. f.116, 1998
- [16] AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; ELTZ, F. L. F.; BRUM, A. C. R. *Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.25, p.189-197, 2001.
- [17] *PROTOCOLO DE QUIOTO*. Disponível em: < <https://antigo.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/protocolo-de-quioto.html> >. Acesso em: Mai 2022.
- [18] *COP26* - <<https://wribrasil.org.br/pt/blog/clima/o-saldo-da-cop26-o-que-conferencia-do-clima-significou-para-o-brasil-e-o-mundo>> - Acesso em Mai 2022
- [19] PACHECO, S.P.R.M.; HELENE, M.E.M. *Atmosfera, fluxos de carbono e fertilização por CO₂*. 2006. <https://doi.org/10.1590/S0103-40141990000200010>
- [20] COLTRI, P.P.; ZULLO JR, J.; *Gonçalves, Renata Ribeiro do Valle; Romani, Luciana Alvim S; Pinto, Hilton Silveira. Estimativa de Biomassa e Estoque de Carbono da Safra de Café com Uso de Imagens de Satélites de Alta Resolução*. IEEE Geoscience & Remote Sensing Society, 2013.
- [21] DURIGAN, G. *Estimativas de Estoque de Carbono na Vegetação Natural do Estado de São Paulo*. Estudos da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 2004.
- [22] HERNANDES, Z.T. *Piso de bambu chinês vs. piso de eucalipto brasileiro: estudo de caso comparativo das emissões de gases de efeito estufa no transporte*. 2015. <https://doi.org/10.1590/S1678-86212015000100002>
- [23] DELGADO, P. S. *O bambu como material eco-eficiente: caracterização e estudos exploratórios de aplicações*. 2011. 67 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011.
- [24] REIS, M. G. F. et al. *Sequestro e Armazenamento de Carbono em Florestas Nativas e Plantadas dos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo*. In: Seminário Emissão X Sequestro de CO₂, Rio de Janeiro, 1994. Anais... Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce, 1994.
- [25] UNFCCC - *United Nations Framework Convention on Climate Change*. Disponível em <<https://unfccc.int/>>. Acesso em Mai 2022.
- [26] OLIVEIRA, T. L. de; FERNANDES, C. A.; OLIVEIRA, M. de F. *Florestas, unidades de conservação e comunidade tradicional: relato de experiência de uma intervenção participativa. Percepção ambiental de moradores do assentamento vale verde: relato de experiência de uma intervenção participativa*. PROEX, Santa Catarina, v. 1, n. 2, p.25-32, dez. 2011.
- [27] BORGES, L.; FARIA, B. M.; ODEBRECHT, C.; ABREU, P. C. *Potencial de Absorção de Carbono por Espécies de Microalgas Usadas na Aquicultura: Primeiros Passos para o Desenvolvimento de um “Mecanismo de Desenvolvimento Limpo”*. Rio Grande, Atlântica, 29(1): 35-46, 2007.
- [28] HANSTEIN, S.; BEER, D.; FELLE, H. H. *Miniaturised carbon dioxide sensor designed for measurements within plant leaves*. Sensors and Actuators B, 81, p:107–114. 2001.
- [29] LANA, S. L.; DELGADO, P. S.; AYRES, E.; ORÉFICE, R. L. *The Potential of Bamboo for the Design of Polymer Composites*. In. Materials Research. 2012.

**TRILHANDO A PEGADA DE CARBONO DA CONSTRUÇÃO EM BUSCA
DO FATOR BRASILEIRO DE EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA**



Mateus Paulo Beck*

Analista Judiciário – Apoio Especializado Arquitetura, Seção de Arquitetura da Divisão de Apoio Operacional da Justiça Federal do Rio Grande do Sul (JFRS) Porto Alegre, Brasil.

Resumo:

Este artigo investiga os fatores de emissão de gases de efeito estufa na construção e reforma de edificações no Brasil, país signatário do Acordo de Paris, que firmou o compromisso de reduzir o aquecimento global e seus impactos nas mudanças climáticas. A partir da revisão do estado da arte na pesquisa dos fatores de emissão nacionais, o artigo apresenta um projeto-piloto realizado pelo laboratório de inovação JusClima2030 na Justiça Federal do Rio Grande do Sul: o inventário de EGEE referente ao triênio 2019-2021, incluindo novas construções e reforma de edifícios existentes.

O relato destas iniciativas destaca as dificuldades encontradas na determinação dos respectivos fatores, e os resultados são comparados a fatores nacionais e internacionais publicados em pesquisas científicas, reunidos em uma matriz de avaliação de características como tipologia arquitetônica, sistema construtivo, produção, logística e destinação de materiais e resíduos. As considerações finais do artigo apontam para a possibilidade de adoção de melhores práticas, reforçando a importância da sustentabilidade, análise do ciclo de vida completo e aprofundamento da pesquisa dos fatores de emissão da construção civil no Brasil.

Palavras-chave: sustentabilidade, emissões, construção, retrofit, ciclo de vida.

* Justiça Federal do Rio Grande do Sul. Rua Otávio Francisco Caruso da Rocha, 600 Bairro Praia de Belas, Porto Alegre-RS/CEP 90010-395, BRASIL. Telef.: +55 51 32142019 e-mail: arquitetura@jfrs.jus.br

1. INTRODUÇÃO

Este artigo apresenta um estudo sobre os fatores de emissão de gases de efeito estufa no setor da construção civil no Brasil. A determinação desses fatores é crucial para quantificar a pegada de carbono das construções e reformas de edificações, medindo as emissões de gases de efeito estufa (GEE) associadas a um produto, processo ou atividade. A investigação dos impactos ambientais e das emissões em cada etapa do processo construtivo é relevante para compreender a pegada de carbono da construção civil no Brasil, permitindo a elaboração de políticas públicas e estratégias empresariais que promovam a redução das emissões de GEE e o cumprimento dos compromissos assumidos no Acordo de Paris.

Este artigo descreve um estudo relacionado aos fatores de emissão nacionais e tem como seções a introdução, a revisão bibliográfica, a metodologia, os resultados e a conclusão. A metodologia considera as fontes de dados e os procedimentos adotados para a estimativa das emissões em um projeto-piloto realizado pelo laboratório de inovação JusClima2030 na Justiça Federal do Rio Grande do Sul: o inventário de EGEE referente ao triênio 2019-2021, incluindo novas construções e reforma de edifícios existentes. A seção seguinte apresenta os resultados do projeto-piloto realizados pelo laboratório, incluindo a comparação com os fatores de emissão encontrados em outras pesquisas relatadas na revisão bibliográfica. A conclusão apresenta as principais contribuições do estudo e suas implicações para a pesquisa e a prática, sugerindo também pesquisas futuras e aprimoramento das metodologias adotadas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No Brasil, conforme os resultados do inventário nacional de emissões de gases de efeito estufa, as principais fontes de emissão de gases de efeito estufa (GEE) são o desmatamento e mudança do uso da terra, que contribuem significativamente para as emissões de dióxido de carbono (CO₂), a agropecuária, especialmente devido à produção de metano (CH₄) a partir da fermentação entérica dos animais e da decomposição de resíduos agrícolas, o setor de energia, principalmente devido ao uso de combustíveis fósseis na geração de eletricidade e no transporte (CO₂), a indústria, que contribui com emissões de CO₂ e outros gases de efeito estufa devido aos processos produtivos e ao consumo de energia, e o setor de resíduos, principalmente pelas emissões de metano a partir da decomposição de resíduos sólidos em aterros sanitários [1]. Neste contexto, as principais fontes de emissão de EGEE relacionadas ao setor da construção civil consistem nos processos industriais e uso de produtos, como a produção de cimento e aço, e na logística de transporte dos insumos e destinação de resíduos.

No campo da construção civil nacional, o padrão-ouro para determinação dos gases de efeito estufa da consiste no Sidac - Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção [2]. O Sidac é um sistema de informação que calcula indicadores de desempenho ambiental para produtos de construção, com base em dados brasileiros verificados, e que constitui uma ferramenta de suporte à decisão para melhorar o desempenho ambiental da cadeia de valor da construção brasileira, fornecendo indicadores genéricos e específicos por fabricante e considerando distâncias médias de transporte dos insumos.

O sistema pode ser usado por empresas da cadeia da construção civil para identificar gargalos e estabelecer metas de melhoria do desempenho ambiental de seus serviços e produtos. As informações fornecidas pelo Sidac podem ser usadas para várias decisões relacionadas ao desempenho ambiental de uma construção. O Sidac se baseia no método de Avaliação do Desempenho Ambiental da Construção (ADAC), que consiste em quantificar os fluxos de entrada e de saída dos processos que integram o ciclo de vida de um determinado produto, convertendo-os em indicadores de desempenho ambiental. A ADAC é uma simplificação da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), limitando os indicadores de desempenho ambiental a serem calculados aos aspectos ambientais considerados prioritários para a construção, utilizando indicadores de inventário em vez de indicadores de impacto.

A primeira versão do Sidac contém dados genéricos de 40 insumos básicos e 86 produtos de construção que perfazem cerca de 90% dos produtos de construção comercializados no Brasil, reunidos em relatórios técnicos que apresentam resultados teóricos referentes à emissão de CO₂ para a produção de aço, aglomerante, argamassa, bloco cerâmico, bloco de concreto, cal, cimento, concreto, madeira, mineral de construção, piso intertravado e telha cerâmica. A metodologia SIDAC considera as fases e etapas do ciclo de vida de uma edificação desde a extração de matérias-primas até o seu fim de vida e possíveis benefícios além do ciclo de vida. As etapas estão de acordo com os módulos de informação padronizados pela norma europeia EN 15978 [3], organizadas em cinco fases principais: Produto, Construção, Uso, Fim de vida e Benefícios e impactos além do ciclo de vida da edificação.

Outra iniciativa relevante é a CECarbon, uma calculadora online que ajuda o usuário a medir o consumo de energia e as emissões de gases do efeito estufa na construção civil. Desenvolvida no projeto EEDUS – Eficiência Energética para o Desenvolvimento Urbano Sustentável em parceria com a Secretaria Nacional de Habitação, o SindusCon-SP e a GIZ GmbH (*Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit*). O objetivo da CECarbon é melhorar a eficiência energética em unidades habitacionais de interesse social no Brasil e aumentar a acessibilidade do setor de edificações a métricas ambientais. A ferramenta fornece uma base de dados atualizada e fundamentada na literatura científica.

A CECarbon é uma ferramenta de mensuração que tem como objetivo auxiliar na gestão dos tópicos de mudanças climáticas e eficiência energética mediante a medição de dois indicadores fundamentais: emissões de gases de efeito estufa e consumo energético ou energia embutida. A ferramenta segue o pensamento de ciclo de vida e abrange desde o processo de extração e produção de matérias-primas e energia demandados pela cadeia de valor de materiais de construção, até a sua utilização no canteiro de obras. A CECarbon não considera etapas de uso das edificações ou as fases de fim de vida.

A ferramenta tem como objetivos oferecer uma forma acessível de mensurar os impactos de emissões de GEE e consumo energético de construções, contribuir com a gestão climática e energética das empresas do segmento da construção civil, padronizar métricas e premissas, abastecer uma base de dados com informações sobre o setor e criar indicadores de performance climática e energética para edificações no Brasil, com enfoque em seu ciclo até a finalização do canteiro de obras.

O público-alvo da CECarbon são profissionais da área da construção civil, mais especificamente do setor de edificações, que podem representar empresas ou consistirem em profissionais autônomos, envolvidos com os processos de construção. Acadêmicos e instituições de ensino também podem usufruir das funcionalidades da CECarbon para fomentar a disseminação da eficiência energética e economia de baixo carbono. Órgãos governamentais e agentes financiadores também podem se valer da ferramenta para o estabelecimento de requisitos de sustentabilidade para políticas públicas e financiamentos, a exemplo do projeto-piloto objeto deste artigo.

No contexto da academia, Da Silva et al. [4] apresentam a utilização do método da Pegada Ecológica como ferramenta para direcionar a aplicação de práticas sustentáveis, visando a discutir a preocupação com o desenvolvimento sustentável e ações de gestão ambiental nas Instituições de Ensino Superior. Por meio de diversas ferramentas e análises, os autores calcularam uma Pegada de Carbono de 132.194,80 tCO₂, propondo a compensação destas emissões com o plantio de 440.647 árvores. O estudo utilizou um fator de emissão de 520 kgCO₂e/m² baseado em pesquisa realizada na Espanha [5].

Attié e de Andrade Salgado [6] enfatizam a importância da Avaliação do Ciclo de Vida na construção civil, devido à alta emissão de gases de efeito estufa e consumo de energia do setor. As autoras calcularam os impactos ambientais da construção de uma escola proposta pelo Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação, incluindo demanda de energia e emissão de CO₂, chegando a um fator de emissão de 959,04 kgCO₂e/m². Os resultados do estudo mostraram que é possível reduzir cerca de 20% nos impactos ambientais, além de destacar a reciclagem de materiais como uma maneira de reduzir o impacto futuro de outras construções.

Orlandini et al. [7] investigaram estratégias para reduzir as emissões de CO₂ e aumentar o estoque temporário de carbono na construção civil através do uso de madeira de longa duração em um estudo em três etapas, incluindo a análise da cadeia produtiva da madeira e a análise do fluxo de carbono na silvicultura. O estudo considerou um fator de emissão de 98,39 kgCO₂e/m² para construção de casas térreas com estrutura de concreto armado moldado in loco e paredes de alvenaria, em um fator de emissão de 3,72 a 24,69 kgCO₂e/m² para casas com estrutura e vedações em madeira. As estratégias propostas permitiram mitigar as emissões de CO₂ e aumentar o estoque temporário de carbono, demonstrando que a implementação de estratégias conservadoras e factíveis pode reduzir significativamente as emissões de CO₂ e estocar carbono ao longo do ciclo de vida do produto de madeira.

Maciel et al. [8] avaliaram as emissões de gases de efeito estufa na construção civil e comprovaram a mitigação dessas emissões em um edifício comercial, com resultados de emissão total de 907.049,93 kg CO₂ em uma área de 10.987 m², resultando em 82,56 kgCO₂e/m², valor inferior aos reportados na literatura. A redução das emissões pode ser atribuída ao uso de divisórias internas de gesso acartonado e pele de vidro em substituição à alvenaria tradicional, demonstrando a importância da sustentabilidade econômica e ambiental na elaboração de projetos.

Em outro estudo, Silva et. al. [9] descrevem um inventário de gases de efeito estufa em seis obras de construção de edifícios multifamiliares na Região da Grande Florianópolis, Santa Catarina. O estudo contabilizou as emissões de dióxido de carbono (CO₂) nas fases de supraestrutura, alvenaria e revestimento de argamassa utilizando a metodologia *GHG Protocol*. Os resultados indicam que as fases de supraestrutura, alvenaria e revestimento de argamassa totalizaram 159,21 CO₂/m².

Costa [10] quantificou as emissões de dióxido de carbono geradas pela produção de materiais utilizados na construção civil no Brasil com um método que considerou as etapas de extração de matérias-primas, processamento e transporte. O estudo chegou a um fator de emissão de 198,38 kgCO₂e/m², e revelou que a fase de produção dos materiais é responsável por cerca de 40% das emissões totais geradas no ciclo de vida de uma residência de baixa renda.

Marcos [11] analisou a emissão de CO₂ na fase pré-operacional da construção de habitações de interesse social no Brasil, em um estudo que considerou dois modelos de construção: um convencional, com paredes de alvenaria e cimento, que resultou em um fator de emissão de 171,42 kgCO₂e/m², e outro utilizando painéis de madeira, com fator de emissão de 50 kgCO₂e/m². Utilizando uma ferramenta CAD-BIM, a autora quantificou o total de CO₂ emitido em cada modelo, demonstrando que a construção convencional emitiu cerca de seis toneladas de CO₂, enquanto a construção em madeira emitiu em torno de duas toneladas, ambas na fase pré-operacional da construção.

Tavares [12] propôs uma metodologia para identificar e quantificar os eventos que influenciam o consumo de energia em edificações residenciais brasileiras ao longo do ciclo de vida, e destacou a relevância dos estudos sobre Energia Embutida. A pesquisa apresentou um fator de emissão de 519 kgCO₂e/m², que varia de acordo com os materiais utilizados, e o autor destacou as influências no consumo de energia pelas diferentes tipologias, renda familiar, número de habitantes e área construída, além do consumo de energia no processo de fabricação dos materiais e em etapas indiretas como o desperdício e transportes.

No cenário internacional, Tirth et al. [13] analisaram as emissões de gases de efeito estufa durante a construção de três edifícios residenciais na cidade de Moradabad, na Índia, verificando que a produção de materiais de construção foi responsável por 74% das emissões totais, com destaque para o aço, concreto, tijolos e cimento. Os autores recomendam o uso de materiais alternativos com menor impacto ambiental e a incorporação de fontes de energia renovável em futuros projetos de construção, para reduzir as emissões médias de gases de efeito estufa, que foram estimadas em 784 kgCO₂e/m².

Nos Estados Unidos, Simonen et al. [14] analisaram os dados de mais de mil edificações registradas em uma base de dados chamada "*Embodied Carbon Benchmark Study*". A pesquisa identificou que o carbono incorporado inicial de estrutura, fundação e envoltória de edifícios é geralmente inferior a 1.000 kgCO₂e/m². Para edifícios residenciais de baixo porte o carbono incorporado é tipicamente inferior a 500 kgCO₂e/m², mas há falta de dados suficientes para determinar faixas com confiança nessa categoria. E para edifícios comerciais de escritórios a faixa de carbono incorporado inicial variou entre 200 e 500 kgCO₂e/m² para 50% dos edifícios contidos na base de dados.

Por fim, os avanços europeus na investigação de fatores de emissão da construção merecem destaque. Röck et. al. [15] publicaram um relatório de um estudo realizado com mais de 50 edificações em 5 países: Bélgica, Dinamarca, Finlândia, França e Países Baixos. O estudo foi feito com base em dados de avaliação do ciclo de vida (ACV) conforme definido na norma europeia EN 15978 - Sustentabilidade das obras de construção - Avaliação do desempenho ambiental dos edifícios - Método de cálculo [3], utilizando métodos, dados e ferramentas específicos de cada país respectivo. As conclusões do estudo apontam um referencial para as emissões de carbono incorporado ao longo do ciclo de vida que varia de aproximadamente 400 a 800 kgCO₂e/m², com um valor médio de cerca de 550 kg CO₂e/m² para edifícios residenciais, e de aproximadamente 100 a 1200 kg CO₂e/m² para edifícios não residenciais, com um valor médio de 450 kg CO₂e/m². Com relação aos sistemas construtivos, em edificações com paredes portantes as estruturas de concreto maciço apresentam o maior valor médio, próximo de 750 kgCO₂e/m², assim como a maior variação, de aproximadamente 250 a 900 kgCO₂e/m², com extremos chegando a 1850 kgCO₂e/m². Já edificações de tijolo maciço apresentaram uma média de 700 kgCO₂e/m², com valores extremos atingindo até 1700 kgCO₂e/m². No caso de estruturas independentes das vedações, edificações com estrutura em concreto armado apresentaram uma média de cerca de 650 kgCO₂e/m², variando de cerca de 400 a 1200 kgCO₂e/m². Para casos de estruturas de aço, a emissão média é de cerca de 700 kgCO₂e/m², comparável aos casos de estruturas híbridas de concreto e madeira ou de concreto maciço. Os valores mais baixos de carbono incorporado ao longo do ciclo de vida por metro quadrado são observados para edifícios com estrutura de madeira, com um valor médio de cerca de 500 kgCO₂e/m², variando de 300 a 800 kgCO₂e/m².

Em resumo, no Brasil vários estudos visam a calcular as emissões de CO₂ e desenvolver práticas sustentáveis na construção civil, estimando fatores de emissão que vão de 3,72 a 50 kgCO₂e/m² para construções em madeira, variam de 98,39 a 519 kgCO₂e/m² para casas térreas e podem variar de 82,56 até 959,04 kgCO₂e/m² em prédios comerciais com estrutura de concreto armado. Já no cenário internacional, os fatores de emissão médios variam de 450 a 700 kgCO₂e/m², dependendo da tipologia e do sistema construtivo empregados. Assim, se de um lado a padronização de fatores de emissão específicos para o Brasil ainda é bastante incipiente, de outro os relatórios técnicos do Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção – Sidac e a calculadora online CECarbon do SindusCon-SP são iniciativas fundamentais para o avanço da pesquisa dos fatores de emissão de carbono equivalente da construção civil no Brasil.

3. MATERIAIS E MÉTODO

Diante da pluralidade de fatores de emissão encontrados na revisão bibliográfica, o presente estudo apresenta uma proposta metodológica para estimar os fatores de emissão referentes a construções e reformas, tendo como ponto de partida o caso de um projeto-piloto realizado pelo laboratório de inovação JusClima2030, que reúne voluntários de diversos ramos de justiça e colaboradores externos, iniciativa ancorada na Justiça Federal do Rio Grande do Sul (JFRS): o Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa (EGEE) referente ao triênio 2019-2021, incluindo novas construções e reforma de edifícios existentes.

No âmbito do Poder Judiciário brasileiro, a Resolução 325 do Conselho Nacional de Justiça (CNJ) reconhece a promoção da sustentabilidade e a integração da Agenda 2030 da ONU como prioridades de ação estratégica [16]. Já a Resolução CNJ 400 regulamenta a política de sustentabilidade no Poder Judiciário, exigindo a adoção de modelos de gestão organizacional que promovam a sustentabilidade, prevendo a criação de unidades de sustentabilidade e o controle de emissões de gases de efeito estufa [17]. Diante disso o laboratório JusClima2030 propôs o projeto piloto de inventário e compensação de EGEE que está em andamento na JFRS. Em novembro de 2021 foi publicado o Edital para a licitação do inventário de EGEE da Seção Judiciária do Rio Grande do Sul para os anos de 2019, 2020 e 2021, contratado e realizado ao longo de 2022. O relatório final foi publicado em novembro de 2022, sendo posteriormente auditado e aprovado por outra empresa contratada para este fim [18].

Durante o levantamento de dados para execução dos inventários, verificou-se, em conjunto com a empresa contratada, a grande variedade ou inconsistência de fatores de emissão relativas a construção e reforma de edificações no cenário nacional, o que motivou a proposta metodológica apresentada a seguir, que subsidiou a realização dos inventários da JFRS de 2019 a 2021. A metodologia utilizada consistiu em estimar as emissões de um projeto típico de edificação comercial, similar àquelas que sediam as unidades da Justiça Federal, adotando-se para isso a calculadora online CECarbon do SindusCon-SP. Para definição das quantidades de insumos necessários para construção foi escolhido o projeto-padrão CS4 da norma técnica NBR 12721 - Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edifícios – Procedimento [19]. Este projeto-padrão se refere a uma edificação comercial dotada de salas e lojas com 1.596,43 m² em quatro pavimentos, com estrutura em concreto armado e vedações em alvenaria de blocos cerâmicos. Para a determinação das distâncias de transporte de materiais e resíduos, o endereço da sede da JFRS em Porto Alegre-RS foi considerado como local da obra, e foram escolhidos os fornecedores mais próximos para cada tipo de insumo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados preliminares obtidos com a calculadora CECarbon foram a emissão de um total de 715,067 tCO₂e para a construção do projeto-padrão CS4, o que dividido pela área construída de 1.596,43 m² resulta em um fator de emissão de 440,84 kgCO₂e/m². Analisando o detalhamento dos resultados para cada etapa construtiva, verificou-se que a calculadora CECarbon adota um fator de emissão para a estrutura de concreto da ordem de 229,27 kgCO₂e/m³. Este valor está abaixo dos valores médios apresentados no relatório do Sistema SIDAC para este insumo, que varia de pouco menos de 200 até quase 700 kgCO₂e/m³ dependendo da respectiva resistência característica, com um valor médio em torno de 400 kgCO₂e/m³, conforme figura 1. Por este motivo, as contribuições referentes ao concreto no projeto-padrão foram majoradas de 229,27 para 400 kgCO₂e/m³, o que resultou em uma emissão total estimada de 720,36 tCO₂e, perfazendo 451 kgCO₂e/m². Para o cálculo das emissões referentes a reformas, optou-se por utilizar o fator calculado para o projeto padrão CS4, descontadas a contribuição referente à estrutura de concreto, o que resultou em uma emissão total estimada de 702,66 tCO₂e, correspondente a 440 kgCO₂e/m².

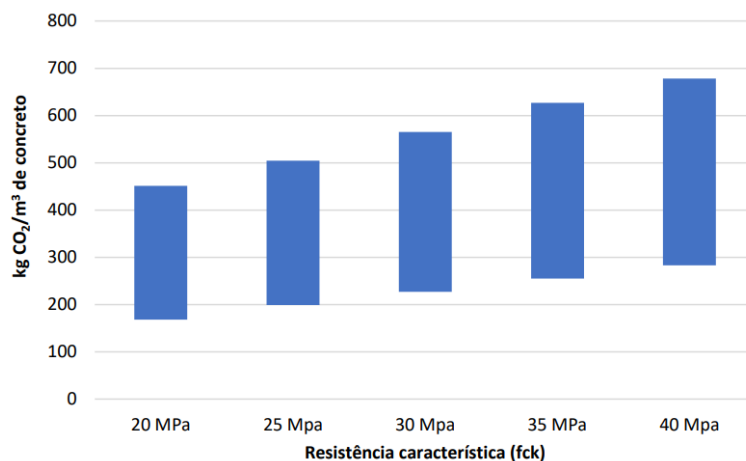


Gráfico 1: Emissões de CO₂ fóssil na produção de concreto dosado em central (kgCO₂/m³ concreto)
Fonte: SIDAC

Considerando estes dois fatores de emissão para construção e reformas de edificações, 451 e 440 kgCO₂e/m² respectivamente, foram calculadas as emissões totais de carbono equivalente para a Justiça Federal do Rio Grande do Sul para o ano-base de 2019, e para 2020 e 2021 [16]. O inventário foi elaborado para 33 imóveis distribuídos em 29 cidades, com uma área construída total de aproximadamente 105.000 m², abrigando uma população (público interno) de 2.574 pessoas. O escopo 1 do inventário abrangeu a combustão móvel (deslocamento de veículos oficiais a serviço), a combustão estacionária (geradores e fogões) e as emissões fugitivas (gás refrigerante de ar condicionado). O escopo 2 correspondeu à aquisição de energia elétrica e à geração fotovoltaica própria, existente em dois prédios. E apesar de ser de reporte opcional, decidiu-se incluir o escopo 3 completo, englobando bens e serviços comprados, bens de capital (construção e reformas de sedes próprias), consumo de combustível e energia relacionados a deslocamentos de colaboradores e terceiros, resíduos gerados nas operações, viagens a trabalho e bens arrendados (construção e reformas de prédios alugados).

Emissões JFRS (tCO ₂ e)	2019	2020	2021	Total triênio	Percentual
Escopo 1	839,97	253,40	311,81	1.405,18	15%
Escopo 2	426,67	207,53	364,22	998,42	11%
Obras e reformas	1.357,72	1.198,00	422,00	2.977,72	33%
Restante Escopo 3	1.994,36	770,11	907,49	3.671,96	41%

Tabela 1: percentuais de emissões da JFRS no triênio 2019-21: escopo 1 (15%), 2 (11%) e 3 (74%, dos quais 33% corresponderam a obras e reformas)

Com relação às obras, apesar de algumas abordagens dividirem a contribuição referente à construção de uma edificação ao longo de toda a sua vida útil, na JFRS optou-se por considerar o total de carbono equivalente gerado no ano de inauguração do prédio. Quanto às reformas, convencionou-se incluir as respectivas emissões no ano de contratação dos serviços. Assim, em 2019 foi inaugurada um novo prédio-sede alugado com duas varas e área total de 1.960,09 m² e um prédio próprio foi parcialmente reformado, com uma área de obra de 1.076,64 m². Em 2020 foi concluído e alugado um novo prédio-sede, também de duas varas, com área total de 2.656,32 m², e em 2021 foi inaugurado um novo prédio-sede de vara única, com metragem de 935,70 m². Considerando o somatório dos três anos inventariados, as construções e reformas originaram 2.977,72 toneladas de carbono equivalente, quantidade que correspondeu a 45% das emissões de escopo 3 e 33% do total de emissões geradas, conforme apresentado no gráfico 2 na página anterior.

Comparando-se o fator de emissão utilizado no inventário de EGEE da JFRS para quantificar o carbono equivalente referente à construção de novas edificações com os fatores pesquisados na presente revisão bibliográfica, reunidos na tabela 2 no final desta seção, verifica-se que o fator de 451 kgCO₂e/m² ficou 25% acima da média dos 15 fatores pesquisados. Variando de 25 até 784 kgCO₂e/m², os 15 factores resultaram em um valor médio de 361 kgCO₂e/m², conforme resumido no gráfico 3.

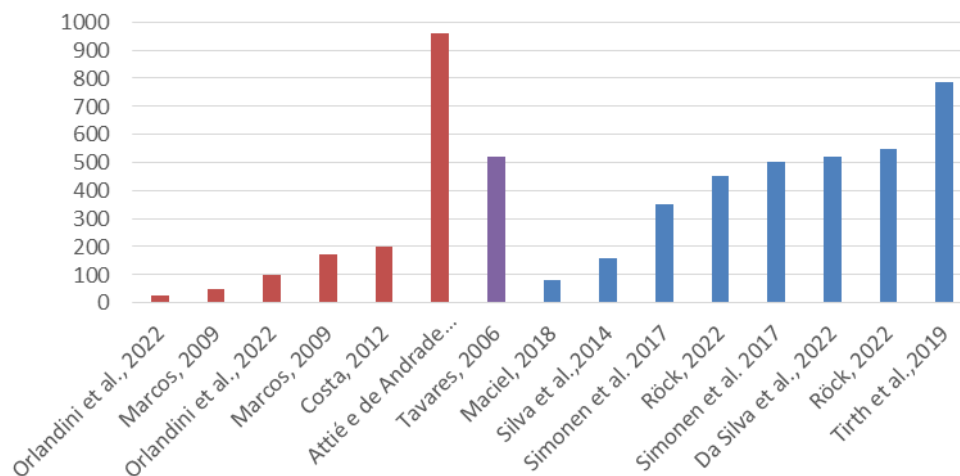


Gráfico 3: fatores de emissão da construção pesquisados por autor e ano, com edificações térreas à esquerda, em vermelho, edificações térreas e prédios em roxo ao centro e prédios de mais de um pavimento à direita, em azul.

Fazendo um recorte apenas dos prédios de mais de um pavimento e excluindo os fatores abaixo de 100 kgCO₂e/m², os sete fatores resultantes, dos quais quatro de prédios residenciais e três de prédios comerciais, os resultados apresentaram um valor médio de 476 kgCO₂e/m², variando de 159 até 784 kgCO₂e/m². O valor adotado pela JFRS corresponde a 95% da média destas sete amostras. E considerando-se apenas os três fatores relativos a

edificações não residenciais, o valor médio ficou em 440 kgCO₂e/m², variando de 350 a 520 kgCO₂e/m². O fator utilizado pela JFRS corresponde a 102,5% da média dos três fatores de prédios não residenciais. Destes três fatores, um deles se refere a uma edificação educacional no Brasil [4], e as outras duas a múltiplos prédios não residenciais cadastrados em bancos de dados estadunidenses [14] e europeus [15].

<p>Casas térreas em alvenaria - 171,42 kgCO₂e/m², casas térreas com estrutura e vedações em madeira - 50 kgCO₂e/m²: projetos de casa padrão em alvenaria, com 35m² e em madeira, com 40m² de área construída [11]</p>	<p>Casas térreas em alvenaria - 198,38 kgCO₂e/m²: projeto de casa padrão adotada pela CEF no programa Minha Casa Minha Vida, com 42 m² de construção de alvenaria na cidade do Rio de Janeiro-RJ [10]</p>	<p>Casas e apartamentos residenciais - 519 kgCO₂e/m²: projetos padrão de casas e apartamentos com área construída de 60 a 250 m² com estrutura de concreto armado e paredes de alvenaria [12]</p>
<p>Casas térreas em alvenaria - 98,39 kgCO₂e/m², casas térreas com estrutura e vedações em madeira - 3,72 a 24,69 kgCO₂e/m²: projetos padrão sem localização específica, estudo desconsiderou as emissões correspondentes ao transporte dos materiais [7]</p>	<p>Prédio administrativo do Centro Universitário - 82,56 kgCO₂e/m²: edificação real com 8 pavimentos e 2 subsolos, com área total de 10.987 m², com estrutura em concreto armado e fachadas em pele de vidro e alumínio composto, localizado na área urbana de Maringá-PR [8]</p>	<p>Edifícios residenciais multifamiliares - 159,21 kgCO₂e/m²: seis edificações reais multifamiliares com estrutura de concreto armado e paredes de alvenaria rebocada, localizadas na região da grande Florianópolis, SC [9]</p>
<p>Escola de Engenharia Industrial Metalúrgica - 520 kgCO₂e/m²: edificação real em 3 blocos, sendo um horizontal com dois pavimentos, ligando duas torres de 5 e 6 pavimentos, área total de 10.700 m² com estrutura em concreto e paredes de alvenaria, na área urbana de Volta Redonda-RJ [4]</p>	<p>Escola “Espaço Educativo Urbano” - 959,04 kgCO₂e/m²: projeto padrão composto de 8 blocos de apenas 1 pavimento com estrutura em concreto armado e técnica construtiva simples sem necessidade de mão-de-obra especializada, localizado na área urbana do Rio de Janeiro-RJ [6]</p>	<p>Edifícios residenciais multifamiliares - 784 kgCO₂e/m²: três edificações reais multifamiliares com estrutura de concreto armado e paredes de alvenaria localizadas em Moradabad, Índia [13]</p>
<p>Edifícios residenciais de baixo porte - 500 kgCO₂e/m², edifícios comerciais de escritórios entre 200 e 500 kgCO₂e/m²: base de dados de edifícios nos Estados Unidos da América [14]</p>	<p>Edifícios residenciais - 550 kg CO₂e/m², Edifícios não residenciais - 450 kg CO₂e/m²: mais de 50 edifícios em cinco países europeus [15]</p>	

Tabela 2: quadro resumo dos factores de emissão pesquisados e as respectivas tipologias edilicias

5. CONCLUSÃO

O artigo abordou a questão dos fatores de emissão de gases de efeito estufa no setor da construção civil no Brasil, cuja determinação é essencial para quantificar a pegada de carbono das construções e reformas de edificações, permitindo a elaboração de políticas públicas e estratégias empresariais para a redução das emissões e o cumprimento dos compromissos climáticos assumidos pelo país. A revisão bibliográfica revelou que as principais fontes de emissão de GEE na construção civil brasileira estão relacionadas aos processos industriais, uso de produtos e logística de transporte. Várias iniciativas têm sido desenvolvidas no país, com destaque para o Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção (SIDAC) e a calculadora online CECarbon, que visam calcular as emissões de carbono equivalente e promover práticas sustentáveis no setor.

Os resultados preliminares obtidos com a calculadora CECarbon indicaram um fator de emissão de aproximadamente 451 kgCO₂e/m² para a construção de um projeto-padrão. Este resultado se mostrou bastante consistente na comparação com os valores médios encontrados em outros estudos, mostrando a importância de padronizar os fatores de emissão específicos para o Brasil. No caso da Justiça Federal do Rio Grande do Sul, foi realizado um inventário de emissões de GEE para 33 imóveis ao longo de três anos. As emissões totais de carbono equivalente foram calculadas considerando os fatores de emissão propostos, resultando em uma visão abrangente do relevante impacto ambiental dessas edificações.

Para estudos futuros, sugere-se o aprimoramento das metodologias adotadas para estimar os fatores de emissão, levando em consideração as especificidades do contexto brasileiro. Além disso, é importante continuar a pesquisa sobre práticas sustentáveis na construção civil, como o uso de materiais de baixa emissão e a eficiência energética. Esses estudos podem contribuir para o desenvolvimento de políticas públicas mais eficazes e estratégias empresariais que promovam a redução das emissões de GEE no setor da construção civil no Brasil. Com um maior entendimento da pegada de carbono das construções e reformas, é possível trabalhar em direção a um setor mais sustentável e alinhado aos compromissos internacionais de mitigação das mudanças climáticas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço e homenageio a amiga e colega

Ana Paula Pires

cujo profissionalismo, dedicação e paixão foram fundamentais para os primeiros passos do laboratório JusClima2030 e para a contratação do projeto-piloto do inventário de EGEE da JFRS. Inspirados por sua honra e memória, seguiremos adiante, investigando, propondo e testando soluções para um serviço público eficiente, humano e sustentável.



REFERÊNCIAS

- [1] Brasil, Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação; Inventário nacional por unidade federativa de emissões de gases de efeito estufa. CGCC, 2022.
- [2] Belizario-Silva, F. et al. Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção – Metodologia. 1ª edição. São Paulo: SIDAC, 2022.
- [3] *Deutsches Institut für Normung*. DIN EN 15978: *Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method*. 2012.
- [4] Da Silva, Leandro Santos et al. Avaliação da pegada ecológica de uma instituição de ensino superior. RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar. 2022.
- [5] Rodriguez, R. L et. al. *Impacto ambiental en centros da USC*. Revista da Universidade de Santiago de Compostela, 2008.
- [6] Attié, Deborah; De Andrade Salgado, Fernanda. Avaliação do Ciclo de Vida na construção civil brasileira: análise de impactos ambientais. Engineering Sciences, v. 9, n. 1, p. 18-27, 2021.
- [7] Orlandini, Luana Caroline et al. Estratégias para Redução das Emissões de CO2 e o Aumento de Estoque Temporário de Carbono do Setor da Construção por Meio do Uso da Madeira. 2022. Dissertação de Mestrado.
- [8] Maciel, Marco Aurélio Diniz et al. Emissões de gases de efeito estufa na construção civil. Revista da Universidade Vale do Rio Verde, v. 16, n. 1, 2018.
- [9] Silva, Eduardo Silva et al. Inventário de gases de efeito estufa na etapa de construção de edificações residenciais multifamiliares na região da grande Florianópolis, 2014.
- [10] Costa, Bruno Luis de Carvalho. Quantificação das emissões de CO2 geradas na produção de materiais utilizados na construção civil no Brasil. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2012.
- [11] Marcos, Micheline Helen Cot. Análise da emissão de CO2 na fase pré-operacional da construção de habitações de interesse social através da utilização de uma ferramenta CAD-BIM. 2009.
- [12] Tavares, Sérgio Fernando et al. Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras. 2006.
- [13] Tirth, Vineet et al. *Greenhouse gas emissions due to the construction of residential buildings in Moradabad, India*. *Applied Ecology and Environmental Research*, v. 17, n. 5, p. 12111-12126, 2019.
- [14] Simonen, Kathrina et. al. *Benchmarking the embodied carbon of buildings*. *Technology| Architecture+ Design*, v. 1, n. 2, p. 208-218, 2017.
- [15] Röck, Martin et al. *Towards embodied carbon benchmarks for buildings in Europe: #2 Setting the baseline: A bottom-up approach*. 2022.
- [16] Brasil, CONSELHO NACIONAL DE JUSTIÇA. Resolução nº 325, de 29 de junho de 2020. Estratégia Nacional do Poder Judiciário 2021-2026. Brasília, 2020.
- [17] Brasil, CONSELHO NACIONAL DE JUSTIÇA. Resolução nº 400, de 16 de junho de 2021. Política de Sustentabilidade no Âmbito do Poder Judiciário. Brasília, 2020.
- [18] Montenegro, Patrícia Monteiro e Fernandes, Renato. Relatório de Inventário de Gases de Efeito Estufa, Escopos 1, 2 e 3, Ano 2019, 2020 e 2021 JFRS. São Paulo, 2022.
- [19] ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR 12721 - Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edifícios - Procedimento. Rio de Janeiro, 2006.

CONFORTO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS

PROPOSTA PARA MELHOR DESEMPENHO TÉRMICO DO BLOCO “B” DO IFRO-CAMPUS VILHENA

**Fabricio Barbosa dos Anjos¹, Camila Antônia Coelho De Andrade², Lucas Gabriel da
Silva Aires³ & Ariane Zambon Miranda⁴.**

¹Aluno de Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Instituto Federal de Rondônia (IFRO), Vilhena, Rondônia, Brasil.

²Aluna de Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Instituto Federal de Rondônia (IFRO), Vilhena, Rondônia, Brasil.

³Aluno de Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Instituto Federal de Rondônia (IFRO), Vilhena, Rondônia, Brasil.

⁴Docente de Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Instituto Federal de Rondônia (IFRO), Vilhena, Rondônia, Brasil.

Autores correspondentes – Instituto Federal de Rondônia – *Campus* Vilhena. Rodovia 174, Km 3 S/n Zona Urbana Vilhena/RO, CEP: 76980-000.

Resumo:

O objeto desta pesquisa é o desempenho térmico do bloco didático B, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - *Campus* Vilhena. Este foi analisado através dos projetos e memorial descritivo da edificação e *walking through*, confrontados quanto às estratégias bioclimáticas e componentes construtivos indicados para a cidade. As salas usam resfriamento artificial, o que não é aconselhável. Além disso, as soluções de arquitetura não estão de acordo com as diretrizes estabelecidas nesta avaliação, o que causa problemas de projeto relacionados ao clima local e pode afetar a qualidade do ensino-aprendizagem. De acordo com os dados do site *Projetando Edificações Energeticamente Eficientes* (2022) em 45% do ano a cidade de Vilhena/RO apresenta condições de conforto sem necessidade de qualquer adequação predial. Dessa forma, soluções passivas são aplicáveis para melhorar a qualidade de vida dos usuários e reduzir o consumo de energia elétrica. (LOMBARDI; COAN, 2018).

Palavras-chave: Qualidade Térmica; Ambiente Educacional; Condicionamento Artificial de Ar, Custo Energético; Estratégias Bioclimáticas.

Abreviações:

- Instituto Federal de Rondônia (IFRO)
- Departamento de Planejamento e Administração (DPLAD)
- Pessoa com deficiência (PCD)
- Plano de Manutenção, Operação e Controle (PMOC)
- Rondônia (RO)

1. INTRODUÇÃO

Os anos do século XXI vêm sendo marcados com uma série de discussões sobre economia de energia, gerados por consequência do desenvolvimento e inovações globais, que acarretaram no aquecimento global [1]. Com o aumento populacional nos centros urbanos, os impactos ambientais desse contexto também aumentaram, além do uso de tecnologias de forma indiscriminada e a falsa dissociação do homem com o meio ambiente.

Quando se trata de qualidade de vida no espaço construído, as pesquisas contemporâneas nos levam exatamente no caminho inverso ao que às construções vinham, remetendo o ser humano ao convívio com a natureza, assim como pensando em edificações em consonância com o clima em que está localizada [2].

Através dessas discussões, a preocupação principalmente advinda dos arquitetos e engenheiros trouxeram uma relevância maior ao tema eficiência energética. Quanto ao consumo de energia elétrica em edifícios públicos, no Brasil, em 2011, esta se caracteriza em 8% da produzida no país [3].

Reunindo a necessidade de redução do consumo energético com a retomada do convívio com a natureza, temos a arquitetura bioclimática e as soluções passivas desta como um caminho a ser retomado. Assim, este trabalho propõe-se a elencar os problemas existentes quanto ao desempenho térmico e luminoso no Bloco Didático B do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO - *Campus* Vilhena, para posteriormente indicar soluções aos mesmos.

Contudo Phil Jones cita em [4] sobre conforto térmico:

O principal objetivo desta etapa é criar espaços que sejam confortáveis, saudáveis e produtivos para seus usuários. As pessoas, em geral, passam cerca de 90% de seu tempo em ambientes internos, motivo pelo qual os espaços de habitação e trabalho devem promover uma boa qualidade de vida. As condições térmicas têm de estar dentro dos limites de conforto aceitáveis, e o ar dos interiores deve ser livre de quaisquer poluentes prejudiciais à saúde humana.

É importante considerar que a qualidade do aprendizado dos acadêmicos é diretamente influenciada pelo conforto deles nos espaços, tendo ainda que [5] apresentam “[...] a satisfação dos usuários em relação à arquitetura escolar e a qualidade do ensino estão diretamente ligadas ao conforto ambiental, que inclui os aspectos térmico, visual, acústico, e funcional, proporcionados pelos espaços externos e internos do edifício escolar.”, observando ainda que a maior parte do funcionamento é em horários diurnos, dessa forma pode-se aproveitar de luz e ventilação natural, e conseqüentemente reduzir o empenho energético.

No mais, as edificações escolares se diferenciam das habitações residenciais devido às

características de atividade, tempo de ocupação e a relevância durante todo o processo para a formação [6].

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para atingir os objetivos propostos, realizou-se um estudo em três fases. A primeira fase consistiu no estudo técnico do local, utilizando o projeto arquitetônico e dados obtidos através do memorial descritivo da instituição, os quais foram disponibilizados pelo Departamento de Planejamento e Administração (DPLAD) do IFRO-Campus Vilhena para embasamento da pesquisa. Outro método utilizado foi o "walking through", em que os pesquisadores tiram fotos, fazem registros e análises através do andar pelo espaço, pois como cita Gil [7], é um tipo de pesquisa que pode ser feita apenas com base em dados disponíveis, mas não necessariamente com as pessoas.

Na segunda fase, a partir dos levantamentos, as problemáticas foram organizadas e trouxeram temas a serem abordados através de revisão bibliográfica, em prol de indicar soluções e adequações para a arquitetura existente. A revisão bibliográfica foi organizada a partir dos livros disponíveis aos alunos na biblioteca da instituição analisada, bem como artigos e outros trabalhos científicos disponíveis em meio virtual. Os principais termos de busca foram: eficiência energética e melhoria do desempenho térmico em edificações.

Em uma terceira análise, com método comparativo, foi analisado o complexo paraisópolis, condomínios E/G – SP, primeiro a ganhar o Selo-Azul da Caixa, de eficiência energética, tendo como embasamento a utilização de recursos acessíveis e locais. Os métodos de desempenho energético utilizados são: aberturas cobertas; esquadrias que permitem a ventilação máxima para o ambiente; materiais com a transmitância correta para a região; aberturas opostas que proporcionam a circulação cruzada da ventilação. [8]

Por fim, com o direcionamento de alternativas embasado por bibliografias, ocorreu a etapa projetual, compatibilizando soluções e analisando a viabilidade destas ao objeto de estudo. Nesta etapa foram realizados cálculos e estudos de geometria quanto ao desempenho térmico e luminoso e confecção de desenhos técnicos de arquitetura.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este artigo apresenta o Bloco Didático B, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO - *Campus* Vilhena, como objeto de estudo e tema para proposição de soluções no intuito de reduzir o consumo energético deste, bem como proporcionar um ambiente mais agradável e saudável aos acadêmicos. Para tanto, a arquitetura bioclimática foi utilizada como ferramenta de análise e subsídio, para propostas, almejando a conformidade da edificação com o clima.

Vale ressaltar, para uma edificação apresentar um parâmetro de eficiência em gasto energético, precisa ser analisada a redução de despesas e os possíveis impactos ambientais. Conseqüentemente, o planejamento construtivo visa melhorar a qualidade espacial e o conforto aos usuários. Portanto, é importante ser levado em conta cada processo do planejamento para que assim seja possível ter uma construção eficiente, , mas podemos citar o estudo de caso deste artigo que apresenta muitos problemas que poderiam ter sido evitados no período do planejamento [4].

[...] O contexto da eficiência energética nas edificações está diretamente atrelado aos planejamentos dos governos, dentro da política de racionalização do consumo dos bens renováveis e da energia. O processo de retrofit ganha força a partir desse ponto, ampliando o ciclo de vida das edificações, fazendo com que as mesmas proporcionam uma maior economia dos gastos e custos, além de melhorar o seu desempenho, gerando um maior conforto aos seus usuários e diminuindo o impacto ambiental diante dos recursos naturais presentes [9].

O primeiro item deste estudo é o desempenho térmico, o qual está relacionado diretamente com conforto térmico dos usuários, ou seja, a satisfação dos indivíduos com a temperatura. Considerando que o corpo humano tem um sistema termorregulador, do organismo com o meio no qual está inserido, a fim de evitar perdas térmicas ou aumentar a produção interna de calor, há uma margem de mudança de temperatura aceitável, sem denotar incômodos quanto a sentir frio ou calor, refletindo na satisfação com o ambiente envolvente [3] e [10].

Visto que o conforto térmico pode afetar diretamente os acadêmicos, faz necessário uma preocupação no projeto.

Considerando o conforto térmico parte integrante do conforto ambiental, torna-se importante fazer avaliação do ambiente construído. Nogueira et al(2005), aponta que quando submetidas a ambientes não adequados ao clima local, as reações fisiológicas dos alunos são afetadas, causando prejuízo ao processo ensino-aprendizagem. Sendo assim, recomenda que, dentre outras particularidades, as condições climáticas e ambientais sejam levadas em consideração durante a fase de projeto [11].

Trazendo outros elementos relevantes na qualidade do espaço, tem-se que o conforto visual é um fator importante a ser considerado na determinação da iluminação (natural e artificial) de uma edificação, pois deve ser direcionada e adequada quanto a sua intensidade, evitando ofuscamento, bem como proporcionando controle de contrastes e direcionamento das sombras para a área necessária [2]. Ressaltando que o edifício em análise, trata-se de um equipamento público educacional, com atividades de ensino que requerem altos níveis de luminância e a menor interferência possível de fatores tais como o ofuscamento e a reflexão em excesso [12].

Para trabalhar estas duas temáticas é indispensável conhecer o local no qual está inserida a edificação, suas características e variações climáticas, enfatizando dados quanto a insolação, ventos e precipitações. No mais, observa-se que ocorre interferência dos métodos e materiais construtivos na ambiência do interior da área construída [3].

O prédio analisado faz parte do *campus* Vilhena, da rede de Institutos Federais de Rondônia, assim, localiza-se em Vilhena, Rondônia. O conjunto possui 7 blocos construídos, sendo distribuídos em: 1 administrativo, 2 de aprendizagem, 1 de esportes, o centro de convivência, garagem e guarita, todos possuem métodos construtivos similares. O enfoque do presente artigo é referente ao Bloco B, o qual possui 1.259,28 m² construídos, sendo dividido em 2 pavimentos com 629,64 m² cada. O térreo possui sanitários femininos, masculinos e PCD, 6 laboratórios (atendendo física e química com 2 ambientes para cada, e matemática e arquitetura). Já o pavimento superior possui 6 salas de aulas, em que cada ambiente possui em média 64,94 m², sendo os sanitários com 17,11 m².

A maioria das edificações institucionais segue uma padronização quanto aos projetos, fator que nem sempre considera situações específicas e regionais, resultando em pouca flexibilização espacial e tornando o ambiente inadequado quanto ao conforto. Normalmente, o partido arquitetônico busca atender a objetivos econômicos, e fatores quanto à racionalidade, método construtivo ideal e funcionalidade. Conseqüentemente a isso, a inferioridade quando compara-se a projetos e obras não padronizadas é evidente [2].

Entende-se a importância da identidade da instituição, em que, muitas vezes, as edificações são utilizadas como um marco, símbolo ou um tipo de assinatura (de governos e épocas). Nesse ponto, fica evidente que muitos dão maior importância ao momento, em contraponto à qualidade e conformidade ao decorrer de vários anos.

Vilhena está na região norte do país, possuindo duas estações predominantes com chuvas concentradas no trimestre dezembro/janeiro/fevereiro e estação seca bastante definida em junho/julho/agosto. Estes dados embasam o comparativo do existente com o ideal, em consonância com as duas estações apresentadas, período de seca e período chuvoso. [13]

O Bloco B foi edificado com métodos construtivos convencionais na região, sendo utilizados alvenaria com blocos de tijolos cerâmicos, apresentando 20 cm de espessura para divisória entre ambientes internos e 15 cm para a vedação externa. Há a padronização das salas e laboratórios, tanto em metragem construída, quanto em materiais, quantidade e tamanho de abertura empregadas. Na fachada noroeste há grandes aberturas, possuindo janelas com 6,80m de largura, 1,10m de altura e 1,00m de peitoril, com vidros lisos de 6 mm com 4 folhas, sendo 2 fixas e 2 de correr. Na fachada sudeste, existem janelas superiores fixas em forma de fita, estas voltadas a um corredor aberto, com 2,15m de largura, apresentando baixo auxílio à iluminação. Já os sanitários possuem janelas superiores medindo 2,90m de largura, 0,60 de altura e 2,10m de peitoril com 3 folhas, também na fachada noroeste, sendo do tipo maxim-ar.

Analisando o Código de Obras do município [14], tem-se que as aberturas dos laboratórios e salas de aulas do bloco são insuficientes, pois não atingem o mínimo exigido para a área da janela, de 16% de área de piso, em ambientes de longa permanência. Da mesma forma, constatou que as janelas dos banheiros necessitam de 10% da área de piso, não sendo necessário alterações, pois estes elementos estão de acordo com o que se pede na legislação.

Através do “*walking through*”, constatou-se a carência de iluminação natural, mesmo no período diurno, pois ela não alcança a profundidade das salas, enquanto de maneira controversa há ofuscamento nas regiões próximas às aberturas, demonstrando que não há homogeneidade e sendo necessária a utilização de persiana de PVC, reduzindo fortemente a entrada de luz, e portanto necessitando de luzes acesas mesmo no período diurno. A edificação não apresenta beirais, ocasionando, em situações como a citada anteriormente, insolação direta nas janelas [15].

Tem-se ainda que ambientes com acabamentos internos escuros, quando comparados a recintos com cores claras, precisarão de quase o dobro da área da janela. Contudo, já observa-se a predominância de pintura na cor palha, tanto interna quanto externamente na edificação [15].

Para aumentar o alcance da luz nos ambientes de ensino são sugeridas prateleiras de luz, que resolverão proporcionarão a melhor distribuição da luz no espaço, por meio da iluminação difusa. Observando que “A refletância da luz diurna refletida por uma prateleira de luz e dos acabamentos do piso externo de cor clara ou da neve fazem que a luz seja projetada mais fundo no espaço, melhorando a distribuição da luz natural”[15]. Outro fator a ser observado é a

necessidade de proteção à radiação solar direta, sendo esta recomendada para a região quente e úmida, assim propõe-se o sombreamento da edificação, através de brises.

Quanto ao quesito ventilação, é indicado para a cidade, o uso de ventilação natural, com renovação do ar, resfriamento psicofisiológico e resfriamento convectivo. Podendo obter-se isso através da ventilação cruzada realizada com as janelas existentes. Além do mais, destaca-se que a existência de alturas variadas entre as duas janelas, em paredes opostas, contribui para o deslocamento de massas de ar e resultando no efeito chaminé [16].

Mesmo tendo a regulagem da temperatura de forma passiva, em certos momentos se faz necessário o uso de condicionantes artificiais, para Vilhena. É notório que a edificação já utiliza equipamentos de ar condicionado em todas as salas e laboratórios, sendo esta a principal medida de refrigeração do espaço. Dessa forma, em um cenário pós-pandemia, é crucial considerar a disseminação de doenças pelo ar. A falta de renovação do ar nos ambientes fechados é um problema, especialmente quando são usados aparelhos de ar condicionado tipo SPLIT, que não possuem filtros para purificar as impurezas.



Figura 1(a) Perspectiva do Bloco B, Figura 1(b) Fachada Nordeste, Figura 1(c) Fachada Sudoeste, Figura 1(d) Corredor dos Laboratórios.

O Bloco B não atende ao parâmetro de ventilação cruzada [Fig. 1 (d)], considerando as tipologias de esquadrias inseridas, além de que, as portas também são fechadas na maior parte do tempo. Tem-se portanto uma nova preocupação, quando associamos essa necessidade a fenômenos acústicos, pois com a abertura de grandes janelas obtêm-se maior intensidade de ruídos, que podem gerar distrações e prejudicar o processo de aprendizagem. Observa-se ainda que a fachada noroeste, a qual convém a intervenção, está voltada para um pátio gramado, que separa o prédio de estudo do bloco de convivência. Há ainda vegetação

arbórea, porém ainda não adulta, a qual no futuro pode mitigar a reverberação do som e incidência direta do sol.

Para separação dos pavimentos há uma laje de concreto armado com 15 cm de espessura, para a cobertura há uma laje com 15 cm, (Fig. 2), seguida pela aplicação de telhas de fibrocimento, estas com 8mm de espessura e inclinação de 12%. Elementos esses que também interferem no condicionamento da temperatura, pois 30% da troca térmica da envoltória está ligada à cobertura, de forma que os materiais interferem diretamente na temperatura. Essa composição de cobertura apresenta transmitância de $2.06 \text{ w/m}^2.\text{K}$ e atraso térmico de 5,1 horas, havendo também características como capacidade térmica e isolamento térmico a serem consideradas na adequação do edifício com o clima [17]. Observando as indicações do site Projeteer para materiais de cobertura para Vilhena-RO, tem-se que o existente é adequado ao clima.

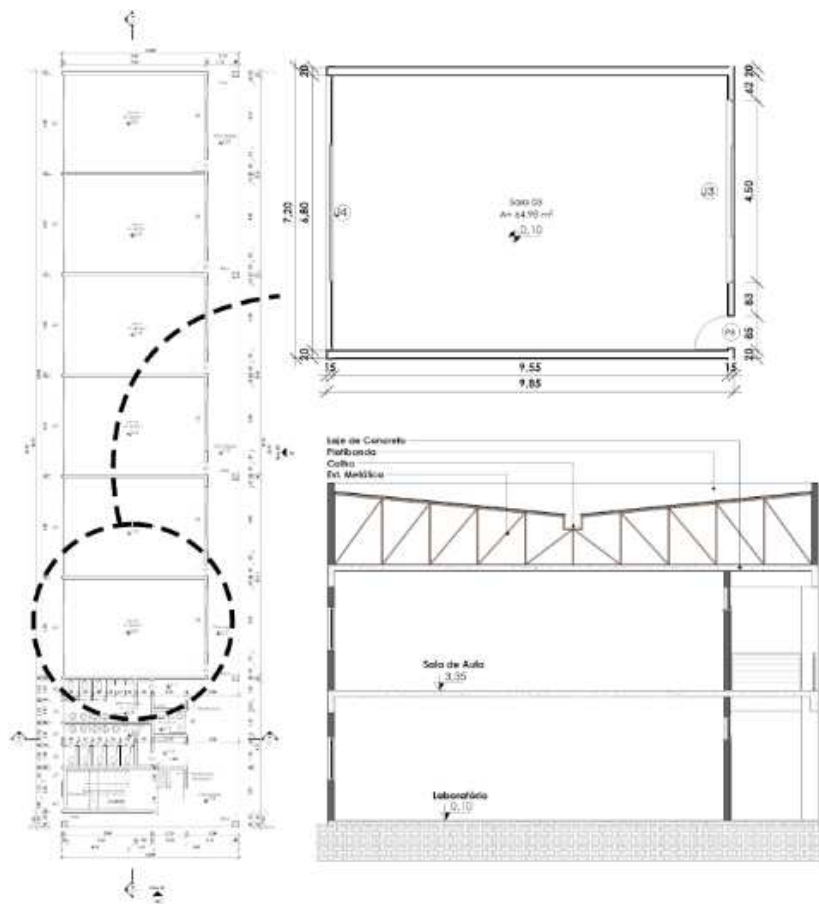


Figura 2(a) Planta Baixa; Figura 2(b) Planta da Sala de Aula; Figura 2(c) Corte Existente.

Com a análise completa do projeto, foi possível apontar e averiguar os pontos relevantes para subsidiar a busca por melhorias nesta edificação. Dessa forma, a proposta de adequação do

Bloco B, inicia-se com o indicativo de problemas a serem sanados, são estes: (Fig. 1) e (Tabela 1).

- A - Inexistência de renovação do ar nas salas de aula e laboratórios;
- B - Incidência de insolação direta nas janelas, com ofuscamento e aquecimento do ambiente;
- C - Má distribuição de iluminação natural no interior das salas;
- D - Os equipamentos de refrigeração artificial não proporcionam renovação do ar.

Considerando a melhoria em aspecto de eficiência energética, desempenho térmico, e qualidade do ar, além da busca por reduzir os impactos ambientais, seguem as propostas para cada uma das letras elencadas anteriormente:

A - Existem duas janelas em cada sala, uma delas é fixa [Fig. 1 (d)], não permite a entrada de ventilação, tendo as dimensões de 4,5x0,4/2,2m, para a qual propõe-se a substituição por janelas pivotantes. A outra é uma janela com 6,80m de comprimento e 1,10m de altura, com folhas (sendo 2 fixas e 2 de correr) [Fig. 1 (b)], também sendo sugerida a troca desta, para janelas de 6,80m de largura por 1,75m de altura e o peitoril de 0,25m, (sendo 3 painéis de 2,25 correr), sendo essas esquadrias de alumínio e vidro. A combinação das duas esquadrias viabiliza a ventilação cruzada, que é essencial para o resfriamento passivo no clima quente da zona bioclimática 8. A fim de que possa desfrutar de um ambiente mais agradável, atendendo também aos requisitos mínimos exigidos pelo código de obras municipal.

B - Tendo como problemática, a insolação direta do sol, nos períodos de 9hr às 16hr, no verão, são propostos elementos de proteção solar, sendo os brises uma resolução imediata do problema. A planta está posicionada a uma angulação de 26° do norte magnético, sendo a latitude local -12°. Então para ter sombreamento nos horários citados anteriormente, o ângulo necessário para Alpha dos Brises é 65° e para Gama tem-se 45° na direita e 70° na esquerda [Fig. 4 e 5 (b)]. Assim estes elementos serão fixos na parte externa da fachada, tendo como dimensões de 0,085m de largura e 7,10m de comprimento, com uma 0,17m de espaçamento entre cada brise (Fig. 4). Terão como materiais aplicados nos brises, alumínio galvanizado com um acabamento na superfície de tinta epóxi branco acetinado.

“[...] faixas de de micro brises horizontais paralelos a uma parede permite a circulação do ar próximo à parede e reduz os ganhos de calor por condução. A faixa de micro brises pode ser operada manualmente ou regulada automaticamente com temporizador ou controles fotoelétricos para que se adapte ao ângulo solar” [18].

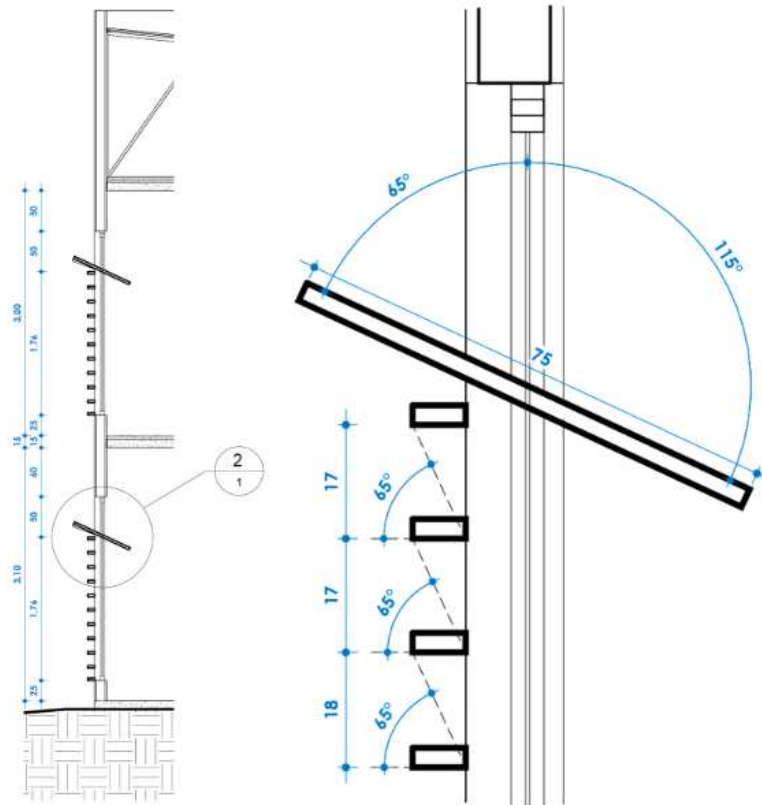


Fig. 3 - Corte com Brises e Prateleira de Luz.

C - No “walking through” ficou evidente como a iluminação afeta os acadêmicos, tanto pelo excesso quanto pela falta, podendo até ocorrer as duas situações simultaneamente. Observa-se ainda que manter 8 luminárias, com 2 lâmpadas cada, acesas durante todo o período diurno, ocasiona um consumo energético alto e possivelmente desnecessário. Para melhorar a distribuição da iluminação, propõe-se a inserção de prateleiras de luz. A prateleira terá um vão de 0,50m de altura, como citado anteriormente o sol com angulatura mais alta no verão incide em 65° na edificação, considerando que será o ponto de menos iluminação dentro do espaço. Sendo assim, a prateleira terá uma angulação de 65° do eixo da parede (Fig. 3). A dimensão foi com base na quantidade de luz que vai iluminar e também no quanto a mesma vai causar sombra no ambiente. Dessa forma, foi obtido uma dimensão de 0,75m de largura e 6,80m de comprimento. O material de acabamento destinado a prateleira deve ter uma atenção maior, pois dependendo da aplicação irá interferir diretamente no desempenho da iluminação. Com isso, o material será composto por uma camada de espuma no seu interior e alumínio com acabamento em tinta epóxi branco gelo polido, tendo uma capacidade maior de refletância [19] e [20].

D - Outro problema existente nas salas é a utilização de aparelhos condicionadores artificiais do tipo SPLIT, modelos que não permitem a troca do ar, ou seja, só acontece a circulação do mesmo ar no espaço. Para resolver o problema, sugere-se a substituição dos equipamentos existentes, muitos dos quais já se apresentam em mau estado. Sendo que os novos

equipamentos devem ter purificadores de ar, para além da propriedade termorreguladora, mitigar agentes nocivos, como vírus, bactérias, germes e poeiras, ainda assim, limpando o ambiente contra mofo e reduzindo a possibilidade de diversas doenças e alergias.

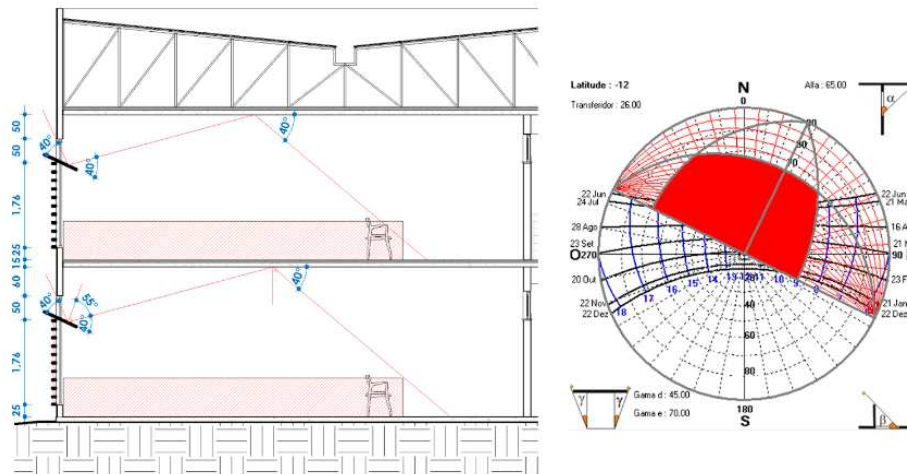


Fig. 4(a) Corte com Projeção da Luz Solar. Fig. 4(b) Carta Solar.

Código	Problemas	Possíveis Soluções
A	Ausência de ventilação cruzada	Substituição da esquadria do tipo fixa existente na fachada noroeste para pivotante.
B	Insolação direta nas salas de aulas na fachada noroeste durante todo o dia.	Colocação de brises horizontais para amenizar os efeitos da insolação direta durante os períodos matutino e vespertino.
C	Iluminação Natural	Prateleiras de luz nas esquadrias superiores das janelas da fachada nordeste.
D	As Janelas de Correr não atendem a área de piso mínima.	As janelas de correr existente serão substituídas por janelas com o peitoril menor e o tipo de esquadria de
E	Falta de troca de ar durante o uso de resfriamento artificial	Adicionar junto ao sistema de refrigeração artificial um renovador de artificial de ar

Tabela 1: Problemas e Soluções

Vale ressaltar que, quanto aos quesitos iluminação, as novas esquadrias estarão de acordo com o determinado pelo código de obras [14]. Sendo que quanto à ventilação e renovação do ar, a área útil das aberturas utilizada é de 50% para as esquadrias de correr e de 100% para as pivotantes, proporcionando potencial de ventilação conforme requerido [17]. Mas vale ressaltar que a esquadria de correr terá 3 grandes painéis móveis, pois assim o ambiente estará vigente um aproveitando maior do que citado pelo autor.

Tendo como base todas as soluções propostas, pode-se citar o projeto Palácio Gustavo Capanema que apresenta soluções passivas.

“Salvo algumas salas para onde estava previsto o uso de ar condicionado, o prédio foi pensado para ser resfriado por ventilação natural, e controlada a radiação solar por meio de brises-soleils móveis. O sistema adotado foi constituído por placas horizontais basculantes de fibrocimento, fixadas em grandes lâminas verticais de concreto, situadas na parte externa do edifício e ligadas à estrutura nos eixos” [21].

O autor destaca sobre a importância do controle solar e além de exigir do projetista a disposição ideal da planta no lote e prever a radiação solar incidente no espaço para evitar problemas futuros na construção.

Através dessa informações técnicas foram escolhidas as tipologias almejando a ideal para uma menor utilização de resfriamentos artificiais, pois todo o conjunto de soluções visam uma melhor utilização do espaço com meios de resfriamentos mais econômicos, além de ser mais favorável no quesito saúde.

4. CONCLUSÕES

Este trabalho buscou apresentar uma proposta para melhorar o desempenho térmico, luminoso e energético de um bloco didático. Contudo é evidente que, quando observados o clima e a função da edificação, na etapa projetual, pode-se obter resultados melhores do que em condições de reforma. Tendo sido grandes limitadores desta proposta os elementos estruturais. Outro fator importante é o volume de resíduo gerado para adequações, o qual pode ser evitado ou mitigado.

Através das análises, às quais foram baseadas em referenciais teóricos, percebeu-se a inadequação que a padronização e reprodução massiva de prédios causa, a exemplo desta rede institucional.

Diante a isso, as propostas para soluções (Fig. 6) são exclusivas para o Bloco B, do IFRO *campus* Vilhena, para subsidiar alterações, buscando melhorias à qualidade de vida dos usuários no espaço, otimizando o ensino-aprendizagem e oferecendo um ambiente saudável com intervenções em sua predominantemente utilização meios passivos, ou seja, naturais.

Nota-se, que os ambientes estudados, apresentam maior preocupação quanto à economia no investimento para a construção do que com a qualidade de vida que a edificação proporcionará. Portanto, é preciso despertar um olhar crítico para o ambiente construído e para as necessidades dos seus usuários, de modo a serem mais eficientes.

AGRADECIMENTOS

Aos nossos pais por acreditarem em nossas escolhas e por ajudar-nos a realizar nossos sonhos. A professora orientadora, Ariane Zambon Miranda pelo incentivo e apoio necessário durante todo o processo da pesquisa e aos demais docentes do curso por contribuírem com seus conhecimentos ao decorrer de nossas caminhadas dentro do meio acadêmico e profissional. Ao Instituto Federal de Rondônia, especialmente ao *Campus* Vilhena, por todo suporte e pela educação de qualidade que nos oferece.

REFERÊNCIAS

- [1] Pereira, C. D. - “A Influência do Envelope no Desempenho Térmico de Edificações Residenciais Unifamiliares Ocupadas e Ventiladas Naturalmente”, Florianópolis: UFSC / PPGEC, 2009.
- [2] Lucas R. E. C.; Silva, L. B. da. - “Conforto Ambiental em Sala de Aula: Análise da Percepção térmica dos Estudantes de duas regiões e Estimação de Zonas de Conforto, *Revista Produção Online*”, vol. 17, p. 804-827, 2017.
- [3] Lamberts. R., Dutra L. & Pereira, F. O. R. - “Eficiência Energética na Arquitetura”, ed.3°. Rio de Janeiro, 2014.
- [4] Buxton, P. - “Manual do Arquiteto - Planejamento, Dimensionamento e Projeto, [Tradução: Alexandre Salvaterra]”. Porto Alegre: Bookman, 2017.
- [5] Brasil P. de C., Silva J. C. - “Impactos da arquitetura escolar na qualidade do ensino brasileiro”. v. 10, n. 21, p. 187–197, 2018.
- [6] Gemelli. C.S.B. - “Avaliação do conforto ambiental em edificação escolar de ensino fundamental”. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. UFRGS, Porto Alegre, 2009.
- [7] Gil, A.C. - “Métodos e técnicas da pesquisa social”. São Paulo, Atlas, 2007.
- [8] Cordeiro, C.B. - “Habitação Popular Sustentável: Estratégias para concepção de empreendimentos habitacionais de interesse popular que atendam critérios das categorias Eficiência Energética e Projeto e Conforto do Selo Casa Azul CAIXA”, Tese de Pós Graduação, Centro Universitário de Brasília, 2017, 36 p.
- [9] Minelli, T.B. - “Desempenho Lumínico e Economia de Energia em Iluminação com Tecnologia Led em Ambiente Escolar”. Revista IFES Ciência, Vol 6, Ano p. 4 - 6, 2020
- [10] Mateus, R.F.M.S. - “Avaliação da Sustentabilidade na Construção: Propostas para o Desenvolvimento de Edifícios mais Sustentáveis”. Universidade do MINHO, 2009.
- [11] Gouveia, G - “Desempenho Térmico de Edifício Escolar Padrão na Zona Bioclimática 8: Um Estudo em Vitória/ES e Belém/PA.”.Ílda L. Oliveira de, F. Mirella Dias, P. Enzo Melo, L. Daniella Marinho, P. Érica Coelho. - ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre.
- [12] Kowaltowski, D. C. C. K. - “Arquitetura Escolar: O Projeto do Ambiente de Ensino”. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.
- [13] Franca, R.R.da. - “Climatologia das Chuvas em Rondônia – período 1981-2017”. Belo Horizonte, Janeiro - Junho, Vol.11 nº1, 2015, p. 47.
- [14] Lei Complementar N° 304, de 11 de maio de 2022. - “Código de Obras e Edificações do município de Vilhena e dá outras providências”. Diário Oficial de Vilhena, Vilhena, RO, 11 de maio. 2022
- [15] Heywood, H. - “101 Regras Básicas para uma Arquitetura de Baixo consumo Energético, [Tradução, Revisão Técnica e Preparação de Texto Alexandre Salvaterra]”. Ed 1°. São Paulo: Gustavo Gili, 2015, p. 168.
- [16] Roque, R. A. L.; Pierri, A. C. - “Uso Inteligente de Recursos Naturais e Sustentabilidade na Construção Civil ”. Universidade de Araraquara, 2018.
- [17] Gurgel, M. - “Design Passivo, Baixo Consumo Energético”, Editora Senac São Paulo, São Paulo, 2012, p. 44 - 142.
- [18] Ching, F.D.K., SHAPIRO, Ian M. - “Edificações Sustentáveis Ilustradas. Tradução: Alexandre Salvaterra”. Porto Alegre: Bookman, 2017.
- [19] Castro, E.B.P.de. - “LIGHT SHELF: Estudo da sua Eficiência Lumínica através de Simulação Computacional”, Rio de Janeiro: UFRJ, 1996.
- [20] Maioli, R. N.; Alvarez, C. E. de. A. - “Análise da Utilização de Prateleiras de Luz em Vitória-ES (Brasil)”, Universidade Federal do Espírito Santo, Vol. 03, N°1, Junho de 2013.
- [21] Corbella, O.; YANNAS, S. - “Em Busca de uma Arquitetura Sustentável para os Trópicos, Conforto Ambiental”, Ed. 2°, Rio de Janeiro, 2003, p. 63 - 67.

Índice Remissivo

- Adriano Luís de Souza, **279**
- Adriely Henriques Miranda, **265**
- Alexandre Kokke Santiago, **73**
- Aline Lopes Camargo, **11**, **345**, **361**
- Amanda Pereira Rodrigues Moura, **61**
- Anna Rita Tomich M. Felipe, **293**
- Antonio Tagore Assumpção Mendoza e Silva, **157**
- Ariane Zambon Miranda, **429**
- Bernardete de Lourdes Ferreira Minervino, **373**, **387**
- Bruno Santa Cecília, **5**
- Camila Antônia Coelho De Andrade, **429**
- Carina Mariane Stolz, **197**, **403**
- Carolina M. Amaral, **47**, **223**
- Clara Rodrigues Pereira, **209**
- Cristina Calmeiro dos Santos, **373**, **387**
- Daniel Luiz Oliveira, **113**
- Deives de Paula, **307**, **345**, **361**
- Eduarda Alberto, **237**
- Eduardo Qualharini, **197**, **403**
- Fabricio Barbosa dos Anjos, **429**
- Felipe Gustavo Silva, **123**
- Francisco Carlos Rodrigues **3**, **73**
- Gisela Barcellos, **13**
- Gabriela Buitrago Frainz, **145**
- Israel Gustavo Freitas Figueredo, **145**
- João Paulo C. Rodrigues, **17**, **23**, **47**, **223**, **253**, **307**, **319**, **345**, **361**, **373**, **387**
- João Pedro A. Schriefer, **47**, **223**

Karolina Poznyakov, **197**, **403**
Larissa Peruci, **293**
Leandro Lopes da Silva, **265**
Leonardo de Oliveira Gomes, **101**
Lucas Gabriel da Silva Aires, **429**
Luciana Nemer Diniz, **61**, **123**
Luiz Gustavo da Silva Santiago, **157**
Marcelo Franco Porto, **145**, **157**, **165**
Marcos Favero, **87**
Marcos Martinez Silvano, **113**, **237**
Maria Luiza Calderaro Moreira, **307**, **345**, **361**
Mateus Paulo Beck, **415**
Mateus Rosada, **209**
Matheus Porto, **7**
Mauricio Torres, **279**
Micaella Soares Baccoli, **23**, **253**
Michelle Teodoro Coutinho, **333**
Monica Aguiar, **87**
Mozart Joaquim Magalhães Vidigal, **165**
Nathália Pacheco Teixeira, **183**
Paula Silva Sampaio, **279**
Paulo Gustavo von Krüger, **15**, **293**, **373**, **387**
Renata Maria Abrantes Baracho, **145**, **157**, **165**
Richard Brito Braga, **73**
Rodrigo Almeida Freitas, **319**
Rúben F. R. Lopes, **361**, **345**
Tatiana Alves, **9**
Thiago Grabois, **237**
Tiago de Castro Hardy, **37**, **135**
Vivian K. C. B. L. M. Balthar, **183**

Willi de Barros Gonçalves, **37**, **135**

Yuri Scatrut Ribeiro de Andrade, **101**

CLB A+E

ORGANIZAÇÃO



UFMG

UNIVERSIDADE FEDERAL
DE MINAS GERAIS



UNIVERSIDADE DE
COIMBRA

PARCEIROS

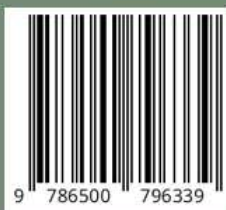


PROPEEs



PPG - ACPS
UFMG

ISBN



9 786500 796339
