

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
ENGENHARIA CIVIL

ARTHUR DOMINGOS DE OLIVEIRA

**ESTUDO COMPARATIVO DE DIFERENTES MÉTODOS DE PROTEÇÃO  
ESTRUTURAL PASSIVA CONTRA INCÊNDIO EM UM EDIFÍCIO DE OITO  
PAVIMENTOS EM AÇO LOCALIZADO EM MACEIÓ**

Maceió – AL

2023

ARTHUR DOMINGOS DE OLIVEIRA

**ESTUDO COMPARATIVO DE DIFERENTES MÉTODOS DE PROTEÇÃO  
ESTRUTURAL PASSIVA CONTRA INCÊNDIO EM UM EDIFÍCIO DE OITO  
PAVIMENTOS EM AÇO LOCALIZADO EM MACEIÓ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Curso de Engenharia Civil da Universidade  
Federal de Alagoas, como requisito parcial à  
obtenção do título de Bacharel em Engenharia  
Civil

Orientador: Prof. Dr. Luciano Barbosa dos  
Santos.

Coorientador: Msc. Themisson dos Santos  
Vasconcelos

Maceió – AL

2023

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**

Bibliotecária Responsável: Livia Silva dos Santos CRB - 1670

- O48e Oliveira, Arthur Domingos de.  
Estudo comparativo de diferentes métodos de proteção estrutural passiva contra incêndio em edifício de oito pavimentos em aço localizado em Maceió / Arthur Domingos de Oliveira. – 2023.  
81f.: il.
- Orientador: Luciano Barbosa dos Santos.  
Coorientador: Themisson dos Santos Vasconcelos.  
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de tecnologia. Maceió, 2023.
- Bibliografia: f. 64-67  
Apêndice: f. 68-81
1. Material de construção – Proteção. 2. Modelagem BIM – Estrutura metálica. 3. Material ignífugos. 4. Edifício – Incêndio. I. Título

CDU: 624.04:691(813.5)

## Folha de Aprovação

ARTHUR DOMINGOS DE OLIVEIRA

### Estudo comparativo de diferentes métodos de proteção estrutural passiva contra incêndio em um edifício de oito pavimentos em aço localizado em Maceió

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à banca examinadora do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas e aprovada em 10 de maio de 2023.

Documento assinado digitalmente  
 LUCIANO BARBOSA DOS SANTOS  
Data: 25/05/2023 16:08:57-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Luciano Barbosa dos Santos – CTEC/UFAL

Documento assinado digitalmente  
 THEMISSON DOS SANTOS VASCONCELOS  
Data: 25/05/2023 16:16:15-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Msc. Themisson dos Santos Vasconcelos

#### Banca examinadora:

Documento assinado digitalmente  
 ADRIANA DE OLIVEIRA SANTOS WEBER  
Data: 31/05/2023 16:17:53-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dra. Adriana de Oliveira Santos Weber – CTEC/UFAL

Documento assinado digitalmente  
 CASSIA VANESSA ALBUQUERQUE DE MELC  
Data: 25/05/2023 17:04:44-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dra. Cássia Vanessa Melo de Albuquerque – CTEC/UFAL

À minha família, que sempre colocou em mim  
mais fé do que eu mesmo.

## AGRADECIMENTOS

Como predecessores não apenas deste trabalho, mas de toda a minha ainda breve carreira, não poderia deixar de agradecer à minha família: minha mãe, Ronny Roselly; meu pai, Carlos Alexandre; meus irmãos Davi e Pedro; meus avós Josiel, Ednalva, Cariolando e Fleurete; minha madrinha Edleide e meus tios André, Dudu e Lando. Foi desta família que veio a sede insaciável de conhecimento e a competitividade que me impulsiona a alçar voos cada vez maiores.

Agradeço à equipe e aos professores do SEB Maceió, em especial aos professores Edson Júnior, Márcio Lopes, Jadielson, Valdir, Juliane, Rodrigo Rosa, Jaguarassú Neto e Lielson, que me fizeram ter ainda mais paixão pelo conhecimento em sua forma pura e simples, e me proporcionaram o acesso ao que hoje é uma de minhas paixões.

Não posso deixar de citar em gratidão, também, as inúmeras amizades que fiz ao longo da vida, que me suportaram nos momentos difíceis e eram a razão das alegrias do cotidiano: Antonio Luiz, Luiz Carlos, João Pedro, Arthur Feitoza, Talyne, Nicholas, Victor Ximenes e Luah no colégio; Gabriela, Pedro Martiniano, Tiago Teixeira, Lucas Yuri, Giovanna, Kyara, Lucas Jeremias, Marcus Antônio, Letícia Barros, com quem pude estreitar ainda mais os laços durante a faculdade.

Agradeço à minha turma de Engenharia Civil 2018.1, que, junto comigo, suportou as mazelas dessa difícil graduação; e à EJEC, minha segunda casa na UFAL, à qual devo grande parte da minha experiência e competência pessoal e profissional. Lá me criei enquanto engenheiro, líder e ser humano, em experiências únicas que carregarei sempre comigo.

Por fim, mas não menos importante, à Ana Carla, minha namorada, que é fonte de alegria e felicidade, assim como conforto nos momentos difíceis. Por todo o suporte durante essa fase crítica e por todas as alegrias que vivemos e que ainda viveremos. Espero estar sempre contigo, assim como você está comigo.

Enfim, o fim desta árdua jornada, e o começo de outra ainda maior.

“O problema maior foi que na hora que a gente ia retirar, o prédio caiu, tensionou a corda e ela não aguentou o peso, estourou. Não daria 30, 40 segundos, pra gente finalizar”

- Sgt. Diego (CBMESP), sobre resgate de morador no momento de colapso da estrutura de um prédio, em chamas, de 24 pavimentos.

## RESUMO

O presente trabalho estudou a viabilidade financeira, técnica e logística dos seguintes materiais de proteção passiva contra incêndio: enclausuramento com concreto não-estrutural, alvenaria em blocos cerâmicos, alvenaria em blocos de concreto, placas de gesso, placas de lã de rocha, manta cerâmica, argamassa com vermiculita projetada e tinta intumescente, com objetivo de definir o material de proteção mais acessível para execução. O estudo comparativo foi realizado por meio do orçamento e fatores construtivos como produtividade, área ocupada e armazenamento de cada material, calculados para a mesma edificação-base hipotética, admitida na cidade de Maceió. A partir da modelagem BIM da estrutura, foram extraídos quantitativos, que foram posteriormente orçados com base nos dados do SINAPI, ORSE e Cype, sendo levados em consideração o material, mão-de-obra, transporte e desvalorização imobiliária por meio da perda de área útil na edificação. Ao fim, com base em comparações de preço, peso, espaço de armazenamento ocupado e prazo de execução, foi constatado que, para o caso estudado, a argamassa projetada com vermiculita seria a melhor solução, enquanto as placas de lã de rocha representariam a segunda opção mais acessível.

**Palavras-chave:** prevenção contra incêndio; materiais ignífugos; viabilidade; custo; execução.

## ABSTRACT

The present work has studied the financial, technical, and logistical feasibility of the following passive fire protection materials: non-structural concrete enclosure, masonry in ceramic blocks, masonry in concrete blocks, gypsum boards, rock wool boards, ceramic blanket, vermiculite projected mortar, and intumescent paint, aiming to define the most accessible fire protection coating material. The comparison is made through the pricing and application data such as productivity, area and stockage of the protection methods for a hypothetical base building, assumed to be in the city of Maceió. From the BIM modeling of the structure, quantities were extracted, which were later budgeted based on data from SINAPI, ORSE, and Cype, considering the material, labor, transportation, and real estate devaluation through the loss of useful area in the building. In the end, based on comparisons of price, weight, occupied storage space, and execution time, it was found that, for the case studied, the vermiculite projected mortar would be the best solution.

**Keywords:** Fire prevention; fire-resistant materials; feasibility; cost; execution.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Curva de temperatura do incêndio x tempo .....	20
Figura 2 - Curva temperatura-tempo do incêndio padrão segundo a AISC-19 .....	21
Figura 3: Curva do incêndio-padrão segundo a NBR 14432.....	21
Figura 4: Curvas do incêndio-padrão segundo o Eurocode 1.....	22
Figura 5: Relação entre a temperatura do incêndio e a temperatura do aço estrutural.....	23
Figura 6: Perfil metálico enclausurado com concreto .....	27
Figura 7: Pilar metálico revestido com concreto .....	27
Figura 8: Esquema de pilar metálico com proteção por alvenaria de vedação.....	28
Figura 9: Processo de expansão da tinta intumescente em altas temperaturas.....	29
Figura 10: Vigamento metálico protegido com argamassa projetada.....	30
Figura 11: Fixação da Placa de Gesso Acartonado com uso de Montantes.....	31
Figura 12: Viga e pilares protegidos por placas de gesso .....	31
Figura 13: Layout das Placas de Lã de Rocha em Perfil I.....	32
Figura 14: Placas de lã de rocha Thermax Rockfibras e sua embalagem.....	32
Figura 15: Esquema da Fixação de Manta Cerâmica em um Perfil Metálico .....	33
Figura 16: Estrutura metálica protegida com manta cerâmica .....	33
Figura 17 - Organização metodológica .....	35
Figura 18: Modelagem BIM da estrutura metálica nua .....	39
Figura 19: Vigamento do pavimento-tipo da edificação.....	41

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais tintas intumescentes utilizadas no Brasil.....	29
Quadro 2: Exigências de sistemas de proteção contra incêndio .....	69
Quadro 3: Valores de $\gamma n1$ , $\gamma n2$ e $\gamma n3$ .....	70
Quadro 4: Risco de ativação .....	71

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Composição de preços para os materiais de proteção estudados .....	58
Gráfico 2: Comparativo entre o peso dos materiais de proteção .....	59
Gráfico 3: Comparativo dos prazos de execução para os materiais de proteção passiva .....	60
Gráfico 4: Comparativo entre o volume de armazenagem dos materiais de proteção .....	61

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Mínimo recomendado para propriedades físicas de materiais projetados .....	30
Tabela 2: Cobrimento de concreto para TRRF .....	43
Tabela 3: Ensaio de resistência ao fogo de alvenarias .....	43
Tabela 4: Propriedades físicas de uma placa de gesso do tipo RF (resistência ao fogo).....	44
Tabela 5: TRF-padrão para chapas de gesso do tipo RF .....	44
Tabela 6: Carta de cobertura para a lã de rocha Thermax .....	45
Tabela 7: Dimensionamento das vigas para lã de rocha Thermax.....	46
Tabela 8: Dimensionamento dos pilares para Lã de Rocha Thermax .....	46
Tabela 9: Carta de cobertura contra fogo para tinta intumescente .....	47
Tabela 10: Dimensionamento da tinta intumescente .....	47
Tabela 11: Carta de cobertura para argamassa projetada.....	48
Tabela 12: Dimensionamento da argamassa projetada.....	49
Tabela 13: Dados dos perfis das vigas.....	50
Tabela 14: Dados dos perfis dos pilares .....	50
Tabela 15: Quantitativo das vigas.....	51
Tabela 16: Quantitativo dos pilares .....	51
Tabela 17: Quantitativo de materiais das vigas de acordo com o tipo .....	52
Tabela 18: Quantitativo dos materiais dos pilares de acordo com o tipo .....	52
Tabela 19: Planilha orçamentária para o concreto não-estrutural.....	53
Tabela 20: Planilha orçamentária para alvenaria em blocos cerâmicos .....	53
Tabela 21: Planilha orçamentária para alvenaria em blocos de concreto .....	54
Tabela 22: Orçamento para proteção passiva com placas de lã de rocha .....	54
Tabela 23: Orçamento para proteção com placas de gesso do tipo RF .....	55
Tabela 24: Composição para argamassa projetada .....	56
Tabela 25: Composição para pintura intumescente .....	56
Tabela 26: Ocupação de área de piso por método de proteção.....	57
Tabela 27: Composição geral de preços para os materiais de proteção estudados.....	58
Tabela 28: Comparação da argamassa projetada com a média geral.....	62

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira
UFAL	Universidade Federal de Alagoas
AISC	<i>American Institute of Steel Construction</i>
CBM	Corpo de Bombeiros Militar
UE	União Europeia
TRF	Tempo de Resistência ao Fogo
TRRF	Tempo Requerido de Resistência ao Fogo
IT	Instrução Técnica
COSCIP	Código de Segurança Contra Incêndio e Pânico
BIM	Building Information Modeling
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil
ORSE	Orçamento de Obras de Sergipe
RF	Resistente ao Fogo
SIA	<i>Société Suisse des Ingénieurs et des Architectes</i>
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços
IPI	Imposto sobre Produtos Industrializados
JIT	<i>Just In Time</i>

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\theta_{a,t}$	Temperatura do aço no tempo $t$
$K_{sh}$	Fator de sombreamento
$u$	Perímetro
$A_g$	Área da seção transversal do perfil de aço
$c_a$	Calor específico do aço
$\rho_a$	Massa específica do aço
$\varphi$	Fluxo de calor por unidade de área
$t$	Tempo
$u_m$	Perímetro efetivo do material de revestimento
$c_m$	Calor específico do material de revestimento
$t_m$	Espessura do material de revestimento
$\theta_{g,t}$	Temperatura dos gases no tempo $t$
$\lambda_m$	Condutividade térmica do material de revestimento
$\rho_m$	Massa específica do material de revestimento
$t_{eq}$	Tempo equivalente
$q_{fi}$	Carga de incêndio específica
$\gamma_n$	Produto $\gamma_{n1} \cdot \gamma_{n2} \cdot \gamma_{n3}$ que varia de acordo com as medidas de proteção contra incêndio existentes na edificação
$\gamma_s$	Produto $\gamma_{s1} \cdot \gamma_{s2}$ que varia de acordo com o grau de risco da edificação
$W$	Fator adimensional que varia de acordo com a taxa de ventilação e abertura da edificação
$A_f$	Área de piso
$h$	Altura do piso habitado mais alto da edificação
$A_v$	Área de ventilação vertical
$A_h$	Área de ventilação horizontal

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
2 OBJETIVOS.....	17
2.1 Objetivo Geral .....	17
2.2 Objetivos Específicos .....	17
2.3 Delimitação do Trabalho .....	17
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
3.1 Modelagem BIM de Estrutura Metálica .....	18
3.2 Normas e parâmetros de proteção estrutural contra incêndio em Alagoas.....	19
3.3 Verificação de Estruturas em Situação de Incêndio.....	20
3.4 Materiais de construção para proteção passiva contra incêndio em estruturas de aço ...	26
3.5 Diretrizes para Elaboração de Orçamentos .....	33
4 MÉTODOS.....	35
4.1 Revisão bibliográfica e normativa.....	36
4.2 Modelagem 3D da estrutura e proteção estrutural.....	36
4.3 Cálculo dos requisitos contra incêndio .....	36
4.4 Quantitativos.....	37
4.5 Planilha orçamentária .....	37
4.6 Definição do método mais viável de proteção estrutural passiva.....	38
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	39
5.1 Modelagem da estrutura .....	39
5.2 Caracterização e classificação da edificação .....	40
5.3 Cálculo do tempo requerido de resistência ao fogo .....	41
5.4 Dimensionamento dos materiais de proteção passiva .....	42
5.5 Quantitativos.....	49
5.6 Composições de preço .....	52
5.7 Área ocupada .....	57

5.8. Interpretação dos resultados .....	57
6 CONCLUSÃO.....	62
6.1 Estudos derivados .....	63
APÊNDICE A – MEMORIAL DE CÁLCULO DO TRRF PELO MÉTODO TABULAR.....	68
A.1. CLASSIFICAÇÃO DA EDIFICAÇÃO .....	68
A.2. DETERMINAÇÃO DO TRRF .....	68
APÊNDICE B – MEMORIAL DE CÁLCULO DO TRRF PELO MÉTODO DO TEMPO EQUIVALENTE.....	69
B.1. REQUISITOS DE PREVENÇÃO CONTRA INCÊNDIO .....	69
B.2. DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES DE CÁLCULO .....	69
APÊNDICE C – COMPOSIÇÕES DE PREÇOS .....	73
C.1. CONCRETO NÃO-ESTRUTURAL .....	73
C.2. ALVENARIAS.....	76
C.3. PLACAS .....	80

## 1 INTRODUÇÃO

Pode-se definir o fogo como o resultado de uma reação de oxidação entre um material combustível e um elemento comburente, liberando altas quantidades de energia que podem traduzir-se em temperaturas de mais de 600°C em casos de incêndio (ABNT, 2001).

Segundo Silva e Fakury (2001), apesar do baixo risco de morte por incêndio, a proteção da vida humana deve sempre ser considerada nos projetos de edificações, em comum acordo entre engenheiro e proprietário, e dependente de fatores como ocupação, materiais de construção e tamanho do edifício.

A preocupação com a resistência das estruturas às condições extremas de um incêndio é, de certo modo, recente: somente após diversos acidentes nas décadas 60 e 70 a devida importância ao assunto foi concedida (RODRIGUES, 2005). Em 1961, o “Gran Circus Norte Americano” foi palco de um incêndio criminoso que deixou 503 vítimas fatais, além de mais de 800 feridos. Não muito após, em 1972, o Edifício “Andraus”, na capital paulista, sucumbiu às chamas, com 16 óbitos. Em 1974, o Edifício “Joelma”, também em São Paulo, foi vítima de incêndio, e representou a mudança definitiva de mentalidade para com o assunto.

Segundo Xavier (2016), as ações de curto prazo concentraram-se em meio político, a partir da revisão e redefinição das legislações vigentes contra incêndio, que eram escassas. A partir disso, os estados do Rio de Janeiro e São Paulo definiram normas próprias para a melhor concepção projetual de edificações residenciais e comerciais, bem como parâmetros de proteção para estruturas metálicas, em 1975 e, posteriormente, estruturas de concreto. Também em 1975 foi reformulada a NR 23, regente da proteção contra incêndios na relação empregado-empregador.

Já em 2017, após a tragédia da Boate Kiss, foi promulgada a lei nº 13.425, que “estabelece diretrizes gerais sobre medidas de prevenção e combate a incêndio e a desastres em estabelecimentos, edificações e áreas de reunião de público” (BRASIL, 2013, p. 01). A partir dela, reforçou-se o poder de polícia do Corpo de Bombeiros Militar estadual, baseadas no cumprimento de normas técnicas também por eles definidas, assim como a isonomia de tais regulamentações.

Em Alagoas, o referido conjunto de normas foi publicado pelo Corpo de Bombeiros Militar em primeiro momento em 1982, com o COSCIP, que foi atualizado por diversas ocasiões. Em 2013, foi atualizada a legislação local e criada a IT-01 (provisória), que tratava de procedimentos administrativos e disposições gerais a respeito do projeto de combate a incêndio e pânico. Já em 2021, em última atualização, emitiu-se um conjunto de 44 instruções técnicas

que norteiam a execução de Projetos de Combate a Incêndio e Pânico, bem como consolidam os procedimentos administrativos necessários para a obtenção dos documentos de regularidade do CBM.

Assim, todas as edificações devem seguir as prerrogativas traçadas pelo Corpo de Bombeiros, o que eleva os custos na indústria e na construção civil. Nesse contexto, é importante frisar que tais despesas são obrigatórias e inerentes ao custo basal da edificação, devendo ser contabilizadas como tal, ao invés de algo supérfluo em situações específicas. Não obstante, é importante para a indústria ter conhecimento das alternativas mais viáveis para a execução dos sistemas de proteção definidos por norma.

Dentre tais instruções técnicas, quiçá a mais importante rege a proteção estrutural: é mandatório que todas as estruturas resistam ao incêndio por um determinado período de tempo, calculado de acordo com o risco da edificação. Nesse cenário, por seu baixo calor específico, estruturas metálicas tendem a apresentar necessidade de proteção térmica, visando reduzir a velocidade de propagação do calor do incêndio pelo elemento estrutural em questão.

A importância da verificação estrutural de edificações em situação de incêndio reside no fato de que as propriedades mecânicas dos materiais decaem com o aumento da temperatura (PANNONI, 2001). Em estruturas metálicas, esse efeito é ainda amplificado, uma vez que o aço, em relação a outros materiais, apresenta uma alta condutividade térmica, o que aumenta o risco de incêndio em edificações deste sistema construtivo (MESQUITA, 2013).

Em termos de projeto, o dimensionamento de elementos estruturais em incêndio consiste na verificação de suas capacidades portantes em altas temperaturas, assim como a determinação da espessura e características do material de proteção de incêndio que porventura seja necessário (MARTINS, 2000).

Tais sistemas de proteção são dimensionados para prevenir ou retardar o avanço das chamas, de modo a garantir a adequada capacidade portante dos elementos de aço estrutural durante um período de tempo suficiente para a evacuação do prédio ou o efetivo combate ao fogo (STOCKMANN, 2009). Segundo Silva (2005), as condições de segurança contra fogo em estruturas são atendidas quando a temperatura dos elementos estruturais permanece abaixo de sua temperatura crítica, ou seja, abaixo de sua temperatura de colapso.

Com o avanço tecnológico e inovações no ramo da ciência dos materiais, alternativas vêm sendo desenvolvidas para retardar o efeito das chamas em estruturas. Atualmente, pode-se fazer uso de métodos mais tradicionais, como o cobrimento com concreto, alvenaria, placas cerâmicas ou de gesso; mas pode-se também utilizar materiais como tintas intumescentes e mantas cerâmicas (MOREIRA, 2019).

Em Alagoas, estado de baixo índice de desenvolvimento social e econômico (CAMPOS, 2009) quando comparado aos maiores estados do país e com países norte-americanos ou europeus, o comércio de materiais para proteção passiva contra incêndio revolve majoritariamente sobre elementos mais tradicionais, com pouco mercado para materiais e técnicas mais modernas, como tintas intumescentes, fibro-silicato e mantas cerâmicas.

Em face do crescente número de alternativas desenvolvidas para fins de proteção estrutural passiva, é fundamental para o construtor e para o projetista o conhecimento dos valores e orçamentos que mais contemplam as necessidades da obra, ou seja, que simplificam custo de aquisição, operação, logística e mão-de-obra. Destarte, é intuitivo o desenvolvimento de um documento científico que compile esses dados para uma localidade específica, de modo a embasar decisões profissionais e viabilizar a implantação de um sistema de proteção estrutural eficaz nas edificações de quaisquer riscos.

Para isso, foram utilizadas as normas técnicas para dimensionamento de estruturas em situação de incêndio, bem como cotações diretas com empresas proprietárias de produtos especializados e cotações simples com base em bancos de dados como Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) e sistema de Orçamento de Obras de Sergipe (ORSE), assim como orçamentos coletados a partir de fornecedores locais, quando na ausência dos materiais de projeto nas plataformas anteriormente citadas.

## 2 OBJETIVOS

Dentre o amplo espectro de utilização das estruturas metálicas, a preocupação com incêndios é fator relevante. Assim, objetiva-se ampliar conhecimentos nesse meio, aplicados ao ecossistema da construção civil de Maceió. Nesta seção, estão dispostos os objetivos gerais e específicos para o presente trabalho.

### 2.1 Objetivo Geral

Comparar a viabilidade financeira e logística de diferentes métodos de proteção estrutural passiva contra incêndio em edificações construídas com estruturas de aço na cidade de Maceió.

### 2.2 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral, foram traçados os seguintes objetivos específicos:

- a) identificar os diferentes métodos de proteção passiva para estruturas de aço;
- b) modelar em software um projeto estrutural com proteção passiva que atenda as normas vigentes sobre estruturas de aço e resistência ao fogo;
- c) estabelecer a logística e os custos de implantação no canteiro de obras de diferentes métodos de proteção passiva contra incêndio em estruturas de aço no mercado local;
- d) apresentar, de acordo com os custos, o método mais acessível de proteção estrutural passiva.

### 2.3 Delimitação do Trabalho

O presente trabalho possui como objeto de estudo uma estrutura hipotética retirada da literatura, e não contempla o cálculo estrutural da edificação. A partir dela, de acordo com os termos estabelecidos pela Instrução Técnica IT-08 do CBMAL, que rege sobre a resistência ao fogo dos materiais de construção, serão dimensionados sistemas de proteção estrutural passiva contra incêndio para uma estrutura de 8 pavimentos em aço, com o uso de distintos materiais. Para tanto, será utilizado o método tabular de dimensionamento e o método do tempo equivalente para redução do Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF), bem como especificações dos fabricantes de produtos industrializados produzidos para este fim. A partir de quantitativo extraído de modelagem 3D realizado no *software* Autodesk Revit, em conjunto com cotações locais e composições extraídas da plataforma ORSE/SINAPI, elaborou-se uma planilha orçamentária para fins comparativos entre os diferentes sistemas de proteção.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

Há incêndios marcantes em termos de história mundial. Grandes países expoentes dos estudos em proteção estrutural contra fogo como os Estados Unidos, o fizeram após grandes e traumáticos eventos, neste caso, o Grande Incêndio de Chicago, de 1871 (GARLOCK, 2016). No Brasil, isso não foi diferente: a legislação atual, que contempla as exigências de segurança contra incêndio, foi proposta em 2007, mas ganhou força apenas após a tragédia do incêndio da Boate Kiss, de 2013.

Desde então, diversos avanços tecnológicos foram realizados nacional e internacionalmente no que tange à segurança das edificações contra a ação do fogo. É imprescindível ressaltar que, embora existam normas nacionais, a exigência de proteção contra incêndio se dá de acordo com normas estaduais, competentes a cada corpo de bombeiros militares das unidades federativas (BRASIL, 2017).

Nesta seção, estão dispostos os documentos, pesquisas e referenciais teóricos utilizados para a construção do escopo básico do projeto que está em desenvolvimento, de acordo com suas etapas executivas.

#### 3.1 Modelagem BIM de Estrutura Metálica

A partir de uma estrutura metálica de um edifício comercial de 8 pavimentos, já calculado, apresentado no livro “Edifício de Múltiplos Andares em Aço” (BELLEY et al., 2008), é realizada a modelagem BIM da estrutura metálica, no *software* Revit.

##### 3.1.1 Metodologia BIM

O BIM pode ser definido como uma tecnologia de modelagem e um grupo associado de processos para construção, envolvendo análise de produção, comunicação e o próprio modelo construtivo (EASTMAN et al, 2008). Assim, o modelo BIM permite representar os objetos por parâmetros e regras associados a sua geometria, assim como, incorporar propriedades não geométricas e características a esses objetos. Além disso, possibilita a extração de relatórios, checagem de inconsistências de relações entre objetos e incorporação de conhecimentos de projeto, a partir dos modelos (ANDRADE et RUSCHEL, 2009).

A implantação do BIM hoje é obrigatória nos serviços públicos do país, segundo decreto 10.306/2020 (BRASIL, 2020 p.1), que estabelece a utilização do *Building Information Modelling* na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizada pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal, no âmbito da Estratégia Nacional de Disseminação do *Building Information Modelling*- Estratégia BIM BR.

No âmbito da modelagem BIM, vários *softwares* são de possível utilização, como o Revit ®, Sketchup ®, Archicad ®, Tekla ®, entre outros. Cada um deles possui um fim específico, dentro do âmbito da construção civil, para modelagem – instalações, estruturas, arquitetura. Desde que com a metodologia BIM, sob a égide da legislação atual, qualquer *software* é válido e passível de utilização (BRASIL, 2020).

### 3.1.2 *Software* Revit ®

O Revit ® é um *software* de modelagem BIM que auxilia as equipes da indústria da construção civil a criar construções e infraestruturas de alta qualidade (AUTODESK, 2023). O programa, neste trabalho acessado por meio de licença educacional, possui modelos de trabalho nas áreas de arquitetura, estruturas e sistemas, que abrange hidráulica, elétrica, esgotamento, climatização, combate a incêndio e gás canalizado (CRUZ, 2019).

À medida em que a modelagem da edificação e seus sistemas é realizada, o *software* gera quantitativos precisos, expostos em uma tabela que pode ser exportada em formato CSV. A partir dessas informações, pode-se orçar o empreendimento ou cada sistema de maneira separada.

## 3.2 Normas e parâmetros de proteção estrutural contra incêndio em Alagoas

De acordo com a IT 01 - Procedimentos administrativos do Corpo de Bombeiros Militares de Alagoas (CBMAL, 2021), é necessária a previsão, em projeto, da proteção estrutural contra incêndio para determinados casos, discriminados com exatidão no texto original. Ainda neste mesmo documento, relata-se a necessidade administrativa de entregar documentos como Memorial de Cálculo e Prancha contendo a locação dos tipos de estruturas e áreas estruturalmente protegidas contra as chamas, de acordo com sua IT 08 - Segurança Estrutural Contra Incêndio (CBMAL, 2021).

Nesta Instrução Técnica, são definidos TRRFs (Tempo Requerido de Resistência ao Fogo) para as variadas classificações de edificações. O dimensionamento dos elementos estruturais sem revestimento contra o fogo deve ser realizado conforme norma vigente, assim como o dimensionamento dos diversos modos de proteção estrutural passiva.

Neste contexto, segundo a IT 08, são aceitos materiais de revestimento para composição do sistema de proteção estrutural contra o fogo nos elementos, sendo necessário comprovação laboratorial certificada por normas nacionais ou internacionais de seus atributos físicos cabíveis ao projeto.

### 3.3 Verificação de Estruturas em Situação de Incêndio

O cálculo de estruturas de aço sob condição de incêndio possui algumas etapas, que envolvem a modelagem e dimensionamento do incêndio, o cálculo do tempo de resistência ao fogo da estrutura sob a determinada condição de incêndio, assim como o dimensionamento dos materiais de proteção contra incêndio (MARTINS, 2000; SILVA et al., 2010).

#### 3.3.1 Modelagem do Incêndio

Para que haja uma combustão, é necessário que estejam presentes três elementos básicos: o combustível, o comburente (usualmente o oxigênio) e a fonte de calor ou de ignição. A partir destes elementos, o fogo consome o combustível presente na edificação, aumentando sua temperatura com o passar do tempo, até o ponto de *flashover*, em que há a rápida ignição de todos os materiais combustíveis presentes no local (SILVA et al., 2010).

A partir deste momento, a inflamação generalizada causada pelo *flashover* aumenta consideravelmente a temperatura do ambiente, que cresce até atingir seu ponto crítico, a partir do qual tende a decrescer, seja pela falta de disponibilidade de comburente ou falta de combustível no local, conforme Figura 1.

Figura 1 – Curva de temperatura do incêndio x tempo



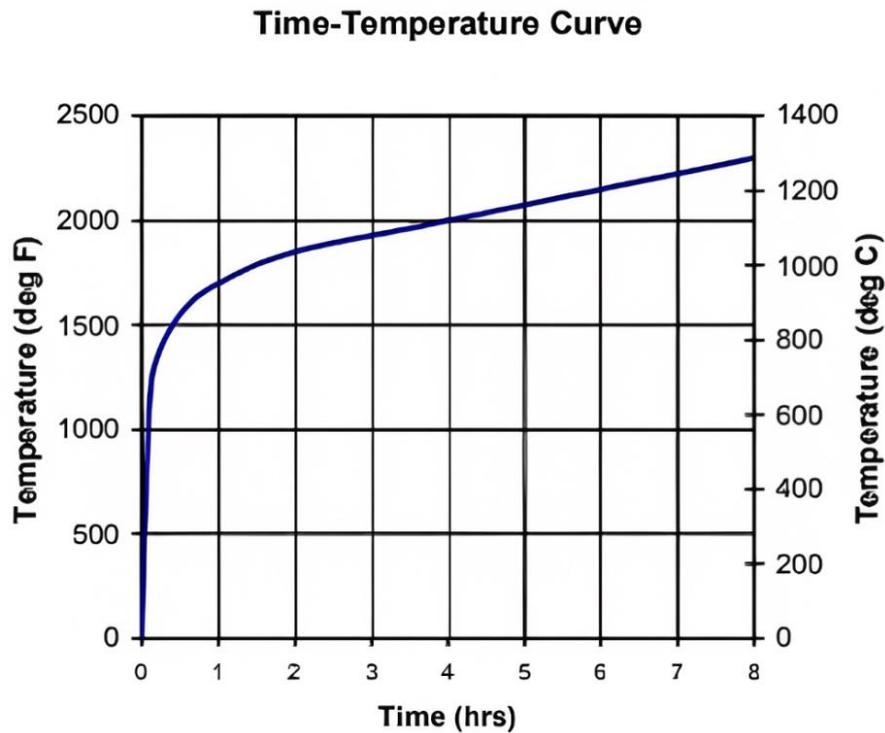
Fonte: SILVA, 2010.

A modelagem do incêndio passa pelo desafio de se construir, de maneira verossímil, uma formulação que relacione o comportamento da temperatura dos gases de um incêndio com o tempo.

Dentro deste escopo, as premissas normativas são distintas em relação à formulação adotada: as equações utilizadas como modelo para o “incêndio-padrão” em normas brasileiras (ABNT NBR 14432), normas europeias (Eurocode 1) e estadunidenses, conforme versa a

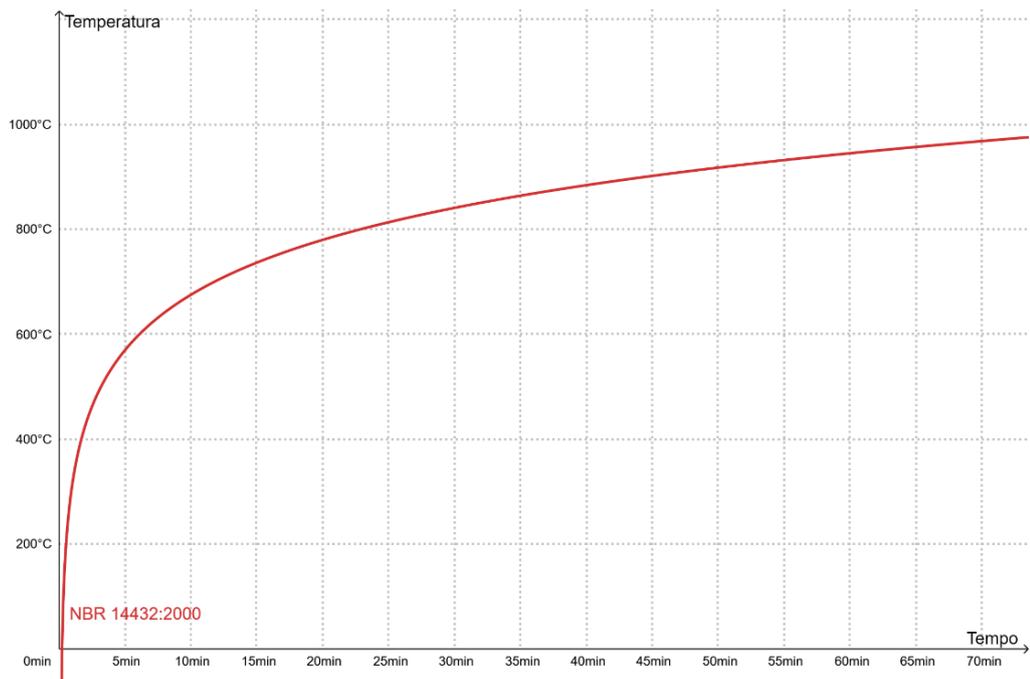
norma de número 19 do *American Institute for Steel Construction* (AISC-19); são diferentes entre si, adotando funções e valores representativos diferentes para a mesma situação do incêndio-padrão, conforme mostram as Figuras 2 a 4.

Figura 2 - Curva temperatura-tempo do incêndio padrão segundo a AISC-19



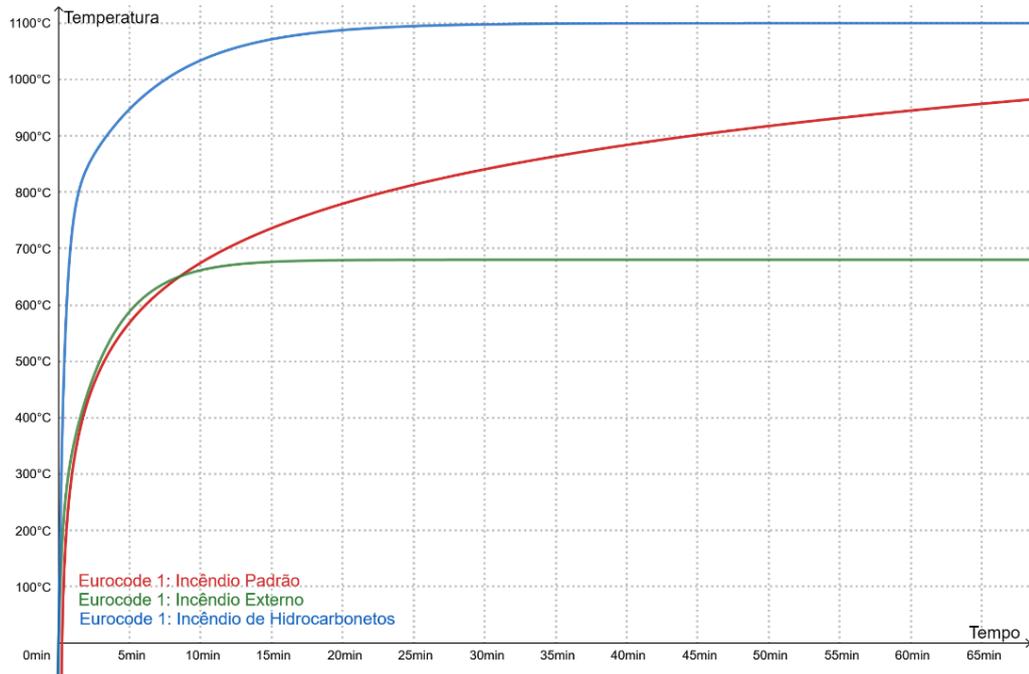
Fonte: AISC-19 (Estados Unidos da América, 2003).

Figura 3: Curva do incêndio-padrão segundo a NBR 14432



Fonte: adaptado da NBR 14432 (ABNT, 2001).

Figura 4: Curvas do incêndio-padrão segundo o Eurocode 1



Fonte: Adaptado de Eurocode 1 (União Europeia, 2002).

Tais divergências podem ocorrer, entre outros fatores, por mudanças no sistema construtivo usual com a variação do local de aplicação das normas, bem como aspectos climáticos e naturais inerentes a cada região.

Evidentemente, como o presente trabalho refere-se a um projeto para a cidade de Maceió, as normas empregadas são as nacionais e instruções locais.

### 3.3.2 Cálculo do tempo de resistência ao fogo

Sabe-se que o próprio conceito de segurança pode ser de difícil aplicabilidade prática, sendo necessário o uso de parâmetros de utilização mais simples, como é o caso da segurança estrutural contra incêndio. Nesse contexto, conforme citam Silva e Vargas (2005): “É costume, em códigos e normas nacionais e internacionais, ao invés de se exigir segurança à temperatura, exigir-se segurança por um determinado tempo, associado à curva-padrão”.

Naturalmente, o processo para a determinação do tempo de resistência ao fogo (TRF) em estruturas de aço passa por conhecer as propriedades termomecânicas do material, além de fazer uso de métodos prescritos em norma para sua obtenção.

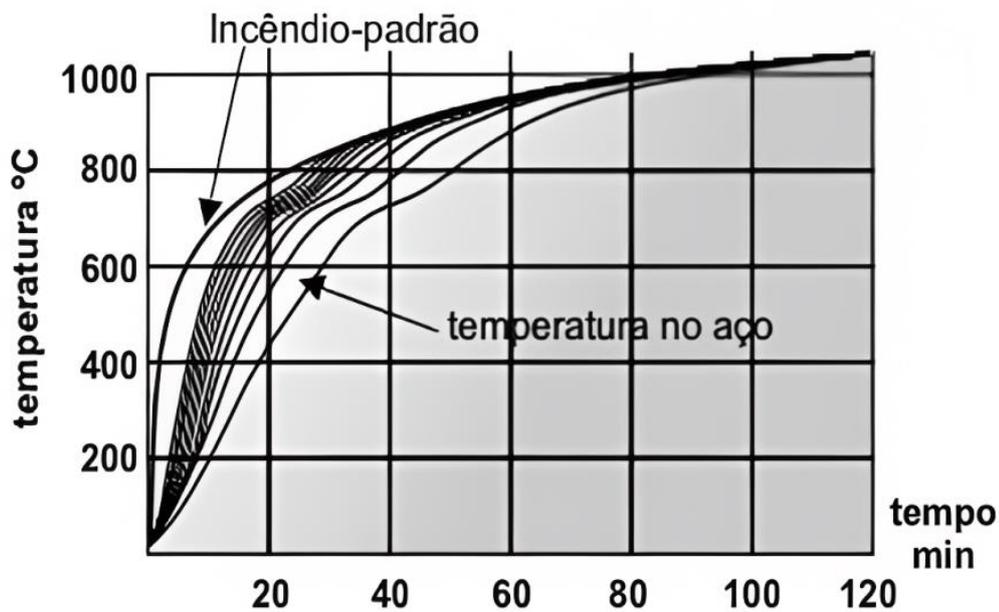
De acordo com Silva e Vargas (2005), pode-se obter a resistência ao fogo dos elementos estruturais por métodos analíticos ou experimentais. Os métodos analíticos básicos são expostos na NBR 14323 (ABNT, 2013), assim como recomendações para métodos analíticos mais complexos e avançados.

Os métodos experimentais, por sua vez, podem ser simplificados, ao se analisar o elemento isolado; ou realísticos, onde se ensaia o elemento em situação de vínculo a uma estrutura real.

Silva e Vargas (2005) definem o conceito de fator de massividade, que pode ser posto como a relação entre o perímetro e a área da seção transversal de um elemento estrutural que possui direta relação com seu comportamento sob condições de incêndio: sendo um elemento estrutural prismático de seção transversal conhecida, aquele que tem maior fator de massividade possui maior relação massa/área, o que limita a condução térmica e, portanto, o deixa menos propenso ao aumento de temperatura durante um incêndio.

Com esses dados, e de acordo com as propriedades calorimétricas do aço estrutural, pode-se construir um gráfico como o disposto na Figura 5.

Figura 5: Relação entre a temperatura do incêndio e a temperatura do aço estrutural



Fonte: SILVA e VARGAS (2005).

Ainda segundo Silva e Vargas (2005), pode-se, a partir das características geométricas, de vinculação e carregamento, encontrar uma temperatura crítica de ruptura, na qual o elemento entra em colapso e perde sua capacidade portante. Assim, em posse dessas informações, encontra-se o tempo de resistência ao fogo do elemento estrutural.

Em termos práticos, de acordo com a NBR 14323 (ABNT, 2013), pode-se calcular a elevação de temperatura no aço em um determinado intervalo de tempo a partir da seguinte equação:

$$\Delta\theta_{a,t} = K_{sh} \cdot \frac{\left(\frac{u}{A_g}\right)}{c_a \cdot \rho_a} \cdot \varphi \cdot \Delta t \quad (\text{Eq. 3.1})$$

onde:  $K_{sh}$  é um fator de correção para o efeito de sombreamento, determinado conforme seção 8.5.1.1.2 da NBR 14323;  $u/A_g$  é o fator de massividade para elementos estruturais de aço sem revestimento contra fogo;  $u$  é o perímetro exposto ao incêndio do elemento estrutural de aço;  $A_g$  é a área bruta da seção transversal do elemento estrutural de aço;  $c_a$  é o calor específico do aço;  $\rho_a$  é a massa específica do aço;  $\varphi$  é o valor do fluxo de calor por unidade de área;  $\Delta t$  é o intervalo de tempo.

A NBR 14323 (ABNT, 2013) também traz uma definição para o cálculo da elevação de temperatura de elementos com proteção passiva contra fogo. Nesse cenário, são consideradas as características e propriedades físicas do elemento de proteção, além do elemento estrutural em si, conforme equação abaixo.

$$\Delta\theta_{a,t} = \frac{\lambda_m \cdot \left(\frac{u_m}{A_g}\right)}{t_m \cdot c_a \cdot \rho_a} \cdot \frac{(\theta_{g,t} - \theta_{a,t}) \cdot \Delta t}{1 + \left(\frac{\xi}{4}\right)} - \frac{\Delta\theta_{g,t}}{\left(\frac{4}{\xi}\right) + 1} \quad (\text{Eq. 3.2})$$

em que

$$\xi = \frac{c_m \cdot \rho_m}{c_a \cdot \rho_a} \cdot t_m \cdot \left(\frac{u_m}{A_g}\right) \quad (\text{Eq. 3.3})$$

onde  $u_m$  é o perímetro efetivo do material de revestimento contra fogo;  $c_m$  é o calor específico do material de revestimento contra fogo;  $t_m$  é a espessura do material de revestimento contra fogo;  $\theta_{a,t}$  é a temperatura do aço no tempo  $t$ ;  $\theta_{g,t}$  é a temperatura dos gases no tempo  $t$ ;  $\lambda_m$  é a condutividade térmica do material de revestimento contra fogo e  $\rho_m$  é a massa específica do material de revestimento contra fogo.

### 3.3.3 Cálculo do Tempo Requerido de Resistência ao Fogo

Para o Corpo de Bombeiros Militar de Alagoas, os requisitos administrativos de resistência estrutural contra fogo passa pela definição do Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF), valor que representa o consenso de uma sociedade a respeito das exigências de

resistência ao fogo.

Este tempo de resistência é fundamental para que a evacuação do prédio seja efetuada, bem como o adequado combate às chamas pelos dispositivos de proteção ativa – chuveiros automáticos, brigada de incêndio, hidrantes – e pelos bombeiros militares.

De acordo com Costa e Silva (2005), o TRRF pode ser calculado por uma variedade de maneiras: no Brasil, a metodologia mais difundida é a tabular, porém a Eurocode 1 (União Europeia, 2002) utiliza o método do tempo equivalente. Costa (2008) também cita o método de Gretnener para avaliação de risco, utilizado inicialmente pela norma suíça SIA-81.

#### 3.3.3.1 Método tabular de determinação do TRRF

Em norma, segundo o Corpo de Bombeiros Militar de Alagoas (2021), o tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF) é obtido em função da classificação da edificação de acordo com seu uso e com sua altura. A partir desses dados, de acordo com a ABNT NBR 14432 (2001), é correlacionado um determinado TRRF, que deve ser seguido de acordo com os adendos constantes na própria Instrução Técnica.

#### 3.3.3.2 Método do tempo equivalente para determinação do TRRF

O método do tempo equivalente para determinação do TRRF, segundo o Corpo de Bombeiros Militar de Alagoas (2021), pode ser utilizado nos casos em que há necessidade de buscar a redução do TRRF da edificação. Dessa maneira, pode se tratar de alternativa economicamente viável para reduzir gastos nas etapas de construção, uma vez que com um menor TRRF, existe também a menor necessidade de materiais de proteção estrutural adicionais.

O método do tempo equivalente leva em consideração para cálculo, de acordo com a IT-08 (CBMAL, 2021), o grau de risco da edificação – determinado a partir da carga de incêndio –, existência de sistemas de proteção ativa, áreas de ventilação do compartimento analisado, bem como sua área e altura. Dessa maneira, é possível chegar a um valor para o TRRF possivelmente menor que o apresentado via método tabular, porém sem comprometer a segurança.

#### 3.3.4 Dimensionamento dos materiais de proteção

Silva (2005) afirma que se pode atingir o tempo desejado de resistência contra fogo apenas com o elemento estrutural em seu estado natural, apenas aumentando suas dimensões. Entretanto, em cenário prático, é usual o dimensionamento estrutural da estrutura à temperatura ambiente, acrescido, se necessário, de um material de revestimento menos oneroso, para

proteger a estrutura contra os efeitos da temperatura.

Segundo Guimarães (2007), pode-se entender a transferência de calor dos gases do incêndio para o elemento estrutural revestido de material de proteção como uma função, além das temperaturas do elemento e do ambiente, do fator de massividade, espessura do material isolante (admitindo nula a absorção de calor no material), área do elemento exposta ao fogo, seu volume e massa específica.

Além disso, a Eurocode 3 (União Europeia, 2005) denota sua própria expressão para o cálculo da temperatura do aço revestido sob influência de altas temperaturas, porém seguindo ainda os mesmos parâmetros.

Por meio das características físicas do elemento de proteção contra incêndio, pode-se, com uso de métodos analíticos equivalentes, determinar o tempo de resistência ao fogo do elemento composto.

É usual, no mercado da construção civil atual, encontrar já nos materiais patenteados a indicação da relação espessura/tempo de resistência para o incêndio padrão. Os elementos de revestimento realizados com materiais não-patenteados ou produzidos *in loco*, como argamassa, concreto, blocos cerâmicos ou placas de gesso devem ter seus tempos de resistência calculado de acordo com as diretrizes acima citadas.

### **3.4 Materiais de construção para proteção passiva contra incêndio em estruturas de aço**

Segundo Brackmann et al. (2022), vários fatores justificam a maior necessidade de utilização de materiais de proteção estrutural passiva contra incêndio em estruturas de aço, quando comparadas com estruturas de concreto: a maior condutividade térmica do material, assim como a maior rigidez, o que leva a seções mais esbeltas, com um menor fator de massividade.

Nesse contexto, Costa (2019), afirma que não é definida uma “solução universal” para a proteção de estruturas metálicas frente ao fogo. A grande gama de materiais disponíveis em mercado, aliado a diferentes necessidades e características ambientais, legais e logísticas, faz com que seja fundamental o estudo e a racionalidade no momento da escolha do material de proteção adequado.

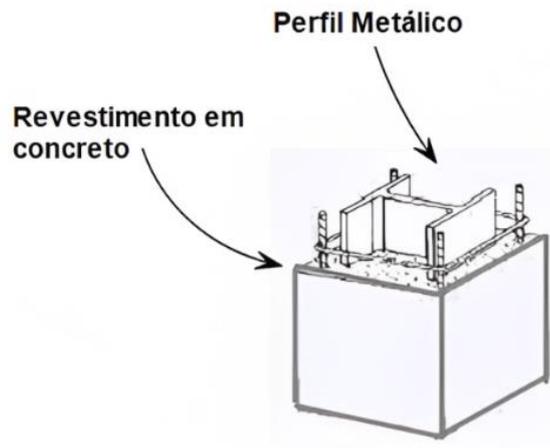
Para tal âmbito, Moreira (2019) define vários métodos de proteção contra incêndio em estruturas metálicas, a exemplo de tintas intumescentes, materiais projetados, em placas ou mantas, bem como materiais conhecidos da construção civil.

### 3.4.1 Concreto não estrutural

Segundo Pannoni (2001), o enclausuramento do perfil metálico com concreto não-estrutural é uma alternativa de proteção contra incêndio e corrosão simultaneamente. Entretanto, embora utilizado em locais como o Japão e sua pouca necessidade de mão-de-obra especializada para execução do serviço, seu uso é tratado na literatura como muito dispendioso e pouco difundido no Brasil.

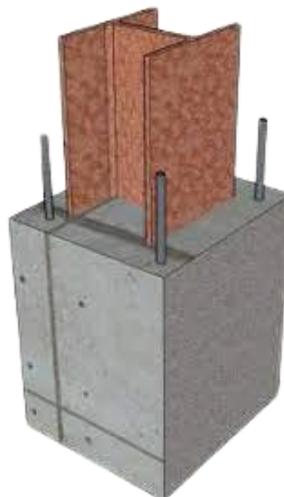
Sua utilização, conforme Figuras 6 e 7, é realizada com a utilização de vergalhões que objetivam a fixação do concreto em caso de incêndio, bem como estribos de função construtiva. O revestimento em concreto muitas vezes, em virtude da facilidade de execução, não acompanha o perfil metálico, fator que acaba por superar em grande significância o volume de concreto que seria necessário.

Figura 6: Perfil metálico enclausurado com concreto



Fonte: Pannoni (2001).

Figura 7: Pilar metálico revestido com concreto

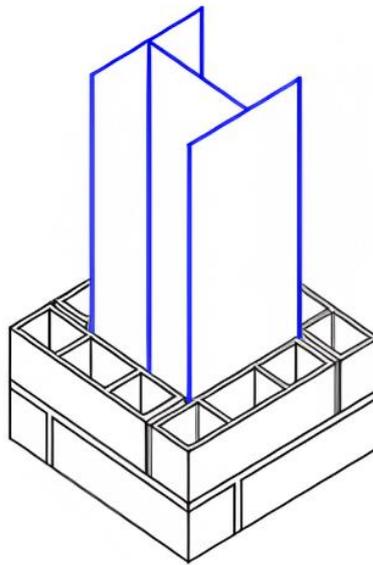


Fonte: Serafim (2013).

### 3.4.2 Alvenaria de vedação

A alvenaria de vedação com blocos cerâmicos ou de concreto celular, segundo Andrade (2010), foram, em conjunto com o concreto não-estrutural, os primeiros materiais de proteção estrutural contra incêndio a serem utilizados. Entretanto, seu uso denota a diminuição de área útil do ambiente, assim como interferência arquitetônica e potenciais danos estéticos ao ambiente, como mostrado na Figura 8. Em virtude disso, sua utilização não é amplamente difundida, tendo seu uso diminuído com o advento de materiais mais modernos.

Figura 8: Esquema de pilar metálico com proteção por alvenaria de vedação



Fonte: Martins (2000).

Sua técnica executiva é a mesma técnica utilizada para a alvenaria de convencional, sendo necessária pouca ou nenhuma mão-de-obra especializada. Os materiais empregados também são de fácil acesso, reduzindo o custo de logística – para transporte e importação, como necessário em outros materiais.

### 3.4.3 Tintas intumescentes

As tintas intumescentes são materiais projetados e fabricados especificamente para o fim de proteção contra incêndio. Trata-se de uma tinta que, a partir de 200°C expande, criando uma barreira de proteção entre o meio externo e o elemento estrutural (MOREIRA, 2019). São materiais industrializados, portanto sua utilização depende de um fornecedor e da logística de transporte e importação, a depender do local. O Quadro 1 mostra uma relação dos principais fabricantes de tintas intumescentes no Brasil. A Figura 9, por sua vez, mostra o processo de

expansão da tinta intumescente quando submetida a temperaturas acima de 200°C.

Quadro 1 - Principais tintas intumescentes utilizadas no Brasil

Produto	Fabricante	Representante no Brasil
<b>Nullifire S605 e S707</b>	Carboline	Unifrax Brasil
<b>Firetex</b>	Leigh's Paints	Morganite do Brasil
<b>Sprayfilm</b>	Isolatek Internacional	Morganite do Brasil
<b>Interchar 963</b>	Tintas International	Produzido no Brasil
<b>Firesteel 47-A</b>	Firetherm	CKC do Brasil
<b>Calatherm 600</b>	Tintas Calamar	Produzido no Brasil

Fonte: Moreira (2019) apud Seito et al. (2008).

Figura 9: Processo de expansão da tinta intumescente em altas temperaturas



Fonte: Fairbanks (2013).

#### 3.4.4 Materiais projetados

Segundo Moreira (2019), os materiais projetados são fabricados sobre uma base de cimento ou gesso, contendo na mistura materiais isolantes como fibras minerais e vermiculita expandida que, quando projetados, oferecem uma resistência eficaz contra altas temperaturas. Podem oferecer até 240 minutos de tempo de resistência contra fogo, e por isso foram utilizados em empreendimentos como o Sears Towers, World Trade Center e Torres Petronas.

Silva et al. (2008) define valores mínimos de importantes propriedades físicas a serem atendidos, além da trabalhabilidade da argamassa, para possibilitar sua projeção, de modo a obter satisfatória qualidade e desempenho. Esses dados estão compilados na Tabela 01.

Tabela 1 - Mínimo recomendado para propriedades físicas de materiais projetados

Propriedades físicas	Mínimos recomendados
Densidade média seca	240 kg/m <sup>3</sup>
Aderência ao aço	9,6 kPa
Compressão – 10% def. Máx.	57 kPa
Erosão – ar a 24 km/h	0,53 g/m <sup>2</sup>

Fonte: Silva *et. al.* (2008).

Sua aplicação é realizada diretamente no elemento estrutural a ser protegido, seguindo seu perfil, como mostra a Figura 10.

Figura 10: Vigamento metálico protegido com argamassa projetada



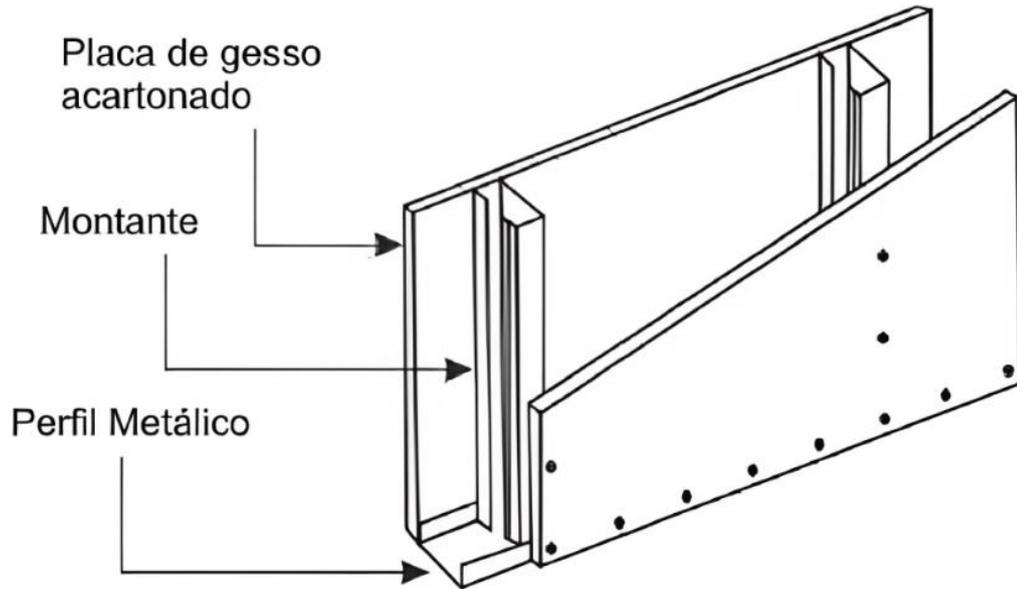
Fonte: Silva *et. al.* (2008).

#### 3.4.5 Placas de gesso acartonado

As placas são elementos pré-fabricados, que podem ser rígidas ou flexíveis. Segundo Moreira (2019), também podem possuir material fibroso e gesso em sua composição. Seu uso pode ser especialmente adequado a estruturas com treliças planas, mas não ficam a estas limitados. Sua característica de baixa espessura também consome pouco espaço e compromete a arquitetura de maneira sutil.

Costumam ser fixadas com auxílio de pinos diretamente nos perfis ou por meio de montantes e suportes fabricados para este fim, conforme mostram as Figuras 11 e 12.

Figura 11: Fixação da Placa de Gesso Acartonado com uso de Montantes



Fonte: Pannoni (2001).

Figura 12: Viga e pilares protegidos por placas de gesso



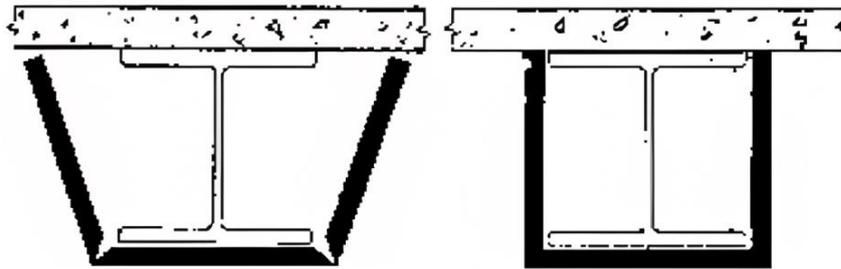
Fonte: Cype (2023).

#### 3.4.6 Placas de lã de rocha ou vidro

As placas de lã, seja ela de rocha ou de vidro, por sua vez, apresentam reduzida combustibilidade e, por sua baixa densidade, acarretam em poucos esforços adicionais à estrutura. Segundo Moreira (2019), são confeccionadas por via da composição do material fibroso concatenado por meio de resina termoendurecível. Sua aplicação é esbelta e consome

pouco espaço, embora possua dificuldades de seguir o perfil da estrutura, como é visto na Figura 13. Seu envio, conforme ilustra a Figura 14, é realizado em placas, que podem ser cortadas conforme necessidade, em embalagens de quantidades fixas definidas pelo fabricante.

Figura 13: Layout das Placas de Lã de Rocha em Perfil I



Fonte: Moreira (2019).

Figura 14: Placas de lã de rocha Thermax Rockfibras e sua embalagem



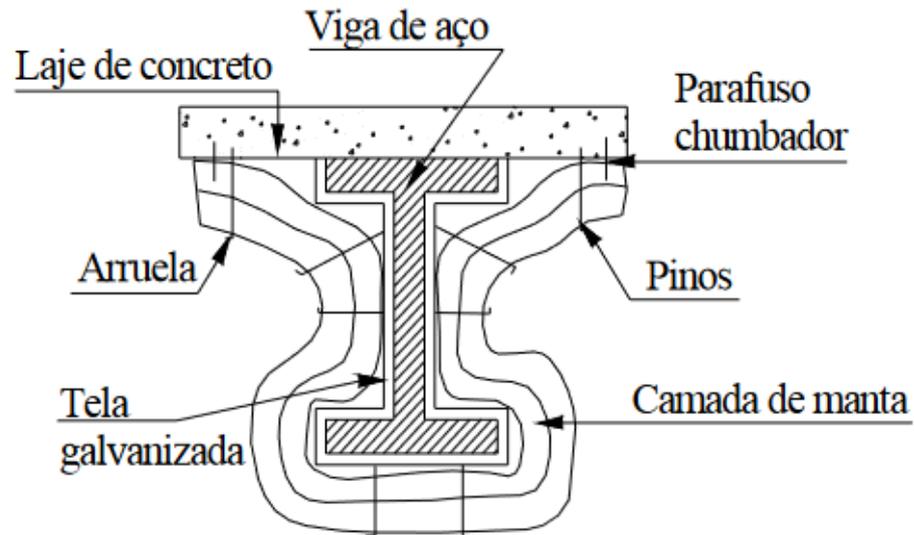
Fonte: Rockfibras (2023).

#### 3.4.7 Mantas cerâmicas

Segundo Andrade (2010), pode-se conceituar as mantas flexíveis como compostas por um aglomerante de fibras sílico-aluminosas, podendo incluir também lã de rocha basáltica. Suas principais vantagens competitivas no mercado residem na aplicabilidade em estruturas existentes, uma vez que geram poucos resíduos e propiciam um acréscimo de até 120 minutos ao TRRF da estrutura.

Sua aplicação é realizada por meio de pinos de aço, contornando o perfil do elemento estrutural, o que propicia um melhor aproveitamento dos espaços e reduzida interferência na estética do ambiente. A Figura 15 esquematiza a adequada fixação de manta cerâmica em um perfil de aço, enquanto a Figura 16 mostra a estética final da estrutura protegida com esse sistema.

Figura 15: Esquema da Fixação de Manta Cerâmica em um Perfil Metálico



Fonte: Martins (2000).

Figura 16: Estrutura metálica protegida com manta cerâmica



Fonte: Termocom Engenharia (2023).

### 3.5 Diretrizes para Elaboração de Orçamentos

Dias (2003) descreve, em seu livro “Engenharia de Custos: uma Metodologia de Orçamentação para Obras Civis”, um fluxograma para a elaboração de orçamentos, com etapas descritivas para todo o processo. Com base nesse escopo, sabendo também que o presente trabalho se trata de uma concepção hipotética de obra civil, teremos enfoque na 3ª etapa por ele definida: Levantamento de Quantidades e Preços.

### 3.5.1 Escopo e definição dos recursos diretos e indiretos

Nesta etapa, Dias (2003) define as atividades basais de estabelecimento qualitativo e quantitativo do escopo do orçamento e a definição dos recursos diretos e indiretos. Nesta etapa, são montadas as composições que traduzem a totalidade dos custos envolvidos na execução de um determinado serviço - material, mão de obra e demais equipamentos, encargos e custos atrelados a ele.

Segundo Mattos (2007), a composição de custos é o processo de estabelecimento de custos individuais no qual são impostos requisitos pré-estabelecidos, levando em consideração todos os insumos que dizem respeito ao processo a ser executado. Mattos (2007) ainda afirma que, em termos usuais, as categorias de insumos incluídas nas composições de custos são de “material”, “mão-de-obra” e “equipamentos”.

Nota-se que, devido à escassez de aplicação do objeto de estudo do presente trabalho no estado de Alagoas, é inviável basear-se apenas na possibilidade de encontrar composições completas em bases de dados orçamentários como o SINAPI e o ORSE. Entretanto, pela similaridade de aplicação e método executivo dos sistemas de proteção, pode-se montar composições baseadas em insumos básicos de serviços e equipamentos de tais plataformas e planilhas, restando apenas o custo material a ser obtido.

### 3.5.2 Pesquisa de preços e condições de fornecimento

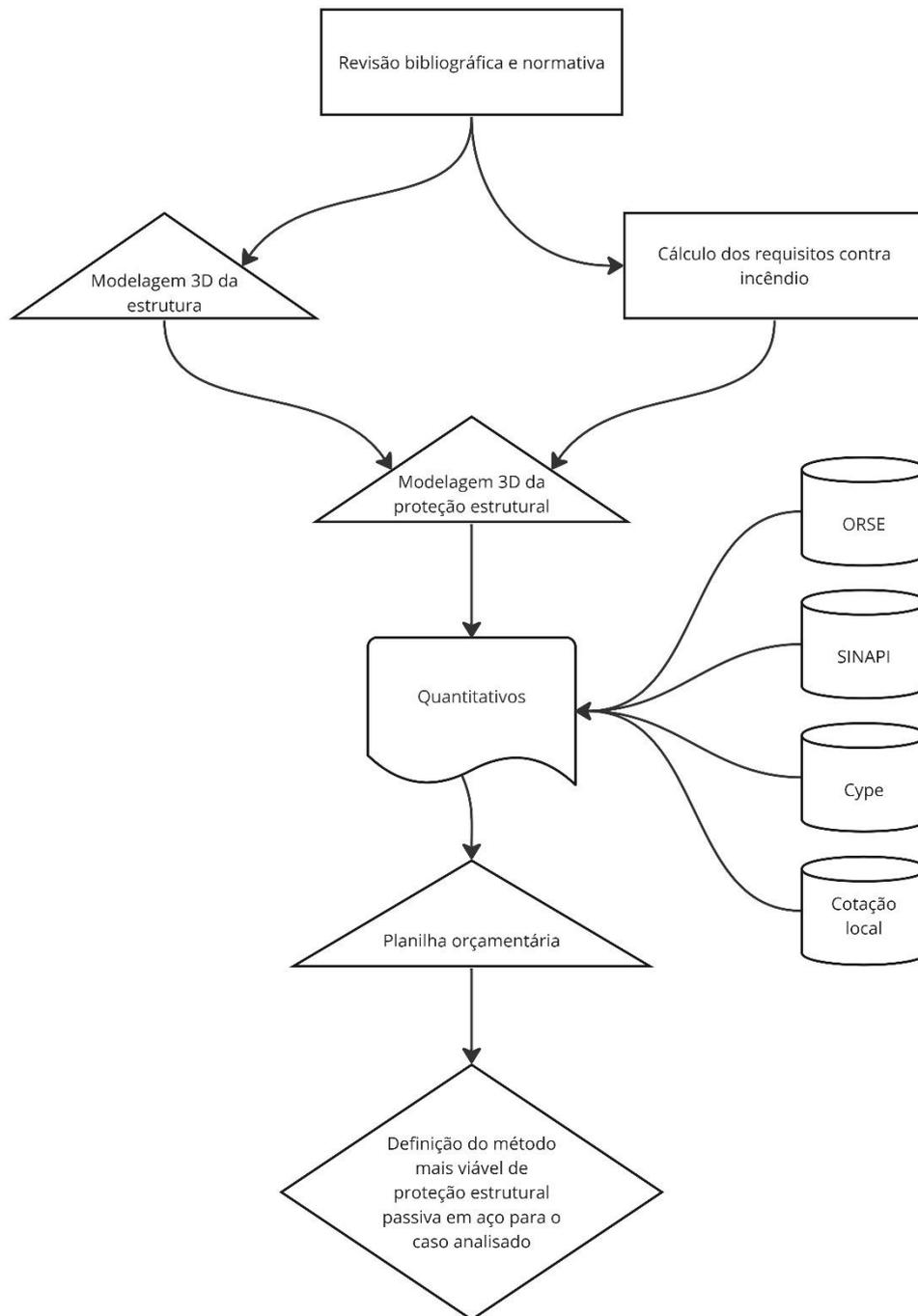
Como o objeto de estudo são metodologias variadas – não necessariamente amplamente aplicadas – de proteção estrutural contra incêndio em Maceió, é natural que o fornecimento e a disponibilidade de mercado dessas técnicas executivas sejam escassos. Dessa maneira, ao se estudar a viabilidade financeira da execução desses sistemas, é fundamental levar em consideração as condições de fornecimento e os preços aplicados nesta localidade.

Dias (2003) define as condições de fornecimento como o conjunto de encargos e custos adicionais que estão incluídos na compra e logística de entrega dos produtos. Nesse âmbito, são considerados impostos como ICMS, IPI, pagamento de frete e embalagens, possíveis pedágios no trajeto, entre outros itens. Além disso, enfatiza a necessidade de elaboração de uma curva ABC, graduando em importância os insumos listados, bem como definindo sua representação percentual com relação ao montante total da obra.

## 4 MÉTODOS

Para o presente trabalho, fez-se um estudo comparativo, com abordagem quantitativa, de natureza aplicada, a respeito do eixo temático disposto. As etapas para o desenvolvimento do trabalho estão dispostas no fluxograma apresentado na Figura 17.

Figura 17 - Organização metodológica



Fonte: Autor (2023).

#### **4.1 Revisão bibliográfica e normativa**

Atualmente, existem diversas publicações que regem e servem de base para as normas técnicas referentes à proteção estrutural contra incêndio. Nesse sentido, as normas brasileiras, como a ABNT NBR 14323 (2013) e a ABNT NBR 15200 (2012), tomam como referência normas da EU, como o Eurocode 1 e 3 (União Europeia, 2002) e a AISC 19 (Estados Unidos da América, 2003). Com base nessa literatura, pode-se ter um conceito específico dos parâmetros analisados nas estruturas em situação de incêndio e no cálculo de seus materiais de proteção.

Para este trabalho, foram adotadas as normas nacionais, assim como as prescrições das instruções técnicas do Corpo de Bombeiros de Alagoas. Estes, por sua vez, tomam como base as normas supracitadas.

#### **4.2 Modelagem 3D da estrutura e proteção estrutural**

Com o decreto 10.306 (BRASIL, 2020), o uso do BIM (Building Information Modelling) tornou-se obrigatório em diversos âmbitos da engenharia para fins públicos. Seu uso traz diversas vantagens, como a extração de quantitativos precisos, compatibilização de projetos, planejamento de obra integrado à fase de projeto, entre diversos outros (AMORIM et al., 2009).

Dessa maneira, é intuitivo acrescentar à característica do trabalho o uso de uma plataforma BIM, não apenas pensando no futuro, mas já no presente, uma vez que seu uso cotidiano já é realidade nos escritórios de engenharia e arquitetura pelo Brasil.

Para este trabalho, foi utilizado o software Revit®, com template estrutural metálico genérico carregado com os dados dos perfis comercializados pela Gerdau, especificados no projeto original, para geração de quantitativos precisos.

#### **4.3 Cálculo dos requisitos contra incêndio**

Segundo as normas atuais, como a ABNT NBR 14323 (2013) e a instrução técnica IT-08 (CBMAL, 2021), o dimensionamento dos materiais de proteção contra incêndio pode ser realizado das seguintes maneiras:

- a) de acordo com valores tabelados encontrados na própria norma;
- b) de acordo com ensaios laboratoriais realizados em conformidade com as normas vigentes.

Como as normas apresentam apenas tabelas para o uso do concreto não-estrutural e das

alvenarias em blocos cerâmicos e de concreto, deve-se recorrer aos ensaios laboratoriais realizados pelos fabricantes dos materiais de proteção passiva industrializados, que fornecem os dados de resistência ao fogo em função do fator de massividade e do tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF).

Dessa maneira, no atual trabalho, foi realizado o dimensionamento das duas formas – para o concreto não-estrutural e as alvenarias, utiliza-se as normas; para os demais materiais, utiliza-se a carta de cobertura contra incêndio fornecida pelo fabricante.

#### 4.4 Quantitativos

Os quantitativos foram obtidos por meio da modelagem BIM da estrutura e dos materiais de proteção, e divididos em 3 categorias, de acordo com o quantitativo obtido:

- a) tipo I: inclui os materiais de proteção passiva que são aplicados seguindo o perímetro exposto ao fogo do elemento estrutural, como a tinta intumescente, a argamassa projetada e a manta cerâmica;
- b) tipo II: inclui os materiais que são aplicados seguindo o perímetro de uma caixa circunscrita ao perfil exposto ao fogo da peça, como as alvenarias e as placas de gesso e lã de rocha;
- c) tipo III: inclui o concreto não-estrutural, material aplicado preenchendo o volume de uma caixa circunscrita ao perfil exposto ao fogo do elemento estrutural.

#### 4.5 Planilha orçamentária

Os orçamentos foram realizados de acordo com composições montadas a partir de insumos coletados de três plataformas – SINAPI, ORSE e Cype. Além disso, foram tentados contatos para coleta de orçamento diretamente com as fabricantes dos materiais, em que apenas a RockFibras, fabricante da placa de lã de rocha, elaborou e enviou um orçamento. Além do preço dos materiais, foram contabilizados serviços complementares para o caso das alvenarias (chapisco, emboço, reboco e pintura) e do concreto não-estrutural (armação, escoramento e montagem de fôrmas), além de frete para os produtos importados, contabilizados a partir do centro de distribuição mais próximo de Alagoas, quando disponível, ou do estado de São Paulo. Por fim, foi contabilizada também a mão-de-obra para os serviços mencionados, tomando como base, para os serviços não listados nos bancos de dados, serviços de natureza semelhante, como a execução de *light steel frame* para a proteção com placas de gesso ou lã de rocha. É possível encontrar as composições de preço específicas para cada material de proteção no Apêndice C.

#### **4.6 Definição do método mais viável de proteção estrutural passiva**

Os orçamentos obtidos foram analisados sob a óptica de diversos fatores, para além do preço total do serviço:

- a) carga adicional na estrutura, medida a partir do peso total do material de proteção;
- b) prazo de execução, medido a partir de dados de produtividade empíricos disponíveis na literatura;
- c) volume de armazenamento, medido a partir do peso próprio dos materiais de proteção.

A partir desses dados, é possível realizar uma análise completa e prática para a indústria da construção civil, definindo enfim o material de proteção estrutural passiva mais acessível para o caso estudado.

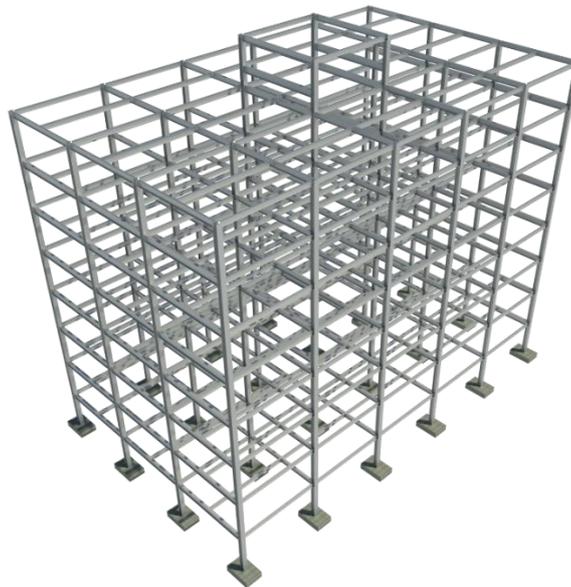
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Modelagem da estrutura

Para esta seção do desenvolvimento do trabalho, o *software* escolhido foi o *Autodesk Revit*. Trata-se de uma plataforma BIM que, por própria natureza, já permite extração rápida de quantitativos de materiais e modelagem rápida de peças estruturais mais complexas, como ligações de perfis em aço. Dessa maneira, de modo a maximizar a produtividade do estudo, optou-se por esta plataforma.

Foi utilizado um modelo genérico de projeto para a realização da modelagem, e nele foram carregados dados dos perfis comercializados pela Gerdau no ano corrente. Na Figura 18 abaixo, é possível ver uma renderização do modelo estrutural sem revestimento. A partir da modelagem, é possível adicionar os sistemas de proteção estrutural passiva, objetos do presente estudo. Com isso, extrai-se quantitativos precisos dos materiais utilizados para proteção passiva, e garante-se maior precisão no orçamento final.

Figura 18: Modelagem BIM da estrutura metálica nua



Fonte: Autor (2023).

O edifício base para o estudo foi extraído do livro “Edifício de Múltiplos Andares em Aço” (BELLEY et. al., 2008), já dimensionado segundo os critérios da NBR 8800 (2008). Do livro também foi extraído o Tempo de Resistência ao Fogo (TRF) da estrutura em questão, calculado de acordo com a ABNT NBR 14323 (2013).

## 5.2 Caracterização e classificação da edificação

As características principais da edificação e o dimensionamento estrutural foram extraídas do livro “Edifício de Múltiplos Andares em Aço” (BELLEY et. al., 2008). Nele, são definidas características básicas quanto ao uso e ocupação da edificação, bem como a nomenclatura utilizada para melhor compreensão do sistema estrutural.

### 5.2.1 Classificação da edificação

De acordo com a IT-01 (procedimentos administrativos) (CBMAL, 2021), para a determinação dos sistemas de proteção existentes na edificação é necessário classificar a edificação de acordo com critérios de utilização, risco e altura. Para a classificação objeto do presente trabalho, de acordo também com a IT-14, que trata de carga de incêndio nas edificações, e com a IT-08 (resistência ao fogo dos elementos de construção), têm-se:

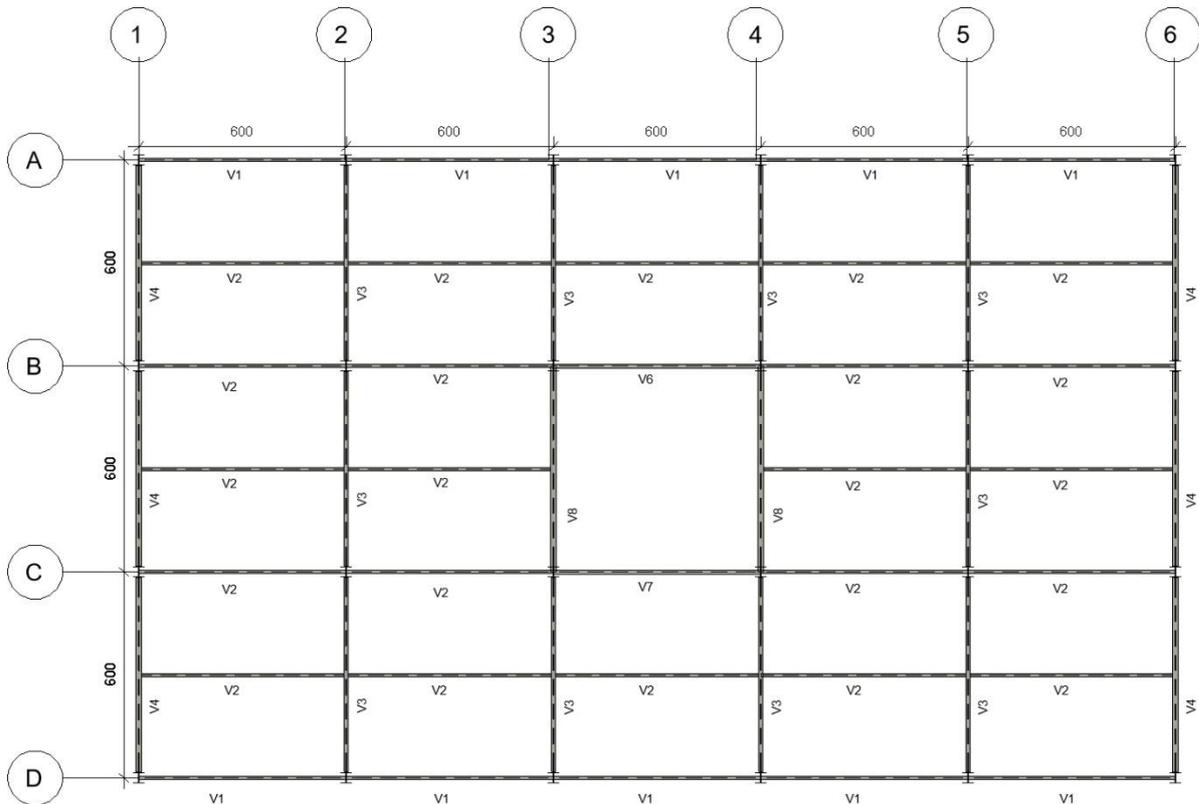
- a) de acordo com o uso e ocupação: D-1 (escritórios administrativos);
- b) de acordo com a altura: IV – Edificação de média altura;
- c) de acordo com a carga de incêndio: Médio ( $700\text{MJ/m}^2$ );
- d) de acordo com a altura (IT-08): P3.

### 5.2.2 Sistema estrutural

Bellei et. al (2008) determinaram os perfis a serem utilizados na estrutura, bem como apresentam, no livro “edifícios de múltiplos pavimentos em aço”, uma organização para o viga-tipo proposto para o pavimento tipo, a ser repetido desde a elevação 03m (primeira laje) até a elevação 21m (última laje habitada). Dessa maneira, admite-se o cálculo e o dimensionamento realizados, bem como serão utilizadas as mesmas nomenclaturas dos vigamentos e pilares, conforme Figura 19.

Ademais, em virtude do cálculo do tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF) pelo método do tempo equivalente exigir a entrada de dados de ventilação vertical e horizontal, considerou-se a estrutura com uma laje selada em *shafts* e aberturas, porém com janelas em cada uma das fachadas, de dimensões de 1,5m de largura por 1,0m de altura e peitoril de 1,0m, contabilizando uma unidade a cada 3,0m de parede de fachada. No total, contabiliza-se 20 janelas e uma área de ventilação de  $48\text{m}^2$ , considerando abertura plena de todas.

Figura 19: Vigamento do pavimento-tipo da edificação



Fonte: Bellei et al. (2008) e Autor (2023).

### 5.3 Cálculo do tempo requerido de resistência ao fogo

De acordo com a Instrução Técnica 01 do Corpo de Bombeiros Militar de Alagoas (2021), para elaboração do Projeto Técnico Contra Incêndio e Pânico deve constar “Memorial descritivo dos cálculos realizados para dimensionamento dos revestimentos das estruturas contra ação do calor e outros conforme IT 08 – Segurança estrutural contra incêndio (2021)”.

Dessa maneira, para que o presente trabalho obtenha resultados verossímeis, deve ser realizado, conforme instrução técnica emitida e requisitada pelo Corpo de Bombeiros, o dimensionamento dos revestimentos da estrutura contra ação do calor. Como é visado um comparativo entre diferentes métodos de segurança estrutural, deve-se realizar o dimensionamento adequado para todos eles.

Conforme prega a Instrução Técnica 08 do Corpo de Bombeiros Militar de Alagoas (CBMAL, 2021), o método usado para o cálculo do TRRF é o método tabular. Entretanto, de acordo com o item 5.3. desta mesma IT, é possível fazer uso do método do tempo equivalente como procedimento para redução do TRRF em edificações, com exceção para s edificações do grupo L e das divisões M-1, M-2 e M-3. A IT-08 também afirma que a redução do TRRF não deve ser superior a 30 minutos, quando comparada com o resultado obtido pelo método tabular.

Considerando ação ideal na elaboração do Projeto de Prevenção Contra Incêndio da edificação aqui tratada, foi calculado o TRRF pelo método tabular, cujo memorial de cálculo consta no Apêndice A, mas também foi calculado o TRRF pelo método do tempo equivalente, cujo memorial de cálculo consta no apêndice B.

Dessa maneira, pelo método tabular, foi obtido um TRRF de 60 minutos. Entretanto, após cálculo pelo método do tempo equivalente, foi possível reduzir o TRRF para 45 minutos.

#### **5.4 Dimensionamento dos materiais de proteção passiva**

De acordo com o material utilizado, a metodologia de dimensionamento é diferente: para materiais industrializados como tintas intumescentes e mantas fibrosas, por exemplo, o fabricante indica o tempo de resistência contra fogo (TRF) do material e o projetista indica a espessura ou a quantidade de camadas necessárias para atingir o Tempo Requerido de Resistência contra Fogo (TRRF). Para materiais convencionais, fabricados *in loco*, como alvenaria de vedação, concreto ou até mesmo gesso, o TRF – tempo de resistência ao fogo, inerente ao material de proteção, que, por norma, deve ser igual ou superior ao TRRF – é tabelado de acordo com as características do material utilizado, cabendo ao projetista a definição de sua espessura e demais especificações (como traço, utilização de aditivos, camadas de cerâmica, entre outras).

De modo geral, utiliza-se a equação 3.2 para o cálculo do tempo de resistência contra fogo de elementos estruturais de aço com revestimento de proteção contra fogo. Entretanto, como demonstrado a seguir, o fabricante dos elementos estruturais já provê o acréscimo do TRF de acordo com a espessura aplicada de seu material. Para outros elementos, é possível encontrar referências bibliográficas e até normativas para o TRF, sob seus respectivos parâmetros.

Para o presente trabalho, foram dimensionados os seguintes materiais de proteção estrutural passiva contra incêndio:

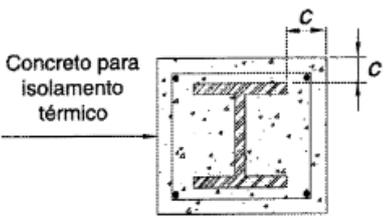
- a) concreto não-estrutural;
- b) argamassa projetada;
- c) placas de gesso;
- d) placas de lã de rocha;
- e) alvenaria de vedação com blocos cerâmicos;
- f) alvenaria de vedação com blocos de concreto celular;
- g) manta cerâmica;
- h) tintas intumescentes.

O procedimento de cálculo para cada um dos materiais de proteção está descrito nos subitens abaixo.

#### 5.4.1 Concreto não-estrutural

De acordo com a tabela B.2 da ABNT NBR 14323 (ABNT, 2013), é possível definir o tempo de resistência ao fogo de pilares de aço com cobrimento de concreto destinado apenas ao isolamento térmico. De acordo com ela, pode-se dimensionar o cobrimento adequado para o TRRF desejado.

Tabela 2: Cobrimento de concreto para TRRF

	TRRF min				
	30	60	90	120	180
Cobrimento de Concreto (c) mm	0	25	30	40	50

Fonte: NBR 14323 (2013)

Dessa maneira, utilizaremos um cobrimento de concreto de 25mm de espessura, de maneira a envolver de maneira uniforme todo o perfil da seção, como pode ser visto na Figura 14.

#### 5.4.2 Alvenaria de vedação

O CBMAL, em sua IT-08 (2021) traz no anexo B uma tabela informativa com os resultados de ensaios normatizados para a determinação do TRF. Essa tabela possui informações que possibilitam ao engenheiro o dimensionamento da alvenaria de proteção contra incêndio, como pode ser visto na tabela abaixo, cujos dados referem-se a espessura padrão de argamassa de assentamento de 1cm, de traço 1:1:8 em volume (1:8 para tijolos cerâmicos); e de argamassa de revestimento, 1,5cm, com traço do chapisco de 1:3 e do emboço de 1:2:9, em volume.

Tabela 3: Ensaios de resistência ao fogo de alvenarias

Paredes ensaiadas (*)		Espessura total da parede (cm)	Duração do ensaio (min)	Resistência ao fogo (min)
<b>Parede de blocos vazados de concreto (2 furos) blocos com dimensões nominais: 14 cm x 19 cm x 39 cm e 19 cm x 19 cm x 39 cm; e massas de 13 kg e 17 kg respectivamente</b>	Bloco de 14 cm sem revestimento	14	100	90
	Bloco de 19 cm sem revestimento	19	120	90
	Bloco de 14 cm com revestimento	17	150	120
	Bloco de 19 cm com revestimento	22	185	180

<b>Paredes de tijolos cerâmicos de 8 furos (dimensões nominais dos tijolos 10 cm x 20 cm x 20 cm (massa 2,9 kg))</b>	Meio tijolo com revestimento	13	150	120
	Um tijolo com revestimento	23	300(**)	>240

(\*) Paredes sem função estrutural ensaiadas totalmente vinculadas dentro da estrutura de concreto armado, com dimensões 2,8m x 2,8m totalmente expostas ao fogo (em uma face);

(\*\*) Ensaio encerrado sem ocorrência de falência em nenhum dos 3 critérios de avaliação.

**Fonte:** Corpo de Bombeiros Militar de Alagoas (2021). Adaptado.

Para a alvenaria de vedação em blocos de concreto, prescreve-se uma proteção de espessura de um bloco de 14cm, sem necessidade de revestimento resistente ao fogo. Por sua vez, para o sistema com blocos cerâmicos, prescreve-se revestimento com meio tijolo e revestimento argamassado.

#### 5.4.3 Placas de gesso

De acordo com a ABNT NBR 14323 (ABNT, 2013), é possível utilizar a equação 3.2 para definir o Tempo de Resistência ao Fogo (TRF) de um perfil metálico revestido com um material de proteção passiva.

Quando tais materiais são industrializados, é comum que os fabricantes forneçam em fichas técnicas os dados necessários para o cálculo do TRF seguindo tal equação, conforme Tabela 4. Entretanto, também é comum – e até mais prático – que forneçam também o tempo de resistência ao fogo proporcionado por uma determinada espessura de placa, conforme tabela 5.

Tabela 4: Propriedades físicas de uma placa de gesso do tipo RF (resistência ao fogo)

Propriedade (un. de medida)	Valor numérico
Espessura (mm)	15
Densidade superficial (kg/m <sup>2</sup> )	Mín: 10, Máx: 14
Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	Mín: 667, Máx: 934
Calor Específico (J/kg.K)	1000
Condutividade Térmica (W/m.V)	0,21

**Fonte:** Knauf do Brasil (2023). Adaptado.

Tabela 5: TRF-padrão para chapas de gesso do tipo RF

Número de Chapas	Espessura	TRF
1	15 mm	30 min
2	15 mm	60 min
3	15 mm	90 min

**Fonte:** Knauf do Brasil (2023).

Aqui, utilizaremos duas chapas de espessura 15mm concatenadas, de modo a alcançar um TRF de 60 minutos.

#### 5.4.4 Placas de lã de rocha

Assim como nos demais materiais industrializados, é usual que o dimensionamento seja feito seguindo uma carta de cobertura, disponibilizada pelo fabricante, que relaciona os dados de tempo de resistência ao fogo com o fator de forma, de maneira que é possível extrair a espessura necessária do material para que seja realizado o dimensionamento. Na Tabela 6 é possível ver a carta de cobertura para a lã de rocha Thermax, da fabricante Rockfibras.

Tabela 6: Carta de cobertura para a lã de rocha Thermax

Fator de Forma (m-1)	Resistência ao Fogo (minutos)				
	30	60	90	120	180
60	25	25	25	25	50
65	25	25	25	38	50
70	25	25	25	38	50
75	25	25	25	38	63
80	25	25	25	38	63
85	25	25	25	38	63
90	25	25	25	38	63
95	25	25	25	38	63
100	25	25	38	38	76
105	25	25	38	50	76
110	25	25	38	50	76
115	25	25	38	50	76
120	25	25	38	50	76
125	25	25	38	50	88
130	25	25	38	50	88
135	25	25	38	50	88
140	25	25	38	50	88
145	25	25	38	63	88
150	25	25	38	63	88
155	25	25	38	63	100
160	25	25	38	63	100
165	25	25	50	63	100
170	25	25	50	63	100
175	25	25	50	63	100
180	25	25	50	63	-
185	25	25	50	63	-
190	25	25	50	75	-
195	25	25	50	75	-
200	25	25	50	75	-
205	25	25	50	75	-
210	25	25	50	75	-
215	25	25	50	75	-
220	25	25	50	75	-

\*Considerando a temperatura crítica de 550°C

Fonte: Rockfibras (2023).

Para realizar o dimensionamento dos elementos, portanto, é necessário relacionar o fator de forma com os dados da Tabela 6. Esse dimensionamento pode ser visto na Tabela 7, abaixo.

Tabela 7: Dimensionamento das vigas para lã de rocha Thermax

Vigas	Perfil W	u/A (m-1)	Espessura de Lã de Rocha (mm)
Vigas centrais			
V2	310 x 32,7	219,00	25
V3	360 x 39	218,00	25
Vigas extremas			
V1	310 x 21	166,00	25
V4	460 x 68	80,00	25
Vigas de fechamento das escadas e elevadores			
V8	60 x 88	80,00	25
V6, V7	60 x 39	111,00	25

Fonte: Rockfibras (2023).

Tabela 8: Dimensionamento dos pilares para Lã de Rocha Thermax

Pilares	Perfil HP	u/A (m-1)	Espessura de Lã de Rocha (mm)
Pilares centrais			
B2 a B5, C2 a C5	310 x 79	120	25
Pilares Intermediários			
A2 a A5, D2 a D5	310 x 79	60	25
Pilares de canto			
A1, A6, D1, D6	310 x 79	60	25

Fonte: Rockfibras (2023).

#### 5.4.5 Manta cerâmica

As mantas cerâmicas, usualmente aplicadas no isolamento térmico de fornos e tubulações industriais, também podem ser utilizadas como elementos de proteção passiva contra incêndio em estruturas metálica, sendo fixadas por grampos ou pinos, diretamente na estrutura, acompanhando seu perfil.

Seu dimensionamento é realizado de acordo com a carta de cobertura contra incêndio disponibilizada pelo fabricante ou fornecedor, em função do tempo de resistência ao fogo e do fator de forma (ou fator de massividade) do elemento a ser protegido.

Entretanto, em virtude da sua baixa utilização, o mercado desses materiais com a específica finalidade de proteção estrutural passiva é pouco denso. Os contatos com fornecedores e fabricantes que foram tentados durante a produção deste trabalho não obtiveram resposta. Dessa forma, não foi possível obter a carta de cobertura e realizar o dimensionamento para a manta de fibras cerâmicas.

#### 5.4.6 Tintas intumescentes

As tintas intumescentes, características por sua pouca espessura, apresentam baixa capacidade de resistência ao fogo quando comparadas aos materiais de proteção mais robustos.

São indicadas, portanto, para elementos com baixo TRRF, baixa massividade, em situação externa.

Tendo em vista a necessidade de dimensionamento, é possível utilizar a Tabela 09 que, como nos materiais anteriores, relaciona o fator de massividade com a dimensão do material de proteção.

Tabela 9: Carta de cobertura contra fogo para tinta intumescente

Espessura de tinta			
Fator de Massividade	TRF		
	30	45	60
65	299	299	628
70	299	299	729
75	299	299	825
80	299	328	916
85	299	393	1003
90	299	455	1086
95	299	515	1165
100	299	571	1241
110	299	677	1383
120	299	775	1513
130	299	865	1633
140	299	948	1744
150	299	1025	1848
160	299	1096	1943
170	299	1163	2033
180	374	1226	2116
190	411	1284	2194
200	445	1339	-
210	477	1391	-
220	507	1439	-
230	536	1485	-
240	563	1529	-
250	589	1570	-

Fonte: Cype (2023).

É possível notar, no entanto, que a carta de cobertura desse material permite ao engenheiro responsável calcular sua espessura para um TRRF de 45 minutos. Como a edificação deste trabalho obteve um TRRF, pelo método do tempo equivalente – detalhado no apêndice B –, de 45 minutos, o dimensionamento da camada de tinta foi realizado para este tempo. Para os demais elementos estruturais, segue o indicado na Tabela 10.

Tabela 10: Dimensionamento da tinta intumescente

Elementos	Massividade	Espessura da camada de tinta
	m-l	Micrômetro
Vigas centrais		
V2	219	1439
V3	218	1439
Vigas extremas		
V1	166	1163
V4	80	328

Vigas de fechamento de escadas e elevadores		
V8	80	328
V6, V7	111	775
Pilares centrais		
B2 a B5, C2 a C5	120	775
Pilares intermediários		
A2 a A5, D2 a D5	60	299
Pilares de canto		
A1, A6, D1, D6	60	299

**Fonte:** Autor (2023).

#### 5.4.7 Argamassa projetada

É possível encontrar, para certos fabricantes, a carta de cobertura contra fogo de seus produtos. Para este projeto, utiliza-se como referência a argamassa projetada contra fogo da Placo Saint-Gobain (SAINT-GOBAIN PLACO IBÉRICA S.A., 2020), cuja carta de cobertura está disposta na Tabela 11. O dimensionamento encontra-se na Tabela 12.

Tabela 11: Carta de cobertura para argamassa projetada

Fator de Massividade	Espessura de argamassa	
	TRF	
	30	60
60	10	12
65	10	13
70	10	13
75	10	14
80	10	14
85	10	14
90	10	15
95	10	15
100	10	15
110	10	16
120	10	16
130	10	16
140	11	16
150	11	17
160	11	17
170	11	17
180	11	17
190	11	17
200	11	18
210	12	18
220	12	18
230	12	18
240	12	18
250	12	18

**Fonte:** Placo Saint-Gobain (2023).

Tabela 12: Dimensionamento da argamassa projetada

Elementos	Massividade	Espessura da camada de argamassa
	m-l	mm
Vigas centrais		
V2	219	18
V3	218	18
Vigas extremas		
V1	166	17
V4	80	14
Vigas de fechamento de escadas e elevadores		
V8	80	14
V6, V7	111	16
Pilares centrais		
B2 a B5, C2 a C5	120	16
Pilares intermediários		
A2 a A5, D2 a D5	60	12
Pilares de canto		
A1, A6, D1, D6	60	12

Fonte: Autor (2023).

## 5.5 Quantitativos

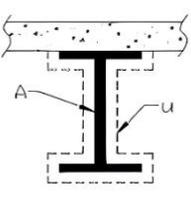
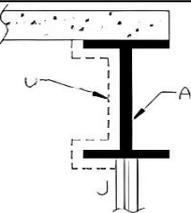
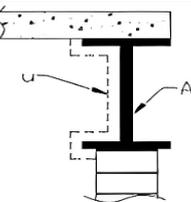
Para a extração dos quantitativos foram utilizadas como base a identificação dos elementos estruturais proposta no livro “Edifícios de Múltiplos Pavimentos em Aço” (BELLEI et al., 2008) e a modelagem BIM realizada para o presente trabalho. Para determinar o quantitativo da proteção estrutural, é necessário determinar o perímetro exposto ao fogo de cada peça. As Tabelas 6 e 7 mostram esses dados.

É possível perceber que, para o caso dos materiais de proteção dimensionados no presente trabalho, é possível classificá-los em 3 grupos:

- a) tipo I: contém os materiais que são aplicados seguindo o perímetro da peça, a exemplo da tinta intumescente, argamassa projetada e manta cerâmica;
- b) tipo II: contém os materiais que são aplicados seguindo o perímetro da caixa que envolve a peça, a exemplo da alvenaria de vedação e das placas de gesso e lã de rocha;
- c) tipo III: contém o concreto não-estrutural, que é aplicado preenchendo um retângulo circunscrito ao perfil da peça, com adição do cobrimento calculado em 5.1.1.

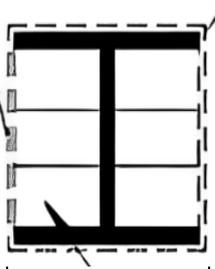
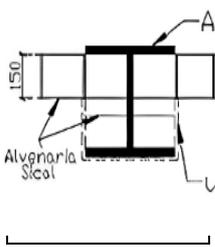
Para os materiais do tipo II, é necessário identificar o perímetro do retângulo circunscrito ao perfil, rotulado nas Tabelas 13 e 14 como “perímetro de caixa exposta ao fogo”. Para os materiais do tipo I, foi calculado apenas o perímetro exposto ao fogo do elemento estrutural em questão.

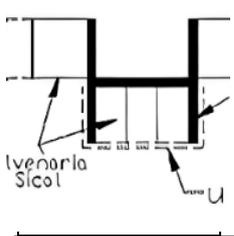
Tabela 13: Dados dos perfis das vigas

Diagrama	Vigas	Perfil W	A (cm <sup>2</sup> )	Perímetro Exposto ao Fogo (m)	Perímetro de Caixa Exposta ao Fogo (m)
Vigas centrais					
	V2	310 x 32,7	42,00	0,92	0,72
	V2A	310 x 32,7	42,00	0,92	0,72
	V3	360 x 39	50,00	1,09	0,83
	V3A	360 x 39	50,00	1,09	0,83
Vigas extremas					
	V1	310 x 21	27,00	0,45	0,35
	V1A	310 x 21	27,00	0,45	0,35
	V4	460 x 68	88,00	0,70	0,54
	V4A	360 x 32,9	42,00	0,55	0,42
Vigas de fechamento das escadas e elevadores					
	V9	60 x 39	50,00	0,56	0,30
	V8, V10	60 x 88	88,00	0,70	0,46
	V6, V7	60 x 39	50,00	0,56	0,35

Fonte: Autor (2023).

Tabela 14: Dados dos perfis dos pilares

Diagrama	Pilares	Perfil HP	A (cm <sup>2</sup> )	Perímetro Exposto ao Fogo (m)	Perímetro de Caixa Exposta ao Fogo (m)
Pilares centrais					
	B2 a B5, C2 a C5	310 x 79	100	1,20	1,20
Pilares extremos					
	A2 a A5, D2 a D5	310 x 79	100	0,60	0,60

Pilares de canto					
	A1, A6, D1, D6	310 x 79	100	0,60	0,60

Fonte: Autor (2023).

Para a estrutura, foram extraídos os quantitativos referentes à porção que será provida de materiais de proteção estrutural passiva contra incêndio, ou seja, todos os elementos estruturais principais até a elevação 21000, incluindo vigas e pilares. Nas Tabelas 15 e 16 é possível ver o quantitativo da estrutura.

Tabela 15: Quantitativo das vigas

Vigas	Perfil W	A (cm <sup>2</sup> )	Comp. (m)
Vigas centrais			
V2	310 x 32,7	42,00	924
V3	360 x 39	50,00	420
Vigas extremas			
V1	310 x 21	27,00	420
V4	460 x 68	88,00	252
Vigas de fechamento das escadas e elevadores			
V8	60 x 88	88,00	84
V6, V7	60 x 39	50,00	84

Fonte: Autor (2023).

Tabela 16: Quantitativo dos pilares

Pilares	Perfil HP	A (cm <sup>2</sup> )	Comp. (m)
Pilares centrais			
B2 a B5, C2 a C5	310 x 79	100	168
Pilares extremos			
A2 a A5, D2 a D5	310 x 79	100	168
Pilares de canto			
A1, A6, D1, D6	310 x 79	100	84

Fonte: Autor (2023).

Para os materiais de proteção, é imperativo o cálculo de três variáveis:

- o perímetro exposto ao fogo, para materiais do tipo I;
- o perímetro de caixa exposto ao fogo, para materiais do tipo II;
- a área da caixa exposta ao fogo, para materiais do tipo III.

Com esses dados, é possível multiplicá-los pelo comprimento das peças, calculado nas tabelas 8 e 9, de modo a obter, para os materiais do tipo I e II, uma área de aplicação; e para os materiais do tipo III, o volume a ser preenchido por ele. Esses dados podem ser vistos nas Tabelas 17 e 18, dispostas abaixo.

Tabela 17: Quantitativo de materiais das vigas de acordo com o tipo

Vigas	Perfil W	Comp. (m)	Perímetro Exposto ao Fogo (m)	Perímetro de Caixa Exposta ao Fogo (m)	Área de Caixa Exposta ao Fogo* (m <sup>2</sup> )	Área - Tipo 1 (m <sup>2</sup> )	Área - Tipo 2 (m <sup>2</sup> )	Volume - Tipo 3 (m <sup>3</sup> )
Vigas centrais								
V2	310 x 32,7	924	0,92	0,72	0,054	850,08	665,28	49,896
V3	360 x 39	420	1,09	0,83	0,072	457,8	348,6	30,24
Vigas extremas								
V1	310 x 21	420	0,45	0,35	0,02625	189	147	11,025
V4	460 x 68	252	0,7	0,54	0,05355	176,4	136,08	13,4946
Vigas de fechamento das escadas e elevadores								
V8	60 x 88	84	0,7	0,46	0,05355	58,8	38,64	4,4982
V6, V7	60 x 39	84	0,56	0,35	0,036	47,04	29,4	3,024

Fonte: Autor (2023).

Tabela 18: Quantitativo dos materiais dos pilares de acordo com o tipo

Pilares	Perfil HP	Comp. (m)	Perímetro Exposto ao Fogo (m)	Perímetro de Caixa Exposta ao Fogo (m)	Área de Caixa Exposta ao Fogo* (m <sup>2</sup> )	Área - Tipo 1 (m <sup>2</sup> )	Área - Tipo 2 (m <sup>2</sup> )	Volume - Tipo 3 (m <sup>3</sup> )
Pilares centrais								
B2 a B5, C2 a C5	310 x 79	168	1,2	1,2	0,1225	201,6	201,6	20,58
Pilares extremos								
A2 a A5, D2 a D5	310 x 79	168	0,6	0,6	0,06125	100,8	100,8	10,29
Pilares de canto								
A1, A6, D1, D6	310 x 79	84	0,6	0,6	0,06125	50,4	50,4	5,145

(\*) - A área de caixa exposta ao fogo já foi calculada contabilizando o cobrimento de concreto calculado em 5.4.1.

Fonte: Autor (2023).

## 5.6 Composições de preço

De acordo com Mattos (2007), a composição de custos para a orçamentação de um processo da indústria da construção civil é caracterizada, majoritariamente, pela contabilização dos insumos de materiais, mão-de-obra e equipamentos. Além disso, é importante levar em consideração também os encargos sociais da mão-de-obra.

Dessa maneira, para os materiais aqui estudados, foram montadas composições que levam em consideração os fatores anteriormente citados, e que estão expostos neste capítulo. As composições locais mais detalhadas podem ser vistas no Anexo A.

### 5.6.1 Concreto não-estrutural

Para o concreto não-estrutural, foi composta a composição utilizando um concreto-base de 15MPa, bem como barras longitudinais e estribos em distribuição usual para fins construtivos de bitola 10mm. Ademais, foi contabilizado também o serviço de fôrma e escoramento. É possível ver a cotação para o concreto não estrutural na Tabela 19 abaixo.

Tabela 19: Planilha orçamentária para o concreto não-estrutural

Fonte	Descrição	Quantidade	Und.	Custo Unitário	Custo total
Comp. Local	Concreto fck=15MPa, lançado e adensado	148,20	m <sup>3</sup>	R\$ 504,44	R\$ 74.758,01
Composição Local	Armação de pilar ou viga de estrutura convencional de concreto armado utilizando aço ca-50 de 10,0 mm	12453,21	kg	R\$ 13,69	R\$ 170.484,44
Composição Local	Forma plana para estruturas, em compensado resinado de 10mm, 05 usos, inclusive escoramento	1717,8	m <sup>2</sup>	R\$ 48,36	R\$ 83.072,81
<b>Total:</b>					<b>R\$ 328.315,26</b>

Fonte: Autor (2023).

### 5.6.2 Alvenaria de vedação em blocos cerâmicos

Para este sistema, foram considerados blocos cerâmicos vazados de dimensões 9x19x19, em centímetros, com argamassa de assentamento com preparo em betoneira. Segundo o dimensionamento, não há necessidade de proteção adicional com revestimento, mas a composição foi montada partindo do pressuposto de que não é usual e nem recomendado, para fins de estanqueidade, a alvenaria nua. Assim, foi utilizada como a composição do SINAPI, acrescida da composição para chapisco, emboço, reboco e pintura genérica, disposta na Tabela 20.

Tabela 20: Planilha orçamentária para alvenaria em blocos cerâmicos

<b>Alvenaria em blocos vazados de cerâmica, com chapisco, emboço, reboco e pintura PVA látex convencional</b>					
Fonte	Descrição	Quantidade	Und.	Custo Unitário	Custo total
Composição local	Alvenaria de vedação: blocos cerâmicos furados na horizontal de 9x19x19 cm e argamassa de assentamento preparada em betoneira.	1717,8	m <sup>2</sup>	R\$ 78,36	R\$ 134.606,81
Composição local	Chapisco aplicado em alvenarias e estruturas de concreto internas, com colher de pedreiro. argamassa traço 1:3 com preparo em betoneira 400l (m <sup>2</sup> )	1717,8	m <sup>2</sup>	R\$ 4,27	R\$ 7.335,01
Composição local	Emboço ou massa única em argamassa traço 1:2:8, preparo manual, aplicada manualmente nas paredes internas da sacada, espessura de 25 mm, sem uso de tela metálica de reforço contra fissuração (m <sup>2</sup> )	1717,8	m <sup>2</sup>	R\$ 72,84	R\$ 125.124,55
Composição local	Reboco interno, de parede, com argamassa traço t6 - 1:2:10 (cimento / cal / areia), espessura 3,0 cm	1717,8	m <sup>2</sup>	R\$ 26,38	R\$ 45.315,56
Composição local	Pintura para interiores, sobre paredes ou tetos, com lixamento, aplicação de 01 demão de líquido selador e 02 demãos de tinta pva látex convencional para interiores (m <sup>2</sup> )	1717,8	m <sup>2</sup>	R\$ 14,40	R\$ 24.736,32
<b>Total:</b>					<b>R\$ 337.118,25</b>

Fonte: Autor (2023).

### 5.6.3 Alvenaria de vedação em blocos de concreto

Para a alvenaria em blocos de concreto, entretanto, segundo dimensionamento, serão utilizados blocos de concreto de 14cm de espessura, calculados aqui com revestimento em chapisco, emboço, reboco e pintura genérica. Os dados foram obtidos com base nas referentes composições do SINAPI, cujo resultado pode ser visto na Tabela 21.

Tabela 21: Planilha orçamentária para alvenaria em blocos de concreto

<b>Alvenaria em blocos vazados de concreto, com chapisco, emboço, reboco e pintura PVA látex convencional</b>					
Fonte	Descrição	Quantidade	Und.	Custo Unitário	Custo total
Composição local	Alvenaria de vedação de blocos vazados de concreto aparente de 14x19x39 cm (espessura 14 cm) e argamassa de assentamento com preparo em betoneira (m <sup>2</sup> )	1717,8	m <sup>2</sup>	R\$ 99,16	R\$ 170.337,05
Composição local	Chapisco aplicado em alvenarias e estruturas de concreto internas, com colher de pedreiro. argamassa traço 1:3 com preparo em betoneira 400l (m <sup>2</sup> )	1717,8	m <sup>2</sup>	R\$ 4,27	R\$ 7.335,01
Composição local	Emboço ou massa única em argamassa traço 1:2:8, preparo manual, aplicada manualmente nas paredes internas da sacada, espessura de 25 mm, sem uso de tela metálica de reforço contra fissuração (m <sup>2</sup> )	1717,8	m <sup>2</sup>	R\$ 72,84	R\$ 125.124,55
Composição local	Reboco interno, de parede, com argamassa traço t6 - 1:2:10 (cimento / cal / areia), espessura 3,0 cm	1717,8	m <sup>2</sup>	R\$ 26,38	R\$ 45.315,56
Composição local	Pintura para interiores, sobre paredes ou tetos, com lixamento, aplicação de 01 demão de líquido selador e 02 demãos de tinta pva látex convencional para interiores (m <sup>2</sup> )	1717,8	m <sup>2</sup>	R\$ 14,40	R\$ 24.736,32
<b>Total:</b>					<b>R\$ 372.848,49</b>

Fonte: Autor (2023).

### 5.6.4 Placas de lã de rocha

Para as placas de lã de rocha, foi utilizada cotação do material com a empresa Alkegen (RockFibras), e acrescido o valor do frete e mão-de-obra com base em serviços similares disponíveis no ORSE (CEHOP, 2023). O orçamento pode ser visto na Tabela 22.

Tabela 22: Orçamento para proteção passiva com placas de lã de rocha

<b>Proteção estrutural passiva com placas de lã de rocha Thermax ou similar - transporte e instalação (m<sup>2</sup>)</b>					
Fonte	Descrição	Quantidade	Unidade	Custo Unitário	Custo total
Composição local	Placa de gesso acartonado, tipo RF (resistente ao fogo), espessura 15mm, com instalação (m <sup>2</sup> )	1717,8	m <sup>2</sup>	R\$ 99,60	R\$ 171.092,88
97918/SINAPI	Transporte com caminhão basculante de 6 m <sup>3</sup> , em via urbana pavimentada, dmt até 30 km	186,7524	t x km	R\$ 1,73	R\$ 323,08

97919/SINAPI	Transporte com caminhão basculante de 6 m <sup>3</sup> , em via urbana pavimentada, adicional para dmt excedente a 30 km	14815,6904	t x km	R\$ 0,68	R\$ 10.074,67
<b>Total:</b>					<b>R\$ 181.490,63</b>

Fonte: Autor (2023).

### 5.6.5 Placas de gesso acartonado do tipo RF

De maneira similar ao item anterior, para as placas de gesso acartonado, foi utilizada cotação do material com a empresa Knauf do Brasil, e acrescido o valor do frete e mão-de-obra com base em serviços similares disponíveis no ORSE (CEHOP, 2023) e pela plataforma da Cype (CYPE INGENIEROS S.A., 2023). O orçamento final pode ser visto na Tabela 23.

Tabela 23: Orçamento para proteção com placas de gesso do tipo RF

Fonte	Descrição	Quantidade	Unidade	Custo Unitário	Custo total
Composição local	Placa de gesso acartonado, tipo RF (resistente ao fogo), espessura 15mm, com instalação (m <sup>2</sup> )	3435,6	m <sup>2</sup>	R\$ 92,37	R\$ 317.346,37
97918/SINAPI	Transporte com caminhão basculante de 6 m <sup>3</sup> , em via urbana pavimentada, dmt até 30 km	1073,625	t x km	R\$ 1,73	R\$ 1.857,37
97919/SINAPI	Transporte com caminhão basculante de 6 m <sup>3</sup> , em via urbana pavimentada, adicional para dmt excedente a 30 km	18609,5	t x km	R\$ 0,68	R\$ 12.654,46
<b>Total:</b>					<b>R\$ 331.858,20</b>

Fonte: Autor (2023).

### 5.6.6 Manta Cerâmica

foram feitas tentativas de contato com fornecedores dos materiais de proteção estrutural passiva, mas até a finalização do trabalho não foi obtida resposta, o que tornou inviável o dimensionamento e a cotação deste material.

### 5.6.7 Argamassa projetada

Para a argamassa projetada, foi realizada composição com base no valor definido pela plataforma da Cype Engenharia (CYPE INGENIEROS S.A., 2023), com matéria prima da Placo Saint-Gobain (SAINT-GOBAIN PLACO IBÉRICA S.A., 2020), e acrescido o adicional para as diferentes espessuras do material, nos diferentes elementos estruturais. Para isso, foi realizado uma média ponderada das espessuras de projeto, de acordo com a área de utilização de cada espessura. Dessa maneira, obteve-se uma espessura média, que reflete com exatidão a quantidade total de matéria-prima a ser utilizada. A composição pode ser vista na Tabela 24, já acrescida do valor do frete.

Tabela 24: Composição para argamassa projetada

Insumo	Descrição	Quant.	Un	Preço unitário	Preço Insumo
mt41mig010/ CYPE	Argamassa ignífuga, composta de cimento em combinação com vermiculita, para proteção passiva contra o fogo através de projeção.	33,858	m <sup>3</sup>	R\$ 1.029,08	R\$ 34.842,61
mq06pym010 /CYPE	Misturadora-bombeadora para argamassas e gessos projetados, de 3 m <sup>3</sup> /h.	445,08	h	R\$ 22,33	R\$ 9.938,55
mo030/CYPE	Aplicador de produtos isolantes.	463,2	h	R\$ 23,85	R\$ 11.047,36
mo068/CYPE	Ajudante de aplicador de produtos isolantes.	463,2	h	R\$ 20,48	R\$ 9.486,37
CYPE	Custos diretos complementares	2	%	R\$ 65.314,90	R\$ 1.306,30
97918/SINAPI	Transporte com caminhão basculante de 6 m <sup>3</sup> , em via urbana pavimentada, dmt até 30 km	753,76	t x km	R\$ 1,73	R\$ 1.304,01
97919/SINAPI	Transporte com caminhão basculante de 6 m <sup>3</sup> , em via urbana pavimentada, adicional para dmt excedente a 30 km	60033,67	t x km	R\$ 0,68	R\$ 40.822,90
Total:					R\$ 108.748,10

Fonte: Cype (2023).

#### 5.6.8 Pintura intumescente

De maneira similar à argamassa projetada, foi realizada cotação com base no sistema Gerador de Preços, da Cype Engenharia (CYPE INGENIEROS S.A., 2023). A partir desta cotação, foi acrescido o valor da espessura média de tinta, calculada por meio da média ponderada das espessuras dimensionadas de acordo com a área de aplicação. Por fim, foi acrescido o valor da mão de obra e do frete, que podem ser conferidos na Tabela 25.

Tabela 25: Composição para pintura intumescente

Insumo	Descrição	Quant.	Und.	Preço unitário	Preço Insumo
mt27plj030a/ CYPE	Primer vedante de dois componentes para interior, à base de resinas epóxi e fosfato de zinco, cor cinza, para aplicar com trincha, rolo ou pistola.	251,74	l	R\$ 42,37	R\$ 10.666,22
mt27pwj010a /CYPE	Tinta intumescente, em emulsão aquosa monocomponente, cor branca, acabamento mate liso, para aplicar com pistola de alta pressão ou com trincha.	4631,1	kg	R\$ 40,78	R\$ 188.857,49
mo038/CYPE	Pintor.	211,32	h	R\$ 23,85	R\$ 5.039,97
mo076/CYPE	Ajudante de pintor.	211,32	h	R\$ 20,48	R\$ 4.327,83
CYPE	Custos diretos complementares	2	%	R\$ 208.891,51	R\$ 4.177,83
97918/SINAPI	Transporte com caminhão basculante de 6 m <sup>3</sup> , em via urbana pavimentada, dmt até 30 km	108,933	t x km	R\$ 1,73	R\$ 188,46
97919/SINAPI	Transporte com caminhão basculante de 6 m <sup>3</sup> , em via urbana pavimentada, adicional para dmt excedente a 30 km	11.022,02	t x km	R\$ 0,68	R\$ 7.494,98
Total:					R\$ 220.752,98

Fonte: Autor (2023).

## 5.7 Área ocupada

É intuitivo notar que uma das diferenças entre os métodos de proteção passiva contra incêndio é a área de piso ocupada na proteção dos pilares. Essa área, reduzida da área útil da edificação, desvaloriza o imóvel e reduz seu preço de venda. Assim, é justificável comparar não apenas o orçamento direto, como também o impacto de cada método no valor final de venda do empreendimento.

Na Tabela 26, pode-se observar a área ocupada, por pilar, de cada método de proteção, assim como o valor total. É válido observar também que os materiais do tipo I, aqui limitados a pinturas intumescentes, mantas cerâmicas e argamassas projetadas, por acompanharem o perfil da peça, não apresentam ocupação de área de piso relevante para fins de comparação.

Tabela 26: Ocupação de área de piso por método de proteção

Pilares	Perfil HP	Área de Piso ocupada - concreto (m <sup>2</sup> )	Área de Piso ocupada - Alv. Cerâmica (m <sup>2</sup> )	Área de Piso ocupada - Alv. Concreto (m <sup>2</sup> )	Área de Piso ocupada - Placas (m <sup>2</sup> )
Pilares centrais					
B2 a B5, C2 a C5	310 x 79	0,1225	0,2304	0,3364	0,16
Pilares extremos					
A2 a A5, D2 a D5	310 x 79	0,06125	0,1152	0,1682	0,08
Pilares de canto					
A1, A6, D1, D6	310 x 79	0,06125	0,1152	0,1682	0,08
<b>Total por pavimento:</b>		<b>1,715</b>	<b>3,2256</b>	<b>4,7096</b>	<b>2,24</b>
<b>Total na edificação:</b>		<b>13,72</b>	<b>25,8048</b>	<b>37,6768</b>	<b>17,92</b>

Fonte: Autor (2023).

A partir destes dados, é possível estimar o impacto do material na estética do ambiente, dificultando o posicionamento do mobiliário e reduzindo a área útil do empreendimento, fator que pode ser de interesse para investidores.

## 5.8. Interpretação dos resultados

O custo total dos materiais de proteção passiva passa por vários fatores, como frete, mão de obra, material e até a influência no custo final de venda do empreendimento. Dessa maneira, a depender da obra, diversas condições podem existir que tornam determinado material mais viável ou não. Dessa maneira, foram realizadas comparações em diversas situações, levando em consideração diferentes combinações das partes do insumo global, comparando fatores como volume ocupado, custo de transporte, produtividade (por meio do prazo estimado para finalização do serviço), bem uma comparação geral dos insumos coletados.

### 5.8.1 Composição geral de preços

Para a análise fundamental dos dados acima apresentados, é imprescindível observar a composição integral dos preços. Esses dados podem ser observados na Tabela 28, abaixo.

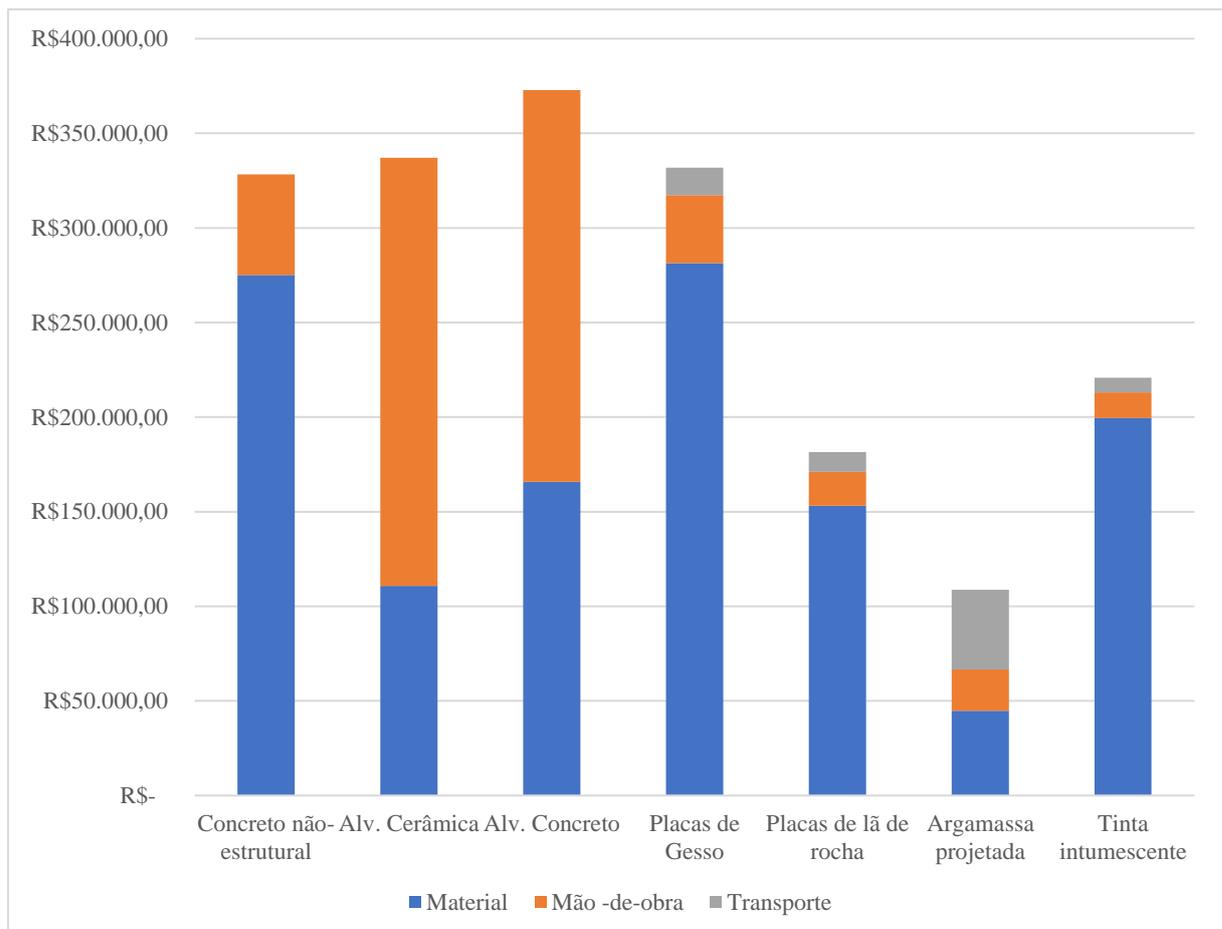
Tabela 27: Composição geral de preços para os materiais de proteção estudados

	Concreto não-estrutural	Alv. cerâmica	Alv. concreto	Placas de gesso	Placas de lâ de rocha	Argamassa projetada	Tinta intumescente
Material	R\$ 275.097,95	R\$ 110.723,78	R\$ 165.728,01	R\$ 281.375,65	R\$ 153.108,28	R\$ 44.781,17	R\$ 199.523,71
Mão-de-obra	R\$ 53.217,31	R\$ 226.394,47	R\$ 207.120,48	R\$ 35.970,72	R\$ 17.984,60	R\$ 21.840,02	R\$ 13.545,63
Transporte	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 14.511,83	R\$ 10.397,75	R\$ 42.126,91	R\$ 7.683,44
Total	R\$ 328.315,26	R\$ 337.118,25	R\$ 372.848,49	R\$ 331.858,20	R\$ 181.490,63	R\$ 108.748,10	R\$ 220.752,78

Fonte: Autor (2023).

Para melhor visualização, pode-se comparar os insumos acima dispostos por meio do Gráfico 01, abaixo.

Gráfico 1: Composição de preços para os materiais de proteção estudados

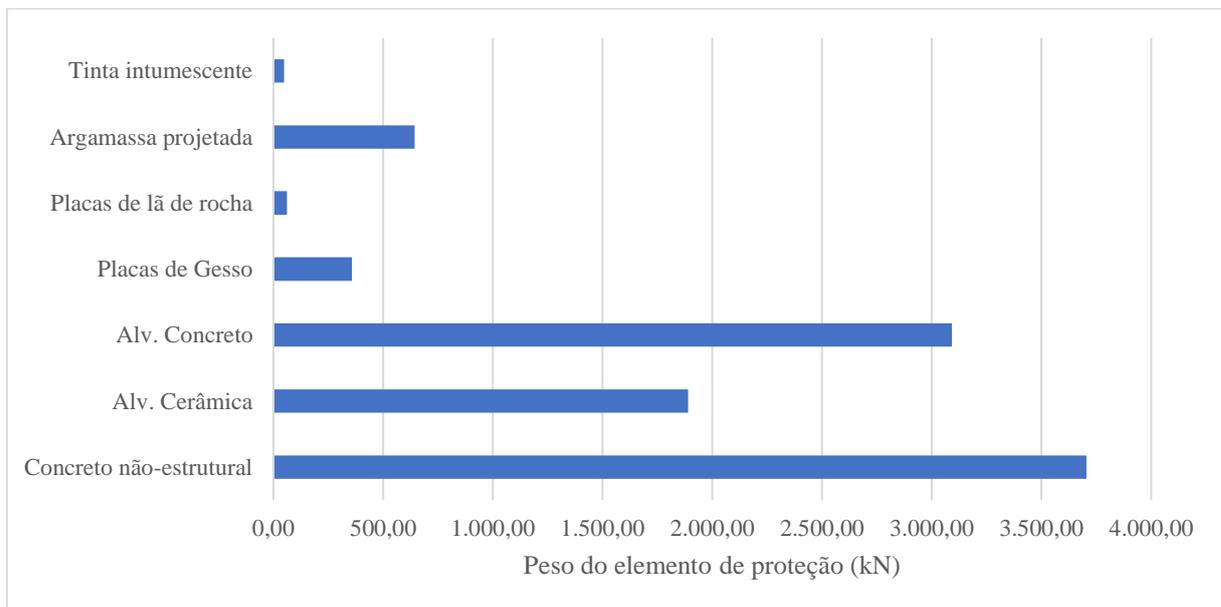


Fonte: Autor (2023).

### 5.8.2 Comparação de peso próprio

Para a construção civil, é sabido que maiores cargas atuantes na edificação geram maiores esforços na estrutura e, portanto, requerem perfis mais robustos, aumentando o custo de execução da estrutura. Dessa maneira, é fundamental também discutir a influência das cargas no custo geral de construção. A comparação entre os pesos de cada material pode ser vista no Gráfico 2.

Gráfico 2: Comparativo entre o peso dos materiais de proteção



**Fonte:** Autor (2023).

As cargas foram obtidas por meio dos relatórios técnicos, para os materiais industrializados, como a tinta intumescente (MAZA PRODUTOS QUÍMICOS, 2022), argamassa projetada (SAINT-GOBAIN PLACO IBÉRICA S.A., 2020), placas de gesso (KNAUF DO BRASIL, 2017) e placas de lã de rocha (ROCKFIBRAS, 2023). Para os materiais convencionais, fabricados in loco, como alvenarias e concreto armado, foi utilizada como fonte a NBR 6120 (ABNT, 2019), que trata de ações para o cálculo de estruturas de edificações.

É importante pontuar, também, que foi orçado um concreto de 15Mpa, o qual não possui função estrutural, mas apenas de proteção passiva contra incêndio.

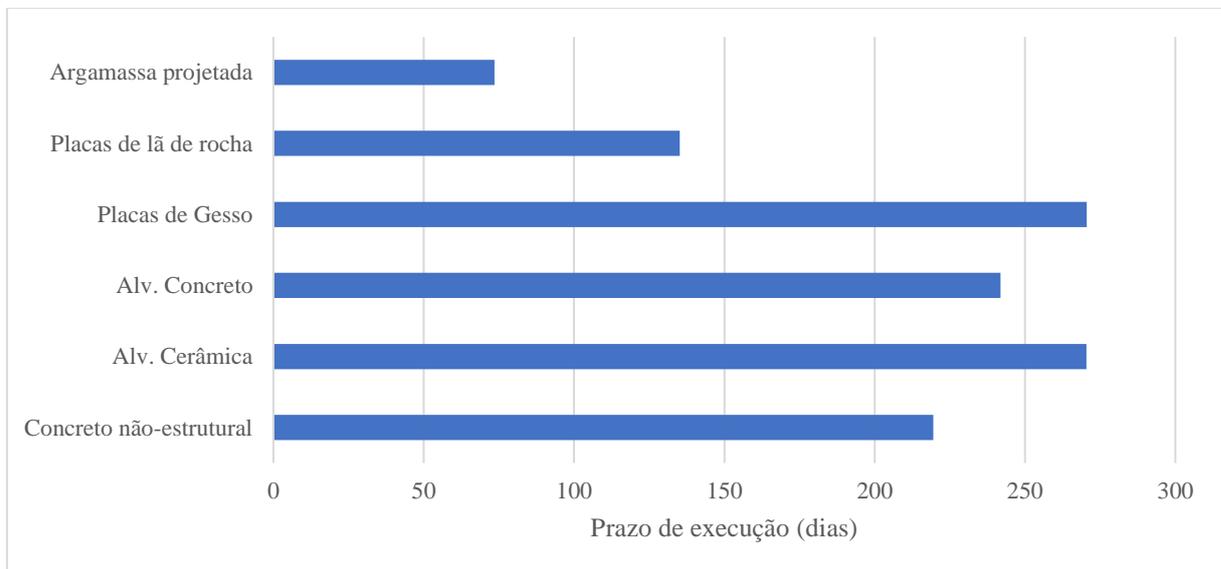
### 5.8.3 Comparação de prazo de execução

Atualmente, a indústria da construção civil utiliza metodologias de gestão que se baseiam na premissa de reduzir gastos desnecessários, focar nas atividades que agregam valor, sincronizar execução de serviços e reduzir desperdícios. Assim, como tais metodologias

ganham espaço no setor da construção civil, torna-se fundamental a análise crítica do prazo de execução dos serviços de proteção estrutural passiva contra incêndio.

Assim, a partir da coleta de dados de produtividade dos materiais de proteção aqui estudados, como argamassa projetada (AECWEB, 2015), placas de gesso e lã de rocha (TREVO DRYWALL, 2021), alvenaria em blocos cerâmicos (NETO et al., 2019) e em blocos de concreto (SOUZA, 2015), bem como para os serviços de fabricação e montagem de fôrmas e escoras, armação de peças de concreto e a concretagem em si, componentes da execução da proteção por meio de concreto não-estrutural (SCHIMITT, 2021); foi elaborado o Gráfico 3, disposto abaixo, que compara o prazo de execução dos serviços de proteção estrutural passiva, em dias, em função do material escolhido.

Gráfico 3: Comparativo dos prazos de execução para os materiais de proteção passiva



Fonte: Autor (2023).

Para a pintura intumescente não foram encontrados dados referentes ao serviço de pintura de estruturas metálicas, nem foram fornecidos pelo fabricante.

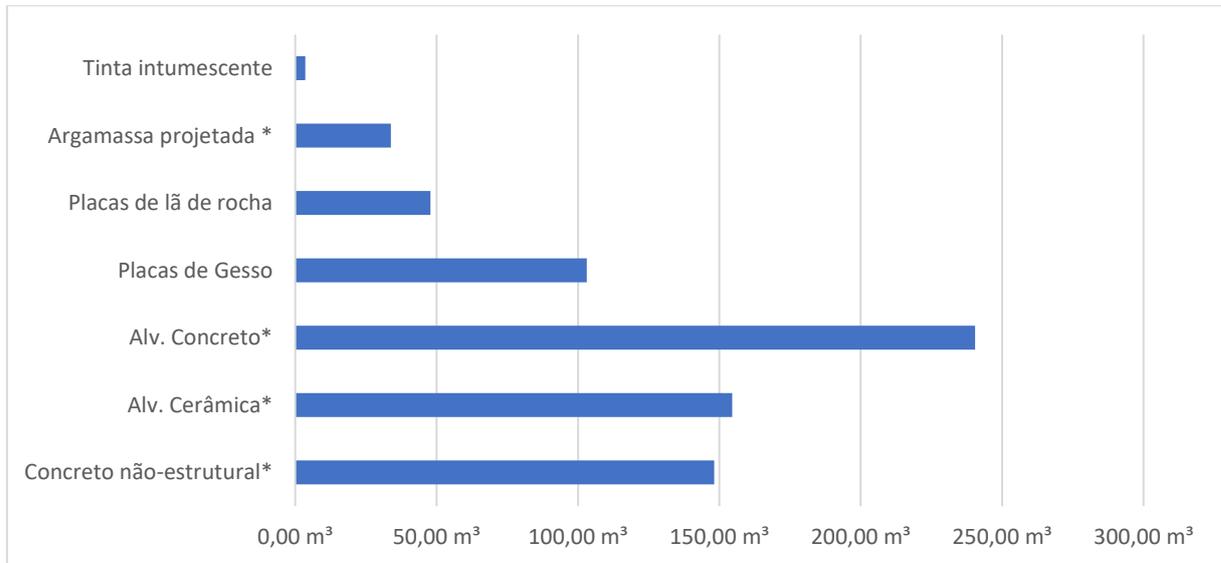
#### 5.8.4 Comparação do volume de armazenamento

Invariavelmente, a gestão de um canteiro de obras passa pela necessidade de armazenamento de materiais de construção. Entretanto, hodiernamente, o cuidado com o recebimento e armazenamento dos materiais recebe mais atenção. (SANTOS; VASCONCELOS, 2021)

Destarte, é fundamental proceder à análise dos elementos de proteção estrutural também como materiais de construção presentes em um canteiro de obras, e estes ocupam espaço e

tempo de produção. Assim, para comparar as influências dos materiais em termos de espaço ocupado em almoxarifados, bem como sua maneabilidade, foi montado um gráfico com os dados dos volumes de armazenamento de cada material, calculados a partir de sua massa específica, quando o volume não foi explicitado pelo fabricante, como foi o caso da tinta intumescente (MAZA PRODUTOS QUÍMICOS LTDA., 2022). Esta comparação pode ser vista no Gráfico 4.

Gráfico 4: Comparativo entre o volume de armazenagem dos materiais de proteção



Fonte: Autor (2023).

Também é importante o comentário de que os materiais marcados com um asterisco (\*) são materiais possíveis de se planejar a entrega com alta precisão, como os blocos de alvenaria, assim como podem ser fabricados *in loco*, como é o caso do concreto, da argamassa projetada e da argamassa de assentamento das alvenarias.

## 6 CONCLUSÃO

É inegável que o estudo de viabilidade para um determinado material, na indústria da construção civil, é um estudo bastante complexo e que envolve diversas variáveis: custo total, transporte, espaço ocupado, prazo de execução, materiais utilizados, capacitação de mão-de-obra, entre outros.

Nesse estudo, diversas variáveis foram analisadas, delimitadas por via da edificação-base do estudo, que reflete com precisão as diferenças presentes entre os materiais desde o momento do dimensionamento. No entanto, alguns dados ainda se mostraram de difícil acesso, e diversos materiais, como a manta de fibras cerâmicas, não puderam ser orçados em virtude da dificuldade de obtenção das informações necessárias.

É sabido, também, que diferentes obras possuem diferentes condições de implantação, fornecimento, armazenamento e gestão, assim como a diferença geográfica entre as diferentes cidades podem fazer a diferença na escolha do método ideal. Para embasar essa decisão, foram elaborados os Gráficos expostos no capítulo anterior.

De um modo geral, entretanto, de acordo com os dados aqui expostos, a proteção passiva com argamassa projetada se mostrou não apenas menos custosa, como também mais leve, de execução mais rápida e, ainda, com a possibilidade de ser fabricada no canteiro de obras, reduzindo o espaço de armazenamento ocupado quando comparada à média dos demais materiais, como explicitado na Tabela 29. Para tal produção, no entanto, é necessário realizar ensaios para garantia de resistência contra fogo da dosagem utilizada, conforme IT-08 (CBMAL, 2021).

Tabela 28: Comparação da argamassa projetada com a média geral

<b>Critério</b>	<b>Argamassa Projetada</b>	<b>Média geral</b>	<b>Relação</b>
Custo total	R\$ 108.748,10	R\$ 268.733,10	40,47%
Prazo de execução	73,51 dias	201,84 dias	36,42%
Volume de armazenamento	33,86 m <sup>3</sup>	104,52 m <sup>3</sup>	32,40%
Peso	643,30 kN	1399,88 kN	45,95%

**Fonte:** Autor (2023).

O segundo material mais viável mostrou-se, seguindo critério financeiro, a proteção com placas de lã de rocha. Entretanto, a diferença de custo entre este método e a pintura intumescente foi de R\$ 39.262,15, o que representa 21,64% de acréscimo, enquanto a pintura intumescente é mais leve e ocupa menos espaço de armazenamento, fatores que podem levar à escolha da pintura sobre as placas de lã de rocha.

É importante ressaltar, entretanto, que a escolha dos materiais de proteção passiva contra incêndio deve ser realizada de maneira única para cada obra, considerando suas condições de viabilidade, fornecimento e execução, sob responsabilidade de um profissional da engenharia competente e legalmente habilitado para tal.

## 6.1 Estudos derivados

O presente trabalho possui, em sua concepção, interfaces amplas e distintas com áreas da engenharia como estruturas, segurança do trabalho, ciência dos materiais e construção civil. Para todas elas é possível derivar estudos de importância científica e de contribuição para a sociedade, em maior ou menor grau.

Para a área de estruturas, uma vez que o cálculo do tempo de resistência ao fogo dos materiais de revestimento é desconsiderado o tempo de resistência do aço estrutural, pode-se estudar os efeitos dessa grandeza no cálculo dos materiais de proteção.

Por sua vez, na área de ciência e tecnologia dos materiais, a argamassa projetada, assim como o concreto não-estrutural, apresenta referências na literatura à possibilidade de adição com gesso ou vermiculita para aumentar sua capacidade ignífuga. Entretanto, não foi possível encontrar o cálculo ou especificações das dosagem utilizadas. Assim pode-se elaborar um estudo de dosagem para os materiais em questão, ensaiando-os para medir sua resistência ao fogo.

Na área de segurança do trabalho, mais especificamente no ramo de prevenção contra incêndio, as normas hoje vigentes sobre proteção estrutural contra fogo apresentam modelos de dimensionamento apenas para o concreto não-estrutural e alvenarias. Assim, essas poucas opções acabam por afastar o engenheiro e o mercado de proteção contra fogo de novas soluções, mais tecnológicas, baratas e acessíveis. Dessa maneira, pode-se estudar o desempenho dos demais materiais ignífugos, bem como estabelecer, em norma, critérios para sua utilização.

Por fim, no ramo da construção civil, é possível observar o reflexo de todos os estudos previamente citados, sua aplicação prática no canteiro de obras e viabilidade econômica.

Assim, o presente trabalho apresenta demanda por continuidade, proporcionando condições para que sejam derivados estudos de magnitude científica e prática, com potencial para promover o desenvolvimento de novas tecnologias e a segurança nos ambientes de trabalho e convivência.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5628**: Componentes Construtivos Estruturais - Determinação da Resistência ao Fogo. Rio de Janeiro, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800**: Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios. 2 ed. Rio de Janeiro, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14323**: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto em situação de incêndio. 2 ed. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14432**: Exigências de Resistência ao Fogo de Elementos Construtivos de Edificações - Procedimento. Rio de Janeiro, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Ações para o cálculo de estruturas de edificações. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
- BRASIL. Decreto nº 10.306, de 02 de abril de 2020. Brasília, DF: Imprensa Nacional, 02 abr. 2020.
- BRASIL. Lei nº 13425, de 30 de março de 2017. Brasília, DF: Imprensa Nacional.
- CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE ALAGOAS. **INSTRUÇÃO TÉCNICA Nº 08**: Segurança Estrutural Contra Incêndio. Maceió, 2021.
- CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE ALAGOAS. **INSTRUÇÃO TÉCNICA Nº 01**: Procedimentos Administrativos. Maceió, 2021.
- POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO, CORPO DE BOMBEIROS. **INSTRUÇÃO TÉCNICA Nº 08**: Segurança Estrutural Contra Incêndio. São Paulo, 2018.
- AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION. **AISC 19**: Fire Resistance of Structural Steel Framing. 1 ed. Chicago - IL, 2003.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 1991-1-2**: Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-2: General actions - Actions on structures exposed to fire. Bruxelas, Bélgica, 2002.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 1993-1-2**: Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design. Bruxelas, Bélgica, 2005.
- BELLEI, Ildony H.; PINHO, Fernando O.; PINHO, Mauro O. **Edifício de Múltiplos Andares em Aço**. 2. ed. São Paulo: Pini Ltda., 2008. 562 p.
- DIAS, Paulo Roberto Vilela. **Engenharia de Custos: uma metodologia de orçamentação para obras civis**. 4. ed. Rio de Janeiro: Ibec, 2003. 189 p.
- MATTOS, Aldo Dórea. **Como Preparar Orçamentos de Obras**. São Paulo: Pini Ltda., 2007. 286 p.

SILVA, Valdir Pignatta e; VARGAS, Mauri Resende; ONO, Rosária. **Manual de Construção em Aço: prevenção contra incêndio no projeto de arquitetura**. Rio de Janeiro: IABR/CBCA, 2010. 72 p.

GARLOCK, Maria E. Moreyra. **What Structural Engineers Must Know About Structural Fire Design**. Orlando, FL: NASCC - The Steel Conference, 2016. Color.

SILVA, Valdir Pignatta e; FAKURY, Ricardo Hallal. Brazilian standards for steel structures fire design. **Fire Safety Journal**, Amsterdã, v. 37, n. 2, p. 217-227, 22 ago. 2001.

SILVA, Valdir Pignatta e. Determination of the steel fire protection material thickness by an analytical process - a simple derivation. **Engineering Structures**. Amsterdã, p. 2036-2043. 19 ago. 2005.

SILVA, Valdir Pignatta e. Determination of the temperature of thermally unprotected steel members under fire situations. considerations on the section factor. **Latin American Journal Of Solid Structures**. São Paulo, p. 149-161. 30 nov. 2005.

MARTINS, Michele Mendonça. **Dimensionamento de Estruturas de Aço em Situação de Incêndio**. 2000. 232 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2000.

MELHADO, Sílvio Burrattino. **Edifícios de Estruturas de Aço: Segurança Contra Incêndio e Sistemas de Proteção da Estrutura**. 1989. 351 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

GEWAIN, Richard G.; IWANKIW, Nestor R.; ALFAWAKHIRI, Farid. **Fire. Facts For Steel Building**, Chicago, p. 1-55, out. 2003.

PANNONI, Fábio Domingos. **Proteção de Estruturas Metálicas Frente ao Fogo**. [S.I.], [2001].

GUIMARÃES, Patrícia Pamplona de Oliveira. **Sobre o Dimensionamento do Revestimento contra Fogo de Estruturas de Aço**. 2007. 266 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

MESQUITA, Alex. **Verificação da resistência de estruturas de aço ao fogo**. 2013. 124 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2013.

AMORIM, Sérgio Roberto Leusin; SOUZA, Livia Laubmeyer Alves de; LYRIO, Arnaldo de Magalhães. IMPACT FROM THE USE OF BIM IN ARCHITECTURAL DESIGN OFFICES: real estate market opportunities. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, [S.L.], v. 4, n. 2, p. 39-47, 15 dez. 2009. Universidade de São Paulo, Agência USP de Gestão da Informação Acadêmica (AGUIA). <http://dx.doi.org/10.4237/gtp.v4i2.100>.

CAMPOS, Cesar Cunha *et al.* **Indicador de Desenvolvimento Econômico e Social (IDES) dos Estados Brasileiros**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 2009.

HELMENSTINE, Anne Marie. **Is Fire a Gas, Liquid, or Solid?** 2020. Disponível em: <https://www.thoughtco.com/what-state-of-matter-is-fire-604300>. Acesso em: 05 out. 2022.

COSTA, Carla Neves. **Dimensionamento de Elementos de Concreto Armado em Situação De Incêndio**. 2008. 1 v. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica da USP, USP, São Paulo, 2008. Cap. 3.

CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 47., 2005, São Paulo. **O Método do Tempo Equivalente para o Projeto de Estruturas de Concreto em Situação de Incêndio**. São Paulo: Ibracon, 2005. 15 p.

KNAUF. **Proteção ao Fogo**. 2023. Disponível em: <https://knauf.com.br/paginas/protecao>. Acesso em: 02 mar. 2023.

OLIVEIRA NETO, Domingos Alves de; MORAES, Gustavo Henrique Peres de; MARTINS, Alex Mizael. **Avaliação da Produtividade da Mão de Obra na Execução de Alvenaria e Reboco em Construções de Pequeno Porte na Cidade de Rio Verde - GO**. Rio Verde – GO, 2019.

TEIXEIRA, Urian Souza. **Estudo da Produtividade da Mão de Obra em Alvenaria Estrutural com Blocos de Concreto, para Edificações Verticais com Tipologia PP-B**. 2015. 17 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma - Sc, 2015.

TREVO DRYWALL (Ceará). **Por que o drywall é mais vantajoso que a alvenaria**. 2021. Disponível em: <https://www.trevodrywall.com.br/conteudo/por-que-o-drywall-e-mais-vantajoso-que-a-alvenaria-d8v4k>. Acesso em: 20 abr. 2023.

AECweb. **Argamassa projetada aumenta produtividade e qualidade do revestimento**. 2015. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/revista/materias/argamassa-projetada-aumenta-produtividade-e-qualidade-do-revestimento/12147>. Acesso em: 20 abr. 2023.

SCHMITT, Thaís Karol Heck. **A PRODUTIVIDADE NA EXECUÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO EM PAVIMENTOS REPETITIVOS: UM ESTUDO DE CASO EM UMA OBRA LOCALIZADA EM PORTO ALEGRE – RS**. 2021. 189 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

COMPANHIA ESTADUAL DE HABITAÇÃO E OBRAS PÚBLICAS DE SERGIPE (Sergipe). **ORSE: Orçamento de Obras de Sergipe**. 2023. Disponível em: <http://orse.cehop.se.gov.br/>. Acesso em: 20 abr. 2023.

CYPE INGENIEROS S.A. (Espanha). **Gerador de preços para construção civil**. Disponível em: <http://www.brasil.geradordeprecos.info/#gsc.tab=0>. Acesso em: 20 abr. 2023.

MAZA PRODUTOS QUÍMICOS LTDA. (São Paulo). **Boletim Técnico: Maza tinta intumescente branca**. São Paulo, 2022.

SAINT-GOBAIN PLACO IBÉRICA S.A. (Espanha). **Igniver Gessos e Argamassas: ficha técnica**. Madrid, 2020.

S.A., Saint-Gobain Placo Ibérica. **SOLUCIONES EN PROTECCIÓN PASIVA**. Madrid: -, 2020.

Knauf do Brasil. **Ficha de informação e segurança de produtos químicos**. Rio de Janeiro, 2017.

CYPE INGENIEROS S.A. (Espanha). **Proteção de pilares e vigas: Tabela de espessuras recomendadas**. 2023. Disponível em: [http://cype.geradordeprecos.info/ioj026\\_esp\\_form\\_clase/](http://cype.geradordeprecos.info/ioj026_esp_form_clase/). Acesso em: 20 abr. 2023

SANTOS, I. F.; VASCONCELOS, A. C. F. DE. Filosofia Just in time e Construção Civil: verificação de práticas. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 17, p. e02101724463, 2021.

SERAFIM, Jorge Augusto. **Pilares mistos de aço e concreto parcialmente revestidos: comportamento isolado, aplicação em galpões industriais e comparativo com pilares de sistemas estruturais usuais**. 2013. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Estruturas e Construção Civil, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2013.

FAIRBANKS, Marcelo. **Tintas e Revestimentos – Como funciona a tinta intumescente**. 2013. Disponível em: <https://www.quimica.com.br/tintas-e-revestimentos-como-funciona-a-tinta-intumescente/>. Acesso em: 28 abr. 2023.

Termocom Engenharia (org.). **Proteção Passiva Contra Incêndio: estrutura metálica**. Estrutura Metálica. 2023. Disponível em: <https://www.termocom.com.br/estrutura-metalica>. Acesso em: 28 abr. 2023.

ANDRADE, Max Lira Veras X. de; RUSCHEL, Regina Coeli. BIM: Conceitos, Cenário das Pesquisas Publicadas no Brasil e Tendências. In: Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído, 9., 2009, São Carlos. **Simpósio**. São Carlos: [N.I.], 2009. p. 602-613.

CRUZ, Talita. **O que é Revit?: entenda como o programa otimiza o tempo e cria projetos mais completos**. Entenda como o programa otimiza o tempo e cria projetos mais completos. 2019. Disponível em: <https://www.vivadecora.com.br/pro/revit/>. Acesso em: 18 maio 2023.

AUTODESK. **Revit: software bim para projetistas, construtores e desenvolvedores**. software BIM para projetistas, construtores e desenvolvedores. 2023. Disponível em: <https://www.autodesk.com.br/products/revit/overview>. Acesso em: 18 maio 2023.

## **APÊNDICE A – MEMORIAL DE CÁLCULO DO TRRF PELO MÉTODO TABULAR**

### **A.1. CLASSIFICAÇÃO DA EDIFICAÇÃO**

Segundo o descrito nas instruções técnicas IT-01, IT-08 e IT-14 (CBMAL, 2021) e na ABNT NBR 14432 (ABNT, 2001), segue a classificação da edificação de acordo com os seguintes critérios:

- a) quanto à ocupação: D-1 (Escritórios Administrativos)
- b) quanto à altura: P3 (21m)
- c) quanto ao grau de risco: Médio (700 MJ/m<sup>2</sup>)

### **A.2. DETERMINAÇÃO DO TRRF**

De acordo com a tabela A.1 da NBR 14432 (ABNT, 2001) e a tabela A da IT-14 (CBMAL, 2021), têm-se o Tempo Requerido de Resistência ao Fogo para a presente edificação firmado em 60 minutos.

Entretanto, de acordo com o item A.2.6 da Instrução Técnica 14 (CBMAL, 2021) “O TRRF de elementos estruturais secundários pode ser reduzido de 30 min em relação aos determinados conforme item 5.3 desta instrução, mantendo-se um valor mínimo de 15 min.”. Assim, determina-se que o tempo requerido de resistência do fogo para elementos estruturais principais deve ser de, no mínimo, 60 minutos, enquanto o tempo requerido de resistência ao fogo para elementos estruturais secundários deve ser fixado em, no mínimo, 30 minutos.

## APÊNDICE B – MEMORIAL DE CÁLCULO DO TRRF PELO MÉTODO DO TEMPO EQUIVALENTE

### B.1. REQUISITOS DE PREVENÇÃO CONTRA INCÊNDIO

Segundo o descrito na instrução técnica IT-01 do CBMAL (CBMAL, 2021) para a edificação em questão, são necessários os seguintes itens de prevenção contra incêndio:

Quadro 2: Exigências de sistemas de proteção contra incêndio

X	Acesso de viatura do Corpo de Bombeiros	X	Detecção de incêndio
X	Separação entre edificações	X	Alarme de incêndio
X	Resistência ao fogo dos elementos de construção	X	Brigada de incêndio
X	Controle de material de acabamento	X	Bombeiro Civil
X	Sinalização de emergência	X	Plano de Emergência contra Incêndio
X	Iluminação de emergência	X	Compartimentação horizontal
X	Extintores de Incêndio	X	Compartimentação Vertical
X	Saídas de emergência		Controle de Fumaça
X	Hidrantes		Chuveiros automáticos

Fonte: Corpo de Bombeiros Militar de Alagoas (2021) – Adaptado.

### B.2. DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES DE CÁLCULO

De acordo com o descrito no Anexo D da IT-08 (CBMAL, 2021), o método do tempo equivalente para determinação do TRRF é pautado na seguinte equação:

$$t_{eq} = 0,07 \cdot q_{fi} \cdot \gamma_n \cdot \gamma_s \cdot W \quad (\text{Eq. B.1})$$

onde:

$t_{eq}$  – Tempo Equivalente, em minutos;

$q_{fi}$  – É o valor da carga de incêndio específica do compartimento analisado, em MJ/m<sup>2</sup>;

$\gamma_n$  – É o produto  $\gamma_{n1} \cdot \gamma_{n2} \cdot \gamma_{n3}$ , fatores adimensionais que levam em conta a presença de medidas de proteção ativa da edificação;

$\gamma_s$  – É o produto  $\gamma_{s1} \cdot \gamma_{s2}$ , fatores adimensionais que dependem do risco de incêndio;

$W$  – É um fator adimensional associado à ventilação do ambiente e à altura do compartimento analisado.

Dessa maneira, vê-se que existem alguns coeficientes que devem ser definidos para o cálculo adequado. Assim, de acordo com a mesma Instrução Técnica, procede-se:

### B.2.1. Coeficiente $\gamma_n$

De acordo com a Instrução Técnica citada e a equação B1, observa-se que o coeficiente  $\gamma_n$  é definido como o produto de 3 subfatores, que consideram a presença de medidas de proteção ativa da edificação.

Quadro 3: Valores de  $\gamma_{n1}$ ,  $\gamma_{n2}$  e  $\gamma_{n3}$

Valores de $\gamma_{n1}$ , $\gamma_{n2}$ e $\gamma_{n3}$		
Existência de Chuveiros Automáticos ( $\gamma_{n1}$ )	Brigada Contra Incêndio ( $\gamma_{n2}$ )	Existência de Detecção Automática ( $\gamma_{n3}$ )
0,6	0,9	0,9

Fonte: Corpo de Bombeiros Militar de Alagoas (2021).

Conforme o exposto em B.1, a edificação em questão deve possuir brigada contra incêndio e detecção automática de incêndio, mas não possui chuveiros automáticos. Dessa maneira, define-se  $\gamma_{n1} = 1$ ;  $\gamma_{n2} = 0,9$  e  $\gamma_{n3} = 0,9$ . Assim, o fator  $\gamma_n = 1 \times 0,9 \times 0,9 = 0,81$ .

### B.2.2. Coeficiente $\gamma_s$

De maneira semelhante ao item anterior, o coeficiente (Gamma)s é resultado do produto de dois subfatores, definidos na Instrução Técnica 14 do CBMAL (CBMAL, 2021) da seguinte maneira:

$$\gamma_{s1} = 1 + \frac{A_f(h + 3)}{10^5} \quad (\text{Eq. B.2})$$

onde:

- $1 \leq \gamma_{s1} \leq 3$
- $A_f$  – Área de piso do compartimento analisado, em  $m^2$ ;
- $h$  – Altura do piso habitável mais alto do edifício.

De acordo com o projeto (BELLEI et. Al, 2008), têm-se os dados:

- $A_f = 540 \text{ m}^2$  ;
- $H = 21 \text{ m}$  ;
- $\gamma_{s1} = 1,1296$ .

Segundo a mesma IT-14, o coeficiente  $\gamma_{s2}$  pode ser definido pelo seguinte Quadro:

Quadro 4: Risco de ativação

Valores de $\gamma_{s2}$	Risco de ativação do incêndio	Exemplos de Ocupação
0,85	Pequena	Escola, galeria de arte, parque aquático, igreja, museu
1,0	Normal	Biblioteca, cinema, correio, consultório médico, escritório, farmácia, frigorífico, hotel, livraria, hospital, laboratório fotográfico, indústria de papel, oficina elétrica ou mecânica, residência, restaurante, teatro, depósitos de: produtos farmacêuticos, bebidas alcoólicas, supermercado, venda de acessórios de automóveis, depósitos em geral
1,2	Média	Montagem de automóveis, hangar, indústria mecânica
1,5	Alta	Laboratório químico, oficina de pintura de automóveis

Fonte: Corpo de Bombeiros Militar de Alagoas (2021).

Como se trata de um edifício de escritórios administrativos, pode-se considerar  $\gamma_{s2}$  com o valor de 1,0.

Dessa maneira, pode-se definir o valor de  $\gamma_s$  como  $\gamma_s = \gamma_{s1} \cdot \gamma_{s2} = 1,1296 \cdot 1,0 = 1,1296$ .

### B.2.3. Coeficiente W

Da mesma maneira, a Instrução Técnica 14 (CBMAL, 2021) define a seguinte rotina de cálculo para o coeficiente  $W$ , como segue:

$$W = \left[ \frac{6}{h} \right]^{0,3} \cdot \left[ 0,62 + \frac{90 \cdot \left( 0,4 - \frac{A_v}{A_f} \right)^4}{1 + 12,5 \cdot \left( 1 + 10 \cdot \frac{A_v}{A_f} \right) \cdot \frac{A_h}{A_f}} \right] \geq 0,5 \quad (\text{Eq. B.3})$$

$$0,025 \leq \frac{A_v}{A_f} \leq 0,3 \quad (\text{Eq. B.4})$$

onde:

- $H$  – Altura do Compartimento (m);
- $A_v$  – Área de ventilação vertical (m<sup>2</sup>);
- $A_h$  – Área de ventilação horizontal - piso (m<sup>2</sup>);
- $A_f$  – Área de piso do compartimento analisado (m<sup>2</sup>);

Define-se, por projeto:

- $H = 21m$
- $Av = 48 m^2$
- $Ah = 0 m^2$
- $Af = 540 m^2$

Dessa maneira, define-se o valor de  $W$  como  $W = 1.0048$ .

Assim, conforme Equação B.1,  $t_{eq} = 0,07 \cdot 700 \cdot 0,81 \cdot 1,1296 \cdot 1,0048 = 45,05 \text{ min}$ .

Assim, determina-se que o tempo requerido de resistência do fogo para elementos estruturais principais deve ser de, no mínimo, 45 minutos, enquanto o tempo requerido de resistência ao fogo para elementos estruturais secundários deve ser fixado em, no mínimo, 15 minutos.

## APÊNDICE C – COMPOSIÇÕES DE PREÇOS

### C.1. CONCRETO NÃO-ESTRUTURAL

A composição de preços para o concreto não-estrutural foi realizada unindo-se três serviços: o lançamento e adensamento do concreto, a armação e a montagem das fôrmas. O quantitativo de aço CA-50 foi realizado adotando-se o mínimo necessário, de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014), que é de 0,1% da área do elemento em questão. Não há necessidade de verificação estrutural, uma vez que o concreto utilizado para proteção contra fogo, neste trabalho, não possui função portante.

Nas Tabela de A.1.1. até A.1.3 abaixo, encontram-se as composições para os preços do concreto lançado e adensado, da montagem das armaduras e da montagem das fôrmas com escoramento, respectivamente.

Tabela C.1.1: Composição de preços para o concreto não-estrutural

<b>Concreto Fck=15MPa, lançado e adensado (m<sup>3</sup>)</b>					
Fonte	Descrição	Quantidade	Und.	Custo Unitário	Custo total
00367/SINAPI	Areia grossa - posto jazida/fornecedor (retirado na jazida, sem transporte)	0,943	m <sup>3</sup>	R\$ 101,30	R\$ 95,53
01379/SINAPI	Cimento Portland composto CP II-32	255	kg	R\$ 0,80	R\$ 204,00
04718/SINAPI	Pedra britada n. 2 (19 a 38 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete	0,627	m <sup>3</sup>	R\$ 122,15	R\$ 76,59
04721/SINAPI	Pedra britada n. 1 (9,5 a 19 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete	0,209	m <sup>3</sup>	R\$ 121,51	R\$ 25,40
06111/SINAPI	Servente de obras	6	h	R\$ 5,92	R\$ 35,52
10549/ORSE	Encargos Complementares - Servente	6	h	R\$ 3,80	R\$ 22,80
07692/ORSE	Lançamento de concreto simples fabricado na obra, inclusive adensamento e acabamento em peças da superestrutura	1	m <sup>3</sup>	R\$ 44,61	R\$ 44,61
<b>Total:</b>					<b>R\$ 504,44</b>

Fonte: Autor (2023).

Tabela C.1.2: Composição de preços para a armação do elemento de proteção em concreto não-estrutural

<b>Armação de pilar ou viga de estrutura convencional de concreto armado utilizando aço ca-50 de 10,0 mm (kg)</b>					
Fonte	Descrição	Quantidade	Und.	Custo Unitário	Custo total
39017/SINAPI	Espaçador / distanciador circular com entrada lateral, em plástico, para vergalhão *4,2 a 12,5* mm, cobrimento 20 mm	0,543	un	R\$ 0,22	R\$ 0,12
43132/SINAPI	Arame recozido 16 bwg, d = 1,65 mm (0,016 kg/m) ou 18 bwg, d = 1,25 mm (0,01 kg/m)	0,025	kg	R\$ 23,80	R\$ 0,60
88238/SINAPI	Ajudante de armador com encargos complementares	0,0064	h	R\$ 20,17	R\$ 0,13
88245/SINAPI	Armador com encargos complementares	0,0392	h	R\$ 25,39	R\$ 1,00
92803/SINAPI	Corte e dobra de aço ca-50, diâmetro de 10,0 mm. af_06/2022	1	kg	R\$ 11,85	R\$ 11,85
<b>Total:</b>					<b>R\$ 13,69</b>

Fonte: Autor (2023).

Tabela C.1.3: Composição de preços para a montagem das fôrmas, com escoramento

<b>Forma plana para estruturas, em compensado resinado de 10mm, 05 usos, inclusive escoramento (m<sup>2</sup>)</b>					
<b>Fonte</b>	<b>Descrição</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Und.</b>	<b>Custo Unitário</b>	<b>Custo total</b>
00629/ORSE	Compensado resinado 10mm - Madeirit ou similar	0,234	m <sup>2</sup>	R\$ 33,26	R\$ 7,78
01569/ORSE	Madeira mista serrada (barrote) 6 x 6cm - 0,0036 m <sup>3</sup> /m (angelim, louro)	1,227	m <sup>2</sup>	R\$ 9,89	R\$ 12,14
01213/SINAPI	Carpinteiro de formas (horista)	0,973	h	R\$ 7,80	R\$ 7,59
02692/SINAPI	Desmoldante protetor para formas de madeira, de base oleosa emulsionada em água	0,02	l	R\$ 7,59	R\$ 0,15
04509/SINAPI	Sarrafo *2,5 x 10* cm em pinus, mista ou equivalente da região - bruta	1,089	m <sup>2</sup>	R\$ 5,81	R\$ 6,33
05068/SINAPI	Prego de aço polido com cabeça 17 x 21 (2 x 11)	0,025	kg	R\$ 19,66	R\$ 0,49
05069/SINAPI	Prego de aço polido com cabeça 17 x 27 (2 1/2 x 11)	0,1	kg	R\$ 20,04	R\$ 2,00
06111/SINAPI	Servente de obras	0,243	h	R\$ 5,92	R\$ 1,44
06193/SINAPI	Tabua não aparelhada *2,5 x 20* cm, em maçaranduba, angelim ou equivalente da região - bruta	0,122	m	R\$ 19,50	R\$ 2,38
43130/SINAPI	Arame galvanizado 12 bwg, d = 2,76 mm (0,048 kg/m) ou 14 bwg, d = 2,11 mm (0,026 kg/m)	0,15	kg	R\$ 23,80	R\$ 3,57
10549/ORSE	Encargos Complementares - Servente	0,243	h	R\$ 3,80	R\$ 0,92
10551/ORSE	Encargos Complementares - Carpinteiro	0,973	h	R\$ 3,67	R\$ 3,57
<b>Total:</b>					<b>R\$ 48,36</b>

Fonte: Autor (2023).

## C.2. ALVENARIAS

As composições para as alvenarias, tanto de blocos cerâmicos quanto de blocos de concreto, foram calculadas a partir do insumo basal da alvenaria, somado aos insumos de chapisco, emboço e reboco, calculados para áreas internas. Além disso, foi contabilizado também um acabamento com pintura em tinta PVA látex básica, simulando o acabamento real de uma estrutura protegida com esse sistema de proteção. Nas tabelas A.2.1 a A.2.6 é possível ver o detalhamento das composições.

Tabela C.2.1: Composição de preços para alvenaria de vedação em blocos de concreto

<b>Alvenaria de vedação de blocos vazados de concreto aparente de 14x19x39 cm (espessura 14 cm) e argamassa de assentamento com preparo em betoneira (m<sup>2</sup>)</b>					
Fonte	Descrição	Quantidade	Und.	Custo Unitário	Custo total
34547/SINAPI	Tela de aço soldada galvanizada/zincada para alvenaria, fio d = *1,20 a 1,70* mm, malha 15 x 15 mm, (c x l) *50 x 12* cm	0,42	m	R\$ 4,75	R\$ 2,00
37103/SINAPI	Bloco de vedação de concreto aparente 14 x 19 x 39 cm (classe c - nbr 6136)	13,6	un.	R\$ 3,24	R\$ 44,06
37395/SINAPI	Pino de aço com furo, haste = 27 mm (ação direta)	0,01	cento	R\$ 41,52	R\$ 0,42
87292/SINAPI	Argamassa traço 1:2:8 (em volume de cimento, cal e areia média úmida) para emboço/massa única/assentamento de alvenaria de vedação, preparo mecânico com betoneira 400 l. af_08/2019	0,0102	m <sup>3</sup>	R\$ 551,85	R\$ 5,63
88309/SINAPI	Pedreiro com encargos complementares	1,3	h	R\$ 25,55	R\$ 33,22
88316/SINAPI	Servente com encargos complementares	0,65	h	R\$ 21,30	R\$ 13,85
<b>Total:</b>					<b>R\$ 99,16</b>

Fonte: Autor (2023).

Tabela C.2.2: Composição de preços para alvenaria de vedação em blocos cerâmicos

<b>Alvenaria de vedação de blocos cerâmicos furados na horizontal de 9x19x19 cm (espessura 9 cm) e argamassa de assentamento com preparo em betoneira. (m<sup>2</sup>)</b>					
Fonte	Descrição	Quantidade	Und.	Custo Unitário	Custo total
07271/SINAPI	Bloco cerâmico / tijolo vazado para alvenaria de vedação, 8 furos na horizontal, de 9 x 19 x 19 cm	28,31	un.	R\$ 0,48	R\$ 13,59
34557/SINAPI	Tela de aço soldada galvanizada/zincada para alvenaria, fiód = *1,20 a 1,70* mm, malha 15 x 15 mm, (c x l) *50 x 7,5* cm	0,42	m	R\$ 3,01	R\$ 1,26
37395/SINAPI	Pino de aço com furo, haste = 27 mm (ação direta)	0,005	cento	R\$ 41,52	R\$ 0,21
87292/SINAPI	Argamassa traço 1:2:8 (em volume de cimento, cal e areia média úmida) para emboço/massa única/assentamento de alvenaria de vedação, preparo mecânico com betoneira 400 l. af_08/2019	0,0091	m <sup>3</sup>	R\$ 551,85	R\$ 5,02
88309/SINAPI	Pedreiro com encargos complementares	1,61	h	R\$ 25,55	R\$ 41,14
88316/SINAPI	Servente com encargos complementares	0,805	h	R\$ 21,30	R\$ 17,15
<b>Total:</b>					<b>R\$ 78,36</b>

Fonte: Autor (2023).

Tabela C.2.3: Composição de preços para chapisco

<b>Chapisco aplicado em alvenarias e estruturas de concreto internas, com colher de pedreiro. argamassa traço 1:3 com preparo em betoneira 400l (m<sup>2</sup>)</b>					
Fonte	Descrição	Quantidade	Und.	Custo Unitário	Custo total
87313/SINAPI	Argamassa traço 1:3 (em volume de cimento e areia grossa úmida) para chapisco convencional, preparo mecânico com betoneira 400 l.	0,0037	m <sup>3</sup>	R\$ 538,28	R\$ 1,99
88309/SINAPI	Pedreiro com encargos complementares	0,0681	h	R\$ 25,55	R\$ 1,74
88316/SINAPI	Servente com encargos complementares	0,0255	h	R\$ 21,30	R\$ 0,54
<b>Total:</b>					<b>R\$ 4,27</b>

Fonte: Autor (2023).

Tabela C.2.4: Composição de preços para emboço

<b>Emboço ou massa única em argamassa traço 1:2:8, preparo manual, aplicada manualmente nas paredes internas da sacada, espessura de 25 mm, sem uso de tela metálica de reforço contra fissuração (m<sup>2</sup>)</b>					
Fonte	Descrição	Quantidade	Und.	Custo Unitário	Custo total
87369/SINAPI	Argamassa traço 1:2:8 (em volume de cimento, cal e areia média úmida) para emboço/massa única/assentamento de alvenaria de vedação, preparo manual	0,0359	m <sup>3</sup>	R\$ 675,57	R\$ 24,25
88309/SINAPI	Pedreiro com encargos complementares	1,037	h	R\$ 25,55	R\$ 26,50
88316/SINAPI	Servente com encargos complementares	1,037	h	R\$ 21,30	R\$ 22,09
<b>Total:</b>					<b>R\$ 72,84</b>

Fonte: Autor (2023).

Tabela C.2.5: Composição de preços para reboco

<b>Reboco interno, de parede, com argamassa traço t6 - 1:2:10 (cimento / cal / areia), espessura 3,0 cm</b>					
Fonte	Descrição	Quantidade	Und.	Custo Unitário	Custo total
04750/SINAPI	Pedreiro (horista)	0,6000	h	R\$ 7,80	R\$ 4,68
06111/SINAPI	Servente de obras	0,6000	h	R\$ 5,92	R\$ 3,55
03309/ORSE	Argamassa cimento, cal e areia traço t-6 (1:2:10) - 1 saco cimento de 50 kg / 2 sacos de cal de 20 kg / 10 padiolas de areia grossa dim 0.35 x 0.45 x 0.13 m - Confecção mecânica e transporte	0,0300	m <sup>3</sup>	R\$ 454,89	R\$ 13,65
10549/ORSE	Encargos Complementares - Servente	0,6	h	R\$ 3,80	R\$ 2,28
10550/ORSE	Encargos Complementares - Pedreiro	0,6	h	R\$ 3,70	R\$ 2,22
<b>Total:</b>					<b>R\$ 26,38</b>

Fonte: Autor (2023).

Tabela C.2.6: Composição de preços para pintura PVA látex

**Pintura para interiores, sobre paredes ou tetos, com lixamento, aplicação de 01 demão de líquido selador e 02 demãos de tinta PVA látex convencional para interiores (m<sup>2</sup>)**

Fonte	Descrição	Quantidade	Und.	Custo Unitário	Custo total
01333/ORSE	Líquido selador para parede	0,13	l	R\$ 8,10	R\$ 1,05
03767/SINAPI	Lixa em folha para parede ou madeira, número 120, cor vermelha	0,50	un.	R\$ 0,81	R\$ 0,41
02232/ORSE	Tinta PVA látex para interior coralmur ou similar	0,18	l	R\$ 16,82	R\$ 3,03
04783/SINAPI	Pintor (horista)	0,60	h	R\$ 7,80	R\$ 4,68
06111/SINAPI	Servente de obras	0,30	h	R\$ 5,92	R\$ 1,78
10549/ORSE	Encargos Complementares - Servente	0,3	h	R\$ 3,80	R\$ 1,14
10553/ORSE	Encargos Complementares - Pintor	0,6	h	R\$ 3,87	R\$ 2,32
<b>Total:</b>					<b>R\$ 14,40</b>

Fonte: Autor (2023).

### C.3. PLACAS

Para a composição das placas de lâ de rocha e de gesso acartonado do tipo RF, foram montadas composições baseadas no modelo construtivo *steel frame*, uma vez que seus métodos de aplicação se assemelham, com o uso de guias e montantes, bem como a mão de obra especializada para o serviço.

Tabela C.3.1: Composição para placa de gesso acartonado do tipo RF

<b>Placa de gesso acartonado, tipo RF (resistente ao fogo), espessura 15mm, com instalação (m²)</b>					
Fonte	Descrição	Quantidade	Unidade	Custo Unitário	Custo total
37586/SINAPI	Pino de aço com arruela cônica, diâmetro arruela = *23* mm e comp haste = *27* mm (ação indireta)	0,0243	cento	R\$ 48,28	R\$ 1,17
mt12pmk010a/CYPE	Placa de gesso acartonado, tipo RF (resistente ao fogo), espessura 15mm	1,053	m²	R\$ 42,10	R\$ 44,33
39419/SINAPI	Perfil guia, formato u, em aço zincado, para estrutura parede drywall, e = 0,5 mm, 70 x 3000 mm (l x c)	0,7604	m	R\$ 10,06	R\$ 7,65
39422/SINAPI	Perfil montante, formato c, em aço zincado, para estrutura parede drywall, e = 0,5 mm, 70 x 3000 mm (l x c)	1,991	m	R\$ 11,41	R\$ 22,72
39431/SINAPI	Fita de papel micro perfurado, 50 x 150 mm, para tratamento de juntas de chapa de gesso para drywall	1,2513	m	R\$ 0,35	R\$ 0,44
39432/SINAPI	Fita de papel reforçada com lâmina de metal para reforço de cantos de chapa de gesso para drywall	0,7407	m	R\$ 3,09	R\$ 2,29
39434/SINAPI	Massa de rejunte em pó para drywall, a base de gesso, secagem rápida, para tratamento de juntas de chapa de gesso (necessita adição de água)	0,5164	kg	R\$ 3,87	R\$ 2,00
39435/SINAPI	Parafuso drywall, em aço fosfatado, cabeça trombeta e ponta agulha (ta), comprimento 25 mm	10,0039	un.	R\$ 0,11	R\$ 1,10
39443/SINAPI	Parafuso drywall, em aço zincado, cabeça lentilha e ponta broca (lb), largura 4,2 mm, comprimento 13 mm	0,8076	un.	R\$ 0,25	R\$ 0,20
88278/SINAPI	Montador de estrutura metálica com encargos complementares	0,3636	h	R\$ 23,47	R\$ 8,53
88316/SINAPI	Servente com encargos complementares	0,0909	h	R\$ 21,30	R\$ 1,94
<b>Total:</b>					<b>R\$ 92,37</b>

Fonte: Autor (2023).

Tabela C.3.2: Composição de preços para placa de lã de rocha

<b>Placa de lã de rocha Thermax, espessura 25mm, com instalação</b>					
Fonte	Descrição	Quantidade	Unidade	Custo Unitário	Custo total
37586/SINAPI	Pino de aço com arruela cônica, diâmetro arruela = *23* mm e comp haste = *27* mm (ação indireta)	0,0243	cento	R\$ 48,28	R\$ 1,17
Cotação local	Placa de lã de rocha Thermax, espessura 25mm	1,053	m <sup>2</sup>	R\$ 48,97	R\$ 51,57
39419/SINAPI	Perfil guia, formato u, em aço zincado, para estrutura parede drywall, e = 0,5 mm, 70 x 3000 mm (l x c)	0,7604	m	R\$ 10,06	R\$ 7,65
39422/SINAPI	Perfil montante, formato c, em aço zincado, para estrutura parede drywall, e = 0,5 mm, 70 x 3000 mm (l x c)	1,991	m	R\$ 11,41	R\$ 22,72
39431/SINAPI	Fita de papel micro perfurado, 50 x 150 mm, para tratamento de juntas de chapa de gesso para drywall	1,2513	m	R\$ 0,35	R\$ 0,44
39432/SINAPI	Fita de papel reforçada com lâmina de metal para reforço de cantos de chapa de gesso para drywall	0,7407	m	R\$ 3,09	R\$ 2,29
39434/SINAPI	Massa de rejunte em pó para drywall, a base de gesso, secagem rápida, para tratamento de juntas de chapa de gesso (necessita adição de água)	0,5164	kg	R\$ 3,87	R\$ 2,00
39435/SINAPI	Parafuso drywall, em aço fosfatado, cabeça trombeta e ponta agulha (ta), comprimento 25 mm	10,0039	un.	R\$ 0,11	R\$ 1,10
39443/SINAPI	Parafuso drywall, em aço zincado, cabeça lenticilha e ponta broca (lb), largura 4,2 mm, comprimento 13 mm	0,8076	un.	R\$ 0,25	R\$ 0,20
88278/SINAPI	Montador de estrutura metálica com encargos complementares	0,3636	h	R\$ 23,47	R\$ 8,53
88316/SINAPI	Servente com encargos complementares	0,0909	h	R\$ 21,30	R\$ 1,94
<b>Total:</b>					<b>R\$ 99,60</b>

Fonte: Autor (2023).