

**CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE SANTA CATARINA  
DIRETORIA DE ENSINO  
CENTRO DE ENSINO BOMBEIRO MILITAR  
ACADEMIA DE BOMBEIRO MILITAR**

**JOÃO RUDINI STURM**

**ESTUDO DA RESISTÊNCIA AO FOGO DE PAREDES DE GESSO ACARTONADO  
COM LÃ DE ROCHA**

**FLORIANÓPOLIS  
ABRIL DE 2014**

**João Rudini Sturm**

**Estudo da resistência ao fogo de paredes de gesso acartonado com lã de rocha**

Monografia apresentada como pré-requisito para conclusão do Curso de Formação de Oficiais do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina.

**Orientador:** Alexandre Vieira – Maj BM

**Florianópolis  
Abril de 2014**

CIP – Dados Internacionais de Catalogação na fonte

---

**S936e Sturm, João Rudini**

Estudo da resistência ao fogo de paredes de gesso acartonado com  
lã de rocha. / João Rudini Sturm . -- Florianópolis : CEBM, 2014.  
77 f. : il.

Monografia (Curso de Formação de Oficiais) – Corpo de  
Bombeiros Militar de Santa Catarina, Centro de Ensino Bombeiro  
Militar, Curso de Formação de Oficiais, 2014.

Orientador : Major BM Alexandre Vieira, Esp.

1. Segurança contra incêndio. 2. Resistência ao fogo. 3. Gesso  
acionado. 4. Lã de rocha. II. Título.

CDD 363.377

João Rudini Sturm

Estudo da resistência ao fogo de paredes de gesso acartonado com lã de rocha

Monografia apresentada como pré-requisito para conclusão do Curso de Formação de Oficiais do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina.

Florianópolis (SC), 04 de Abril de 2014.

---

Prof. Esp. Alexandre Vieira – Maj BM  
Professor Orientador

---

Prof. Esp. Vanderlei Vanderlino Vidal - Ten Cel BM  
Membro da Banca Examinadora

---

Prof. Esp. Charles Alexandre Vieira - Maj BM  
Membro da Banca Examinadora

Dedico este trabalho aos meus pais e irmãos, à  
minha esposa Alexandra e a meu filho Arthur,  
motivos de tudo na minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço inicialmente a Deus, pela vida e família que me deu.

Agradeço aos meus pais e irmãos, pelo apoio em todas as etapas da minha vida, pela educação e toda a ajuda despendida nos momentos difíceis que esta e tantas outras jornadas me fizeram passar para a realização desta conquista.

A minha irmã Lenise e minha cunhada Brígida, pelo tempo dedicado na revisão ortográfica deste trabalho.

Agradeço a minha esposa Alexandra e a meu filho Arthur, pelo brusca mudança que tiveram que enfrentar para que pudéssemos permanecer juntos e assim fortalecer nossos laços.

Aos meus colegas e amigos, pelos bons momentos proporcionados durante estes dois anos de convivência.

Aos comandantes de Pelotão, da Academia e do Centro de Ensino Bombeiro Militar, todos que aqui passaram e deixaram sua contribuição positivamente.

Às meninas da Biblioteca, pelo apoio, conhecimento e ajuda no desenvolvimento deste TCC.

Às meninas da orientação, coordenação, e psicologia, sem o apoio das quais esta jornada teria sido ainda mais difícil.

Ao meu orientador, pelo conhecimento e experiência transmitidos durante a elaboração deste trabalho bem como a forma profissional com que conduziu esta orientação.

“Nem tudo o que se enfrenta pode ser modificado, mas nada pode ser modificado até ser enfrentado.” (Albert Einstein)

## RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo sobre a possibilidade de utilização de paredes com gesso acartonado preenchidas com lã de rocha, para conferir suas propriedades de resistência ao fogo e sua utilização em paredes corta fogo para mostrar se estas atendem os requisitos presentes nas normas de segurança contra incêndios do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina e então, servir de base para a elaboração de pareceres para aceitação destas nos projetos preventivos de edificações novas e na adequação de edificações antigas. Para isso, foi realizada pesquisa bibliográfica objetivando verificar qual o comportamento das chapas de gesso acartonado com preenchimento de lã de rocha. Baseamos este estudo principalmente nas pesquisas e experimentos realizados por Souza (2010), Vieira (2012), bem como outros autores. Por fim, percebeu-se que surgiram novos fatores cabíveis de estudos mais aprofundados, como o fato das juntas das paredes serem um ponto frágil do sistema; e, o isolamento térmico usado na cavidade prejudicar o desempenho estrutural dos perfis metálicos, visto que estes perdem resistência mecânica acima de 350°C e o isolamento faz com que a temperatura no interior seja maior e mais duradoura. Assim, o uso de paredes em gesso acartonado pode ser uma boa alternativa para edificações antigas, visto que apresentam bons índices de resistência térmica, porém ainda não substituem outros materiais para as construções novas.

**Palavras-chave:** Gesso acartonado. Incêndio. Resistência ao fogo. Lã de rocha.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Guias e montantes .....	26
Figura 2 – Especificações de guias e montantes.....	27
Figura 3 – Chapas de gesso acartonado dos tipos ST, RF e RU.....	28
Figura 4 – Tipos de parafusos .....	31
Figura 5 – Colocação correta do parafuso.....	31
Figura 6 – Curva do incêndio real .....	45
Figura 7 – Esquema de montagem das paredes de gesso acartonado.....	48
Figura 8 – Configuração da parede com uma chapa RF em cada face. ....	48
Figura 9 – Variações de configurações testadas por Feng et al (2002).....	53
Figura 10 – Configurações para validação dos modelos numéricos ABAQUS .....	57
Figura 11 – Modelos testados por Souza (2010) .....	60
Figura 12 – Temperatura com o passar do tempo pela parede 1x1 sem isolamento .....	64
Figura 13 – Temperatura com o decurso do tempo pela parede 1x1 com isolamento .....	65
Figura 14 – Desenvolvimento da temperatura na parede 2x2 sem isolamento .....	66
Figura 15 – Elevação da temperatura ao longo da seção da parede de 0 até 120 minutos .....	68

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Condutividade x Densidade.....	21
Gráfico 2 – Curvas de incêndio padrão conforme normas estrangeiras .....	43
Gráfico 3 – Elevação da temperatura pelo tempo de acordo com a NBR 10636 .....	44
Gráfico 4 – Resultados da transferência de calor obtidos em parede sem isolamento .....	58
Gráfico 5 – Resultados da transferência de calor obtidos em parede com isolamento .....	59
Gráfico 6 – Comparativo entre o modelo 1x1 com e sem isolamento .....	61
Gráfico 7 – Comparativo entre o modelo 2x2 com e sem isolamento .....	62
Gráfico 8 – Curva do incêndio padrão versus curva do incêndio natural.....	63
Gráfico 9 – Parede 1x1 sem isolamento submetido ao incêndio natural.....	63
Gráfico 10 – Parede 1x1 com isolamento submetido ao incêndio natural .....	64
Gráfico 11 – Desenvolvimento da temperatura na parede 2x2 sem isolamento na cavidade.....	66
Gráfico 12 – Temperatura para parede 2x2 com isolamento na cavidade.....	67

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Aplicação de cada tipo de chapa de gesso acartonado .....	27
Quadro 2 – Tipos de materiais para tratamento das juntas .....	32
Quadro 3 – Exemplos de paredes com seus respectivos TRRF .....	54
Quadro 4 – Configuração construtiva com a respectiva resistência ao fogo para Europa .....	55
Quadro 5 – Tempos de resistência ao fogo de paredes sem função estrutural .....	71

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Calor específico dos materiais .....	19
Tabela 2 – Relação de materiais com resistência térmica de $0,22 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$ .....	20
Tabela 3 – Condutividade térmica dos materiais de resistência ao fogo.....	22
Tabela 4 – Características dos perfis de aço galvanizado.....	26
Tabela 5 – Dimensões das chapas standard .....	29
Tabela 6 – Dimensões das chapas de gesso acartonado tipo RF.....	29
Tabela 7 – Dimensões das chapas resistentes à água .....	30
Tabela 8 – Características da lã de rocha.....	33
Tabela 9 – Propriedades físicas da lã de rocha .....	34
Tabela 10 – Tempo requerido de resistência ao fogo conforme a IT nº 08.....	41
Tabela 11 – Elevação da temperatura do forno para o ensaio do material .....	44
Tabela 12 – Resultado da parede com duas chapas standard em cada face .....	49
Tabela 13 – Parede com duas chapas RF em cada face.....	50
Tabela 14 - Parede com duas chapas RF em cada face .....	50
Tabela 15 – Parede com 01 chapas RF em cada face.....	51
Tabela 16 – Paredes corta-fogo com resistência ao fogo mínima de 120 minutos .....	52
Tabela 17 – Resistência ao fogo de paredes sem função estrutural padrão Americano.....	55
Tabela 18 – Resumo dos resultados obtidos por Souza (2010) para o incêndio padrão .....	69
Tabela 19 – Resultados obtidos para o incêndio natural .....	70

## LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
ART – Anotação de Responsabilidade Técnica  
CBMSC – Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina  
DAT – Diretoria de Atividades Técnicas  
ST – Standard  
RU – Resistente à Umidade  
RF – Resistente ao Fogo  
IN – Instrução Normativa  
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas  
IT – Instrução Técnica  
NBR – Normas Brasileiras Reguladoras  
NSCI – Normas de Segurança Contra Incêndios  
SAT – Seção de Atividades Técnicas  
TRRF – Tempo Requerido de Resistência ao Fogo  
TRF – Tempo de Resistência ao Fogo  
NBCC – *National Building Code of Canada*  
BCA – *Building Code of Australia*  
LSF – *Light Steel Frame*  
GA – *Gypsum Association*  
ASTM – *American Society for Testing and Materials*  
ISO – *International Organization for Standardization*  
CF – Corta Fogo  
PC – Para Chamas

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>1.1 Objetivo.....</b>	<b>15</b>
1.1.1 Objetivo geral .....	15
1.1.2 Objetivos específicos .....	15
<b>1.2 Justificativa .....</b>	<b>16</b>
<b>1.3 Metodologia.....</b>	<b>16</b>
<b>1.4 Estrutura do trabalho.....</b>	<b>17</b>
<b>2 ESTUDO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS MATERIAIS .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1 Conceitos básicos .....</b>	<b>18</b>
2.1.1 Calor específico .....	18
2.1.2 Emissividade térmica .....	19
2.1.3 Resistência térmica .....	20
2.1.4 Condutividade térmica .....	21
<b>3 PROCESSOS CONSTRUTIVOS EM GESSO ACARTONADO .....</b>	<b>23</b>
<b>3.1 Histórico do gesso .....</b>	<b>23</b>
<b>3.2 Gesso acartonado.....</b>	<b>23</b>
<b>3.3 Procedimentos para construção com gesso acartonado .....</b>	<b>24</b>
3.3.1 Componentes para estruturação e suporte.....	25
3.3.2 Componentes de fechamento.....	27
3.3.2.1 Chapas do tipo standard .....	28
3.3.2.2 Chapas resistentes ao fogo.....	29
3.3.2.3 Chapas resistentes à umidade .....	30
3.3.3 Elementos para fixação das chapas.....	30
3.3.4 Materiais para tratamento das juntas .....	32
3.3.5 Lã de rocha .....	33
<b>4 SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS .....</b>	<b>35</b>
<b>4.1 Compartimentação .....</b>	<b>35</b>
4.1.1 Compartimentação horizontal .....	36
4.1.2 Compartimentação vertical .....	36
<b>4.2 Tempos requeridos de resistência ao fogo .....</b>	<b>38</b>
<b>4.3 Curva de elevação de temperatura .....</b>	<b>42</b>
<b>4.4 Graus e categorias de resistência ao fogo.....</b>	<b>45</b>

<b>5 MÉTODO</b> .....	<b>47</b>
<b>5.1 Procedimentos metodológicos</b> .....	<b>47</b>
<b>5.2 Resultados obtidos por pesquisas anteriores</b> .....	<b>47</b>
5.2.1 Resultados obtidos por Vieira(2012) .....	47
5.2.1.1 <i>Instrumentação dos experimentos realizados por Vieira (2012)</i> .....	48
5.2.1.2 <i>Resultados obtidos por Vieira (2012)</i> .....	49
5.2.1.3 <i>Conclusões de Vieira (2012)</i> .....	51
5.2.2 Resultados obtidos por Bénichou e Sultan (2004).....	52
5.2.3 Resultados de experimentos em pesquisa bibliográfica efetuada por Souza (2010) .....	53
5.2.4 Resultados obtidos por Souza (2010) .....	56
5.2.4.1 <i>Instrumentação dos experimentos realizados por Souza (2010)</i> .....	57
5.2.4.2 <i>Comparativo entre modelos com uma placa em cada face sem e com isolamento</i> .....	60
5.2.4.3 <i>Comparativo entre os modelos com duas placas em cada face com e sem isolamento</i> ..	61
5.2.4.4 <i>Resultados das configurações submetidas ao incêndio natural</i> .....	62
5.2.4.5 <i>Conclusões de Souza (2010)</i> .....	68
5.2.5 Resistência das paredes conforme o <i>Steel Framing Alliance</i> (2013) .....	70
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	<b>72</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>75</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A exigência de sistemas preventivos contra incêndio e pânico sempre ganha força após uma grande tragédia, foi assim na década de 70 após os incêndios nos edifícios Andraus (1972) e Joelma (1974), quando devido à falta de prevenção e critérios de construção, culminou com a morte de centenas de pessoas. A mídia, população e governo exigiam uma atitude que evitasse a repetição de tais tragédias. Surgiam aí, as primeiras normas de segurança contra incêndio (NSCI) buscando propiciar segurança aos patrimônios e, principalmente, à vida.

Contudo, junto com elas surgia um acréscimo significativo nos custos construtivos, visto que, para garantir a segurança dos usuários, as edificações deveriam seguir critérios específicos, os quais, com o passar do tempo, tornaram-se mais rigorosos. Hoje, este custo continua a ser um grande entrave na adequação das edificações antigas às normas de segurança, tanto pela quantidade de sistemas exigidos como por questões de cunho estrutural, uma vez que certos sistemas exigem alterações de *lay out* nem sempre exequíveis ou, se executáveis, requerem uma intervenção muito onerosa.

Para edificações novas, o custo dos sistemas também é um ponto relevante, pois os processos produtivos modernos tendem a uma busca da racionalização entre os custos de produção, o valor final do bem e o impacto ambiental que eles causam. A energia consumida na produção ou o entulho produzido refletem um aspecto que se busca cada vez mais reduzir.

Os sistemas de saída de emergência devem apresentar características de resistência ao fogo extremamente elevadas, tanto no quesito estrutural, tendo a condição de manter-se estável durante o incêndio, quanto no isolamento das temperaturas elevadas restritas às regiões incendiadas e oferecer com isso uma rota segura para que, tanto os usuários possam deixar o local, como também servir de acesso aos Bombeiros para o resgate daqueles que por si só não podem sair e para o combate do incêndio propriamente dito.

Uma série de medidas alternativas são previstas na legislação, objetivando uma adequação máxima possível. O gesso acartonado surge como uma alternativa viável, pois praticamente não tem impacto estrutural, é de fácil instalação e apresenta características de resistência ao fogo intrínsecas do próprio gesso que pela ação do calor, desidrata retardando os efeitos da temperatura. De acordo com os resultados encontrados por Vieira (2012), o gesso acartonado poderia se tornar uma alternativa desde que atendidos certos requisitos.

Nesse mesmo estudo, o autor sugeriu novos estudos para que se pudesse determinar melhoras nas características das paredes em gesso acartonado, como a utilização de material isolante térmico entre as chapas. O gesso acartonado aparece como material de revestimento na



Instrução Normativa (IN) nº 18/DAT/CBMSC, sendo que para tal, eles são aceitos sem exigência de Laudo Técnico nem Anotação de Responsabilidade Técnica (ART).

As normas de segurança contra incêndio e pânico têm por objetivo principal, regular a forma com que as edificações serão construídas buscando garantir que ofereçam segurança aos usuários, seja para impedir que um sinistro ocorra, para evitar que se alastre ou então para garantir que os usuários deixem a edificação em segurança. Para as construções novas, isto é relativamente fácil, pois, de acordo com as próprias normas, um projeto preventivo deve ser aprovado junto ao Corpo de Bombeiros preliminarmente para garantir que se obtenha padrões de segurança exigidos. O que fazer então nas edificações antigas que desejam se adequar, ou aquelas construídas com pedidos de utilização de materiais diversos daqueles constantes das normas, como poderão ser adequadas, visto que muitos sistemas inferem mudanças estruturais?

Eles são aceitos, porém a forma como se faz hoje requer que todos os projetos sejam enviados para análise na Diretoria de Atividades Técnicas (DAT), o que sobrecarrega esta diretoria. O gesso acartonado com características de resistência ao fogo possui propriedades próprias diferentes daquelas, por exemplo, do modelo *standard*, e mesmo entre as do modelo resistente ao fogo ocorrem divergências devido a produção ou espessura. Se houvesse uma diretriz padronizada para que as Seções de Atividades Técnicas (SAT) pudessem analisar e resolver tais questões localmente, gerar-se-ia uma celeridade nos processos, bem como adequaria a legislação catarinense aos padrões socioambientais mais modernos, sem comprometer a segurança.

## **1.1 Objetivo**

### **1.1.1 Objetivo geral**

Determinar, através de pesquisa bibliográfica, se o gesso acartonado apresenta resistência térmica que habilite seu uso em construção de paredes com características de resistência ao fogo exigidas pelas Normas de Segurança Contra Incêndio para saídas de emergências e o quanto a utilização de lã de rocha como preenchimento dessas paredes melhora essas características.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

a) Realizar pesquisa bibliográfica para analisar qual a resistência oferecida por paredes de gesso acartonado sem preenchimento com lã de rocha;

- b) Verificar através de pesquisa bibliográfica qual a resistência oferecida por paredes de gesso acartonado com preenchimento com lã de rocha;
- c) Identificar quanto a lã de rocha melhora o tempo de resistência ao fogo das paredes de gesso acartonado; e
- d) Observar se os tempos de resistência ao fogo apresentados como resultados das pesquisas se adequam aos tempos de resistência ao fogo exigidas pelas Normas vigentes.

## **1.2 Justificativa**

Este trabalho de conclusão de curso se justifica pela necessidade de se normatizar a aceitação do gesso acartonado como medida paliativa para conferir, às paredes onde os mesmos forem usados, características de resistência ao fogo mínimas capazes de garantir o cumprimento das normas de segurança contra incêndio e pânico do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina. Hoje, sempre que alguém solicita autorização para utilização de tal material, o analista precisa enviar o processo à DAT para obter um parecer aprovando ou reprovando o seu uso. Em face disto, o processo se torna lento e sobrecarrega a DAT. Com a determinação clara da aceitação ou não e, no caso positivo, dos parâmetros mínimos a serem utilizados, ganharemos celeridade nos processos de adequação das edificações, bem como pode se tornar base para a edição de uma instrução normativa a fim de padronizar as ações das SAT de todo o Estado no que tange ao referido assunto.

## **1.3 Metodologia**

A metodologia utilizada neste trabalho pode ser definida como pesquisa exploratória, pois buscou-se pela pesquisa bibliográfica referenciar os estudos já elaborados neste sentido, bem como embasar o presente com fundamentação técnica e científica dos conceitos necessários ao desenvolvimento completo e abrangente que se esperava obter. O método científico adotado foi o hipotético-dedutivo.

A metodologia que seria inicialmente utilizada para este trabalho era focada na experimentação dos modelos estudados para verificar na prática qual era a melhora que a lã de rocha fornecia às paredes de gesso acartonado. No entanto, por problemas estruturais, o laboratório de combate a incêndios do Corpo de Bombeiros Militar de Joaçaba não pode ser usado, os contêineres do Corpo de Bombeiros Militar de Tubarão e Rio do Sul estavam com problemas no assoalho e o que seria o local mais adequado, o contêiner do Centro de Ensino Bombeiro Militar

de Florianópolis, por problemas burocráticos não estava totalmente funcional em tempo hábil para os testes.

Este contêiner de Florianópolis, foi projetado para trabalhar a gás, controlado eletronicamente, com termopares e softwares instalados para dar o maior controle nas simulações de incêndio, o que poderia fazer com que pudéssemos testar as paredes de gesso acartonado seguindo a curva do incêndio padrão estabelecido pela ABNT NBR 10636 de 1989.

#### **1.4 Estrutura do trabalho**

Para melhor organizar a apresentação dos resultados, este trabalho está dividido em seis capítulos. A introdução, no primeiro capítulo, mostrará de forma sucinta os objetivos esperados com o presente trabalho. No segundo capítulo far-se-á um estudo bibliográfico dos conceitos relativos aos fenômenos térmicos envolvidos no presente estudo e que serão de fundamental importância para compreensão do tema abordado neste trabalho.

No terceiro capítulo, serão analisados os procedimentos construtivos com gesso acartonado, situando o leitor acerca do desenvolvimento histórico da produção e utilização do gesso em construções, bem como dos materiais e técnicas envolvidos neste processo. Já na sequência, o estudo estará dirigido à legislação dos Corpos de Bombeiros e Associação Brasileira de Normas Técnicas acerca dos critérios de saída de emergência e tempo requerido de resistência ao fogo das edificações.

No quinto capítulo serão descritos os resultados encontrados por cada um dos autores pesquisados, bem como todo o procedimento experimental por eles adotado, técnicas, táticas, materiais e condições a que os corpos de prova foram testados. No último capítulo esses resultados serão discutidos para verificar se os objetivos do trabalho foram alcançados, sugerindo ainda, futuras pesquisas afim de contemplar aspectos não abordados neste trabalho.

## 2 ESTUDO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS MATERIAIS

Cada material apresenta características de reação ao fogo distintas devido às propriedades específicas de cada um e também devido a diversos processos térmicos. Para o entendimento do que será tratado neste projeto, faz-se necessária a compreensão de alguns conceitos.

### 2.1 Conceitos básicos

O calor específico é quantidade de calor necessária para elevar a temperatura de uma grama de determinada substância em um grau. A emissividade térmica representa a relação entre o poder emissivo de um corpo real e um corpo negro<sup>1</sup>. O poder da emissividade está relacionado à natureza do corpo à área exposta e a temperatura absoluta<sup>2</sup> em que se encontra. A Condutividade térmica indica a capacidade de um corpo em conduzir calor. Quanto maior for a condutividade térmica do corpo melhor condutor ele será. A resistência térmica é justamente o contrário da condutividade e exprime a capacidade do objeto em oferecer resistência à passagem do calor. Quanto maior a resistência térmica de um corpo, mais isolante térmico ele é. (WEINGARTNER, 2007)

#### 2.1.1 Calor específico

O calor específico ( $c$ ) consiste na quantidade de calor que é necessário fornecer à unidade de massa de uma substância para elevar a sua temperatura de um grau e expressa-se em calorias por grama e por grau. (HEWITT, 2002)

Calor específico, de acordo com Tipler e Mosca (2013), foi definido originalmente como a quantidade de calor necessária para aumentar a temperatura de 1g de água em 01 grau Celsius.

De acordo com o Tipler e Mosca (2013, p. 600):

Quando energia é transferida para uma substância na forma de calor, a temperatura da substância usualmente aumenta – uma exceção ocorre durante a mudança de fase das substâncias. A quantidade de calor necessária para aumentar a temperatura de uma amostra da substância é proporcional a variação da temperatura e à massa da amostra.

---

<sup>1</sup> Corpo Negro, ou irradiador ideal, é um corpo que emite e absorve, a qualquer temperatura, a máxima quantidade possível de radiação em qualquer comprimento de onda. (KREITH, 1998, apud WEINGARTNER 2007, p. 40)

<sup>2</sup> Temperatura absoluta é a temperatura em que sua escala seja independente da natureza do sistema e é também chamada de temperatura termodinâmica absoluta. (ANACLETO, 2007, p. 167)

A Tabela 1 mostra os valores dos calores específicos dos diferentes materiais em Joules por quilo e por graus Celsius:

Tabela 1 – Calor específico dos materiais

<b>Substância</b>	<b>Calor específico <math>c</math> (J/kg.°C)</b>
Argamassa de fibras minerais	1050
Placas de vermiculita	1200
Placas de vermiculita e gesso	1200
Argamassa de vermiculita	920
Argamassa de gesso	1700
Mantas de fibras minerais	1500
Mantas cerâmicas	1067
Concreto celular	1200
Concreto leve	1200
Concreto de cimento Portland	1200

Fonte: Mendes et al (2007)

Young et al (2008) lembra que o termo calor específico não é muito apropriado pois pode sugerir a ideia errada de que um corpo contém certa quantidade de calor. E que portanto, é preciso lembrar que calor é energia em trânsito, sendo que cada substância irá requerer uma quantidade maior ou menor desta para elevar sua temperatura.

### 2.1.2 Emissividade térmica

De acordo com Costa e Silva (2010), a emissividade se traduz na eficiência com que um corpo emite calor por radiação. Mais especificamente, ela a descreve da seguinte maneira:

A emissividade é relação entre o poder de emissividade de um corpo qualquer e a de um corpo negro. Pode ter um máximo igual a 1, que é correspondente à de um corpo negro, e um mínimo igual a zero. A emissividade representa a maior ou menor tendência que determinado corpo tem em emitir radiação. O poder de emissividade está associado à natureza do corpo, à área exposta e à temperatura absoluta a que se encontra. (COSTA E SILVA, 2010, p. 24)

Todo material com temperatura acima de 0 K (zero kelvin) ou seja com temperatura acima do zero absoluto, emite radiação térmica. O poder de emissão é a energia total emitida por um corpo por unidade de tempo e por unidade de área. A emissividade é portanto, a relação entre o poder de emissão de um corpo qualquer e um corpo negro. Podendo ser descrito matematicamente como:

$$\varepsilon = \frac{Ec}{En}$$

Onde:

$\varepsilon$  é a emissividade do corpo qualquer;

$Ec$  é o poder de emissão deste corpo qualquer; e

$En$  é o poder de emissividade do corpo negro. (WEINGARTNER, 2007)

### 2.1.3 Resistência térmica

Para Weingartner (2007) resistência térmica é a razão entre a diferença de temperatura entre duas faces de um objeto – que irá induzir a transferência de calor – e a taxa de transferência de calor por unidade de superfície numa direção normal as faces.

A Tabela 2 mostra uma relação entre as espessuras de diferentes materiais que apresentam a mesma resistência térmica.

Tabela 2 – Relação de materiais com resistência térmica de  $0,22 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$

<b>Material</b>	<b>Espessura (cm)</b>
Lã de vidro	1,0
Concreto celular	3,8
Madeira	5,1
Tijolo	20,0
Concreto normal	39,0

Fonte: Westphal, Marinoski e Lamberts (2012)

A resistência térmica, de acordo com Halliday e Resnick (2009), pode ser definida como a razão entre a espessura do material e sua condutividade térmica, conforme a equação abaixo:

$$R = \frac{L}{k}$$

Onde:

$R$  é a Resistência térmica;

$L$  é a espessura do material; e

$k$  é a condutividade térmica do material.

Note que a resistência térmica de um material é uma propriedade atribuída a uma placa com uma certa espessura e não a um material. No Sistema Internacional, a unidade de medida da resistência térmica é o  $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ . (HALLIDAY; RESNICK, 2009)

Incrópera e Dewit (2008) usam uma analogia para explicar a resistência térmica. Eles comparam ela com a resistência elétrica, que se define pela dificuldade que o material oferece à passagem da corrente elétrica, definindo “resistência” como a razão entre um potencial motriz e a correspondente taxa de transferência.

### 2.1.4 Condutividade térmica

Buscando em Costa e Silva (2010, p. 23), temos que:

A condutividade térmica consiste numa grandeza física que mede a capacidade de uma substância conduzir o calor. Permite distinguir os bons dos maus condutores de calor. A condutividade térmica representa a taxa temporal de transmissão de energia, sob a forma de calor, através de um material. Exprime-se no Sistema Internacional (SI) em watt por metro e por Kelvin (W/(m·K)).

Quanto maior for a condutividade térmica de um material, melhor condutor ele será.

Ela é expressa pela seguinte fórmula matemática:

$$\kappa = \frac{\Delta Q}{A \cdot \Delta t} \cdot \frac{L}{\Delta T},$$

Onde:

$\kappa$  é a condutividade térmica do material;

$\Delta Q$  é a variação do quantidade de calor fornecido;

$A$  é a área de secção reta;

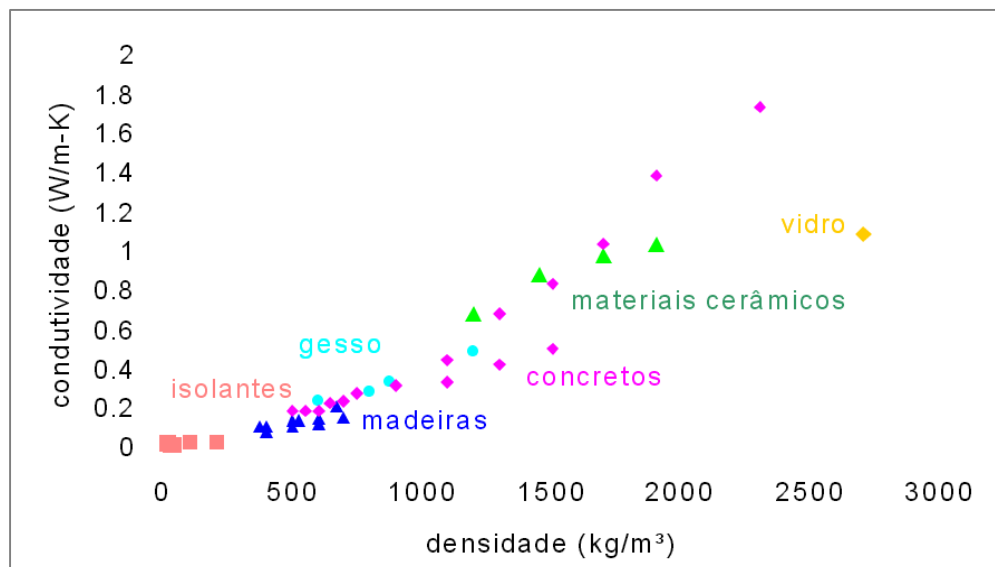
$\Delta t$  é a variação do tempo em que a amostra fica exposta;

$L$  é a espessura do material; e

$\Delta T$  é a variação da temperatura observada na face oposta da amostra. (INFOPÉDIA, 2013)

De acordo com o Gráfico a seguir, podemos notar que a condutividade térmica está associada ao tipo de material e também está diretamente relacionada com a sua densidade.

Gráfico 1 – Condutividade x Densidade



Fonte: Westphal, Marinoski e Lamberts (2012).

Segundo ensina Vieira (2012, p. 21):

A condutividade térmica de um material se altera em função da temperatura em que o mesmo se encontra. Em alguns estudos a condutividade térmica do material aumentou com o aumento da temperatura, e em outros casos a condutividade térmica do material diminuiu com a elevação da temperatura.

A Tabela abaixo, mostra alguns valores de condutividade térmica e de calor específico dos materiais aqui estudados.

Tabela 3 – Condutividade térmica dos materiais de resistência ao fogo

<b>Material</b>	<b>Condutividade térmica, <math>\lambda</math>, [W/(m.K)]</b>
<b>Materiais de fechamento</b>	
• Placas de Gesso	0,25
• Acessórios de gesso	0,485
• Tijolos	0,4 – 0,8
• Madeira (pinho)	0,14
• Madeira (carvalho)	0,17
<b>Isolantes</b>	
• Lã de vidro	0,033 – 0,42
• Lã de rocha (placas)	0,032 – 0,216
• Lã de rocha (mantas)	0,030 – 0,286
• Lã de rocha (feltros)	0,039 – 0,066
• Lã de rocha (coquilhas)	0,036 – 0,106
• Borracha expandida	0,028 – 0,044
• Silicato de Cálcio	0,052 – 0,067

Fonte: Adaptado de Bonitese (2007), Gerken (2007) e Costa e Silva (2010)

Desta maneira, materiais com alta condutividade térmica são utilizados como dissipadores de calor e, materiais de baixa condutividade térmica são utilizados como isolamentos térmicos. Esta propriedade depende da variação de temperatura do sistema. A condutividade térmica é uma característica específica de cada material, e depende fortemente da temperatura e da pureza do material, especialmente sob baixas temperaturas. (ANACLETO, 2007)



### 3 PROCESSOS CONSTRUTIVOS EM GESSO ACARTONADO

#### 3.1 Histórico do gesso

O gesso é o produto obtido do processo de hidratação do minério chamado gipsita. Segundo Magalhães, (2009, p. 37) “é obtido pelo aquecimento, em baixas temperaturas, da pedra gipso ou gipsita, transformando-se em pó, que em contato com a água, endurece.”

De acordo com Agopyan (1989 apud MAGALHÃES, 2009, p. 39):

Para a fabricação do gesso, a gipsita, o sulfato de cálcio e duas moléculas de água (dihidrato) são cozidos à temperaturas relativamente baixas (140 – 150°C). A água é liberada para a atmosfera e o dihidrato se transforma em hemidrato ou gesso. A energia necessária para a produção de gesso é baixa, se comparada com o cimento, por exemplo, que para sua produção exige temperaturas acima de 1400°C.

Sua utilização na construção civil remonta a séculos antes de Cristo, pois, segundo Le Plâtre (1998 apud MUNHOZ, 2008, p. 12-13) o uso do gesso foi constatado em ruínas na Síria e Turquia (8000 a.C.), em Jericó (6000 a.C.), na pirâmide de Quéops no Egito (2800 a.C.) e na África, onde os Berberes usaram o gesso para construção de canais, barragens e, misturados a blocos de terra, suas próprias habitações. Segundo o autor, a tradição do uso do gesso vem da Mesopotâmia.

Magalhães (2009, p. 38) diz que “a partir do século XX, com a invenção do forno industrial, a fabricação do gesso agrega maior tecnologia, ocorrendo a melhoria do material produzido, favorecendo o aumento da sua produção e facilitando suas formas de emprego.”

Segundo a Sindusgesso (2009 apud MAGALHÃES, 2009, p. 38) “o Brasil possui uma reserva de cerca de 1.220 milhões de toneladas de gipsita [...] a previsão de exploração é de 600 anos [...] a região do Araripe em Pernambuco, concentra 40% das reservas mundiais e atende a 95% da demanda nacional.”

#### 3.2 Gesso acartonado

De acordo com Sabbatini (1998 apud MAGALHÃES, 2009, p. 44), “foi Augustine Sackett, em 1898, quem inventou as chapas de gesso acartonado nos Estados Unidos e na década de 40, passaram a ser utilizadas de forma intensiva como divisórias internas. [...] No Brasil, a produção teve início em 1972, com a Gypsum Nordeste.”

No Brasil a popularização do gesso ainda é recente, mas para Sabbatini (1998 apud MAGALHÃES, 2009, p. 45): “existem no mercado fatores favoráveis para a expansão da

tecnologia como a competitividade na produção e a busca por reduzir custos e racionalizar os processos construtivos com inovações tecnológicas e a exigência dos clientes na qualidade e na manutenção dos edifícios.”

Atualmente, no Brasil são comercializadas três tipos placas de gesso acartonado: o modelo Standard (ST), para aplicação em paredes, forros em áreas secas; o modelo resistente à umidade (RU), para aplicação em paredes, revestimentos e forros em áreas sujeitas à umidade por tempo limitado (de forma intermitente); e o modelo resistente ao fogo (RF) para aplicação em Paredes, revestimentos e forros em áreas secas, com chapas especialmente resistentes ao fogo. (VIEIRA, 2012)

Os principais tipos de parede fabricadas com gesso acartonado, segundo Oliveira (2005 apud LIMA, 2012 p. 43-44), são:

- Parede simples – composta por uma linha de guias e montantes e com uma camada de painel de gesso acartonado em cada face;
- Parede dupla – composta por uma linha de guias e montantes e duas camadas de chapas de gesso acartonado em cada face;
- Parede com lã mineral – composta por um material acústico como a lã de vidro e a lã de rocha;
- Parede com dupla estrutura – composta por duas linhas de guias e montantes, adotadas em razão do desempenho estrutural ou acústico requerido, que permite a passagem de tubulações de grandes diâmetros;
- Parede com montantes duplos – normalmente composta por uma linha de guias e montantes, sendo empregados montantes fixados entre si e justapostos dois a dois, utilizada quando são necessárias alturas mais elevadas.
- Parede com estruturas desencontradas – composta por duas linhas de guias e montantes desencontrados, adotada em razão do desempenho estrutural ou acústico requerido.

A ABNT NBR 14715:2001, no que se refere às propriedades de resistência ao fogo das chapas de gesso acartonado expressa o seguinte:

No que se refere à resistência ao fogo, o comportamento das chapas de gesso acartonado só pode ser verificado em ensaios de desempenho de sistemas de paredes, forros e revestimentos, não sendo contemplado nesta Norma. As chapas resistentes ao fogo devem obedecer às características definidas nesta Norma para as chapas tipo *Standard*. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2001, p. 4).

Conforme Knauf (1997 apud LIMA, 2012 p. 33-34) “as chapas de gesso Resistente à umidade possuem coloração esverdeada, enquanto que a resistentes ao fogo possuem o cartão frontal na cor rosa.”

### **3.3 Procedimentos para construção com gesso acartonado**

A construção, utilizando gesso acartonado, deve seguir uma série de procedimentos técnicos que visam garantir a estabilidade da estrutura. Para compreender o método construtivo é

preciso inicialmente conhecer os materiais, os componentes e equipamentos utilizados. Mais que isso, é importante conhecer suas características, para que sejam especificados corretamente e utilizados de maneira adequada. (VIEIRA, 2012)

A seguir, esses componentes serão apresentados pormenorizados de acordo com sua função nas estruturas, organizados, de acordo com Vieira (2012), da seguinte forma:

- a. Componentes para estruturação e suporte;
- b. Componentes para fechamento;
- c. Componentes para fixação das chapas;
- d. Materiais para tratamento das juntas;
- e. Materiais para tratamento termo acústicos.

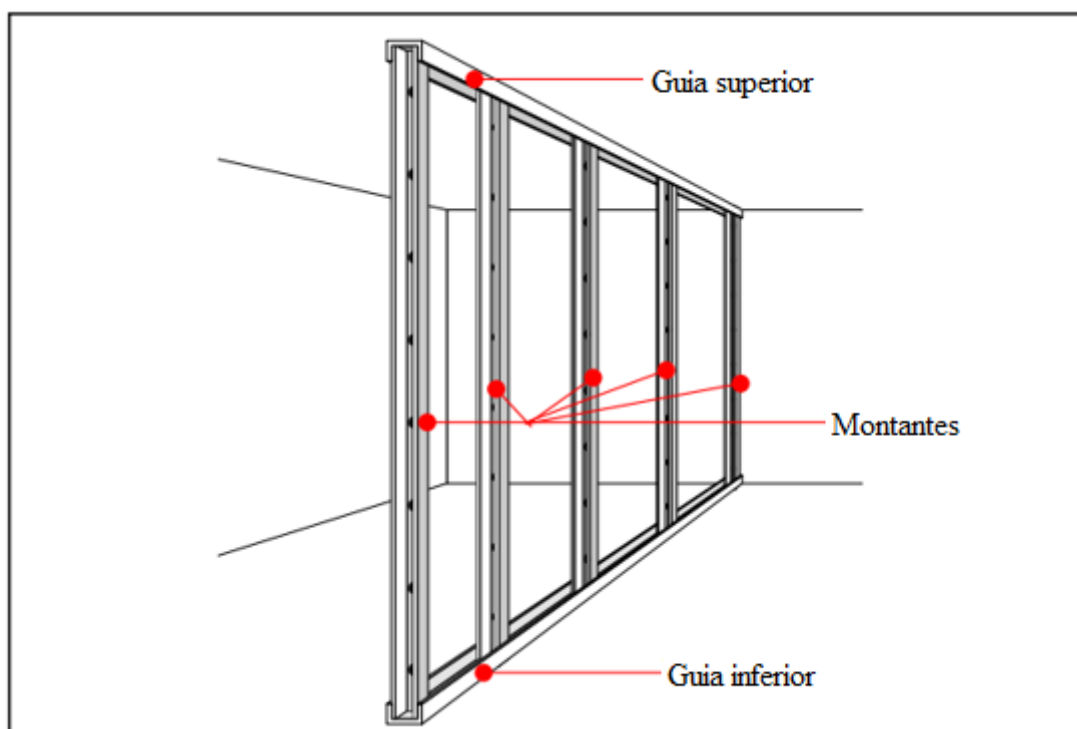
### 3.3.1 Componentes para estruturação e suporte

As chapas de gesso acartonado podem ser fixadas sobre componentes produzidos a partir de diferentes materiais, mas geralmente utiliza-se madeira ou perfis metálicos. (VIEIRA, 2012)

A madeira é muito utilizada na Europa e América do Norte, principalmente na construção de residências. No Brasil, componentes de madeira são comumente utilizados como reforço para fixação de batentes, instalações elétricas e hidrossanitárias ou materiais com massa superior a 30 kg, sendo usual a utilização de aço galvanizado para estruturação. (TANIGUTI, 1999)

De acordo com Taniguti (1999), os perfis metálicos não sofrem com umidade, são incombustíveis e tampouco são susceptíveis ao ataque de insetos e agentes biológicos, garantindo ainda menor peso à estrutura. Estes são divididos basicamente em guias e montantes, como podemos observar na Figura 1.

Figura 1 – Guias e montantes



Fonte: Taniguti (1999)

Segundo Taniguti (1999), o IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) testou o produto de dois fabricantes instalados no Brasil acerca das características dos perfis de aço galvanizado. Os resultados encontrados estão detalhados na Tabela 4.

Tabela 4 – Características dos perfis de aço galvanizado

Tipo do perfil	Espessura do perfil (mm)	Espessura da camada de zinco ( $\mu\text{m}$ )	Uniformidade da camada de zinco	Aderência da camada de zinco
Montante, largura 48 mm	0,60	$14,2 \pm 2,2$ (*)	5 imersões (*)	Satisfatória
		$21,1 \pm 1,7$ (**)	3 imersões (**)	
Guia, largura 48 mm	0,51 (*)	$23,7 \pm 3,3$ (*)	6 imersões (*)	Satisfatória
	0,60 (*)	$17,2 \pm 3,2$ (**)	- (**)	

Fonte: Taniguti (1999)

(\*) fabricante 1: Lafarge Gesso

(\*\*) fabricante 2: Placo do Brasil

De acordo com Vieira (2012), os perfis de aço são produzidos em conformidade com a ABNT NBR 15217, de 2009, que prevê os requisitos e os métodos de ensaio. De acordo com essa norma, os perfis devem ser de aço galvanizado com espessura mínima de 0,50 mm.

A Figura 2 mostra as especificações de acordo com a Associação Brasileira dos Fabricantes de Chapas Drywall.

Figura 2 – Especificações de guias e montantes

Tipo de perfil	Desenho	Código	Dimensões nominais (mm)	Utilização
Guia (formato de 'U')		G 48	48/28	Paredes, forros e revestimentos
		G 70	70/28	
		G 90	90/28	
Tipo de perfil	Desenho	Código	Dimensões nominais (mm)	Utilização
Montante (formato de 'C')		M 48	48/35	Paredes, forros e revestimentos
		M 70	70/35	
		M 90	90/35	

Fonte: ABFCO apud Vieira (2012)

### 3.3.2 Componentes de fechamento

Os elementos de fechamento são as chapas de gesso acartonado, que podem ser de três tipos no Brasil, a saber: *Standard* (ST), resistente ao fogo (RF) e resistente à umidade (RU). Em outros países existem ainda outros tipos, como resistentes à vapor d'água, resistentes à impacto e flexíveis. (TANIGUTI, 1999)

Conforme a ABNT NBR 14715:2001, cada chapa é definida para um tipo de aplicação, conforme vemos no Quadro 1.

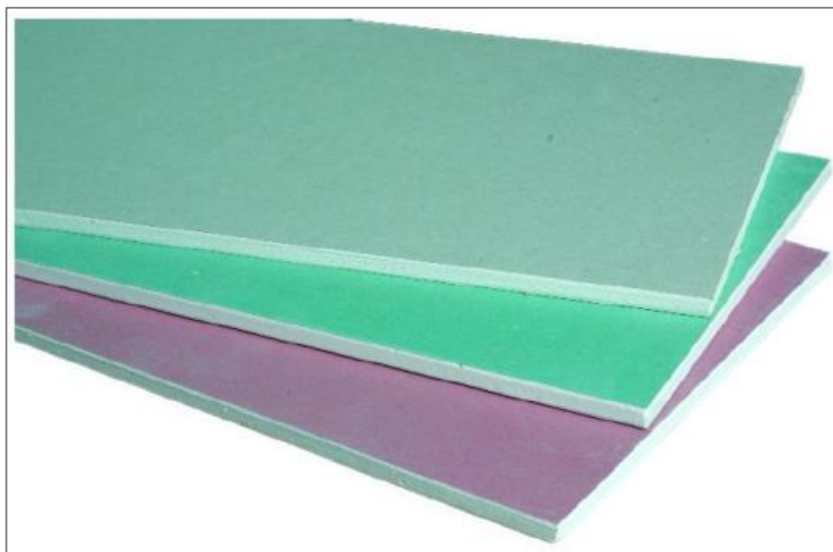
Quadro 1 – Aplicação de cada tipo de chapa de gesso acartonado

Tipo de chapa	Código	Aplicação
<i>Standard</i>	ST	Paredes, revestimentos e forros em áreas secas.
Resistente à umidade	RU	Paredes, revestimentos e forros em áreas sujeitas à umidade por tempo limitado (de forma intermitente).
Resistente ao fogo	RF	Paredes, revestimentos e forros em áreas secas, com chapas especialmente resistentes ao fogo.

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2001)

A Figura 3 mostra o padrão adotado para as chapas de gesso acartonado no que se refere a cor.

Figura 3 – Chapas de gesso acartonado dos tipos ST, RF e RU



Fonte: Vieira (2012)

Há um padrão de cores que identifica a característica da chapa, e de acordo com Taniguti (1999) este padrão predomina em várias localidades do mundo, sendo atribuídas a cor branca para as chapas standard, verde para as chapas resistentes à umidade e rosa para as chapas resistentes ao fogo.

#### 3.3.2.1 Chapas do tipo *standard*

As chapas de gesso acartonado do tipo *standard* são indicadas para uso em ambientes com temperatura até 50°C ou com umidade relativa permanente inferior a 90%, uma vez que acima destas condições, as características das chapas podem se alterar. (KNAUF DO BRASIL, 2007 apud VIEIRA, 2012)

A Tabela 5 mostra as dimensões das placas de gesso acartonado do tipo *standard* (ST).

Tabela 5 – Dimensões das chapas standard

Código	Fabricante	Espessura (mm)	Largura (mm)	Comprimento (mm)	Densidade superficial (kg/m <sup>2</sup> )
ST	Knauf do Brasil	9,5	600/1200	1800 a 3600	Não informado
		12,5	1200	1800 a 3600	
		15	1200	1800 a 3600	
	Gypsum Drywall	6,4	1200	2400	5,5
		9,5	1200	2400	8
		12,5	1200	1200 a 3000	8,5
		15	1200	1800 a 3000	10,6
	Placo do Brasil	9,5	618 e 1200	618/1243/2400	7,3 e 7,5
		12,5	600/1200	1800/2000/2400	8,35 e 8,5
		15	1200	1800/2400	11,5

Fonte: Vieira (2012)

### 3.3.2.2 Chapas resistentes ao fogo

As chapas de gesso acartonado liberam água de hidratação do gesso por ação do calor e, essa perda de água gera uma retração na placa de gesso o que, por sua vez, gera fissuras na chapa que permitem a passagem do calor e, por vezes, até o próprio fogo. Para diminuir este efeito, foram adicionadas fibras não combustíveis à massa de gesso – geralmente vermiculitas e fibra de vidro – que ajudam a manter a integridade da chapa deixando-as mais duras. (TANIGUTI, 1999).

A Tabela 6 mostra as dimensões das chapas resistentes ao fogo comercializadas no Brasil.

Tabela 6 – Dimensões das chapas de gesso acartonado tipo RF

Código	Fabricante	Espessura (mm)	Largura (mm)	Comprimento (mm)	Densidade Superficial (kg/m <sup>2</sup> )
RF	Knauf do Brasil	12,5	1200	1800 a 3600	Não informado
		15	1200	1800 a 3600	
	Gypsum Drywall	12,5	1200	2400	9,75
		15	1200	2400	11,30
	Placo do Brasil	12,5	1200	2400	9,35
		15	1200	2400	11,76

Fonte: Vieira (2012)

### 3.3.2.3 Chapas resistentes à umidade

As chapas de gesso resistentes à umidade (RU) apresentam na composição da massa de gesso, silicone, e têm as duas superfícies da placa cobertas por um cartão com hidrofugante. (KNAUF DO BRASIL, 2007 apud VIEIRA 2012)

De acordo com Taniguti (1999), estas chapas não servem para espaços em contato constante com água. No Brasil são comercializadas nas dimensões apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Dimensões das chapas resistentes à água

Código	Fabricante	Espessura (mm)	Largura (mm)	Comprimento (mm)	Densidade Superficial (kg/m <sup>2</sup> )
RU	Knauf do Brasil	12,5	1200	1800 a 3600	Não informado
	Gypsum Drywall	12,5	1200	1800 a 3000	9
		15	1200	1800 a 300	10,6
	Placo do Brasil	12,5	1200	2400	8,6
		15	1200	2400	11,8

Fonte: Vieira (2012)

### 3.3.3 Elementos para fixação das chapas

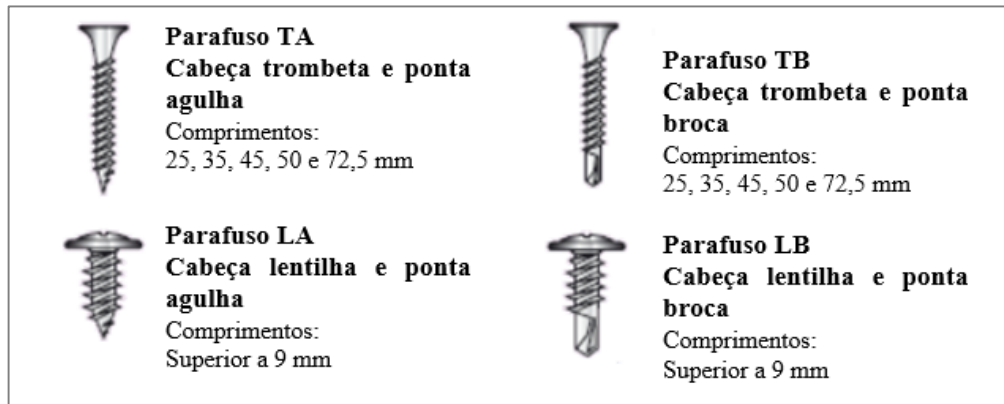
Os elementos de fixação são aqueles que farão a fixação das chapas de gesso acartonado aos elementos de estruturação (guias e montantes) podendo ser pregos ou parafusos. Os pregos somente serão usados quando a estrutura for de madeira, já os parafusos poderão ser usados tanto para estruturas de madeira como que para estruturas de metal. (VIEIRA, 2012)

Taniguti (1999) comenta que devem ser usados parafusos e pregos especiais, principalmente porque os pregos comuns possuem cabeça menor do que os recomendados para placas de gesso acartonado e que danificam as chapas com maior facilidade.



Dentre os modelos de parafusos, destacam-se quatro tipos, conforme Figura 4.

Figura 4 – Tipos de parafusos

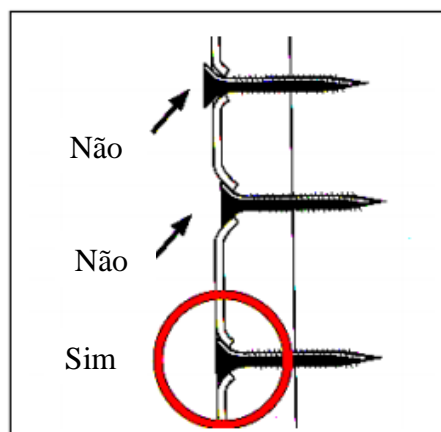


Fonte: Gypsum Brasil apud Vieira (2012)

Taniguti (1999) recomenda que os pregos possuam ductilidade suficiente para resistir uma curvatura de 90° sem apresentar fratura, devem apresentar resistência a retirada imediatamente após a sua colocação e, não devem reagir quimicamente com os compostos utilizados para o tratamento das juntas e de acabamento que o gesso receberá.

A colocação do parafuso deve respeitar os limites da placa, de acordo com a Figura 5, não pode ficar saliente nem reentrante, pois a cabeça deve fixar o cartão para resistir as cargas nele aplicadas. (TANIGUTI, 1999)

Figura 5 – Colocação correta do parafuso



Fonte: Placo do Brasil apud Taniguti (1999)

### 3.3.4 Materiais para tratamento das juntas

Segundo Taniguti (1999), afim de evitar que a parede adquira um aspecto modular (semelhante ao de assentamento de lajotas), é realizado tratamento das juntas para deixá-las com aspecto uniforme ou, como refere Vieira (2012), monolítico.

Conforme Gypsum Drywall, (2012 apud VIEIRA, 2012, p. 46) “As massas para tratamento das juntas podem ser à base de pó de gesso com aditivos, para ser misturados com água na obra; ou massas prontas à base de resina vinílica.”

Knauf do Brasil (2007 apud VIEIRA, 2012, p. 47) explica que:

As fitas de papel microperfurado para juntas são usadas para reforçar as juntas da emenda de chapas e os cantos. A microperfuração da fita de papel tem a finalidade de aumentar a aderência da fita na massa. Estas fitas possuem largura de 50 mm em rolos de diferentes tamanhos.

“Da massa preparada na obra, pode-se obter um composto com diferentes características. Já as massas prontas, que apresentam consistência uniforme, não dependem da forma de como é misturada.” (FERGUSON, 1996 apud LIMA, 2012, p. 42)

De acordo com Lima (2012, p. 43), “as fitas são elementos utilizados com a função de acabamento a fim de melhorar o desempenho do painel.”

As fitas podem ser de diferentes tipos. Em Lima (2012, p. 43) encontramos:

- Fita de papel microperfurado: utilizada no tratamento de juntas entre chapas e tratamento dos encontros entre a chapa e o suporte (lajes, vigas, pilares e alvenarias);
- Fita de papel com reforço metálico: reforço de ângulos salientes;
- Fita de isolamento: utilizada para o isolamento dos perfis, no perímetro das paredes, revestimentos e forros.

O Quadro 2 mostra os tipos materiais para tratamento das juntas comercializadas no Brasil.

Quadro 2 – Tipos de materiais para tratamento das juntas

<b>Tipo de material</b>	<b>Descrição</b>
Massa de rejunte em pó	Massa em pó para ser misturada com água na obra. Usada ainda para acerto de imperfeições e acabamento superficial.
Massa de rejunte pronta para uso	Massa para tratamento de juntas, pronta para uso. Também usada para preenchimento de irregularidades e acabamento superficial.
Massa de colagem	Fixação das chapas de gesso diretamente sobre os suportes de alvenaria e estrutura de concreto, para pequenos reparos nas chapas. Deve ser misturada com água para sua aplicação
Fita para juntas	Fita de papel especial microperfurado, para tratamento de juntas em paredes, tetos e revestimentos.
Fita para cantos	Fita de papel com dois feixes metálicos para reforços dos cantos de paredes e colunas.
Cantoneira perfumadas	Cantoneira de aço galvanizado, para proteção de cantos de cantos externos de 90°.

Fonte: Vieira (2012)

### 3.3.5 Lã de rocha

Gerken (2007, p. 105) cita que:

A lã de rocha ou lã mineral já era conhecida há muito pelos nativos do Hawaí, proveniente de erupções vulcânicas. A observação desta ocorrência natural aliada ao conhecimento de que os materiais fibrosos são bons isolantes térmicos, motivou o início das pesquisas na Europa, por volta de 1840. Em 1897, nos Estados Unidos, foi iniciada a produção comercial em pequena escala e somente após o término da 1.<sup>a</sup> Guerra Mundial, essas fibras começaram a ganhar mercado nas aplicações industriais.

Ainda de acordo com Gerken (2007, p. 105) “a composição das rochas de origem basáltica para fabricação de lã de rocha é basicamente de SiO<sub>2</sub> – 53%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 123%, CaO – 15%, MgO – 11% e outras substâncias com percentual de 9%, aproximadamente”.

A fusão da matéria prima ocorre em torno de 1500°C, dando origem ao produto. Essa massa fundida escoava do fundo do forno sobre um disco que gira em alta rotação e que pela ação da força centrífuga produz fios de espessura 15 vezes menores que de um fio de cabelo. Estes fios se entrelaçam aprisionando em seu interior 99% de ar e 1% de fibras. Depois disso, este material é revestido com uma resina termoendurecível que permite a sustentação das fibras. (GERKEN, 2007)

Conforme Lima (2012, p. 44), em se tratando de resistência ao fogo das paredes erigidas com gesso acartonado apresentam boa resistência visto sua composição básica que, seja:

A chapa de gesso acartonado é composta de cerca de 21% de água. Isso determina ao produto uma boa resistência ao fogo. No entanto o desempenho será determinado por uma série de variáveis como o tipo e a espessura da chapa, a espessura final da parede, a existência ou não de tratamento interno com mantas isolantes e resistentes ao fogo, o tipo de revestimento aplicado e outras características.

Taniguti (1999) menciona que para melhorar o desempenho termo acústico das paredes com gesso acartonado, são utilizados materiais isolantes no seu interior, podendo ser a base de lã de rocha ou de vidro, sendo que a escolha por um ou outro tem sido exclusivamente pelo fator custo pois os catálogos dos fabricantes não possibilitam realizar comparações entre eles.

De acordo com Taniguti (1999), as características da lã de rocha fornecidas no Brasil estão apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8 – Características da lã de rocha

	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	Espessura (mm)	Comprimento (m)	Largura (m)
Painel	25 a 160	25 a 100	1,20	0,60
Rolos	32 a 48	25 a 100	3,60 e 8,0	0,60

Fonte: Taniguti (1999)

As características físicas da lã de rocha são apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9 – Propriedades físicas da lã de rocha

<b>Propriedades</b>	<b>Valores</b>
Condutibilidade térmica (W/mK)	0,25
Calor específico (J/kg °C)	0,20
Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	32,00

Fonte: Ficha técnica Rock Fibras apud Gerken (2007)

Um cuidado a ser tomado na escolha do isolante termo acústico está relacionada à quantidade de isolamento requerido e às dimensões das mesmas que devem ser compatíveis com a dos montantes da estrutura. (TANIGUTI, 1999)

## 4 SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS

A segurança contra incêndio em edificações tem como maior objetivo minimizar os riscos de incêndio bem como, reduzir os danos causados se ele não for evitado. A finalidade destas medidas é fazer com que num incêndio, a edificação mantenha-se de tal forma que os usuários da edificação possam sair em segurança, além de permitir acesso seguro das equipes de resgate e combate a incêndio. Essas medidas podem ser divididas em medidas de prevenção de incêndio e de proteção contra incêndios, onde a primeira visa prevenir a ocorrência de incêndio e a segunda objetiva proteger a vida humana e o patrimônio, podendo, estas últimas serem ativas ou passivas. (VIEIRA, 2012, p. 15)

A NBR 14432:2001, assevera que a proteção passiva é:

Conjunto de medidas incorporado ao sistema construtivo do edifício, sendo funcional durante o uso normal da edificação e que reage passivamente ao desenvolvimento do incêndio, não estabelecendo condições propícias ao seu crescimento e propagação, garantindo a resistência ao fogo, facilitando a fuga dos usuários e a aproximação e o ingresso no edifício para o desenvolvimento das ações de combate. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2001, p. 3)

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 14432 (2001, p. 3) as medidas de proteção ativas são o “tipo de proteção contra incêndio que é ativada manual ou automaticamente em resposta aos estímulos provocados pelo fogo, composta basicamente das instalações prediais de proteção contra incêndio.”

### 4.1 Compartimentação

Considerando a NBR 14432:2001, compartimento é:

Edificação, ou parte dela, compreendendo um ou mais cômodos, espaços ou pavimentos, construídos para evitar a propagação do incêndio de dentro para fora de seus limites, incluindo a propagação entre edifícios adjacentes, quando aplicável. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2001, p. 2)

A compartimentação consiste na interposição de elementos de construção resistentes ao fogo, tais como paredes e portas corta-fogo, destinados a separar um ou mais locais do restante da edificação, de forma a evitar ou minimizar a propagação do fogo, calor e gases aquecidos. (MARCATTI et al, 2008, p. 170)

A NBR 14432:2001, define compartimentação da seguinte forma:

Medida de proteção passiva por meio de vedos, fixos ou móveis, destinados a evitar ou minimizar a propagação de fogo, calor e gases, interna ou externamente ao edifício, no mesmo pavimento ou para outros pavimentos e riscos a edifícios vizinhos. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2001, p. 2)

Conforme a Instrução Técnica (IT) nº 02 do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo (2011, p. 101), os principais objetivos da compartimentação são: “a) fazer a contenção do fogo em seu ambiente de origem; b) manter as rotas de fuga seguras contra os efeitos do incêndio; c) facilitar as operações de resgate e combate ao incêndio.”

#### 4.1.1 Compartimentação horizontal

De acordo com a IT 09 do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo, (2011) a compartimentação horizontal é uma medida de proteção que consiste em separar em pequenas unidades que possam suportar o incêndio e impedir que ele se propague para os ambientes adjacentes no mesmo nível. São considerados compartimentados, as unidades que cumprirem com o seguinte:

5.4.1 No interior da edificação, as áreas de compartimentação horizontal devem ser separadas por paredes de compartimentação, devendo atender aos tempos requeridos de resistência ao fogo (TRRF), conforme IT 08/11 – Resistência ao fogo dos elementos de construção.

5.4.2 Os elementos de proteção das aberturas existentes nas paredes corta-fogo de compartimentação podem apresentar TRRF de 30 min menor que a resistência das paredes de compartimentação, porém nunca inferior a 60 min. (CORPO DE BOMBEIROS DA POLICIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2011, p. 207)

Conforme Vieira (2012, p. 17) a compartimentação pode ser obtida da seguinte maneira:

- a) paredes corta-fogo para compartimentação de áreas;
- b) portas e vedadores corta-fogo nas paredes de compartimentação;
- c) registros corta-fogo nos dutos que transpassam as paredes de compartimentação;
- d) selagem corta-fogo nas passagens de instalações prediais (cabos e tubulações) das paredes de compartimentação;
- e) portas corta-fogo para acesso as unidades autônomas;
- f) afastamento horizontal entre janelas de ambientes compartimentados.

As paredes de compartimentação precisam apresentar resistência ao fogo compatível com a severidade do incêndio e com a estrutura da edificação. (VIEIRA, 2012)

#### 4.1.2 Compartimentação Vertical

A compartimentação vertical consiste no isolamento entre pisos consecutivos de modo que o fogo não se propague nem no sentido ascendente nem no descendente. Para que sejam considerados isolados entre si, as NSCI do CBMSC destacam o seguinte (SANTA CATARINA, 1992, p. 44):

Art. 218 [...] § 1 – Para que os pavimentos sejam considerados isolados entre si, devem obedecer as seguintes condições mínimas:

- a) ter entresijos executados em concreto armado;
- b) ter paredes externas resistentes a 2 horas de fogo;
- c) ter afastamento mínimo de 1,20 m entre peitoris e vergas de abertura, situadas em pavimentos consecutivos. A distância entre as aberturas pode ser substituída por abas horizontais que avancem 0,90 m da face da edificação, solidárias com o entresijo e executadas com material resistente ao fogo por 4 horas.

Segundo a NBR 15200:2004, de acordo com o TRRF requerido, o calor transmitido a cada elemento estrutural gera uma certa distribuição de temperatura que por sua vez diminui a resistência dos materiais, a capacidade desses, além de gerar esforços solicitantes decorrentes da dilatação térmica. Com base nisso, visando garantir o mínimo de segurança, a mesma norma define critérios de projeção de estruturas para os elementos estruturais visando garantir determinado TRRF. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004)

A exemplo disso, para garantir a compartimentação vertical, por um período determinado de resistência ao fogo, a NBR 15200:2004, determina dimensões mínimas:

Essas dimensões mínimas são normalmente a espessura das lajes, a largura das vigas, as dimensões das seções transversais de pilares e tirantes e principalmente a distância entre o eixo da armadura longitudinal e a face do concreto exposta ao fogo. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004, p. 12)

Ou seja, conforme a NBR 15200 (2004), para garantir, ainda na fase de projeto, a definição dos TRRF dos elementos estruturais, deve-se atender a dimensão mínima estabelecida para cada um desses elementos. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004, p. 12)

De acordo com a IT 09 (CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2011, p. 208):

A compartimentação vertical é constituída dos seguintes elementos construtivos ou de vedação:

- a. entresijos corta-fogo;
- b. enclausuramento de escadas por meio de parede de compartimentação;
- c. enclausuramento de poços de elevador e de monta carga por meio de parede de compartimentação;
- d. selos corta-fogo;
- e. registros corta-fogo (dampers);
- f. vedadores corta-fogo;
- g. elementos construtivos corta-fogo de separação vertical entre pavimentos consecutivos;
- h. selagem perimetral corta-fogo;
- i. cortina corta-fogo.

O uso de abas, peitoril ou balcão, dificulta a passagem das chamas entre os pavimentos, durante o incêndio em edificações verticalizadas, sendo usados para conferir características de compartimentação vertical quando as aberturas da parede não cumprirem com o afastamento

mínimo exigido. (CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2011)

Analisando a NBR 15575-1:2013, temos o seguinte:

Os materiais de revestimento, acabamento e isolamento termoacústico empregados na face interna dos sistemas ou elementos que compõem a edificação devem ter as características de propagação de chamas controladas, de forma a atender aos requisitos estabelecidos nas ABNT NBR 15575-3 a ABNT NBR 15575-5. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013, p. 17)

#### 4.2 Tempos requeridos de resistência ao fogo

Os tempos requeridos de resistência ao fogo são as condições a serem atendidas pelos elementos estruturais e de compartimentação que integram as edificações para que, em situação de incêndio, seja evitado o colapso estrutural por tempo suficiente para possibilitar a saída segura das pessoas e o acesso para as operações do Corpo de Bombeiros. (VIEIRA, 2012)

Ono (2007 apud VIEIRA, 2012, p. 18), salienta que:

Na engenharia de segurança contra incêndio das edificações, um item muito importante é a resistência ao fogo das paredes de uma edificação, onde se constatou em incêndios ocorridos em edifícios altos, que as vias de circulação apresentavam uma grande vulnerabilidade à fumaça, ao calor e às chamas, dificultando o abandono da edificação e facilitando a propagação do incêndio.

A NBR 14432:2001 define o TRRF como sendo o “tempo mínimo de resistência ao fogo, preconizado por esta norma, de um elemento construtivo quando sujeito ao incêndio-padrão.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2001, p. 3)

Silva et al (2008, p. 146) define que:

De uma forma simplista, o Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF) pode ser entendido como o tempo mínimo (descrito em minutos e fruto do consenso de uma dada sociedade) que os elementos construtivos devem resistir (com respeito à integridade, estanqueidade e isolamento, onde aplicável) a uma ação térmica padronizada, em um ensaio laboratorial. A variável “tempo” é utilizada, em códigos e regulamentos, como uma medida para a definição do desempenho em incêndio.

Berto (1998 apud VIEIRA 2012, p. 19) conceitua resistência ao fogo como sendo:

[...] o tempo durante o qual os elementos da construção sujeitos a uma elevação padronizada de temperatura (simulação de incêndio) mantêm a sua estabilidade (elementos estruturais) ou integridade (elementos não estruturais) não permitindo, no caso de elementos separadores de ambientes, a elevação acentuada de temperatura no lado não exposto ao fogo nem a passagem de gases quentes ou chamas.

A determinação de um tempo mínimo de resistência ao fogo (TRRF) se dá, segundo Silva et al. (1998, p. 147), de forma consensual em função do risco de incêndio (altura e ocupação da edificação) avaliado para todas as edificações. No entanto, este mesmo autor nos leva a analisar a questão de um modo mais complexo:



Na área de engenharia de estruturas em situação de incêndio sabe-se que o que determina a ruína de um elemento estrutural é o campo de temperaturas a que ele está submetido e não o tempo em que esse campo foi atingido. Isto ocorre por que a curva de aquecimento do incêndio real é diferente da curva usada para padronização dos testes laboratoriais, que não apresenta um ponto máximo como veremos mais a diante.

No Brasil, este tempo é normalizado, entre outras pela NBR 9077:1993, que estipula o seguinte:

1. TRRF mínimo de 120 minutos para as paredes:

a. Das antecâmaras de acesso as escadas enclausuradas;

b. Das caixas de escadas enclausuradas protegidas; e

c. Dos dutos de entrada de ar e de saída de ar.

2. TRRF mínimo de 240 minutos para as paredes:

a. Das caixas de escada enclausurada à prova de fumaça;

b. Das caixas dos elevadores de emergência. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993)

A NBR 9077 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (1993) cobra ainda que todas as estruturas, incluindo antecâmaras, corpo da escada, corredores e átrios, que fizerem parte da rota de fuga, tenham o mesmo tempo de resistência ao fogo. Enquanto que a NBR 15575-3:2013 estipula que:

Os sistemas ou elementos de vedação entre pavimentos, compostos por entrelaçamentos e elementos estruturais associados, que integram as edificações habitacionais, devem atender critérios de resistência ao fogo visando controlar os riscos de propagação do incêndio e de fumaça de comprometimento da estabilidade estrutural da edificação como um todo ou em parte dela em situação de incêndio. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013, p. 14)

Esta mesma norma define ainda, o seguinte:

Os entrelaçamentos propriamente ditos, bem como as vigas que lhe dão sustentação, devem atender critérios de resistência ao fogo conforme definido a seguir, destacando -se que os tempos requeridos referem - se à categoria corta- fogo, onde são considerados os critérios de isolamento térmico, estanqueidade e estabilidade:

a) Unidades habitacionais assobradadas, isoladas ou geminadas: 20 minutos;

b) Edificações multifamiliares até 12 m de altura: 30 minutos;

c) Edificações multifamiliares com altura acima de 12 m e até 23 m: 60 minutos;

d) Edificações multifamiliares com altura acima de 23 m e até 30 m: 90 minutos;

e) Edificações multifamiliares com altura acima de 30 m e até 120 m: 120 minutos;

f) Edificações multifamiliares com altura acima de 120 m: 180 minutos.

g) Subsolos: no mínimo igual ao dos pisos elevados da edificação e não menos que 60 minutos para alturas descendentes até 10 m e não menos que 90 minutos para alturas descendentes superiores a 10m. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013, p. 14)

De acordo com as IT nº 08 e 11 do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar de São Paulo (2011), os tempos requeridos de resistência ao fogo (TRRF) dos elementos construtivos utilizados deverão atender o exposto a seguir:

1. TRRF mínimo de 120 minutos:
  - a. Escadas enclausuradas;
  - b. Escadas enclausuradas protegidas;
  - c. Escadas enclausuradas a prova de fumaça;
  - d. Os pontos de fixação das escadas metálicas;
  - e. Os elevadores de emergência;
  - f. Os dutos de saída de gases quentes e fumaça.
2. TRRF mínimo de acordo com a ocupação e altura da edificação, conforme o exposto na Tabela 10;
3. Para as escadas e elevadores de segurança, os elementos de compartimentação devem atender, no mínimo, ao TRRF igual ao estabelecido na Tabela 10, porém, não podendo ser inferior a 120 minutos.

Tabela 10 – Tempo requerido de resistência ao fogo conforme a IT nº 08

Grupo	Ocupação/Usos	Divisão	Profundidade do subsolo hs		Altura da edificação h								
			Classe S2	Classe S1	Classe P1	Classe P2	Classe P3	Classe P4	Classe P5	Classe P6	Classe P7	Classe P8	
			hs > 10m	hs ≤ 10 m	hs ≤ 6m	6m < h ≤ 12 m	12 m < h ≤ 23 m	23m < h ≤ 30 m	30m < h ≤ 80 m	80m < h ≤ 120m	120m < h ≤ 150m	150m < h ≤ 250m	
A	Residencial	A-1 a A-3	90	60	30	30	60	90	120	120	150	180	
B	Serviços de hospedagem	B-1 e B-2	90	60	30	60	60	90	120	150	180	180	
C	Comerciais varejistas	C-1	90	60	60	60	60	90	120	150	150	180	
		C-2 e C-3	90	60	60	60	60	90	120	150	150	180	
D	Serviços profissionais, pessoais e técnicos	D-1 a D-3	90	60	30	60	60	90	120	120	150	180	
E	Educacional e cultura física	E-1 a E-6	90	60	30	30	60	90	120	120	150	180	
F	Locais de reunião de público	F-1, F-2, F-5, F-6, F-8 e F-10	90	60	60	60	60	90	120	150	180	-	
		F-3, F-4 e F-7	90	60	Ver item A.2.3.3		30	60	60	90	120	-	
		F-9	90	60	30	60	60	90	120	-	-	-	
G	Serviços automotivos	G-1 e G-2 não abertos lateralmente e G-3 a G-5	90	60	30	60	60	90	120	120	150	180	
		G-1 e G-2 abertos lateralmente	90	60	30	30	30	30	60	120	120	150	
H	Serviços de saúde e institucionais	H-1 e H-4	90	60	30	60	60	90	120	150	180	180	
		H-2, H-3 e H-5	90	60	30	60	60	90	120	150	180	180	
I	Industrial	I-1	90	60	30	30	30	60	120	-	-	-	
		I-2	120	90	30	30	60	90	120	-	-	-	
		I-3	120	90	60	60	90	120	120	-	-	-	
J	Depósitos	J-1	60	30	Ver item A.2.3.4		30	30	60	-	-	-	
		J-2	90	60	30	30	30	30	60	-	-	-	
		J-3	90	60	30	60	60	120	120	-	-	-	
		J-4	120	90	60	60	90	120	120	-	-	-	
L	Explosivos	I-1, L-2 e L-3	120	120	120						-	-	-
M	Especial	M-1	150	150	150						-	-	-
		M-2	120	90	60	60	90	120	-	-	-	-	
		M-3	120	90	90	90	120	120	120	150	-	-	

Fonte: Corpo de Bombeiros da Polícia Militar de São Paulo (2011)

**NOTAS:**

1. Casos não enquadrados serão definidos pelo SvSCr do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo;
2. O TRRF dos subsolos não pode ser inferior ao TRRF dos pavimentos situados acima do solo (ver item 5,10);
3. Para edificações de madeira: verificar item 5.10;
4. Para indústria ou depósito com inflamáveis, considerar I-3 e J-4

Em Santa Catarina a IN nº 09, no que se refere a resistência contra fogo, estabelece nova redação ao artigo 270 das NSCI, como segue:

Art. 270 - São paredes resistentes ao fogo àquelas constituídas pelos seguintes materiais:

I – tijolos maciços de barro revestidos de ambos os lados, assentados em argamassa de cimento e areia, ou cimento cal e areia:

- a) com espessura de 15 cm, até 2 horas;
- b) com espessura de 25 cm, até 4 horas;
- c) com espessura de 35 cm, até 8 horas.

II – blocos de concreto celular autoclavado: até 4 horas, com espessura mínima de 10 cm, para as paredes externas da escada e das antecâmaras; para paredes divisórias internas, entre a escada e a antecâmara a espessura mínima pode ser de 7,5 cm;

III – blocos de concreto: até 2 horas (com espessura mínima de 12,5 cm, com espessura final, após revestimento, de no mínimo 15,5 cm). (CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE SANTA CATARINA, 2006, p. 5)

Para que pavimentos sejam considerados isolados entre si, a IN 09, (CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE SANTA CATARINA, 2006) estabelece que as paredes externas da edificação apresentem resistência mínima de 2 (duas) horas, e para as escadas, de acordo com as Normas de Segurança contra incêndio do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, (SANTA CATARINA, 1992) as escadas utilizadas como saída de emergência deverão atender a um Tempo de resistência ao fogo mínimo de:

1.02 horas para:

- a. Escadas comuns;
- b. Escadas protegidas; e
- c. Escadas enclausuradas.

2. 04 horas para escada enclausurada à prova de fumaça.

De acordo com Vieira (2012) o Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais utiliza os mesmos critérios do Corpo de Bombeiros de São Paulo.

O Corpo de Bombeiros do Distrito Federal, por meio do Decreto 11.258 (DISTRITO FEDERAL, 1988, p. 30) estabelece que: “[...] A escada de emergência deverá [...] ser envolvida por paredes de 25 cm (vinte e cinco centímetros) de alvenaria ou de 15 cm (quinze centímetros) de concreto, resistentes ao fogo por 4 (quatro) horas.”

### **4.3 Curva de elevação de temperatura**

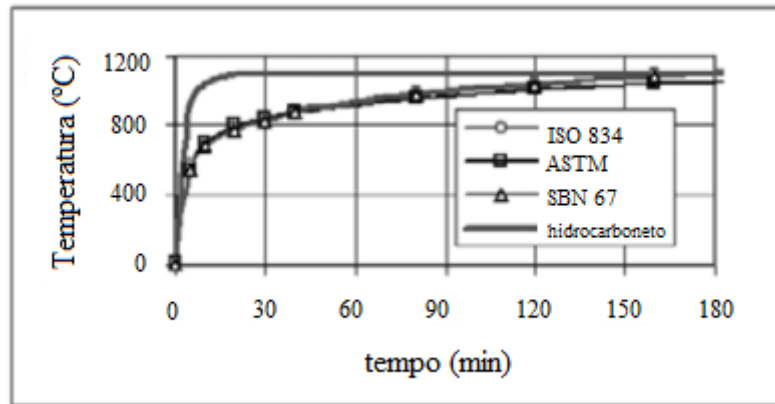
De acordo com a NBR 10636:1989, a resistência ao fogo é verificada quando o corpo de prova, submetido à elevação de temperatura, apresentar um conjunto de determinadas características, como estanqueidade, estabilidade ou isolamento térmico. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989)

Silva et al (2008. p. 145), destaca a necessidade de se padronizar a elevação de temperatura:

Tendo em vista que a curva temperatura-tempo do incêndio se altera, para cada situação estudada, convencionou-se adotar uma curva padronizada como modelo para a análise experimental de estruturas, materiais de revestimento contrafogo, portas corta-fogo, etc., em fornos de institutos de pesquisa. Na falta de estudos mais realísticos, essa curva padronizada para ensaios geralmente é adotada como curva temperatura-tempo dos gases. Esse modelo é conhecido como modelo do incêndio-padrão. A curva padronizada mais difundida internacionalmente é a recomendada pela ISO 834 (1994), mas também podem ser citadas a ASTM E 119 (2000), a norma sueca SBN 67, a BS 476 (1987), entre outras.

As curvas mencionadas acima estão demonstradas no Gráfico 2.

Gráfico 2 – Curvas de incêndio padrão conforme normas estrangeiras



Fonte: Silva et al (2008)

A elevação da temperatura, de acordo com a NBR 10636:1989, deve ser:

O aumento de temperatura no interior do forno deve ser controlado de modo a variar com o tempo, de acordo com a seguinte expressão:

$$T - T_0 = 345 \log (8t + 1)$$

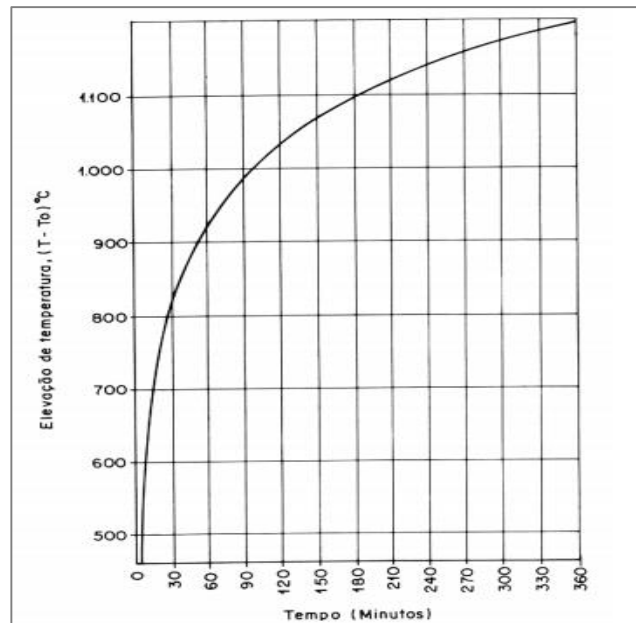
Onde:

t = tempo de ensaio, em min,

T = temperatura do forno no tempo t, em °C. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 3)

A elevação da temperatura conforme a fórmula acima, pode ser descrita também conforme a Tabela 11 e o Gráfico 3, o que revela que ela coincide com a curva ISO 834. Esta elevação da temperatura produz o gráfico abaixo, que descreve o crescimento logarítmico da temperatura do incêndio. Esta curva é conhecida como curva padrão e difere da curva real, pois a curva real apresenta um pico de máxima temperatura, conforme descreve Silva et al (2008).

Gráfico 3 – Elevação da temperatura pelo tempo de acordo com a NBR 10636



Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (1989)

O Gráfico acima pode ser descrito também na forma da Tabela abaixo:

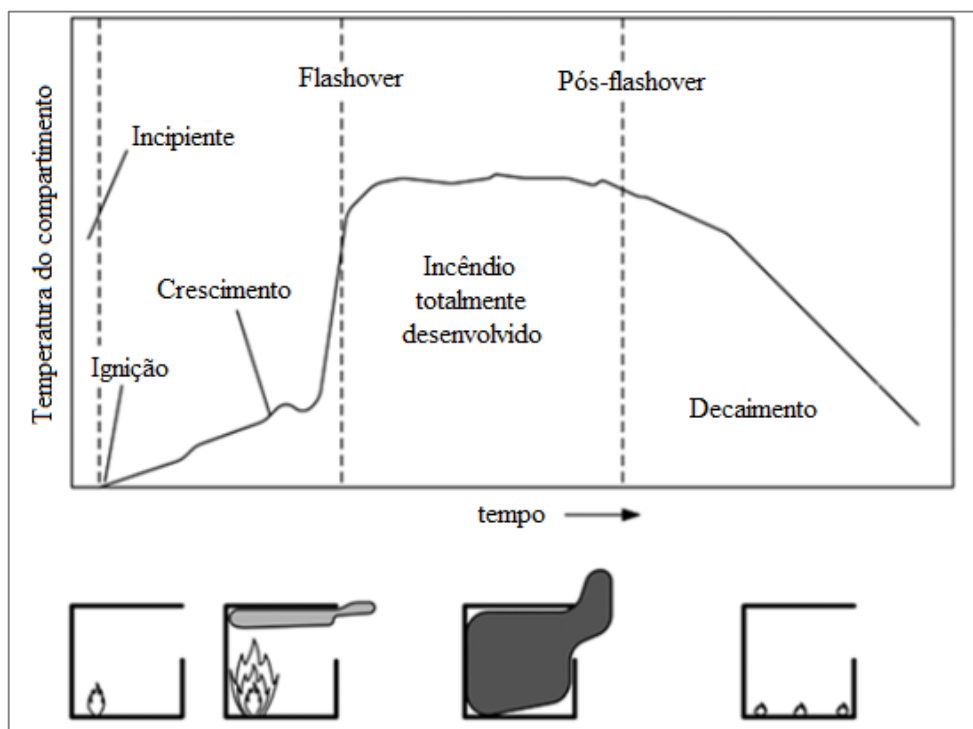
Tabela 11 – Elevação da temperatura do forno para o ensaio do material

Tempo t (min)	Elevação da temperatura do forno (T - T₀) °C
5	556
10	659
15	718
30	821
60	925
90	986
120	1029
180	1090
240	1133

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (1989)

Na realidade, um incêndio real não se comporta desta maneira, pois o comportamento de um incêndio depende de uma série de fatores como carga de incêndio, ventilação ou confinamento, material da edificação, entre outros, conforme podemos retirar de Silva et al (2008). Este mesmo autor demonstra graficamente o comportamento do incêndio padrão, de onde se obtém que ao contrário da curva do incêndio padrão que só cresce com o tempo, o incêndio real decai após a ocorrência do flashover, como vemos na Figura 6.

Figura 6 – Curva do incêndio real



Fonte: Silva et al (2008)

#### 4.4 Graus e categorias de resistência ao fogo

Realizados os testes, espera-se dos materiais que eles resistam ao incêndio. Para tanto, a NBR 10636:1989 estabelece algumas características que vão especificar o grau de resistência dos materiais. Estas características são:

- Estabilidade:** considera-se estável o corpo de prova que não apresente ruptura deslocamento transversal maior que o estipulado, mantido o carregamento constante e a elevação de temperatura de acordo com a curva do incêndio padrão, teste realizado para elementos estruturais.
  - Estanqueidade:** capacidade do corpo de prova em impedir a passagem de gases quentes e fumaça para a face não exposta ao fogo.
  - Integridade:** Capacidade do corpo de prova em não apresentar trincas ou apresentar desintegração, mesmo após teste de choque mecânico. Teste para elementos não estruturais.
  - Isolamento térmico:** capacidade do corpo de prova em evitar a transmissão de temperatura para a parte não exposta ao fogo de modo que a temperatura média nesta face não seja superior a 140° C e nem superior a 180° C em um ponto específico.
- (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989)

Os materiais analisados podem ser considerados corta-fogo ou para-chamas, de acordo com as características que apresentarem durante os testes. Para tanto, a NBR 10636:1989 define o seguinte:

[...] o corpo-de-prova se enquadrará em uma ou mais das seguintes categorias:

- a) corta-fogo, quando atender a todas as exigências, ou seja, estabilidade, estanqueidade e isolamento térmico;
- b) para-chamas, quando atender às exigências de estabilidade e estanqueidade. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 6)

Além disso, estes corpos de prova, são classificados também pelo tempo que demonstram tal resistência, como pode ser observado em NBR 10636:1989:

A cada categoria é associado um grau de resistência ao fogo, expresso pelo tempo de ensaio durante o qual os corpos-de-prova satisfazem aos critérios de resistência correspondentes à sua categoria. Os graus de resistência ao fogo, expressos em minutos, são os seguintes: 360, 240, 180, 120, 90, 60, 45, 30 e 15. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 6)

Assim, poderemos ter uma porta ou parede classificada em corta-fogo de acordo com o tempo nos seguintes graus de classificação: CF 15, CF 30, CF 45, CF 60, CF 90, CF 120, CF 180, CF 240 e CF 360. Ou então em para-chamas de acordo com o tempo em: PC 15, PC 30, PC 45, PC 60, PC 90, PC 120, PC 180, PC 240 e PC 360. Sendo que uma parede ou porta classificada como um determinado grau CF apresentará o mesmo grau PC, se não houver uma avaliação especial para PC. (ABNT NBR 10636, 1989)



## **5 MÉTODO**

Aqui são descritos os procedimentos utilizados para elaboração deste trabalho, divididos em procedimentos metodológicos e bibliográficos. A parte metodológica refere-se ao método segundo as correntes científicas, a parte bibliográfica refere-se a pesquisa propriamente dita, executando-se uma análise detalhada das fontes bibliográficas que embasarão esta pesquisa.

### **5.1 Procedimentos metodológicos**

Este trabalho classifica-se como uma pesquisa exploratória que, segundo Gil (2009), pretende aprimorar ideias e conhecimentos possuindo ainda um planejamento flexível onde se consideram diversos aspectos do tema em estudo.

Ainda de acordo com o autor, o procedimento técnico a ser utilizado é a pesquisa bibliográfica que tem por base materiais já elaborados como revistas e artigos científicos.

De acordo com Lakatos e Marconi (2011, p. 53), o método científico a ser adotado será o indutivo, pois:

Indução é um processo mental por intermédio do qual, partindo de dados particulares, suficientemente constatados, infere-se uma verdade geral ou universal, não contida nas partes examinadas. Portanto, o objetivo dos argumentos é levar a conclusões cujo conteúdo é muito mais amplo do que as premissas nas quais se basearam.

Lakatos e Marconi (2011) lembram ainda que ao contrário do método dedutivo, em que toda premissa verdadeira leva a uma conclusão verdadeira, no método indutivo premissas verdadeiras conduzem apenas a conclusões prováveis.

### **5.2 Resultados obtidos por pesquisas anteriores**

Neste item estão dispostos os resultados obtidos até aqui por pesquisas científicas nos diversos níveis de produção, seja acadêmica ou industrial.

#### **5.2.1 Resultados obtidos por Vieira (2012)**

Alexandre Vieira, Major do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, realizou em 2012, em sua monografia intitulada “A possibilidade do uso de paredes de gesso acartonado como parede corta-fogo” para o curso de pós-graduação em “gestão de eventos críticos” da Universidade Sul de Santa Catarina – UNISUL, 4 ensaios, em 2 etapas. Sendo dois no contêiner

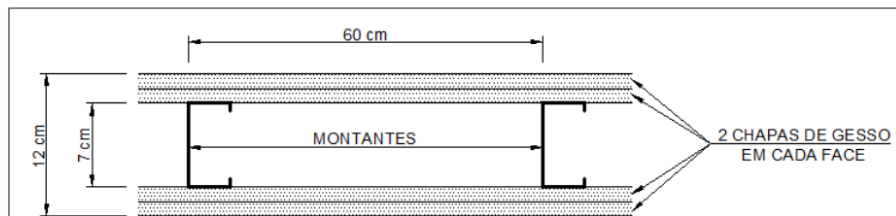
de aço, para instrução de combate a incêndios confinados do 8º Batalhão de Bombeiros Militar na cidade de Tubarão e outros dois na cidade de Joaçaba, no laboratório para ensaios e instrução de combate a incêndios confinados, da 2ª Companhia do 2º Batalhão de Bombeiros Militar.

### 5.2.1.1 Instrumentação dos experimentos

Nos ensaios realizados em Tubarão, Vieira montou os corpos de prova da seguinte maneira:

- a) Uma parede medindo 240 cm de largura por 240 cm de altura com duas chapas de gesso acartonado do tipo *standard* de 12,5 mm em cada face, conforme Figura 7:

Figura 7 – Esquema de montagem das paredes de gesso acartonado



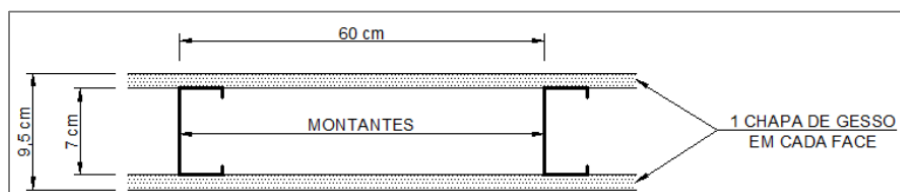
Fonte: Vieira (2012)

- b) Uma parede com duas chapas do tipo RF em cada face, com as mesmas dimensões do teste anterior.

Em Joaçaba, o autor efetuou outros dois ensaios com paredes com a seguinte configuração:

- a) Uma parede de 300 cm largura por 255 cm de altura com duas chapas de gesso acartonado do tipo *standard* de 12,5 mm em cada face nos mesmos moldes da figura 7; e
- b) Uma parede de 300 cm largura por 255 cm de altura com uma chapa RF de 12,5 mm em cada face, conforme a Figura 8.

Figura 8 – Configuração da parede com uma chapa RF em cada face.



Fonte: Vieira (2012)

Para os ensaios em Tubarão, Vieira usou somente um termômetro digital infravermelho modelo Ultimax da marca Ircon. Em Joaçaba, além do termômetro digital, foram utilizados ainda, 03 termopares com cabos tipo KX da marca alutal com sensor de temperatura entre 0°C e 1260°C e ainda, um notebook com software Workgroup 3, versão 4.1.0 para leitura dos termopares.

Os termopares usados em Joaçaba foram posicionados a 50 cm da face exposta ao fogo em três diferentes níveis: a 50 cm, a 150 cm e a 250 cm do nível do piso.

Os experimentos simulavam um incêndio real, não adotando o incêndio padrão definido pela ABNT NBR 10636 de 1989 pela falta de equipamento adequado. O principal critério avaliado foi o isolamento térmico através do monitoramento da face não exposta ao fogo. No entanto foram levados em conta outros critérios, como estanqueidade – através da percepção visual do aparecimento de trincas que permitissem a passagem de fumaça e gases quentes para a face não exposta – e a integridade – através da percepção visual do aparecimento de trincas, deformações excessivas ou o colapso da parede. Vieira adotou como critério para definir o tempo de resistência ao fogo das paredes de gesso testadas, tempos múltiplos de 30 minutos.

### 5.2.1.2 Resultados obtidos

No primeiro experimento, a parede ensaiada (duas chapas de gesso Standard de cada lado) foi submetida a 60 minutos de fogo. Com até 45 minutos a temperatura não alcançou 140°C em nenhum ponto da superfície da face não exposta. A partir daí houve a passagem de chamas entre a parede gesso e a parede do contêiner, o que ele atribui a dilatação do aço do contêiner.

Em face disto, atribuiu, conforme a Tabela abaixo, os seguintes valores para a parede testada.

Tabela 12 – Resultado da parede com duas chapas standard em cada face

Características da parede					Resultados do ensaio			Resistência ao fogo (min)
Local do ensaio	Espessura total da parede (mm)	Largura do perfil de aço (mm)	Espaçamento do perfil de aço (mm)	Quantidade / tipo / espessura (mm) da chapa de gesso	Resultado dos ensaios			
					Integridade	Estanqueidade	Isolação térmica	
Tubarão	120	70	600	2/ST/12,5	50	45	45	30

Fonte: Vieira (2012)

O segundo teste realizado em Tubarão foi com duas chapas de gesso RF em cada face e foi prejudicado pela falta de bateria no termômetro. Além disso, com 5 minutos a junta de

vedação entre a parede de gesso e o teto do contêiner se rompeu e permitiu a passagem das chamas. Embora não tenha sido possível medir a temperatura na face não exposta, Vieira relatou que durante os 100 minutos do teste, a face não exposta não sofreu alteração significativa da temperatura, sendo possível a verificação pelo tato com a própria mão.

A resistência da parede ficou estabelecida conforme a Tabela abaixo.

Tabela 13 – Parede com duas chapas RF em cada face

Características da parede					Resultados do ensaio			
Local do ensaio	Espessura total da parede (mm)	Largura do perfil de aço (mm)	Espaçamento do perfil de aço (mm)	Quantidade / tipo / espessura (mm) da chapa de gesso	Resultado dos ensaios			Resistência ao fogo (min)
					Integridade	Estanqueidade	Isolação térmica	
Tubarão	120	70	600	2/RF/12,5	100	5	100	00

Fonte: Vieira (2012)

No primeiro teste executado em Joaçaba, Vieira experimentou uma parede com duas chapas RF em cada face. Esta parede foi testada durante 120 minutos e a temperatura máxima dentro do compartimento com fogo chegou a 1.362°C. Neste ensaio também houve falha na vedação, pois aos 100 minutos de testes, formou-se uma brecha no topo da parede permitindo a passagem de calor, o que elevou a temperatura neste ponto acima dos 180°C.

A Tabela 14 mostra como ficou a resistência ao fogo da parede ensaiada.

Tabela 14 - Parede com duas chapas RF em cada face

Características da parede					Resultados do ensaio			
Local do ensaio	Espessura total da parede (mm)	Largura do perfil de aço (mm)	Espaçamento do perfil de aço (mm)	Quantidade / tipo / espessura (mm) da chapa de gesso	Resultado dos ensaios			Resistência ao fogo (min)
					Integridade	Estanqueidade	Isolação térmica	
Joaçaba	120	70	600	2/RF/12,5	120	100	100	90

Fonte: Vieira (2012)

O quarto e último ensaio foi realizado em Joaçaba, onde uma parede com 1 chapa de gesso acartonado tipo RF em cada face foi exposta a um teste durante 60 minutos. A temperatura máxima registrada pelos termopares foi de 1363,3°C dentro do ambiente compartimentado. Neste teste, aos 45 minutos de ensaio, a temperatura na face não exposta ultrapassou 180°C nas juntas entre as chapas de gesso. Na face da chapa propriamente dita, a temperatura não ultrapassou os 140°C. Aos 45 minutos também começou a passar fumaça, o que comprometeu a estanqueidade.

A parede manteve-se estável até os 60 minutos. A Tabela abaixo mostra como ficou a classificação de resistência da parede em questão.

Tabela 15 – Parede com 01 chapas RF em cada face

Características da parede					Resultados do ensaio			Resistência ao fogo (min)
Local do ensaio	Espessura total da parede (mm)	Largura do perfil de aço (mm)	Espaçamento do perfil de aço (mm)	Quantidade / tipo / espessura (mm) da chapa de gesso	Resultado dos ensaios			
					Integridade	Estanqueidade	Isolação térmica	
Joaçaba	95	70	600	1/RF/12,5	60	45	45	30

Fonte: Vieira (2012)

### 5.2.1.3 Conclusões de Vieira (2012)

Embora os testes em Tubarão tenham sido prejudicados pelas características físicas do contêiner, os testes de Joaçaba foram muito satisfatórios pois a estrutura e os instrumentos disponíveis permitiram uma avaliação mais precisa. Com isso, pode verificar que os pontos frágeis das paredes com gesso acartonado são as juntas entre as chapas, entre as chapas e o teto e entre as chapas e as paredes laterais. Dessa forma, observou-se a necessidade de uma atenção especial ao tratamento destas.

Ele conclui fazendo algumas sugestões para aceitabilidade de paredes com gesso acartonado, dentre elas:

- a. Usar no mínimo duas chapas de gesso em cada face;
- b. Impedir que as juntas das chapas na mesma face ou face oposta coincidam umas com a das outras;
- c. Utilizar cantoneiras metálicas ou fitas de papel com feixes metálicos para reforçar encontro de parede com parede ou parede com teto;
- d. Aceitar como parede corta-fogo com resistência de 120 minutos apenas as paredes divisórias com chapas tipo RF com as especificações da Tabela 16.

Tabela 16 – Paredes corta-fogo com resistência ao fogo mínima de 120 minutos

Espessura total da parede (mm)	Perfis de aço		Chapas de gesso em cada face da parede			Resistência ao fogo
	Largura (mm)	Espaçamento (mm)	Quantidade	Tipo	Espessura (mm)	
108	48	600	2	RF	15	120
130	70	600	2	RF	15	120
150	90	600	2	RF	15	120
160	48 + 48	600	2	RF	12,5	120
200	70 + 70	600	2	RF	12,5	120
300	90 + 90	600	2	RF	12,5	120
250	48 + 48	600	3	RF	12,5	180
350	70 + 70	400	3	RF	12,5	180

Fonte: Adaptado de Gypsum Drywall (2012), Knauf do Brasil (2011), Placo do Brasil (2012) e ABNT NBR 15758-1 (2009) apud Vieira (2012)

### 5.2.2 Resultados obtidos por Bénichou e Sultan (2004)

Bénichou e Sultan (2004) realizaram um estudo experimental com 17 painéis buscando, entre outras, estabelecer os parâmetros de resistência de acordo com tipo de isolamento térmico, espessura das placas e número de camadas destas. Para definir a resistência ao fogo, levaram em consideração os critérios de isolamento térmico, estabilidade e estanqueidade. Operacionalizaram suas estruturas utilizando placas de gesso entre 12,5 e 15,9 mm, montantes espaçados de 400 a 600 mm, parafusos autobrocantes e fibras de vidro, lã de rocha ou celulose como isolamento térmico.

De acordo com Bénichou e Sultan (2004), a lã de vidro não agrega nada na resistência das paredes, sendo que em seus testes, as paredes com isolamento de fibra de vidro apresentaram o mesmo tempo de resistência ao fogo que as paredes sem o isolamento, cerca de 65 minutos. A celulose por sua vez diminui a resistência térmica da parede em que é usada em 4%, ou seja o tempo cai para 62 minutos. Já quando é usada a lã de rocha como isolante térmico na parede de gesso acartonado, ocorre um incremento no tempo de resistência de 54%, de modo que o tempo de resistência ao fogo da parede fica 100 minutos.

Bénichou e Sultan (2004) observaram que os fatores mais relevantes para aumento na resistência das paredes de gesso acartonado são o modo como as placas são fixadas nos montantes, o tipo e a quantidade de camadas das placas e o material de isolamento térmico usado.

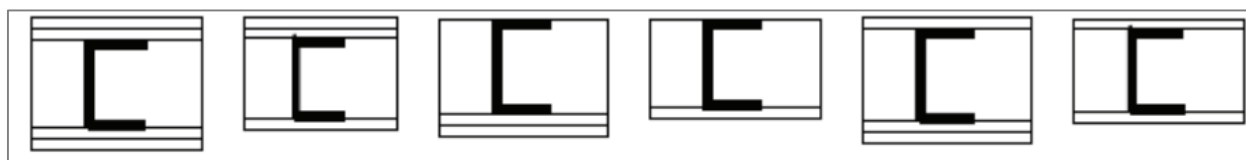
Outro detalhe percebido por Bénichou e Sultan (2004) é que se usarmos madeira para os montantes das paredes de gesso acartonado e prendermos as placas a estes montantes com parafusos do tipo prisioneiro, o preenchimento com lã de rocha, fibra de vidro ou celulose não agrega nada no isolamento ao fogo da parede.

### 5.2.3 Resultados de experimentos em pesquisa bibliográfica efetuada por Souza (2010)

Feng et al (2002 apud SOUZA, 2010) realizaram um estudo com oito painéis em escala reduzida, formados por perfis formados a frio e placas de gesso acartonado. Estes testes visavam validar a capacidade de análise de transferência de calor para os modelos numéricos desenvolvidos pelo programa ABAQUS. Eles usaram gesso com espessura de 12,5 mm do tipo RF, perfil em U com e sem enrijecedor (perfil U 104x63x1,5mm e perfil Ue 100x54x1,2mm) e ainda lã de rocha de 100mm.

A Figura 9 mostra algumas das configurações de painéis testados por Feng et al (2002).

Figura 9 – Variações de configurações testadas por Feng et al (2002)



Fonte: Feng et al (2002 apud SOUZA, 2010)

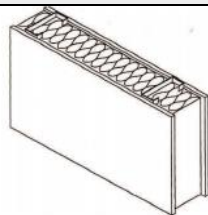
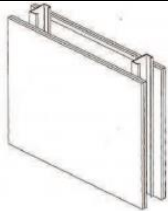
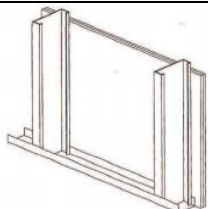
Os testes foram feitos no laboratório de simulação de incêndio do *Manchester Centre for Civil and Constructions Engineering*. Comparando os resultados numéricos com os experimentais, Feng et al (2002 apud SOUZA, 2010) concluíram que em suas oito experimentações, as temperaturas não atingiram o ponto considerado como falha do isolamento térmico (140°C) em duas horas de exposição.

De acordo com Souza (2010), Feng et al (2002 apud Souza, 2010) concluíram ainda que o isolamento térmico é afetado principalmente pela configuração dos painéis e não pelo tipo de material isolante usado na cavidade. No entanto não ter o isolamento interno acarretará em uma menor resistência térmica.

Nader (2002 apud SOUZA, 2010) por sua vez efetuou um estudo chamado “*light steel frame housing – Review of Fire and Acoustic Performance*” que apresenta informações sobre os regulamentos em diversos países e Europa. Começando pela Austrália, o autor lembra que pelo *Building Code of Australia (BCA)*, as edificações residenciais isoladas devem apresentar TRRF de 60 minutos, assim como as edificações residenciais geminadas. Para as multifamiliares com até dois pavimentos, 60 minutos, para três pavimentos ou mais o tempo requerido é de 90 minutos.

De acordo com Nader (2002 apud SOUZA, 2010) na Austrália, os fabricantes de placas de gesso e cimentícias elaboraram manuais com configurações de construção que atendam às exigências do código Australiano. Um exemplo se vê abaixo, no Quadro 3.

Quadro 3 – Exemplos de paredes com seus respectivos TRRF

Especificação	Tempo de Resistência ao fogo (min)	Detalhe construtivo
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espaçamento entre os perfis 600 mm;</li> <li>• Uma placa de 16 mm em cada face;</li> <li>• Lã de vidro na cavidade com 50 mm de espessura.</li> </ul>	60	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espaçamento entre perfis de 600 mm;</li> <li>• Uma placa em cada lado com 6 mm;</li> <li>• Uma placa resistente ao fogo em cada lado com 13 mm.</li> </ul>	120	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Duas placas em apenas um lado de 16 mm;</li> <li>• Espaçamento entre os perfis de 600 mm.</li> </ul>	30	

Fonte: Nader (2002 apud SOUZA, 2010)

Já no Canadá, de acordo com Nader (2002 apud SOUZA, 2010), as exigências estão contidas no *National Building Code of Canada (NBCC)*, e devem atender cinco critérios para o correto enquadramento da edificação, são eles: 1. Classificar a edificação quanto ao seu uso; 2. Em função de sua altura; 3. Determinar o TRRF; 4. Verificar exigências adicionais; 5. Determinar os sistemas de emergência a serem projetados. Sobre TRRF, a edificação só precisa ter se estiver a menos de dois metros da edificação vizinha. Para edificações com até três pavimentos multifamiliares, é exigido TRRF de no mínimo 45 minutos.

De acordo com o apresentado nos testes realizados por Nader (2002 apud Souza, 2010), paredes com uma placa de gesso de 15,9 mm em cada lado e sem isolamento interno apresentam TRRF de 35 minutos enquanto que com isolamento e placas de gesso de 12,7 mm, apresentam TRRF de 45 minutos. Paredes com duas chapas de gesso em cada face com isolamento na cavidade apresentam TRRF de 55 min, independente da espessura da placa de gesso e do tipo de placa.

Conforme Nader (2002 apud SOUZA, 2010) na Europa, as exigências quanto a TRRF seguem o padrão estudado. Variando de 30 minutos podendo chegar a 120 minutos para edificações altas. Ele destaca as configurações padrão para sistemas LSF (light steel frame), conforme o Quadro 4.



Quadro 4 – Configuração construtiva com a respectiva resistência ao fogo para Europa

<b>Resistência ao fogo</b>	<b>Configuração construtiva</b>
30 minutos	Uma placa de gesso standard de 15 mm em cada face.
	Uma placa de gesso tipo RF de 12,5 mm em cada face.
60 minutos	Uma placa RF de 12,5 mais uma standard de 12,5 mm em cada face.
	Uma placa RF de 12,5 juntamente com uma placa standard de 19 mm em cada face.
90 minutos	Duas placas de gesso tipo RF de 12,5 mm em cada face.
	Duas placas de gesso tipo Resistente ao Som de 12,5 mm em cada face.

Fonte: Nader (2002 apud Souza, 2010)

Nos Estados Unidos da América, conforme Nader (2002 apud SOUZA, 2010), os TRRF para edificações variam de acordo com a construção, variando de uma hora para unifamiliares, para duas horas, para edificações com unidades residenciais sobrepostas.

Segundo Nader (2002 apud SOUZA, 2010), a Tabela 17 mostra os parâmetros geométricos e o tempo requerido de resistência ao fogo para paredes de gesso acartonado.

Tabela 17 – Resistência ao fogo de paredes sem função estrutural padrão Americano

<b>Modelo</b>	<b>Espaçamento entre montantes</b>	<b>Isolamento térmico</b>	<b>Placa de gesso</b>		<b>Tempo de resistência ao fogo (min)</b>
			<b>Tipo</b>	<b>Espessura (mm)</b>	
U405	600	-	Uma comum	16	60
U406	600	50 mm – lâ mineral	Uma comum	12,5	60
U419	600	-	Uma comum	16	60
U468	600	62,5 – mm fibra de vidro	Uma comum	12,5	60
U491	600	75 mm – lâ mineral	Uma comum	18,75	120
U411	600	-	Duas comuns	16	120
WP1052	600	-	Duas resistentes ao fogo	16	60
WP1070	600	37,5 mm – lâ mineral	Uma resistente ao fogo	12,5	60
WP1072	600	-	Uma resistente ao fogo	16	60
WP1521	600	-	Duas resistentes ao fogo	12,5	120
WP1548	600	-	Duas resistentes ao fogo	16	120
WP2930	600	-	Duas resistentes ao fogo	18,75	180
WP2964	600	50 mm – lâ mineral	Duas resistentes ao fogo	18,75	240
WALL2	600	50 mm – lâ mineral	Uma comum	12,5	60
WALL14	600	-	Duas comuns	12,5	120

Fonte: Nader (2002 apud SOUZA, 2010)

Analisando Kaitila (2002 apud SOUZA, 2010), verificamos um dado extremamente importante. Como as faces da parede estarão em temperaturas diferentes, é notório que aquela

exposta ao fogo se deteriorará muito mais rapidamente. Outro detalhe é que, como este lado aquece-se mais rapidamente, os efeitos da dilatação térmica também serão maiores neste lado, ocasionando forças compressivas nos montantes, introduzindo efeitos de segunda ordem e flambagem<sup>3</sup> por flexão em torno do eixo de maior inércia.

Kaitila (2002 apud SOUZA, 2010) destaca que, o gesso perde sua eficiência ao atingir 550°C. De qualquer modo, as placas de vedação fixadas na face não expostas continuam exercendo sua função mesmo depois da deterioração das placas localizadas na face exposta ao fogo.

Alves (2006 apud SOUZA, 2010) apresentou resultados numéricos da última resistência das vigas e viga-coluna, construídas por perfis formados a frio. Daí, concluiu que estes são capazes de suportar temperaturas superiores a 350°C e que as placas de gesso são excelentes para minimizar a transferências de calor entre compartimentos.

A EN 1993-1-2 (2005, p. 36, tradução nossa)<sup>4</sup> recomenda que “o limite para a Temperatura crítica pode ser escolhida no anexo nacional. O Valor para Temperatura crítica recomendada é de 350°C.”

Para Alves (2006 apud SOUZA, 2010), o sistema computacional consegue reproduzir de maneira muito satisfatória as transferências de calor no sistema sem isolamento interno, porquanto que quando inserimos algum tipo de isolamento, o sistema apresenta certas distorções que segundo ele podem ser decorrentes da má acomodação deste dentro da cavidade.

#### 5.2.4 Resultados obtidos por Souza (2010)

Marcos Ferreira de Souza, realizou em 2010, em sua dissertação de mestrado em Engenharia Civil pelo Programa de pós graduação em Construção Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, um estudo intitulado: “Estudo numérico do isolamento térmico de painéis do sistema *Light steel framing* em situação de incêndio.” Neste estudo, o autor procurava verificar com auxílio de programa computacional, a variação da distribuição de temperatura no decorrer do tempo e a proteção térmica proporcionada pelos materiais envolvidos.

---

<sup>3</sup> Flambagem: É um fenômeno que ocorre em peças esbeltas (peças onde a área de secção transversal é pequena em relação ao seu comprimento), quando submetidas a um esforço de compressão axial. A flambagem acontece quando a peça sofre flexão transversalmente devido à compressão axial. A flambagem é considerada uma instabilidade elástica, assim, a peça pode perder sua estabilidade sem que o material já tenha atingido a sua tensão de escoamento. (SORIANO, 2011)

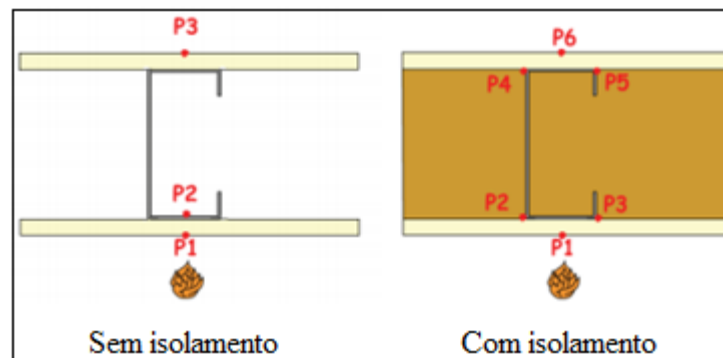
<sup>4</sup> The limit  $\theta_{crit}$  may be chosen in the National Annex. The value  $\theta_{crit} = 350^\circ\text{C}$  is recommended. (EN 1993 1-2, 2005 p. 36)

Para atingir seus objetivos, Souza (2010) baseou suas pesquisas em estudos anteriores, dentre eles os de Feng et al (2002), Nader (2002), Kaitila (2002) e B  nichou e Sultan (2004). O trabalho dele seria tamb  m uma esp  cie de confirma  o ou nega  o dos resultados obtidos, principalmente, pelos dois primeiros.

#### 5.2.4.1 Instrumenta  o dos experimentos realizados por Souza (2010)

Inicialmente, Souza (2010) realizou dois experimentos para servir de valida  o dos modelos e a verifica  o da capacidade do sistema ABAQUS em simular a transfer  ncia de calor em sistemas construtivos de gesso acartonado e perfis formados a frio. Um teste foi com uma chapa de gesso em cada face sem isolamento na cavidade; e o outro, com isolamento na cavidade; foram aferidas as temperaturas em tr  s e seis pontos respectivamente, sendo instalados os termopares em posi  es definidas como P1, P2, P3, P4, P5 e P6, conforme mostra a Figura 10.

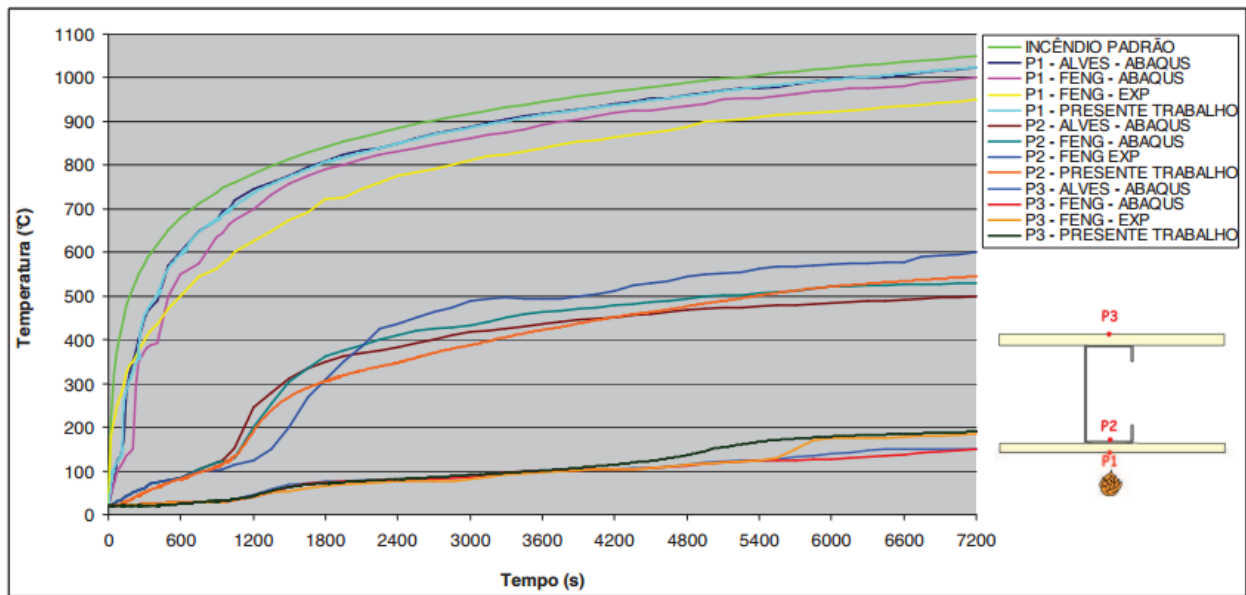
Figura 10 – Configura  es para valida  o dos modelos num  ricos ABAQUS



Fonte: Souza (2010)

Do teste sem isolamento na cavidade, Souza (2010) plotou no Gr fico 4, para fins de compara  o, com os resultados obtidos por Feng experimentalmente, os resultados de Feng e Alves atrav  s do sistema ABAQUS e, finalmente, os que ele experimentou.

Gráfico 4 – Resultados da transferência de calor obtidos em parede sem isolamento

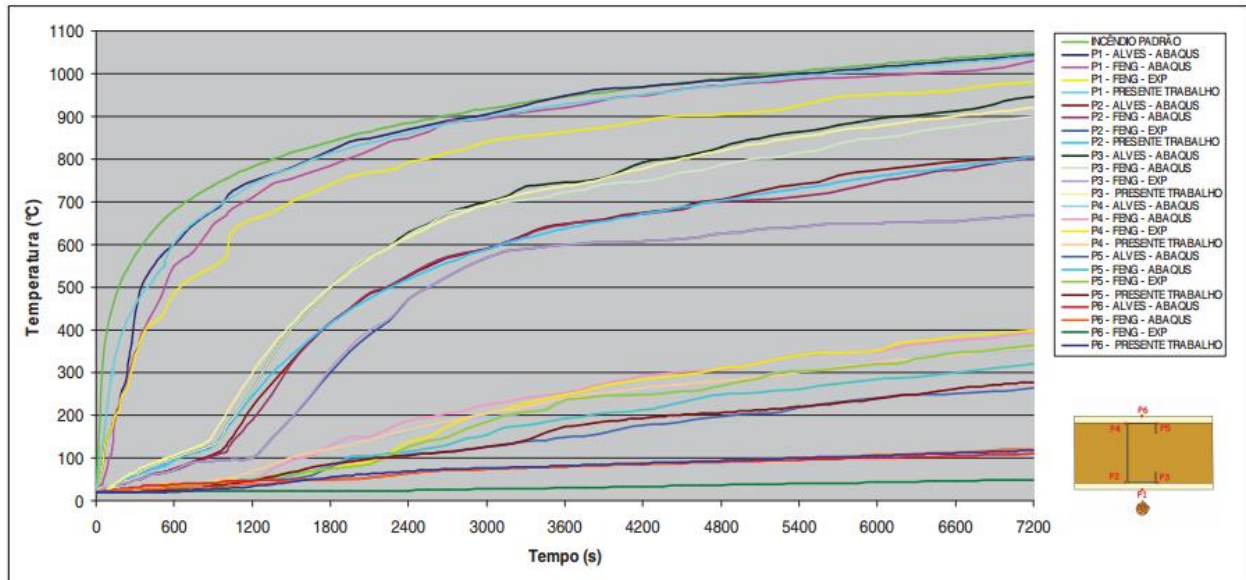


Fonte: Souza (2010)

Pela análise do gráfico acima, percebe-se que, tanto os valores obtidos experimentalmente como pelo sistema ABAQUS apresentam a mesma tendência. Nota-se claramente a existência de três linhas de desenvolvimento da temperatura. A de P1, que mostra a temperatura na face exposta ao fogo e que acompanha a temperatura do Incêndio padrão, a de P2, que mostra a temperatura no interior da cavidade que sem isolamento atinge a temperaturas entre 500 e 600°C e reflete a temperatura no perfil de aço. O ponto P3, indica a temperatura na face não exposta e, de acordo com o Gráfico 4, varia entre 150 e 200°C demonstrando que esta configuração não atende os critérios da NBR 10636:1989 para 2 horas.

O Gráfico 5 por sua vez, mostra os resultados para a configuração de parede com isolamento na cavidade. Nele podemos observar que houve uma variação maior dos resultados das diferentes pesquisas. Analisando este Gráfico, podemos verificar que o preenchimento com lã de rocha diminui significativamente a temperatura na face não exposta e observamos que a temperatura varia entre 50 e 100°C. Conseqüentemente, aumenta muito a temperatura no perfil de aço, que fica entre 650 e 950°C. (SOUZA, 2010)

Gráfico 5 – Resultados da transferência de calor obtidos em parede com isolamento



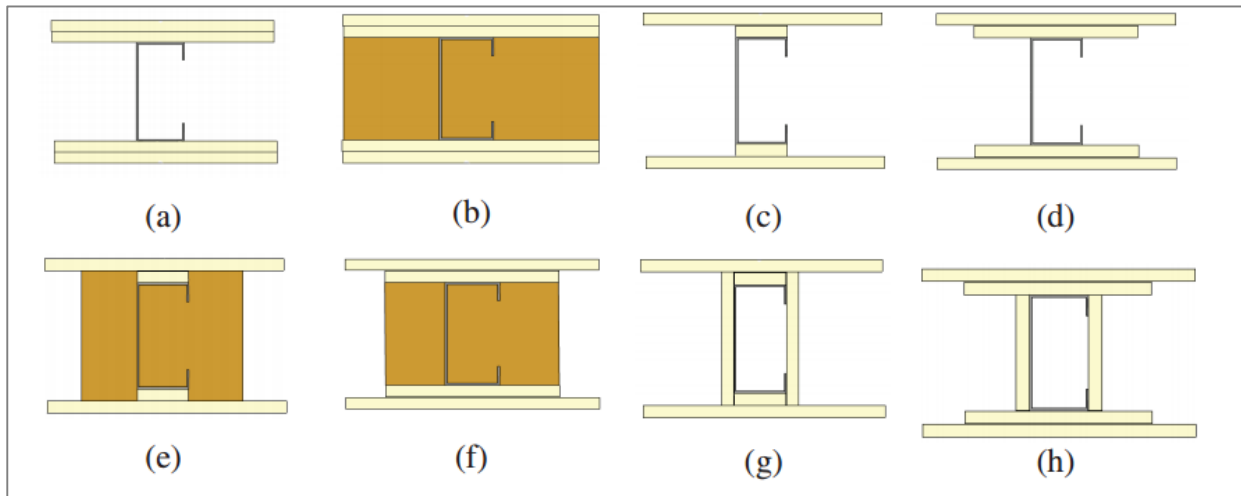
Fonte: Souza (2010)

A partir destes dois experimentos, que objetivaram verificar a qualidade dos dados obtidos por meios numéricos do Sistema ABAQUS, Souza (2010) considerou satisfatórios os resultados, auferindo-lhes credibilidade. Salientou ter notado, assim como Feng et al (2002) e Alves (2006) pequenas variações que poderiam ser decorrentes da acomodação da lã de rocha no interior da parede.

Souza (2010) destacou ainda que a umidade da placa de gesso proporciona um retardo no aquecimento da parede, como podemos ver nos gráficos, depois, ocorre uma acentuada elevação da temperatura após decorridos aproximadamente 15 minutos (900 s), que se julga ser o tempo para evaporação desta umidade.

Após estes procedimentos iniciais, Souza (2010) estudou numericamente e também expos ao incêndio natural, diferentes configurações de paredes, as quais se veem representadas na Figura 11.

Figura 11 – Modelos testados por Souza (2010)



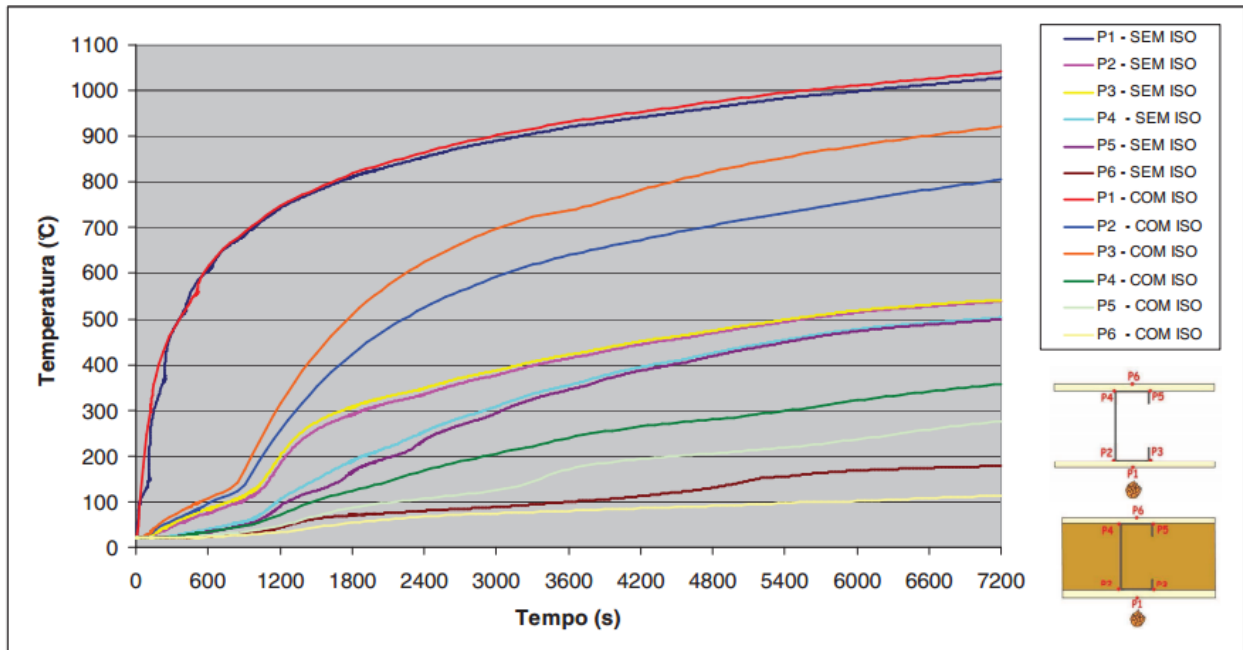
Fonte: Souza (2010)

Partindo dessa premissa, podemos, com base nos resultados encontrados por Souza (2010), fazer uma análise da melhora que a proteção por lâ de rocha aufere ao sistema. Desta forma, não analisaremos neste trabalho, um a um dos experimentos destacados na Figura 11.

#### 5.2.4.2 Comparativo entre modelos com uma placa em cada face sem e com isolamento

Do Gráfico 6, passamos a análise dos resultados obtidos por Souza (2010) para a configuração 1x1 com isolamento em relação a configuração 1x1 sem isolamento.

Gráfico 6 – Comparativo entre o modelo 1x1 com e sem isolamento



Fonte: Souza (2010)

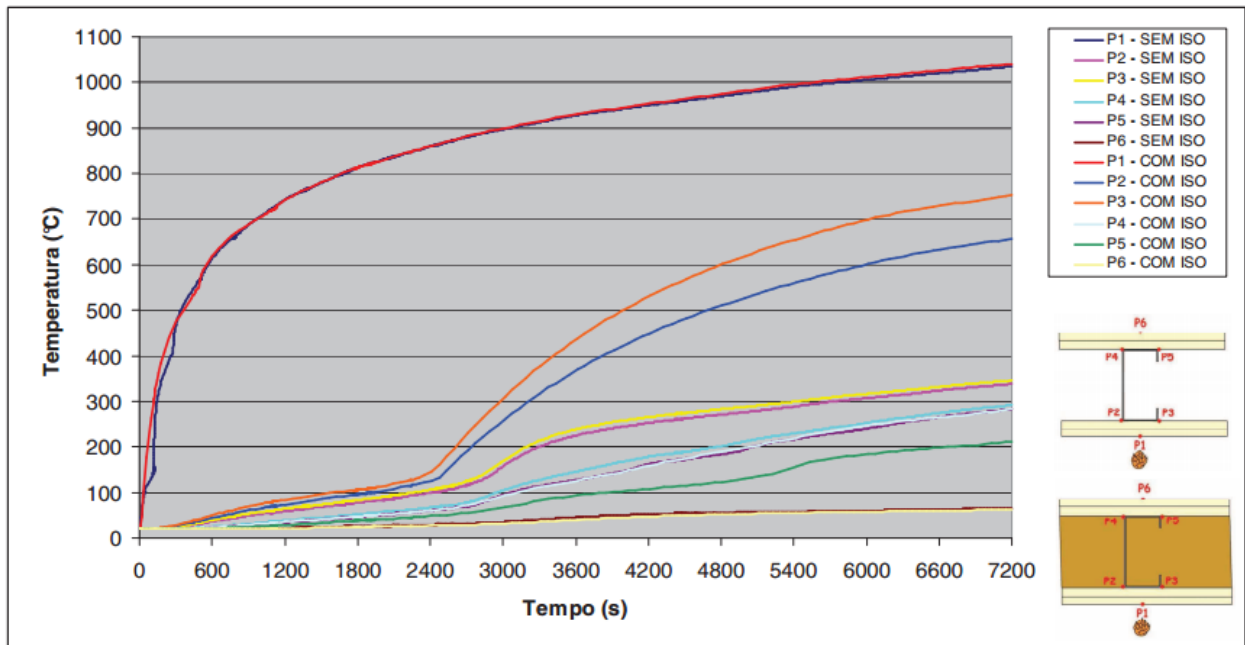
Para o ponto P6, que refere a temperatura na face não exposta, as temperaturas finais foram de 178°C para a configuração sem isolamento e, de 113°C para a configuração com isolamento, uma diferença de 65°C. A parede sem isolamento pode ser classificada com TRF de 90 minutos, pois a 92 minutos atingiu a temperatura de 160°C na face não exposta. A parede com isolamento apresentou TRF de 120 minutos. (SOUZA, 2010)

Souza (2010) observa que a presença da lã de rocha na cavidade aumenta consideravelmente a temperatura no perfil metálico, apresentando uma diferença de 263°C entre os pontos P2 e de 379°C para os pontos P3 da placa com isolamento em relação a placa sem isolamento. A temperatura máxima nestes pontos foi de 920°C para o modelo com isolamento e de 541°C para o modelo sem isolamento.

#### 5.2.4.3 Comparativo entre os modelos com duas placas em cada face com e sem isolamento

Pela análise do Gráfico 7, Souza (2010) traça o comparativo entre estes dois modelos verificando que, assim como no comparativo entre os modelos com apenas uma placa de gesso em cada face, o modelo com duas placas apresenta valores distintos de temperatura para os pontos P2 e P3. Nesse modelo a diferença que o isolamento oferece é um incremento na temperatura destes pontos da ordem de 318°C para os pontos P2 e de 407°C para os pontos P3.

Gráfico 7 – Comparativo entre o modelo 2x2 com e sem isolamento



Fonte: Souza (2010)

A temperatura máxima no ponto P3, que indica a temperatura a que está exposto o perfil metálico para o modelo 2x2 com isolamento foi de 752°C enquanto que no modelo sem isolamento esta temperatura foi de 338°C.

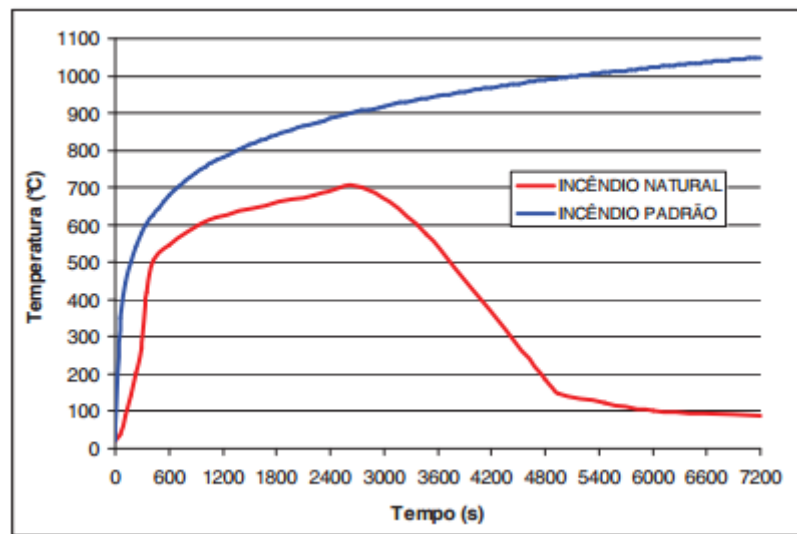
A temperatura em P6 (face não exposta ao fogo) atingiu 65°C e 62°C para os modelos sem isolamento e com respectivamente, apresentando uma diferença de apenas 3°C e que garante um TRF de 120 minutos a ambas as configurações.

#### 5.2.4.4 Resultados das configurações submetidas ao incêndio natural

Quando estas configurações são submetidas ao incêndio natural, os resultados seguiram o mesmo padrão apresentado para o incêndio padrão. O Gráfico 8 faz um comparativo entre a curva padrão de aquecimento do incêndio padrão e a do incêndio real. (SOUZA, 2010)



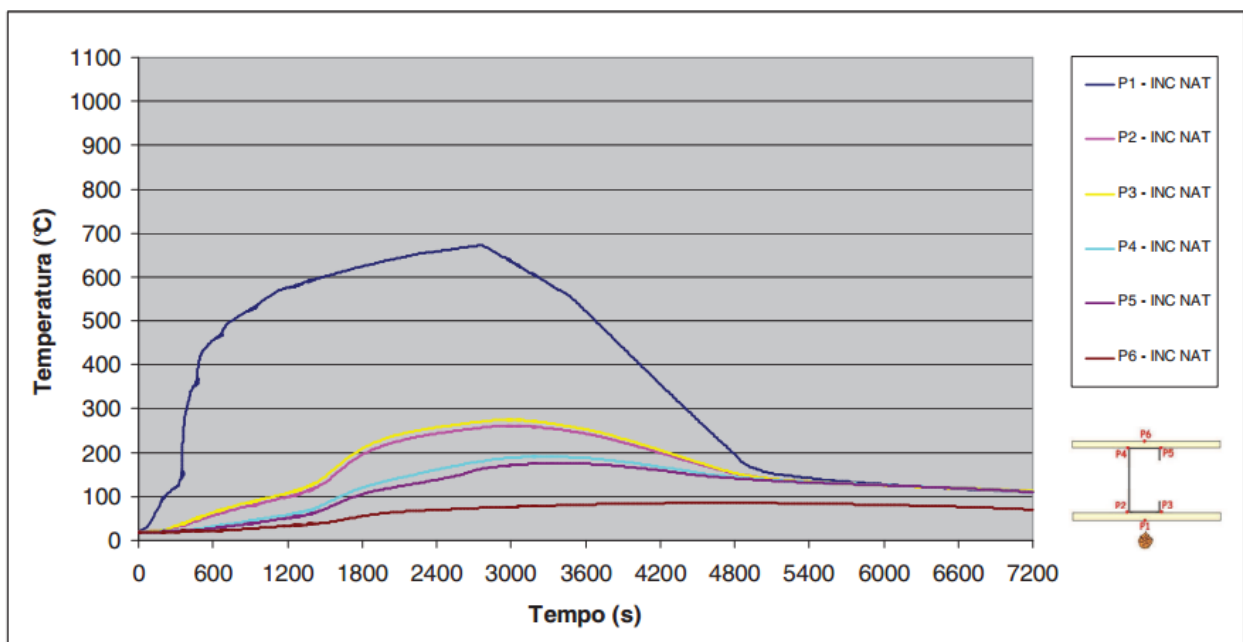
Gráfico 8 – Curva do incêndio padrão versus curva do incêndio natural



Fonte: Souza (2010)

Do Gráfico 9, Souza (2010) verificou que, com a elevação da temperatura do incêndio natural, a parede com uma placa em cada face apresentou no ponto P6 o valor máximo de apenas 87°C o próximo do instante 4700s (78 min), chegando ao momento final da simulação com 70°C. A configuração utilizada neste modelo está satisfazendo o critério de isolamento térmico de 120 min. Em relação à exposição ao incêndio padrão, o TRF seria de 90 min.

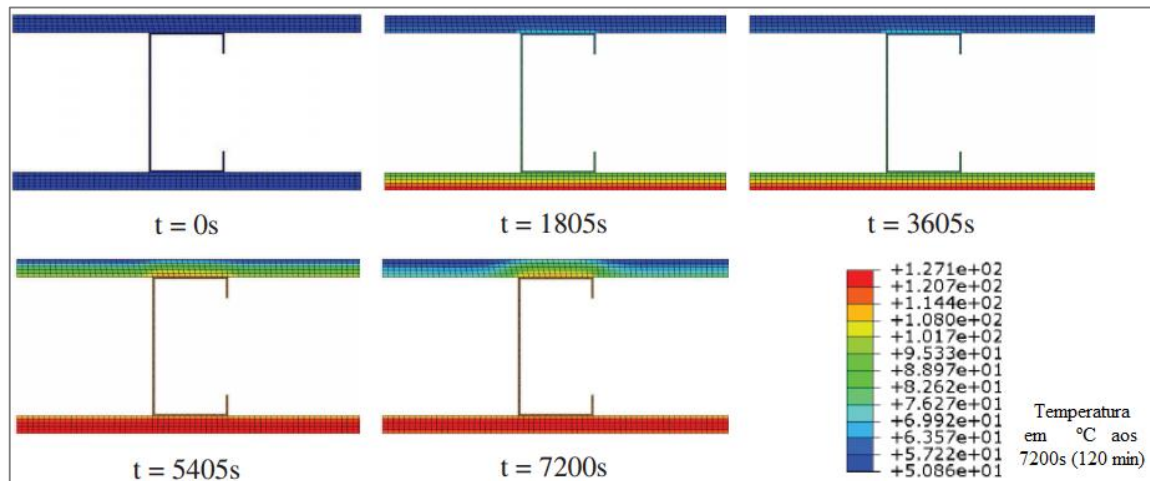
Gráfico 9 – Parede 1x1 sem isolamento submetido ao incêndio natural



Fonte: Souza (2010)

Analisando a Figura 12, podemos verificar o desenvolvimento da temperatura com o passar do tempo pela mudança na coloração e pode-se verificar que o perfil metálico conduz grande quantidade de calor para a face não exposta.

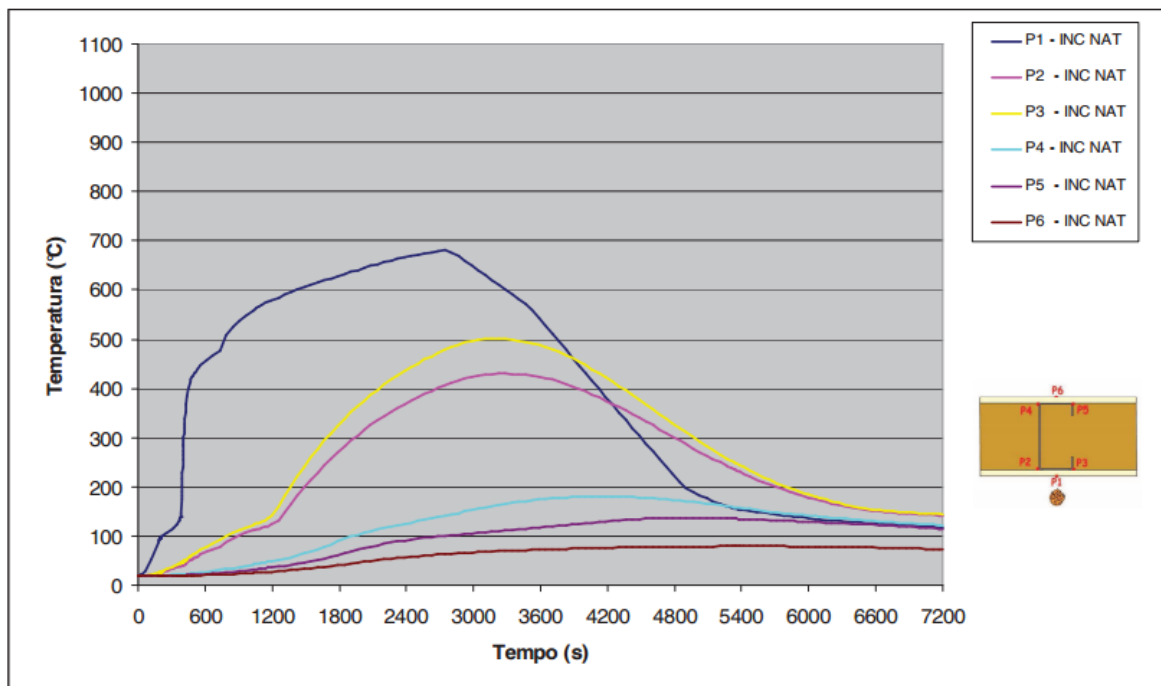
Figura 12 – Temperatura com o passar do tempo pela parede 1x1 sem isolamento



Fonte: Souza (2010)

Na parede com uma placa em cada face e com isolamento na cavidade, Souza (2010) verificou que a presença do isolamento eleva a temperatura no interior da parede, comprometendo a resistência do perfil, como podemos ver no Gráfico 10.

Gráfico 10 – Parede 1x1 com isolamento submetido ao incêndio natural

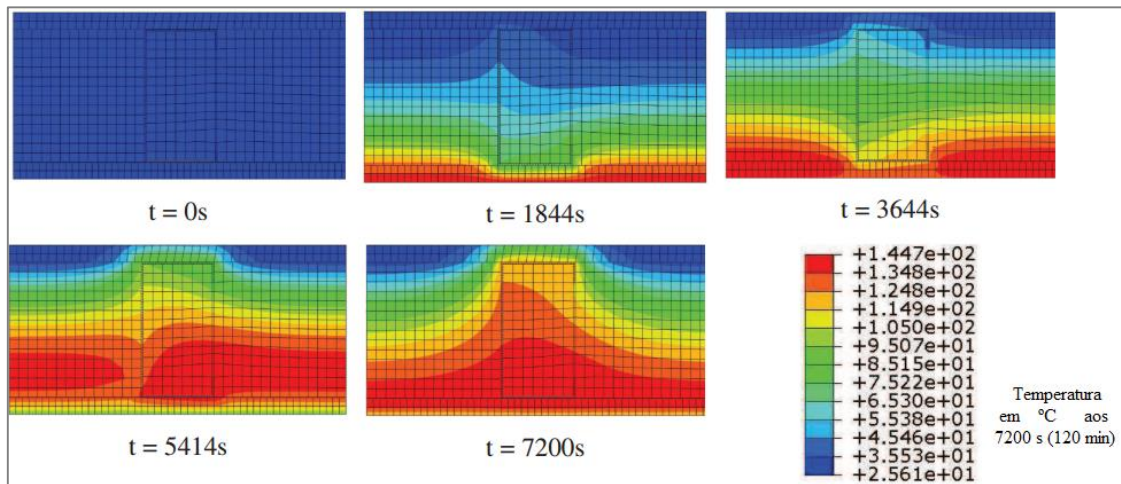


Fonte: Souza (2010)

Ao final do incêndio, Souza (2010) percebeu que a temperatura em P1, face exposta ao fogo era inferior aos Pontos P2 e P3, indicando a propriedade térmica do isolante térmico como mal condutor de calor, pois, uma vez extinto o incêndio, este isolamento, do mesmo modo que demora pra aquecer, demora mais para resfriar.

Esta mesma análise pode ser verificada ao observarmos a Figura 13, que mostra o desenvolvimento da temperatura com o decurso do tempo.

Figura 13 – Temperatura com o decurso do tempo pela parede 1x1 com isolamento

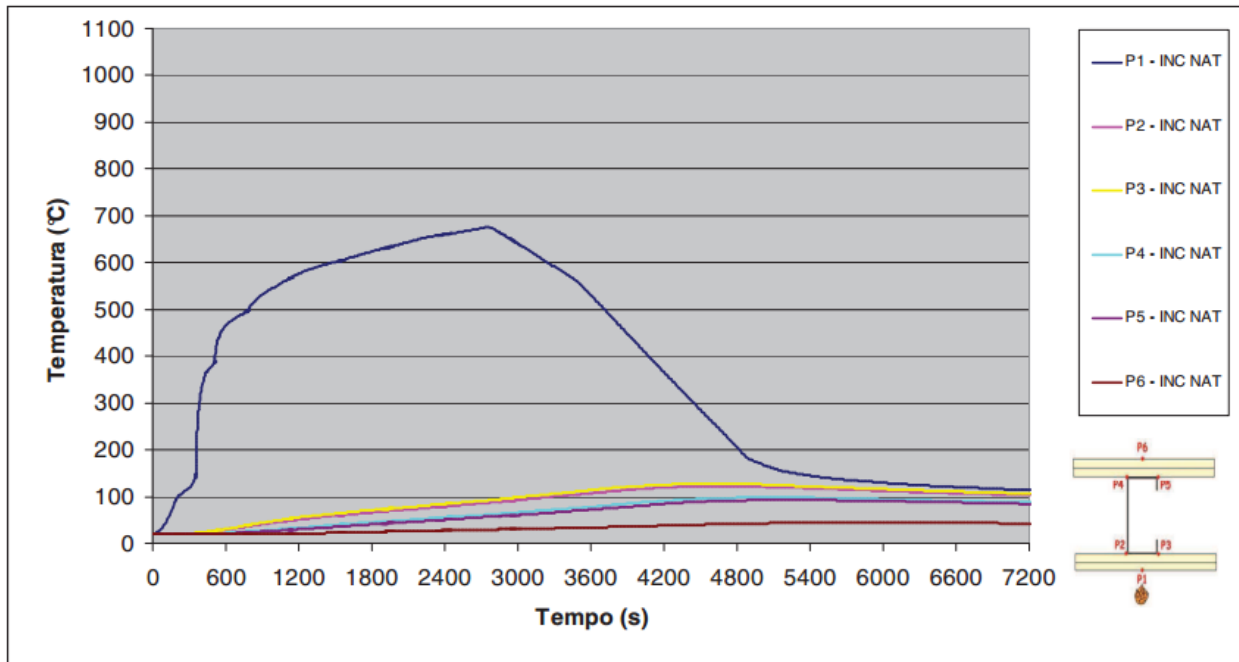


Fonte: Souza (2010)

Pela imagem, Souza (2010) verificou que o isolamento mantém o perfil metálico submetido a uma elevada temperatura por mais tempo no incêndio natural, porém, quanto ao isolamento térmico, em relação ao experimento sem isolamento, o ponto P6 apresentou temperaturas semelhantes para ambos os casos.

Para a parede com duas placas de gesso em cada face, sem isolamento na cavidade, Souza (2010) plotou o Gráfico 11, que como o esperado, apresenta melhores resultados que os experimentos anteriores. Comparando com as temperaturas obtidas no incêndio padrão, Souza (2010) verificou o seguinte: as temperaturas máximas obtidas no interior da placa, junto ao perfil, foram de  $110^{\circ}C$  para o incêndio natural, enquanto que no incêndio padrão esta temperatura chegou aos  $312^{\circ}C$ .

Gráfico 11 – Desenvolvimento da temperatura na parede 2x2 sem isolamento na cavidade

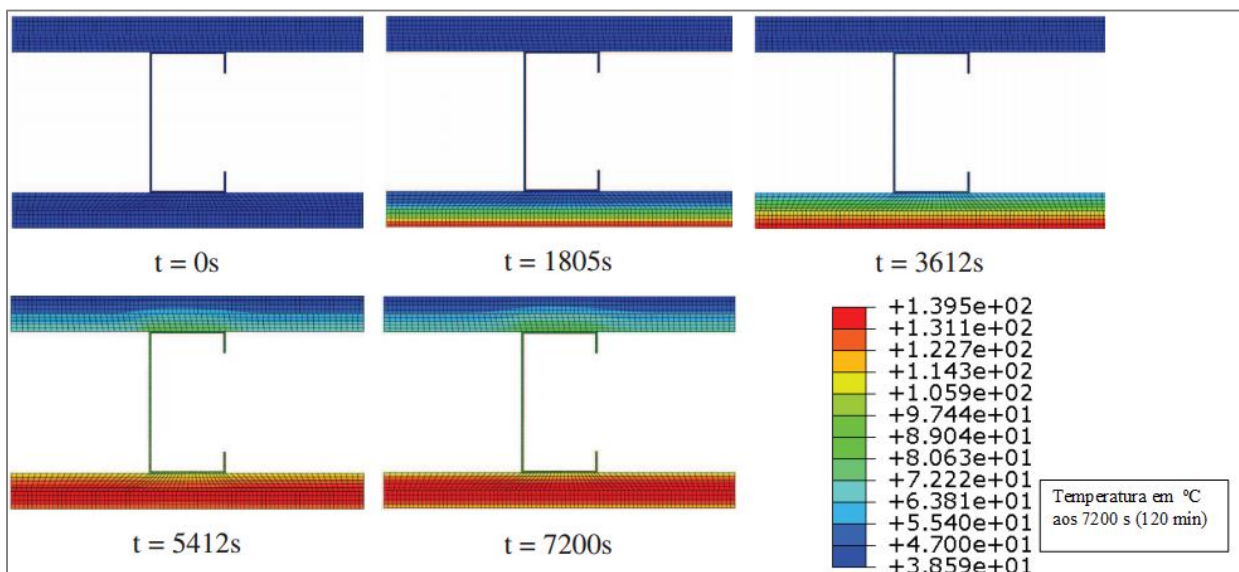


Fonte: Souza (2010)

De acordo com o gráfico acima, Souza (2010) constatou que a temperatura na face não exposta atingiu valor máximo de 44°C, comprovando a eficiência no isolamento térmico deste modelo.

Pela Figura 14, Souza (2010) demonstrou o desenvolvimento da temperatura pela parede 2x2 sem isolamento na cavidade, podendo ser verificada a melhora no desempenho em relação ao modelo 1x1 com e sem isolamento.

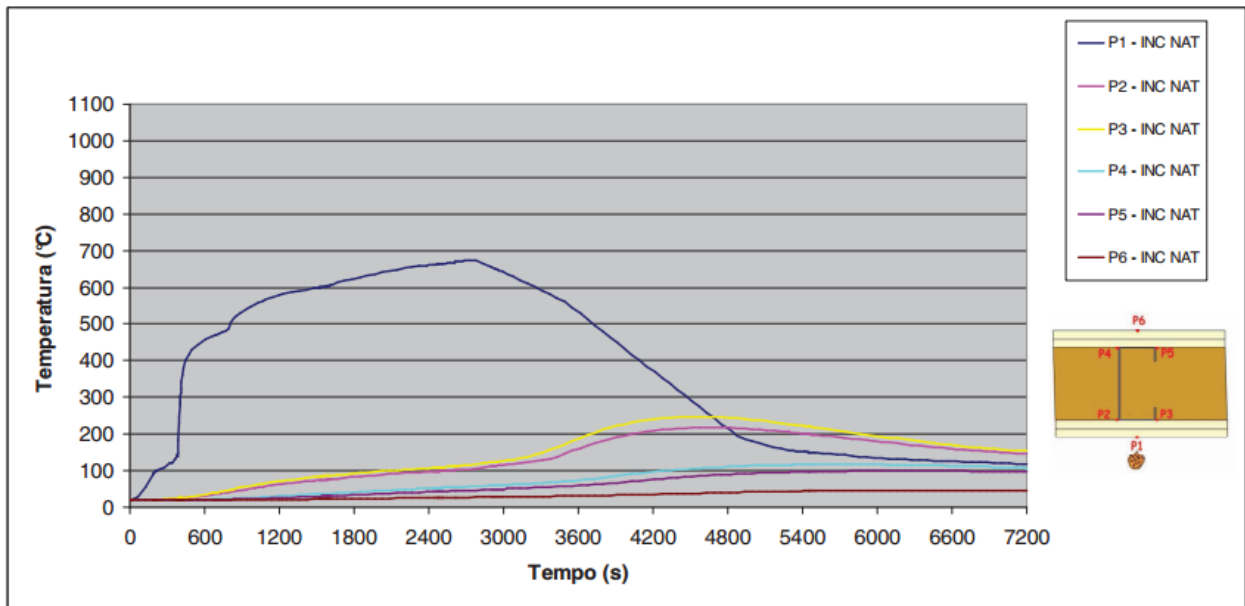
Figura 14 – Desenvolvimento da temperatura na parede 2x2 sem isolamento



Fonte: Souza (2010)

Para a parede 2x2 com isolamento na cavidade, Souza (2010) obteve o Gráfico 12.

Gráfico 12 – Temperatura para parede 2x2 com isolamento na cavidade

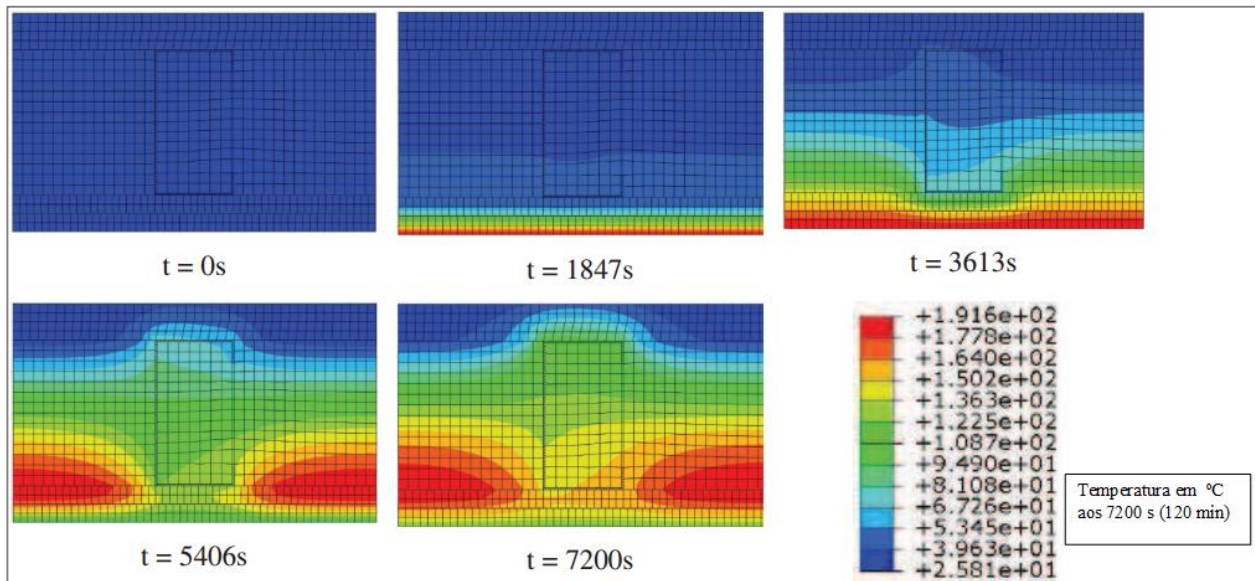


Fonte: Souza (2010)

Souza (2010) novamente verificou a tendência do isolamento em elevar a temperatura no interior da cavidade, fazendo, como fez na parede 1x1 com isolamento, com que a temperatura final na face externa exposta ao fogo fosse menor que a interna, 117°C e 153°C respectivamente.

O ponto na face não exposta atingiu valor máximo de 47°C, garantindo o isolamento térmico. A Figura 15 mostra o desenvolvimento da temperatura através da parede com o passar do tempo do experimento.

Figura 15 – Elevação da temperatura ao longo da seção da parede de 0 até 120 minutos



Fonte: Souza (2010)

Na Figura acima, Souza (2010) constatou a presença de duas regiões mais aquecidas no interior da cavidade, em virtude da dificuldade da lã de rocha perder calor.

#### 5.2.4.5 Conclusões de Souza (2010)


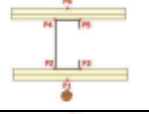

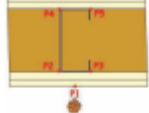
De acordo com Souza (2010), o acréscimo de uma segunda placa de gesso reduz significativamente a elevação da temperatura ao longo da seção da parede. Algo em torno de 40%.

A presença da água na placa de gesso é responsável por sua boa resistência térmica, pois uma vez que ela evapora, observa-se uma brusca elevação da temperatura para modelos com apenas uma placa em cada face. A presença da água fornece um retardo até a temperatura de  $125^{\circ}C$ , temperatura na qual a água está em evaporação. Com a adição de uma segunda placa em cada face e sem isolamento, não foi mais observada esta elevação brusca, pois a temperatura não ultrapassou  $125^{\circ}C$  para o incêndio natural. (SOUZA, 2010)

Além disso, Souza (2010) constatou que este aumento repentino da temperatura em função da evaporação da água ocorre para as paredes com apenas uma placa por volta dos 900s (15 min) para as paredes com duas placas, isto só ocorre aos 2850s (47,5 min) e para o incêndio padrão.

A Tabela 18 apresenta os dados obtidos para os dois modelos analisados sob o incêndio padrão neste trabalho.

Tabela 18 – Resumo dos resultados obtidos por Souza (2010) para o incêndio padrão

Modelo	Tempo de Isolamento Térmico (min)	Temperatura no perfil em °C					Tempo de resistência do Perfil* (min)	
		15 min	30 min	60 min	90 min	120 min		
		máx	Max	Max	Máx	máx		
	1x1 sem isolamento	90	113	307	422	498	541	30
	2x2 sem isolamento	120	54	84	239	299	338	120
	1x1 com isolamento	120	171	509	738	854	920	15
	2x2 com isolamento	120	70	105	437	655	752	30


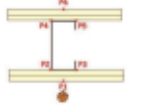

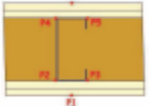
Fonte: adaptado de Souza (2010)

\* Tempo de resistência estrutural considerando uma temperatura crítica de 350°C

Todos os modelos, segundo Souza (2010) satisfazem um TRF de no mínimo 90 minutos em relação ao isolamento térmico, em relação a resistência estrutural do perfil, todos satisfazem um TRF de 30 minutos considerando a temperatura média e 15 minutos considerando a temperatura máxima.

Comparando os modelos sem isolamento térmico na cavidade, a adição da segunda placa de gesso em cada face aumenta o TRF em 40%. O isolamento na cavidade aumenta o isolamento térmico da parede, porém aumenta a temperatura no perfil. (SOUZA, 2010)

Tabela 19 – Resultados obtidos para o incêndio natural

Modelo	Temperatura máxima em P6 (°C)	Isolamento Térmico	Temperatura máxima no perfil (°C)	Resistência estrutural do perfil
	87 aos 4700 s	Atende	274 (P3) aos 3000 s	Atende
	79 aos 5470 s	Atende	128 (P3) aos 4600 s	Atende
	44 aos 5500 s	Atende	501 (P3) aos 3100 s	Não atende
	47 aos 6396 s	Atende	246 (P3) aos 4400 s	Atende

Fonte: Adaptado de Souza (2010)

Souza (2010) constatou-se que emprego das placas de gesso acartonado como material de fechamento nos painéis das paredes do sistema construtivo LSF foi bastante satisfatório, proporcionando condições de isolamento térmico e proteção térmica para o perfil formado a frio, sendo ótimas para reduzir a transferência de calor.

Os modelos ensaiados com isolamento térmico em sua cavidade apresentaram maior temperatura no interior da mesma por conta da baixa condutividade térmica da lã de rocha, o que compromete a resistência mecânica do perfil de aço. (SOUZA, 2010)

Como o perfil metálico apresenta boa condutividade térmica, observa-se que o entorno deste apresenta as maiores temperaturas no instante final da simulação. (SOUZA, 2010)

### 5.2.5 Resistência das paredes conforme o *Steel Framing Alliance* (2013)

A *Steel Framing Alliance* é uma aliança das associações do fabricantes de perfis metálicos (SSMA), da associação das indústrias de estruturas em aço (SFIA) e do Instituto Canadense de construção com Chapas de Aço (CSSBI) que lançou em junho de 2013 um guia contendo dados de resistência ao fogo e acústica para montagem de pisos, paredes e telhados de sistemas construídos a frio da *steel framing alliance* dos Estados Unidos da América.





Este guia é uma coletânea de modelos testados por diferentes entidades, entre elas a *Underwriters Laboratories of Canadá (ULC)*, *Underwriters Laboratories (UL)*, *Gypsum*



*Association (GA) e a, National Research Council of Canada (NRCC)*, e apresenta critérios para construção de pisos, paredes com e sem função estrutural e, telhados, usando o sistema de construção com perfis formados a frio, gesso acartonado, placas cimentícias com opção de isolamento térmico e acústico com uso de lã mineral.

Como nos Estados Unidos e Canadá é muito maior a quantidade de opções de espessuras e tipos de materiais que podem ser usados nas paredes, mostraremos somente estas que se assemelham às comercializadas no Brasil. Além do mais, suas configurações também apresentam dimensões muito parecidas entre si o que permite fazer um comparativo mais confiável, como pode ser observado no Quadro 5.

Quadro 5 – Tempos de resistência ao fogo de paredes sem função estrutural

Modelo	Descrição	Resistência ao fogo	Imagem
ULC* W465	Perfil de aço de 63,5 x 32 x 0,505 mm espaçados 610 mm. Isolamento com lã mineral. 2 chapas de gesso de 15,9 mm em cada face.	2 horas	
ULC W467	Perfil de aço de 63 x 31 x 0,6 mm espaçados 600 mm. Isolamento com lã mineral de 65 mm. Uma placa de gesso de 12,7 em cada face.	1 hora	
ULC W468	Perfil de aço de 63 x 31 x 0,6 mm espaçados 600 mm. 2 chapas de gesso de 12,7 ou de 15,9 mm em cada face.	2 horas	
ULC W469	Perfil de aço de 92 x 35 x 0,5 mm espaçados 600 mm. Uma placa de gesso de 12,7 em cada face.	1 hora	

Fonte: adaptado de *Steel Framing Alliance* (2013)

\* ULC = *Underwriters Laboratories of Canada*

A *Steel Framing Alliance* (2013) demonstra que o principal critério que diferencia entre o TRF de uma parede de 2 horas para uma parede de 1 hora, é o número ou espessura das placas de gesso, e não a presença de isolamento na cavidade, conforme se observa na tabela acima.

## 6 CONCLUSÃO

Este trabalho de conclusão de curso buscou pesquisar sobre a possibilidade da aceitação de paredes de gesso acartonado para confecção de paredes corta fogo e, também, o quanto importante é a inserção de um material de isolamento nestas paredes, no caso a lã de rocha, para verificar o ganho que esta oferece na resistência ao fogo da parede.

De acordo com as pesquisas realizadas, pôde-se constatar que os objetivos do trabalho foram alcançados, uma vez que encontramos dados concretos sobre a resistência do gesso acartonado. No entanto, percebemos que os resultados não são totalmente conclusivos, pois surgiram fatos novos que possuem relevância e que demandam um estudo mais aprofundado.

A metodologia adotada neste trabalho foi exploratória, sendo realizada uma pesquisa bibliográfica bastante complexa para poder obter dados confiáveis, principalmente de dissertações de mestrados em engenharia civil no Brasil ou Portugal.

Encontramos uma série de dificuldades, a primeira foi a falta de materiais escritos especificamente sobre o assunto, somente uma monografia era realmente dedicada ao interesse do Bombeiro, as demais, eram pesquisas sobre o desempenho de sistemas construtivos a frio, ou *Light Steel Frame*. A partir dos dados secundários destas, conseguimos alinhar os objetivos e realizar o estudo em questão.

Outra dificuldade foi que o objetivo inicial deste trabalho era experimentar os modelos estudados para verificar na prática qual era a melhora que a lã de rocha fornecia às paredes de gesso acartonado. No entanto isto não foi possível.

Inicialmente buscamos aprofundar o conhecimento sobre o sistema construtivo usando gesso acartonado no Brasil e verificamos que este ainda é incipiente se comparado com os padrões americano e europeu. Uma das diferenças básicas no sistema está na quantidade de configurações possíveis, desde espessura das placas, até a quantidade de empreendimentos com o uso de tal tecnologia.

Enquanto lá fora as associações possuem inclusive manuais com tempos de resistência ao fogo oferecidos por cada configuração testados por no mínimo seis laboratórios diferentes, desde sistemas para paredes sem função estrutural, com função estrutural, sistemas para pisos e coberturas, no Brasil, poucas obras foram edificadas totalmente com esta tecnologia e estudos escritos sobre este método construtivo são ainda raros.

Para definir o tempo de resistência ao fogo de uma parede, são levadas em consideração três aspectos: a estabilidade da parede, a estanqueidade da parede e o isolamento térmico.

Das pesquisas efetuadas surgiram paradoxos muito complexos. O gesso acartonado é um excelente material com propriedades de resistência ao fogo muito boas, porém apresenta dois pontos fracos bastante significativos, o primeiro, é a resistência mecânica do perfil de aço que sustenta a parede, pois de acordo com os estudos, a partir de 350°C, perde sua capacidade de suporte estrutural. O segundo são as juntas das placas que costumam romper e fornecer passagem a fumaça e calor.

A inserção de lã de rocha no interior da cavidade melhora o desempenho térmico da parede, mas em compensação submete o perfil metálico a uma temperatura mais elevada e por mais tempo, visto que o material tem baixa condutividade térmica e do mesmo modo que demora em aquecer, demora para resfriar, por isso pode desencadear o fenômeno de Flambagem dos perfis.

Os estudos mostraram que aumentando o número de placas de gesso em cada face, aumenta o tempo de resistência ao fogo. Há estudos que dizem que a lã de rocha melhora o desempenho de uma parede em 54%, enquanto que a celulose piora o desempenho da parede em 4% e a lã de vidro não agrega nem desagrega nada, contudo a maioria dos estudos e materiais encontrados mostra que o tempo de resistência ao fogo, que leva em consideração estabilidade, estanqueidade e isolamento térmico, depende principalmente do número ou espessura das placas.

Diante disso, podemos concluir que as paredes de gesso acartonado fornecem bom desempenho diante do fogo, porém para atender as exigências de norma, é necessário levar em consideração o seguinte:

1. A lã de rocha melhora a resistência térmica da parede, porém reduz a resistência estrutural do perfil metálico;
2. Somente as paredes de gesso com duas chapas RF de no mínimo 12,5 mm em cada face, sem isolamento, atendem o critério de resistência ao fogo superior a duas horas;
3. Mesmo a parede sendo sem função estrutural, deve-se levar em consideração que os perfis metálicos devem sustentar pelo menos o peso da própria parede, não se admitindo, portanto, a ocorrência de Flambagem por aquecimento destes;
4. O critério mais importante para a definição do isolamento de uma parede é o número ou espessura das placas de gesso utilizadas e não o isolante térmico usado na sua cavidade;
5. O material de que são feitos os montantes também deve ser levado em consideração na determinação da resistência ao fogo.

Diante disso, faz-se necessário definir qual o objetivo da utilização de gesso acartonado para construção de paredes corta fogo. Ela representa uma redução do peso da estrutura e permite configurações das mais variadas, o que gera, por sua vez, uma redução dos custos da obra. Por

outro lado, a segurança oferecida por ela ainda não é totalmente pacífica. Faltam pesquisas mais aprofundadas, que garantam a segurança que outros materiais já comprovadamente oferecem.

Por isso, pode-se considerar que as paredes de gesso acartonado são uma ótima opção para adequação de edificações antigas às normas de segurança contra incêndio, pois permitem com mais facilidade a adequação do ambiente sem comprometer a estrutura da edificação e garantem boa resistência ao fogo. Entretanto, para edificações novas, onde é possível usar materiais que garantam o cumprimento de todos os critérios, o uso deste talvez não deva ser estimulado, ao menos até se obter estudos mais conclusivos.

Fica como sugestão para estudos futuros, o teste destas configurações em situações reais de incêndio, bem como a pesquisa do comportamento das paredes de gesso acartonado em que se use perfis de madeira para as guias e montantes, juntamente com o uso de isolante térmico isto por que, teoricamente, a madeira apresenta condutividade térmica menor que o perfil metálico e estaria menos susceptível à flambagem.

## REFERÊNCIAS

ANACLETO. Alcinda Maria da Costa. **Temperatura e sua medição**. 2007. 218 f. Dissertação (Mestrado em Física) – Departamento de Física, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9077: Saídas de emergência em edifícios**. Rio de Janeiro, 1993.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 10636: Paredes divisórias sem função estrutural – Determinação da resistência ao fogo**. Rio de Janeiro, 1989.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 14432: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 14715: Chapas de gesso acartonado – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 15200: Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 15575.1: Edificações Habitacionais – Desempenho: Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 15575 3: Edificações habitacionais – Desempenho: Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos**. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 15575 5: Edificações habitacionais – Desempenho: Parte 3: Requisitos para os sistemas de coberturas**. Rio de Janeiro, 2013.

BÉNICHOU, Nouredine; SULTAN, Mohamed A. **Fire Resistance Behaviour of Lightweight-Framed Construction**. In: WORKSHOP INTERNACIONAL DE ESTRUTURAS EM INCÊNDIO, 3. *Anais...* Ottawa, Ontário, Canadá, 2004.

BONITESE. Karina Venâncio. **Segurança contra incêndio em edifício habitacional de baixo custo estruturado em aço**. 2007. 278 f. Dissertação (Mestrado em construção civil) – Escola de Engenharia da UFMG. Belo Horizonte, 2007.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE SANTA CATARINA. **IN n° 009/DAT/CBMSC: Sistema de saídas de emergências**. Instrução normativa. Florianópolis, 2006.

CORPO DE BOMBEIROS DA POLICIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO. **IT N° 02: Conceitos básicos de segurança contra incêndio**. Instrução técnica. São Paulo, 2011.

\_\_\_\_\_. **IT N° 08: Resistência ao fogo dos elementos de construção**. Instrução técnica. São Paulo, 2011.

\_\_\_\_\_. **IT N° 09: Compartimentação horizontal e compartimentação vertical**. Instrução técnica. São Paulo, 2011.

COSTA E SILVA, Carlos Miguel Oliveira. **Avaliação da resistência ao fogo de produtos de construção**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de civil, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2010.

DISTRITO FEDERAL (Brasil). **Decreto Nº 11.258**. Aprova o Regulamento de Segurança Contra Incêndio e Pânico, que com este baixa e dá outras providências. Distrito Federal, 1988

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 1993-1-2**. Eurocode 3: Design of Steel Structures, Part 1.2: General Rules, Structural Fire Design. Brussels, 2005.

GERKEN, André Luiz dos Reis. **Materiais de proteção térmica para sistemas construtivos de baixo custo estruturados em aço**. 2007. 236 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais. 2007.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4.ed. São Paulo: Atlas, 2009.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert. **Fundamentos da física**. Traduzido por Ronaldo Sérgio de Biasi. 8 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009. v. 2.

HEWITT, Paul G. **Física Conceitual**. 9.ed. São Paulo: Bookman. 2002.

INFOPÉDIA. **Condutividade térmica**. Porto editora, 2003-2013. Disponível em: <[http://www.infopedia.pt/\\$condutividade-termica/](http://www.infopedia.pt/$condutividade-termica/)>. Acesso em: 28 out. 2013.

INCRÓPERA Frank P; DEWITT David P. **Fundamentos da transferência de calor e de massa**. 4 ed. Rio de Janeiro: LTC 2002.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Metodologia científica**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2011.

LIMA, Vivian Cabral. **Análise comparativa entre alvenaria em bloco cerâmico e painéis em gesso acartonado para o uso como vedação em edifícios: estudo de caso em edifício de multipavimentos na Cidade de feira de Santana**. 2012. 66 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Tecnologia. Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2012.

MAGALHÃES, Ana Cristina Tinôco Versosa. **Estudo de fibras vegetais, mucilagem de cacto e gesso em componentes construtivos**. 2009, 142 f. Dissertação (Mestrado em arquitetura e urbanismo) – Faculdade de arquitetura e urbanismo. Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

MARCATTI, J. et al. Compartimentação e afastamento entre edificações. In: SEITO, Alexandre Itiu. et al. (Coord.). **A segurança contra incêndio no Brasil**. São Paulo: Projeto Editora, 2008. p. 169-179.

MENDES, Cristiane L. et al. Revestimentos térmicos em perfis de aço formados a frio no contexto do projeto estrutural em situação de incêndio. **Revista Minerva** – Pesquisa e Tecnologia. v. 3. n. 1. Jan./jun. 2006. Disponível em: <[http://www.fipai.org.br/Minerva%2003\(01\)%2007.pdf](http://www.fipai.org.br/Minerva%2003(01)%2007.pdf)>. Acesso em: 08 fev. 2014.

MUNHOZ, Fabiana Costa. **Utilização do gesso para fabricação de artefatos alternativos, no contexto de produção mais limpa.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) –, Universidade Estadual Paulista, Baurú, 2008.

SANTA CATARINA. Polícia Militar. Corpo de Bombeiros. **Normas de segurança contra incêndios / Corpo de Bombeiros.** 2. ed, Florianópolis, EDEME, 1992.

SILVA, V. P. et al. Segurança das estruturas em situação de incêndio. In: SEITO, Alexandre Itiu et al. (Coord.). **A segurança contra incêndio no Brasil.** São Paulo: Projeto Editora, 2008. p. 135-167.

SORIANO, Guilherme Delgado. **Dicionário informal.** 2011. Disponível em: <<http://www.dicionarioinformal.com.br/flambagem/>>. Acesso em: 16 fev. 2014.

STEEL FRAMING ALLIANCE. **A guide to fire & acoustic data for cold-formed steel floor, wall & roof assemblies.** Washington DC, 2013.

TANIGUTI, E. K. **Método construtivo de vedação vertical interna de chapas de gesso acartonado.** 1999. 316 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

TIPLER, Paul Allen; MOSCA, Gene. **Física para cientistas e engenheiros. Volume 1. Mecânica, oscilações e ondas, termodinâmica.** Tradução e revisão técnica: Paulo Machado Mors. 6ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

VIEIRA, Alexandre. **A possibilidade do uso de parede em gesso acartonado como parede corta-fogo.** 2012. 94p. Monografia (Especialização em Gestão de eventos Críticos). Universidade do Sul de Santa Catarina. UNISUL. Florianópolis. 2012.

WEINGARTNER, Roberto. **A transferência de calor através da roupa de Combate a incêndios.** 2007. 111f. Monografia (Curso de Formação de Oficiais) – Centro de Ensino Bombeiro Militar, Florianópolis, 2007.

WESTPHAL, Fernando Simon; MARINOSKI, Deivis Luis; LAMBERTS, Roberto. **Isolantes térmicos e acústicos para construção civil.** LabEEE – UFSC. 2012. Disponível em: <<http://www.labcon.ufsc.br/anexosg/243.pdf>>. Acesso em 19 out. 2013.

YOUNG, Hugh D. et all. **Termodinâmica e ondas – Young e Freedman.** 12 ed. São Paulo, Addison Wesley, 2008.