



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ  
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE GRADUAÇÃO  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS  
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

**EDSON IGREJA BENTES**

**Tratamento Antichamas para Habitações Residenciais em Madeira: Avaliação da Resistência ao Fogo de Tábuas de Pracuúba (*Mora paraensis*).**

**Macapá  
2018**

**EDSON IGREJA BENTES**

**Tratamento Antichamas para Habitações Residenciais em Madeira: Avaliação da Resistência ao Fogo de Tábuas de Pracuúba (*Mora paraensis*).**

Monografia apresentada como requisito para a conclusão do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil da Universidade Federal do Amapá.

Orientador: Prof. Me. Heldio José Carneiro de Souza.

Coorientador: Prof. Me. Sandro Barrozo Sanches.

**Macapá**

**2018**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Biblioteca Central da Universidade Federal do Amapá  
Elaborado por Thalita Ferreira - CRB2/1557

---

Bentes, Edson Igreja.

Tratamento antichamas para habitações residenciais em madeira : avaliação da resistência ao fogo de tábuas de Pracuúba (*Mora paraensis*) / Edson Igreja Bentes ; Orientador, Heldio José Carneiro de Souza ; Coorientador, Sandro Barrozo Sanches. – 2018.

82 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Fundação Universidade Federal do Amapá, Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil.

1. Tratamento antichamas. 2. Incêndios – Medidas de segurança. 3. Tábuas de Pracuúba – Análise. 4. Habitações em madeira. I. Souza, Heldio José Carneiro de, orientador. II. Sanches, Sandro Barrozo, coorientador. III. Fundação Universidade Federal do Amapá. IV. Título.

624.84 B475t  
CDD. 22 ed.

---

EDSON IGREJA BENTES

**Tratamento Antichamas para Habitações Residenciais em Madeira: Avaliação da Resistência ao Fogo de Tábuas de Pracuúba (*Mora paraensis*).**

Monografia apresentada como requisito para a conclusão do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil da Universidade Federal do Amapá.

Orientador: Prof. Me. Heldio José Carneiro de Souza.

Coorientador: Prof. Me. Sandro Barrozo Sanches.

Aprovada em \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Me. Heldio José Carneiro de Souza – Orientador  
Universidade Federal do Amapá – UNIFAP

---

Prof. Me. Sandro Barrozo Sanches – Coorientador  
Corpo de Bombeiros Militar do Amapá – CBMAP

---

Prof. Me. Adenilson Costa de Oliveira – Examinador interno  
Universidade Federal do Amapá – UNIFAP

---

Prof. Me. Dennis Quaresma Pureza – Examinador interno  
Universidade Federal do Amapá – UNIFAP

**Macapá**

**2018**

Dedico esse trabalho à minha filha, Joana Helena, por me maravilhar com esse novo mundo de amor e felicidades: a paternidade.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus que me proporcionou a vida, a saúde e o conhecimento para a conclusão do curso.

Aos professores que se dispuseram a apontar caminhos para novos conhecimentos e, em especial, ao Prof. Heldio José Carneiro de Souza e ao Capitão Bombeiro Militar e Engenheiro Sandro Barrozo Sanches, pela disposição em orientarem este trabalho.

Aos meus pais, Edilson Santa Rosa Bentes e Maria Ivonete Oliveira Igreja, pelo incentivo que deram à minha educação e pelo carinho dedicado ao longo destes anos.

Aos colegas do curso Franck César, Sérgio Wiliam, Marinaldo Gama e Mardey Carneiro aos quais pude formar verdadeiros laços fraternos para vencer as adversidades auxiliando uns aos outros em busca deste objetivo.

À Coordenação do Curso do Curso de Engenharia Civil pela receptividade e atenção às minhas solicitações.

A todos que acreditaram em meu potencial e, que direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste.

Aprender é a única coisa de que a mente nunca se cansa,  
nunca tem medo e nunca se arrepende.  
*(Leonardo Da Vinci)*

## RESUMO

Tendo em vista os grandes incêndios ocorridos no Brasil e no Estado do Amapá, principalmente o sinistro registrado no dia 23 de outubro de 2013, no bairro Perpétuo Socorro na cidade de Macapá, que consumiu cerca de 420 residências em sua maioria construídas predominantemente em madeira, este trabalho trata sobre o tratamento químico antichamas para habitações residências em madeira como medida de segurança passiva contra incêndio. Através de um experimento não normatizado, realizou-se a determinação quantitativa da resistência ao fogo de tábuas de madeira de encaixe macho e fêmea com e sem a aplicação de produtos químicos antichamas. Para isso, utilizou-se a espécie do tipo pracuúba (*Mora paraensis*) por ser a madeira mais comercializada no Estado do Amapá devido a sua abundância, qualidade e baixo preço. Para embasar o experimento, foi realizado um levantamento bibliográfico com autores e instituições que tratam sobre o assunto como a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2001), Anastácio (2010), Brentano (2015, 2016), Queiroz e Machado (2007), Mitidieri (2008), Seito (2008), Silva (2012), Pfeil e Pfeil (2003), Pinto (2010) entre outros, procurando enfatizar os temas sobre a segurança contra incêndios, fundamentos do fogo e dos incêndios, estrutura e propriedades da madeira e o estudo sobre tratamento químico por produtos antichamas para madeira. No experimento foram realizados três ensaios com três tipos de corpos de prova sendo, um de madeira sem tratamento químico antichamas, um de madeira com aplicação de produto retardante que na presença do calor carboniza-se evitando a propagação das chamas e um com a aplicação de produto intumescente que em contato com temperaturas superiores a 200°C, expande-se por múltiplas vezes, protegendo a madeira das elevadas temperaturas do fogo. Como resultados, o corpo de prova sem a aplicação de produtos antichamas apresentou razoável resistência ao fogo com isolamento térmico de 15 minutos com a temperatura de 144°C na face não exposta e estanqueidade 17 minutos e 50 segundos, no corpo de prova com o produto retardante houve ligeiro aumento na resistência do corpo de prova, sendo registrado o isolamento térmico de 20 minutos com temperatura de 172°C na face não exposta e estanqueidade até 19 minutos e 20 segundos, já o corpo de prova com a aplicação de produto intumescente apresentou um melhor desempenho, vindo a atingir o isolamento térmico de 25 minutos com temperatura de 156°C na face não exposta e estanqueidade até 25 minutos. Por fim, conclui-se que esses produtos apresentam efetividade para proteção das habitações residenciais em madeira do Estado do Amapá, no entanto o acesso e o custo desses produtos ainda torna inviável economicamente o seu uso para as famílias de baixa renda, necessitando de uma maior universalização do produto e acesso local.

Palavras-chave: Segurança contra incêndio. Habitações em madeira. Tratamento antichamas.



## ABSTRACT

Considering the large fires that occurred in Brazil and the State of Amapá, mainly the event registered on October 23, 2013, in the Perpétuo Socorro neighborhood in the city of Macapá, which consumed about 420 residences mostly built predominantly in wood, this paper deals with the chemical treatment of anti-flames for residential residences in wood as a passive fire safety measure. Through a non-standardized experiment, the quantitative determination of the fire resistance of male and female wood planks was carried out with and without the application of anti-flame chemicals. For this, the species of prauúba type (*Mora paraensis*) was used because it is the most commercialized wood in the State of Amapá due to its abundance, quality and low price. In order to base the experiment, a bibliographical survey was carried out with authors and institutions dealing with the subject as the Brazilian Association of Technical Standards (2001), Anastácio (2010), Brentano (2015, 2016), Queiroz and Machado (2007), Mitidieri (2008), Seito (2008), Silva (2012), Pfeil and Pfeil (2003), Pinto (2010), among others, emphasizing the themes of fire safety, fire and fire fundamentals, and the study on chemical treatment by anti-flame products for wood. In the experiment three tests were carried out with three types of test specimens, one of wood without chemical anti-flame treatment, one of wood with application of retardant product that in the presence of the heat carbonizes itself avoiding the propagation of the flames and one with the application of intumescent product which in contact with temperatures above 200 °C, expands multiple times, protecting the wood from the high temperatures of the fire. As a result, the test specimen without the application of anti-flame products presented a reasonable fire resistance with a thermal insulation of 15 minutes with a temperature of 144°C on the unexposed face and sealing for 17 minutes and 50 seconds in the specimen with the retardant product a slight increase in the strength of the test specimen, the thermal insulation of 20 minutes with a temperature of 172 ° C on the exposed face and watertightness up to 19 minutes and 20 seconds being registered, the test specimen with the application of intumescent product presented a better performance, reaching the thermal insulation of 25 minutes with a temperature of 156°C in the unexposed face and watertightness up to 25 minutes. Finally, it is concluded that these products are effective for the protection of residential wooden dwellings in the state of Amapá, however the access and cost of these products still makes it economically unviable for low-income families, requiring a greater product universalization and local access.

Keywords: Fire Safety. Houses in Madeira. Antichama Treatment.

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 – Desempenho das medidas de proteção no comportamento do incêndio real.....	25
Figura 2 – Tetraedro do fogo.....	26
Figura 3 – Curva temperatura-tempo de um modelo de incêndio real .....	33
Figura 4 – Fases principais de um incêndio real. ....	34
Figura 5 – Relação temperatura-tempo de um incêndio em um compartimento e taxa de calor liberado em um compartimento.....	35
Figura 6 – Curva temperatura-tempo de um modelo de incêndio padrão .....	36
Figura 7 – Curva padrão de temperatura-tempo (material celulósico) .....	37
Figura 8 – Curva padrão temperatura-tempo (hidrocarbonetos). ....	39
Figura 9 – Eixos principais da madeira em relação à direção das fibras.....	43
Figura 10 – Seção de viga de madeira exposta ao fogo por 30 min. ....	46
Figura 11 – Estabelecimento de comercialização de madeira serrada (Canal das Pedrinhas, Macapá-AP).....	48
Figura 12 – Incêndio em Macapá em 23 de outubro de 2013 .....	51
Figura 13 – Incêndio em Macapá.....	52
Figura 14 – Equipamento de ensaio do painel radiante .....	56
Figura 15 – Corpo de prova (450 mm x 140 mm x 16 mm).....	61
Figura 16 – Produtos antichamas CKC® 2020 e tinta Maza® .....	62
Figura 17 – Outros materiais de auxílio ao ensaio .....	63
Figura 18 – Suporte para fixação dos corpos de prova.....	63
Figura 19 – Corpos de prova.....	65
Figura 20 – Esquematização do ensaio .....	66
Figura 21 – Degradação dos corpos de prova do ensaio 1.....	69
Figura 22 – Degradação dos corpos de prova do ensaio 2.....	71
Figura 23 – Degradação dos corpos de prova do ensaio 3.....	74

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Relação temperatura-tempo das faces incidentes e opostas do ensaio 1.....	68
Gráfico 2 – Relação temperatura-tempo das faces incidentes e opostas do ensaio 2.....	70
Gráfico 3 – Relação temperatura-tempo das faces incidentes e opostas do ensaio 3.....	73

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Temperatura conforme modelo de incêndio padrão para os primeiros 30 min.....	37
Tabela 2 – Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (IT Nº 8, 2011).....	40
Tabela 3 – Critério relativo à resistência ao fogo de elementos construtivos de paredes. ....	41
Tabela 4 - Propriedade de alguns materiais da construção. ....	41
Tabela 5 - Consumo energético na fabricação de diversos materiais.....	42
Tabela 6 – Composição orgânica da madeira .....	43
Tabela 7 – Médias, máximos e mínimos de umidade relativa do ar em Macapá no ano de 2018 (%).....	45
Tabela 8 – Taxa de carbonização para cálculo de madeira, $\beta_o$ e $\beta_n$ .....	47
Tabela 9 – Nomenclatura e dimensões de peças de madeira serrada. ....	49
Tabela 10 – Classificação dos materiais. ....	57
Tabela 11 – Pesquisa no mercado Brasileiro de produtos antichamas para madeira .....	59
Tabela 12 – Isolamento térmico e estanqueidade do ensaio 1 à 700° C. ....	68
Tabela 13 – Isolamento térmico e estanqueidade do ensaio 2 à 700° C. ....	70
Tabela 14 – Isolamento térmico e estanqueidade do ensaio 3 à 700° C. ....	72

**LISTA DE SIGLAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASTM – *American Society for Testing and Materials*

BS – *British Standard*

CBMAP – Corpo de Bombeiro Militar do Amapá

CBMDF – Corpo de Bombeiro Militar do Distrito Federal

CBMES – Corpo de Bombeiro Militar do Espírito Santo

CBPMESP – Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo

DOF – Documento de Origem Florestal

EUA – Estados Unidos da América

GEA – Governo do Estado do Amapá

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

ISO – *International Organization for Standardization*

IT – Instrução Técnica

MMA – Ministério do Meio Ambiente

NFPA – *National Fire Protection Association*

NBR – Norma Brasileira

NT – Norma Técnica

TRRF – Tempo Requerido de Resistência ao Fogo

**LISTA DE SÍMBOLOS**

$\theta_g$  – Temperatura dos gases no ambiente em chamas (°C)

$\theta_{g,0}$  – Temperatura dos gases no instante  $t = 0$

$t$  – Tempo

$\rho$  – Massa específica

$f$  – Resistência característica

kWh – quilowatt-hora

kg – quilograma

$m^3$  – metro cúbico

$U$  – Umidade relativa do ar

$m_i$  – Massa inicial da madeira

$m_s$  – Massa da madeira seca

$d_{char,n}$  – Espessura de carbonização nominal da projetada

$\beta_n$  – Taxa de carbonização nominal incluindo efeito de arredondamento

$\beta_0$  – Taxa de carbonização básica para exposição em uma dimensão

$I_p$  – Índice de propagação superficial de chama

$P_c$  – Fator de propagação de chama

$Q$  – Fator de evolução do calor

l – Litro

min – Minuto

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
1.1 CONTEXTO E PROBLEMA .....	16
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	19
1.3 OBJETIVOS .....	20
<b>1.3.1 Objetivo Geral</b> .....	<b>20</b>
<b>1.3.2 Objetivos Específicos</b> .....	<b>20</b>
1.4 JUSTIFICATIVA .....	20
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	21
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>22</b>
2.1 SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS.....	22
<b>2.1.1 Medidas de proteção passiva</b> .....	<b>23</b>
<b>2.1.2 Medidas de proteção ativa</b> .....	<b>24</b>
2.2 DINÂMICA DO FOGO .....	25
<b>2.2.1 O fogo</b> .....	<b>25</b>
2.3 COMPORTAMENTO FÍSICO DE FENÔMENOS DOS INCÊNDIOS .....	30
<b>2.3.1 Incêndios</b> .....	<b>30</b>
<b>2.3.2 Incêndios reais</b> .....	<b>32</b>
<b>2.3.3 Incêndios padrões</b> .....	<b>36</b>
<b>2.3.4 Tempo Requerido de Resistência ao Fogo - TRRF</b> .....	<b>39</b>
2.4 A MADEIRA.....	41
<b>2.4.1 Estrutura molecular da madeira</b> .....	<b>42</b>
<b>2.4.2 Propriedades físicas da madeira</b> .....	<b>43</b>
<b>2.4.3 Madeira serrada</b> .....	<b>48</b>
<b>2.4.4 Habitações em madeira</b> .....	<b>49</b>
<b>2.4.5 Espécie estudada</b> .....	<b>53</b>
2.6 TRATAMENTO QUÍMICO ANTICHAMAS PARA MADEIRA.....	53
<b>2.6.1 Tratamento superficial com produtos intumescentes</b> .....	<b>54</b>
<b>2.6.2 Tratamento com produtos retardantes</b> .....	<b>55</b>
<b>2.6.3 Ensaios de reação ao fogo</b> .....	<b>55</b>
<b>2.6.4 Produtos químicos antichamas do comercio Brasileiro</b> .....	<b>59</b>
<b>3 ABORDAGEM EXPERIMENTAL</b> .....	<b>60</b>
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA .....	60
3.2 PRINCIPAIS COMPONENTES DO ENSAIO .....	61

<b>3.2.1</b>	<b>Corpos de Prova.....</b>	<b>61</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Produtos antichamas utilizados .....</b>	<b>61</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Outros materiais .....</b>	<b>62</b>
<b>3.3</b>	<b>PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA PARA OS ENSAIOS .....</b>	<b>64</b>
<b>3.4</b>	<b>DEFINIÇÃO DO ENSAIO .....</b>	<b>65</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>67</b>
<b>4.1</b>	<b>CONSIDERAÇÕES DA REALIZAÇÃO DO ENSAIO .....</b>	<b>67</b>
<b>4.2</b>	<b>AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS .....</b>	<b>67</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Ensaio 1.....</b>	<b>67</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Ensaio 2.....</b>	<b>69</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Ensaio 3.....</b>	<b>72</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>75</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>78</b>



## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 CONTEXTO E PROBLEMA

Os incêndios sempre foram um grande problema para a sociedade, no entanto, segundo Mitidieri (2008), a segurança contra incêndio no Brasil até o início dos anos 70 foi relegado a pouca regulamentação e sem quaisquer incorporações do aprendizado dos incêndios ocorridos no exterior. Estas vinham da área seguradora e possuíam apenas preocupação na medida de combate a incêndio, como a provisão de hidrantes e extintores, além da sinalização desses equipamentos. Conforme o mesmo autor, a situação do país era semelhante à dos Estados Unidos da América (EUA) em 1911 e uma conclusão óbvia é que nosso país não colheu o aprendizado decorrente dos grandes incêndios ocorridos em outros países. Sendo assim, os fatos históricos mostram as consequências dessa inércia em termos dos desenvolvimentos técnicos e científicos.

Silva (2012) relata que, no Brasil, o maior incêndio em perda de vidas aconteceu no Gran Circo Norte-Americano no dia 17 de dezembro de 1961, em Niterói (Rio de Janeiro), tendo como resultado 250 mortos e 400 feridos. Vinte minutos antes de terminar o espetáculo, o incêndio tomou conta da lona. Em três minutos, o toldo, em chamas, caiu sobre os dois mil e quinhentos espectadores. A ausência dos requisitos de escape para os espectadores, como o dimensionamento e posicionamento de saídas, a inexistência de pessoas treinadas para conter o pânico e orientar o escape, etc., foram as causas da tragédia. As pessoas morreram queimadas e pisoteadas.

Gill, Oliveira e Negrisolo (2008) relatam que o primeiro grande incêndio em prédios elevados ocorreu em 24 de fevereiro de 1972, no edifício Andraus, na cidade de São Paulo. Tratava-se de um edifício comercial com 31 andares, estrutura em concreto armado e acabamento em pele de vidro. Acredita-se que o fogo tenha começado nos cartazes de publicidade de uma das lojas, colocados sobre a marquise do prédio. Do incêndio resultaram 352 vítimas, sendo 16 mortos e 336 feridos. Apesar de o edifício não possuir escada de segurança e a pele de vidro haver proporcionado uma fácil propagação vertical do incêndio pela fachada, mais pessoas não pereceram pela existência de instalações de um heliponto na

cobertura, o que permitiu que as pessoas que para lá se deslocaram, permanecessem protegidas pela laje e pelos beirais.

Outro exemplo catastrófico foi o incêndio no edifício Joelma, localizado em São Paulo, também construído em concreto armado, que segundo Silva (2012) possuía 23 andares de estacionamentos e escritórios e também não apresentava escada de segurança. Ocorreu em 1º de fevereiro de 1974, causou cento e setenta e nove mortes e trezentos e vinte feridos. Nesse incêndio, as pessoas se projetaram pela fachada do prédio, gerando imagens fortes e de grande comoção. Muitos ocupantes do edifício pereceram no telhado, provavelmente buscando um escape semelhante ao que ocorrera no edifício Andraus. Somado ao incêndio do edifício Andraus, pela semelhança dos acontecimentos e proximidade espacial e temporal, o incêndio causou grande impacto, dando início ao processo de reformulação das medidas de segurança contra incêndios no Brasil.

A tragédia mais recente ocorreu na da Boate Kiss em Santa Maria no Rio Grande do Sul, em 27 de janeiro de 2013. Conforme Acosta (2015), essa foi a segunda maior tragédia do Brasil onde vitimou 242 pessoas e feriu ao menos 680, o que novamente trouxe ao país as discussões sobre medidas de segurança contra incêndio e pânico.

Segundo o Instituto Sprinkler Brasil (2018), no Brasil, não há divulgação de dados oficiais de casos de incêndio, o que impacta e restringe sobremaneira a discussão e a elaboração de políticas públicas para enfrentamento do problema. Gill, Oliveira e Negrisolo (2008) relatam que o importante seria que informações fossem disponibilizadas ao público, pelo Corpo de Bombeiros em especial, sobre as causas deste ou daquele incêndio, com ou sem vítima, os mecanismos de propagação, etc. Essas experiências, que ocorrem diariamente, infelizmente ainda se perdem pela ausência de investigação ou divulgação. Nesse sentido, o presente estudo é a oportunidade para contribuir, com o intuito de incorporar aprendizado sobre a proteção passiva de habitações residenciais em madeira, mais especificamente sobre as proteções realizadas por produtos químicos antichamas.

No Amapá, os incêndios mais devastadores ocorrem em habitações residenciais em madeira devido ao fato desta ser constituída de material combustível, e principalmente devido à construção desordenada desse tipo de

habitação em áreas sem infraestrutura adequada. Pinto (2001) relata que no Brasil o uso da madeira está pontuada aos extremos sociais mostrando-se como um material barato e acessível para as pessoas de baixa renda, caracterizado pela sua precária durabilidade e, por outro lado, um material sofisticado que atende a exigente classe de alta renda com sua versão mais nobre.

Não há uma estimativa segura sobre o déficit habitacional no Estado do Amapá, pois segundo Serrão e Lima (2013) não há um consenso entre as principais fontes de informação sendo que “de acordo com o GEA (2011) existe um déficit de 42 mil unidades habitacionais, já o Ministério das Cidades (2012) alega que esse déficit está em 25 mil unidades habitacionais e o IBGE (2010) aponta para um déficit de 17 mil unidades habitacionais”. Diante disso, é grande o número de invasões de áreas impróprias para habitação, sem qualquer infraestrutura. Em grande parte dessas invasões as famílias optam pelo método construtivo mais econômico e de simples execução: as habitações residências em madeira.

Essa facilidade construtiva também se dá em boa parte devido o Amapá situar-se na região Amazônica, que apresenta grande potencial madeireiro com grande comércio de espécies de madeira de terras baixas que são chamadas várzeas, e a floresta que as cobre chama-se “mata de várzea”. Com isso, o comércio de madeiras se torna bastante facilitado em diversos pontos da Capital e adjacências o que gera emprego e renda, principalmente entre a população ribeirinha como destacam Queiroz e Machado (2007):

Como alternativa para a obtenção de renda monetária, a população ribeirinha que permaneceu no ambiente de várzea e não migrou para os centros urbanos desenvolveu pequenas serrarias familiares, cuja produção de madeira é obtida a partir do uso de espécies de ocorrência destacada, como é o caso da andiroba, da pracuúba, da macacaúba, da virola, do anani e do pau-mulato, entre outras, de boa aceitação nos centros urbanos, onde são utilizadas para a construção de casas, colocação de cercas, fabricação de móveis, etc. (QUEIROZ; MACHADO, 2007, p. 294).

Devido a esse potencial madeireiro para a construção de habitações residenciais em madeira, e tendo em vista os grandes incêndios que ocorreram no Estado do Amapá nos últimos anos, precisa-se encontrar medidas de segurança contra incêndio que venham a retardar ou dificultar a propagação do incêndio nesse

tipo de edificação, garantindo assim, um maior tempo para a saída das pessoas do seu interior, as ações de salvamento e extinção do incêndio pelas equipes do Corpo de Bombeiros Militar e impedir que o incêndio se propague para edificações vizinhas. Entre as medidas de segurança contra incêndio pode-se fazer uso de produtos químicos antichamas que conforme Silva et al. (2008).

O tratamento contra o fogo aplicado à madeira visa à incorporação de produtos químicos de modo a torná-la um material que não somente carbonize até sua completa degradação sem que propague chamas ou que contribua para a combustão no ambiente, assegurando um desempenho que não teria naturalmente. (SILVA et al., 2008, p. 163).

Diante disso poderemos responder ao questionamento, de como podemos assegurar um melhor tratamento antichamas para as habitações residenciais em madeira do Estado do Amapá como medida de prevenir a ocorrências de grandes incêndios.

## 1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Por meio de um experimento não normatizado, o referido estudo visa a determinação quantitativa da resistência ao fogo de tábuas de madeira de encaixe macho e fêmea com e sem a aplicação de produtos químicos antichamas. Para isso utilizou-se a espécie do tipo prauúba (*Mora paraensis*) por ser a madeira mais comercializada no Estado do Amapá devido a sua abundância, qualidade e baixo preço. O método do ensaio tem como base os conceitos da Norma Brasileira (NBR) 5628 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2001) que trata da determinação da resistência ao fogo de componentes construtivos estruturais. Essa NBR realiza a verificação de resistência mecânica, isolamento térmico e estanqueidade dos elementos ensaiados. Devido ao fato da tábua ensaiada não apresentar função estrutural, foi realizado apenas as verificações quanto ao seu isolamento térmico e estanqueidade às chamas e fumaça.

### 1.3 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivos:

#### 1.3.1 Objetivo Geral

Realizar o experimento e avaliar a resistência ao fogo da tábua de encaixe macho e fêmea de madeira do tipo pracuúba (*Mora paraensis*) com e sem o tratamento químico antichamas.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

a) Determinar o tempo de isolamento térmico e de estanqueidade às chamas da espécie estudada com e sem o tratamento químico antichamas;

b) Realizar a comparação entre os desempenhos dos ensaios da espécie sem e com o tratamento químico antichamas para avaliar a viabilidade da sua aquisição.

c) Avaliar produtos químicos antichamas que apresentem bom desempenho para serem utilizados nas habitações residenciais em madeira do Estado do Amapá.

d) Avaliar a viabilidade econômica em adquirir os produtos químicos antichamas tendo como base o local de aquisição e o valor do produto.

### 1.4 JUSTIFICATIVA

Devido aos grandes incêndios ocorridos no Amapá, como o do dia 23 de outubro de 2013, no bairro Perpétuo Socorro na cidade de Macapá, em que consumiu cerca de 420 residências, em sua maioria construídas predominantemente em madeira, optou-se por realizar esse estudo como forma de encontrar alternativas de proteção antichamas para as habitações em madeira e com isso impedir que o incêndio se desenvolva e venha a tomar outros ambientes da residência ou se propagar para as habitações vizinhas.

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente estudo é dividido em cinco capítulos. No Capítulo 1, têm-se a introdução onde apresenta o contexto histórico dos incêndios pelos Brasil e no Amapá, a delimitação do tema, os objetivos gerais e específicos e a Justificativa da realização do Trabalho. No Capítulo 2, apresenta-se a revisão bibliográfica. Nesse capítulo, discute-se a conceitos de segurança contra incêndio, a dinâmica do fogo, o comportamento físico de fenômenos do incêndio, a madeira e suas características e o estudo sobre os produtos químicos antichamas de uso na madeira. No Capítulo 3 é apresentado a Abordagem experimental com a classificação da pesquisa e a definição do ensaio com seus componentes. O Capítulo 4 apresenta os resultados dos ensaios realizados. Por fim, no Capítulo 5 são apresentadas as conclusões mais significativas do estudo.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS

O projeto de edificações tem sofrido grandes avanços no último século, Brentano (2015) relata que com as novas soluções arquitetônicas e a utilização de novos materiais, estruturas de concreto armado e aço mais resistentes e novas técnicas construtivas proporcionaram uma grande verticalização das edificações, uma maior concentração de pessoas em menores espaços e conseqüentemente maiores riscos por ocasião de um incêndio.

Diante do exposto, conforme Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF, 2006) a segurança ou proteção contra incêndio é o campo da Engenharia que trabalha na salvaguarda da vida e do patrimônio, bem como eventuais perdas devidas ao fogo ou explosões com a utilização de ações e recursos internos e externos à edificação ou área de risco, que permitem controlar a situação de incêndio e pânico com a remoção das pessoas do local do sinistro em segurança.

Caldas (2008) complementa que os objetivos da segurança contra incêndio são minimizar o risco à vida e a perda patrimonial. Dessa forma, o risco à vida surge com a exposição à fumaça, ao calor e ao desabamento de elementos construtivos sobre os usuários da edificação ou equipes de salvamento e combate ao fogo, já a perda patrimonial ocorre com a perda parcial ou total da edificação e adjacências, equipamentos, documentos, produtos.

Para Carlo (2008), na busca da segurança contra incêndios nas edificações, observa-se que é uma tendência internacional exigir que todos os materiais, componentes, sistemas construtivos, equipamentos e utensílios usados nas edificações sejam analisados e testados do ponto de vista da segurança contra incêndio. Entretanto, conforme Brentano (2015), não se pode esquecer que as edificações apresentam diversidades construtivas muito grandes, com uma grande variedade de formas, materiais e características próprias regionais tornando difícil uma padronização, mesmo assim, parâmetros e condições mínimas de segurança podem ser preconizados, tornando-se pontos de partida para a análise de cada caso.

Brentano (2015) relata que para alcançarmos um grau adequado de segurança contra incêndio nas edificações, preconizado pelas normas e legislações, costuma-se dividir as medidas de proteção contra incêndio em dois grandes grupos: as medidas de proteção passiva e proteção ativa.

### **2.1.1 Medidas de proteção passiva**

Segundo Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2001), 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. (ABNT, 2001, p. 3).

Brentano (2015, p. 80) esclarece que as medidas de proteção passiva são estabelecidas durante a elaboração dos projetos de arquitetura e engenharia da edificação cujo objetivo é “[...] evitar ao máximo a ocorrência de um foco de fogo, e, caso aconteça, reduzir as condições propícias para o seu crescimento e alastramento para o resto da edificação e para as edificações vizinhas.”. Dessa forma, as medidas de proteção passiva citadas por Brentano (2015) constituem um complexo de subsistemas responsáveis por evitar, ou na pior das hipóteses, minimizar a possibilidade de ocorrência de qualquer fogo de fogo.

As principais medidas de proteção passiva nas edificações são:

Afastamento entre edificações;  
Segurança estrutural das edificações;  
Compartimentações horizontais e verticais;  
Saídas de emergência;  
Controle dos materiais de revestimento e acabamento;  
Controle das possíveis fontes de incêndio;  
Sistema de proteção contra descargas atmosféricas;  
Central de gás;  
Acesso de viaturas do corpo de bombeiros junto à edificação  
Brigada de incêndio;  
E outros. (BRENTANO, 2015, p. 80)



### 2.1.2 Medidas de proteção ativa

As medidas de proteção ativa são definidas pela ABNT (2001, p. 3) como sendo “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.” As medidas de proteção ativa vem a complementar as medidas de proteção passiva que para Ono, Valentin e Venezia (2008) são constituídas basicamente de instalações prediais cuja ativação ocorre apenas nos casos da emergência de forma manual ou automáticas sendo que nas condições naturais de uso da edificação não exercem nenhuma função

As medidas de proteção ativa ou de combate a focos de fogo são:

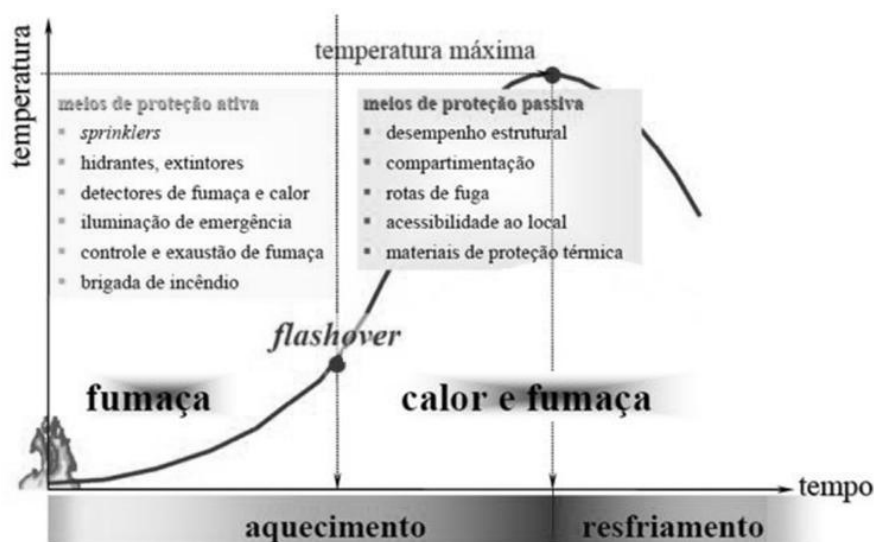
- Sistema de detecção e de alarme de incêndio;
- Sistema de sinalização de emergência;
- Sistema de iluminação de emergência;
- Sistema de controle de fumaça de incêndio;
- Sistema de extintores de incêndio;
- Sistema de hidrantes ou mangotinhos;
- Sistema de chuveiros automáticos (*sprinklers*) em algumas das classes de incêndio;
- Sistema de espuma mecânica para combate ao fogo em alguns tipos de riscos;
- Sistema de gases limpos ou CO<sub>2</sub> para o combate a incêndios em alguns tipos de riscos;
- Brigada de incêndio. (BRENTANO, 2015, p. 81)

Brentano (2015) ressalta que as medidas de proteção ativa ou de combate devem ser tomadas para facilitar o combate ao fogo já iniciado através de equipamentos e sistemas de combate que necessitam da manutenção constante para que sempre estejam em boas condições de uso e, além disso, de pessoas treinadas para operação dos sistemas.

Segundo Ono, Valentin e Venezia (2008) e Oliveira (2013), para o projeto e instalação adequados das medidas ativas, é necessária uma boa integração entre o projeto arquitetônico e os projetos de cada sistema, normalmente divididos por especialidade, a saber: elétrica, hidráulica e mecânica. Adicionalmente, ressalta-se a importância do acompanhamento pelo arquiteto-projetista para que exista uma compatibilização entre as medidas passivas e ativas propostas, visando o melhor desempenho das medidas de segurança contra incêndio como um todo, pois em caso de sinistro a segurança à vida deve ser assegurada pela segurança da

estrutura até a fuga dos ocupantes da edificação. A Figura 1 mostra, em função do desenvolvimento do incêndio, o local onde se aplicam mais eficientemente os meios de proteção ativa e passiva.

Figura 1 – Desempenho das medidas de proteção no comportamento do incêndio real



Fonte: Costa (2008) apud Oliveira (2013, p. 16)

## 2.2 DINÂMICA DO FOGO

### 2.2.1 O fogo

Seito (2008) explica que apesar dos avanços dos estudos da ciência do fogo, não há um consenso mundial de uma definição padronizada sendo que:

[...] definições usadas nas normas de vários países. Tem-se assim:

- Brasil – NBR 13860:** fogo é o processo de combustão caracterizado pela emissão de calor e luz;
- Estados Unidos da América – (NFPA):** fogo é a oxidação rápida auto-sustentada acompanhada de evolução variada da intensidade de calor e de luz;
- internacional – ISO 8421-1:** fogo é o processo de combustão caracterizado pela emissão de calor acompanhado de fumaça, chama ou ambos;
- Inglaterra – BS 4422: Part 1:** fogo é o processo de combustão caracterizado pela emissão de calor acompanhado por fumaça, chama ou ambos. (SEITO, 2008, p. 35, grifo do autor).

Brentano (2016) conceitua de forma mais ampla e explicativa o fogo como sendo:

[...] reação química exotérmica que consiste na combinação de material combustível (sólido ou líquido) com o comburente (oxigênio do ar), que, ativado por uma fonte de calor (pequena chama, fagulha ou o contato com uma superfície aquecida, inicia uma transformação química, denominada combustão, com a produção de chamas, fumaça e mais calor, que propicia o prosseguimento da reação, desencadeando um mecanismo reacional, chamado de reação em cadeia. (BRENTANO, 2016, p. 89).

Conforme citado por Brentano (2016) vemos que a ocorrência do fogo está condicionada à existência de quatro elementos: combustível, comburente, calor e reação química em cadeia que são representados didaticamente como as faces de um tetraedro conhecido como tetraedro do fogo conforme Figura 2.

Figura 2 – Tetraedro do fogo



Fonte: Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo (CBPMESP, 2011, p. 93)

### 2.2.1.1 Características dos elementos do fogo

#### 2.2.1.1.1 Combustível.

Segundo Corpo de Bombeiros Militar do Espírito Santo (CBMES, 2015), os materiais combustíveis são aqueles capazes de queimar e alimentar a combustão, ou seja, reagem com o oxigênio e servem de campo de propagação para o fogo. Quanto ao seu estado físico podem ser classificados em sólido, líquido ou gasoso.

Para CBMES (2015), os combustíveis sólidos não queimam diretamente no estado sólido, mas sim suas moléculas se desprendem do material devido aumento da temperatura interna para posterior mistura com o oxigênio do ar para então formar uma mistura propícia à combustão. A esse processo de queima dá-se o nome de pirólise ou termólise.

Por outro lado, segundo Brentano (2016), os combustíveis líquidos não sofrem decomposição térmica por pirólise já que a palavra vem de grego *lise*, que significa quebra, e de *piros* que significa fogo, mas sim se vaporizam ao serem aquecidos misturando-se com o oxigênio do ar para formar a mistura inflamável.

Diferentemente dos combustíveis sólidos e líquidos que necessitam de uma fonte de calor para primeiramente haver a decomposição térmica e vaporização respectivamente, as moléculas dos combustíveis gasosos tem maior liberdade de movimento conseguem mais facilmente reagir com o oxigênio do ar, Brentano (2016).

#### 2.2.1.1.2 Comburente.

Para o CBMDF (2006), o “comburente é o elemento que possibilita vida às chamas e intensifica a combustão”. É a substância à custa da qual se dá a combustão sendo que conforme Brentano (2016):

[...] geralmente o oxigênio do ar, é o agente químico que ativa e conserva a combustão, combinando-se com os gases ou vapores do combustível, formando uma mistura inflamável. Em ambientes mais abertos, onde há boa circulação de ar ou vento, portanto mais riscos em oxigênio, as chamas são intensificadas por ocasião de um incêndio. O componente oxigênio no ar atmosférico seco é de 21% em volume. Quando essa concentração cai abaixo de 14%, a maioria dos materiais combustíveis não mantêm chamas em sua superfície. (BRENTANO, 2016, p. 87).

#### 2.2.1.1.3 Calor.

Segundo CBMDF (2006), calor é o elemento que inicia a combustão definido como uma forma de energia que se transfere de um sistema para outro em virtude de uma diferença de temperatura, como o trabalho, só se manifesta num processo

de transformação. Pode ser gerado pela transformação de outras formas de energia como: química, elétrica, mecânica, nuclear.

Para Brentano (2016), o calor é o elemento que dá início, mantém e incentiva a propagação do fogo, é o provocador da reação química da mistura inflamável proveniente da mistura de gases e vapores do combustível e do comburente que pode ser uma faísca elétrica, uma chama, o atrito uma superfície aquecida etc.

#### *2.2.1.1.3 Reação em cadeia*

Belenguer (2010) apud Brentano (2016) explica que a mistura do comburente com o combustível por si só não entra em ignição, a menos que se aplique uma energia de ativação na mistura inflamável. Uma vez iniciada a combustão, ocorrem dois processos distintos, um térmico e outro de transformação do material. Por processo térmico entende-se como sendo o desprendimento de calor que parte se dissipa no entorno por meio de radiação, convecção e condução. Para que a reação de combustão se mantenha, parte do calor deve aquecer o comburente e o combustível, gerando radicais livres e a reação em cadeia para manter a combustão.

Em outro conceito citado por CBMDF (2006) temos que a reação em cadeia torna a queima auto-sustentável. O calor irradiado das chamas atinge o combustível e esse é decomposto em partículas menores, que se combinam com o oxigênio e queimam, irradiando outra vez calor para o combustível, formando um ciclo.

#### *2.2.1.2 Propagação do fogo*

Segundo a Instrução Técnica (IT) nº 02 do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo (CBPMESP, 2011), a possibilidade de um foco de fogo se extinguir ou evoluir para um incêndio depende de uma série de fatores sendo os principais: quantidade, volumes e espaçamento de materiais combustíveis no local; tipo de material construtivo da edificação; tamanho e situação das fontes de ignição; área e localização das janelas; velocidade e sentido do vento; as formas e as dimensões do local.

Para Mitidieri (2008), a maioria dos incêndios ocorre a partir de uma fonte de ignição nos materiais contidos no interior do edifício e não nos materiais incorporados ao sistema construtivo. Uma vez que o material que esteja em contato com a fonte de ignição se decompõe pela ação calor, através da pirólise serão liberados gases que sofrem ignição. Quando a ignição está estabelecida, o material manterá a combustão, liberando gases, fumaça e desenvolvendo calor. O ambiente, então, sofrerá uma elevação gradativa de temperatura, e a fumaça e gases quentes serão acumulados no teto, e a propagação do fogo para os materiais combustíveis do ambiente se dará por meio dos fenômenos de condução, radiação e convecção. Para Brentano (2016, p. 91) “em um incêndio, as três formas de propagação geralmente ocorrem concomitantemente, embora, em determinado momento, uma delas predomine sobre as demais.”.

#### *2.2.1.2.1 Propagação do fogo por condução*

Segundo Kreith e Bohn (1977), a condução é um processo pelo qual o calor flui de uma região de temperatura mais alta para outra de temperatura mais baixa, dentro de um meio (sólido, líquido ou gasoso) ou entre meios diferentes em contato físico direto. Para Brentano (2016), a transferência do calor do fogo por condução ou contato pode se dar por duas formas: pelo contato direto das próprias labaredas que passam por aberturas existentes nas paredes de um ambiente para outro do mesmo pavimento ou para ambientes de pavimentos diferentes através de *shafts* ou externamente através das janelas da fachada podendo alcançar a fachada e as aberturas das edificações vizinhas dependendo do afastamento entre as edificações; por condução através de um contato físico como as paredes e lajes e entre pisos, que são aquecidos pelas chamas e pelo calor intenso do fogo.

#### *2.2.1.2.2 Propagação do fogo por convecção*

Para Silva (2012), convecção é o processo pelo qual o calor flui, envolvendo movimentação de fluidos. Decorrente da diferença de densidades entre os gases com diferentes temperaturas no ambiente em chamas, eles se movimentam e tocam as estruturas transferindo-lhes calor. Com isso as massas de ar e fumaça aquecidas

se deslocam do local do fogo levam calor suficiente para aumentar a temperatura em outros locais, podendo incendiar outros combustíveis.

Brentano (2016) ressalta que a convecção de gases, ar quente, vapores e fumaça produzidos pelo fogo, por serem menos densos, sobem e caso o ambiente esteja fechado, se acumulam no teto formando uma camada de alta temperatura, caso o ambiente esteja aberto os gases e fumaças aquecidos podem fluir para outros ambiente e pavimentos superiores entrando em contato com outros materiais combustíveis que são aquecidos até atingir seus respectivos pontos de combustão e vindo a criar novos focos de fogo.

#### *2.2.1.2.3 Propagação do fogo por radiação térmica*

Para Kreith e Bohn (1977), a radiação é um processo pelo qual o calor é transmitido de um corpo a alta temperatura para um de mais baixa quando tais corpos estão separados no espaço, ainda que exista vácuo entre eles. Coelho (2010) explica que esse processo de transmissão o calor à superfície de um corpo é transformado segundo as leis da termodinâmica em radiação eletromagnética. A transformação de calor em radiação é denominada emissão, enquanto a transformação de radiação em calor se designa por absorção.

Brentano (2016) explica que a intensidade da radiação térmica emitida pelas aberturas de uma edificação dependem da: carga térmica existente em seu interior, área das aberturas externas e; área do ambiente sob ação do fogo, ou seja, da existência de compartimentação interna.

## 2.3 COMPORTAMENTO FÍSICO DE FENÔMENOS DOS INCÊNDIOS

### **2.3.1 Incêndios**

Caldas (2008) afirma que incêndio é definido como fogo que lavra com intensidade, em material que não estava a ele destinado, destruindo e, às vezes, causando prejuízos. O incêndio pode ter origem física (raios, eletricidade, centelhas devido à eletricidade estática, curtos e calor devido ao atrito de peças em

movimento), biológica (ação de bactérias termogênicas), físico-química (hidrocarbonetos insaturados e gorduras animais e vegetais em certas condições de confinamento), acidental (involuntariamente criado pelo homem), intencional (propositadamente criado pelo homem).

Coelho (2010) afirma que o incêndio é uma combustão caracterizada pelo aparecimento, propagação da chama, liberação de calor, emissão de gases, produção de fumaça e formação de diversos produtos a partir do carbono, ou seja, o incêndio só poderá ter lugar se existir no mesmo espaço um combustível e comburente. Enquanto o oxigênio é o comburente, o combustível é todo o material susceptível de queimar (madeira, papel, plástico, gasolina, etc.). No que diz respeito à energia de ativação, essa representa a fonte de calor que vai provocar a alteração do nível térmico do combustível.

Diante dos conceitos citados por Caldas (2008) e Coelho (2010) percebe-se que tanto o fogo quanto o incêndio necessitam dos elementos: combustível, comburente, calor e reação em cadeia para ocorrerem. Porém o que basicamente distingue os dois é que o incêndio é um tipo de fogo que saiu do controle do homem queimando tudo o que não é destinado a queimar. Outra distinção entre fogo e incêndio é definida por Carrasco (1999) apud Brentano (2016):

Para ocorrer um **incêndio** devem concorrer, de forma simultânea, a presença de um *combustível*, um *comburente*, uma *fonte de calor* e uma *reação em cadeia não controlada*. Quando a reação em cadeia está controlada, equivale a dizer que se pode efetuar o controle dos elementos do triângulo do fogo, não sendo próprio falar de incêndio, mas sim de **fogo**. Um exemplo é o queimador de gás de uma boca de fogão, onde se tem uma situação de fogo, mas não de incêndio. (CARRASCO, 1999 apud BRENTANO, 2016, p. 86, grifo do autor).

Souza (1999) apud Soares (2003) descrevem que o incêndio de um edifício, em função de ter-se pouco acesso ao oxigênio devido a vidros e portas fechados, a velocidade da combustão é mais baixa. No entanto, o progressivo aquecimento dos gases do ambiente alcança um estágio suficiente para romper vidros ou consumir portas e janelas, provocando um súbito contato do oxigênio externo com os gases inflamáveis gerados na edificação alimentando a combustão que vem a contribuir para a ocorrência de fenômenos extremos do fogo como *flashover* ou *backdraft*.



A respeito dos fenômenos extremos do fogo, Brentano (2016) esclarece que é bom ter pelo menos uma ideia desses fenômenos que envolvem explosão e a geração de muito fogo e calor com conseqüências bastante graves para a segurança dos usuários da edificação e também para as equipes de salvamento e combate ao incêndio. Os principais fenômenos extremos do fogo que ocorrem em edificações são os seguintes:

O fenômeno do *Backdraft* é uma explosão química devido à combustão incompleta em decorrência da pouca ventilação do ambiente, com geração de densa fumaça escura com produtos parciais da combustão, partículas de carbono ainda não queimadas e o acúmulo de gases inflamáveis, sob altas pressão e temperatura num ambiente fechado, que, sendo oxigenados por uma corrente de ar proveniente de alguma abertura, produzirão uma deflagração instantânea através do ambiente e pelas janelas afora com chamas intensas e ondas de choque em todas as direções.

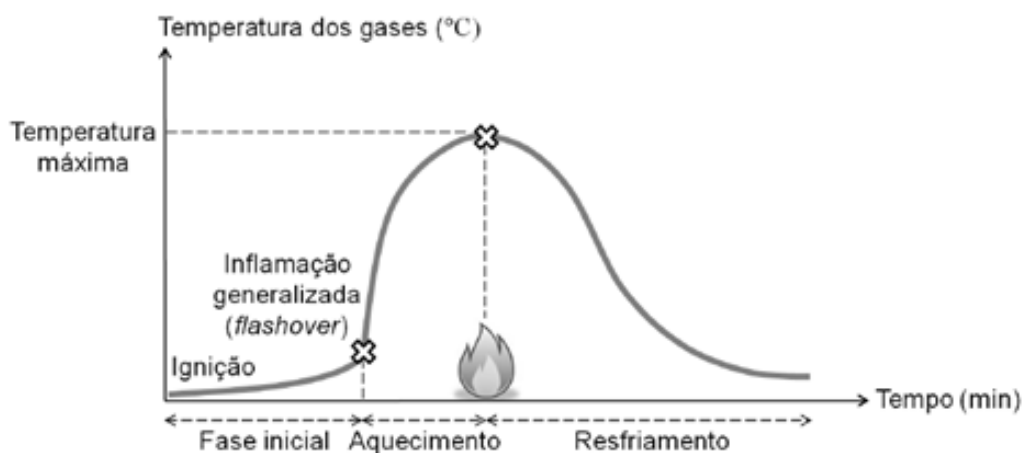
O fenômeno do *Flashover* é uma inflamação generalizada de propagação rápida, que, devido a capa de gás aquecido que se forma junto ao teto durante a fase de crescimento do fogo, irradia calor para os materiais combustíveis localizados longe da origem do fogo, aquecendo-os produzindo a pirólise, que gera gases combustíveis que se aquecem até a temperatura de ignição que se inflamam, ficando toda a área envolvida em chamas simultaneamente. A diferença entre os dois últimos é que o *Backdraft* está ligado a uma abertura e simultânea oxigenação do ambiente, enquanto que o *flashover* é causado pelo progressivo aumento do calor no ambiente fechado, sendo uma das fases da evolução do fogo. (BRENTANO, 2016, p. 86).

### 2.3.2 Incêndios reais

Para Albuquerque (2012), os incêndios reais são extremamente complexos devido ao grande número de variáveis que são associadas às particularidades de cada situação em estudo, tais como: a geometria do compartimento, o grau de ventilação ou fator de abertura, as propriedades sensíveis à ação térmica dos elementos de vedação (massa específica, condutividade e calor específico) e a quantidade e especificações da carga incêndio. Para representar o modelo de incêndio real, o mesmo autor apresenta a curva temperatura-tempo que possui três fases bem demarcadas (fase inicial, aquecimento e resfriamento), conforme Figura

3, representativa de um incêndio natural, uma vez que simula a real situação do ambiente em chamas.

Figura 3 – Curva temperatura-tempo de um modelo de incêndio real

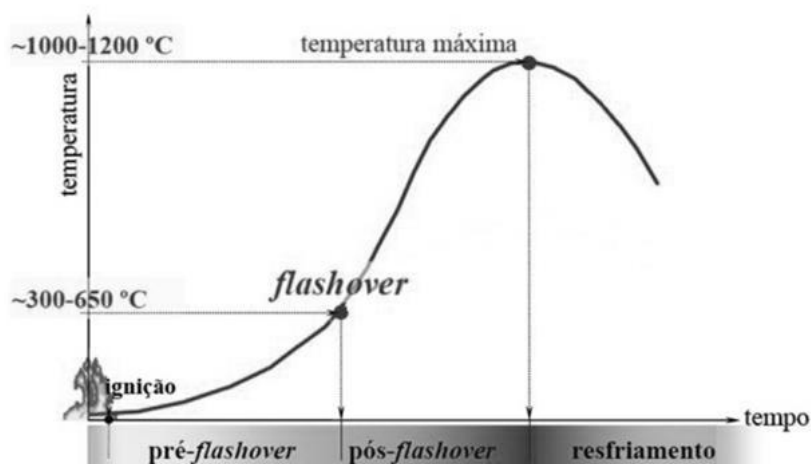


Fonte: Albuquerque (2012, p. 24)

Costa (2008) apud Oliveira (2013) afirma que o incêndio real pode ser ocasionado por diversos fatores, logo, há uma probabilidade muito próxima de zero que existam dois incêndio iguais, podendo-se citar características de um incêndio para outro como: a forma geométrica e dimensões do local, superfície específica dos materiais combustíveis, local do início do incêndio, condições climáticas, aberturas de ventilação, medidas de prevenção, medidas de proteção contra incêndio instaladas, etc.

Organizadamente um incêndio real é caracterizado por três fases, conforme afirma Oliveira (2013): a primeira fase corresponde à fase inicial ou ignição; a segunda de inflamação generalizada ou *flashover*, e a terceira chamada de extinção ou resfriamento. As três fases podem ser ilustradas na Figura 4 com as respectivas temperaturas em função do tempo.

Figura 4 – Fases principais de um incêndio real

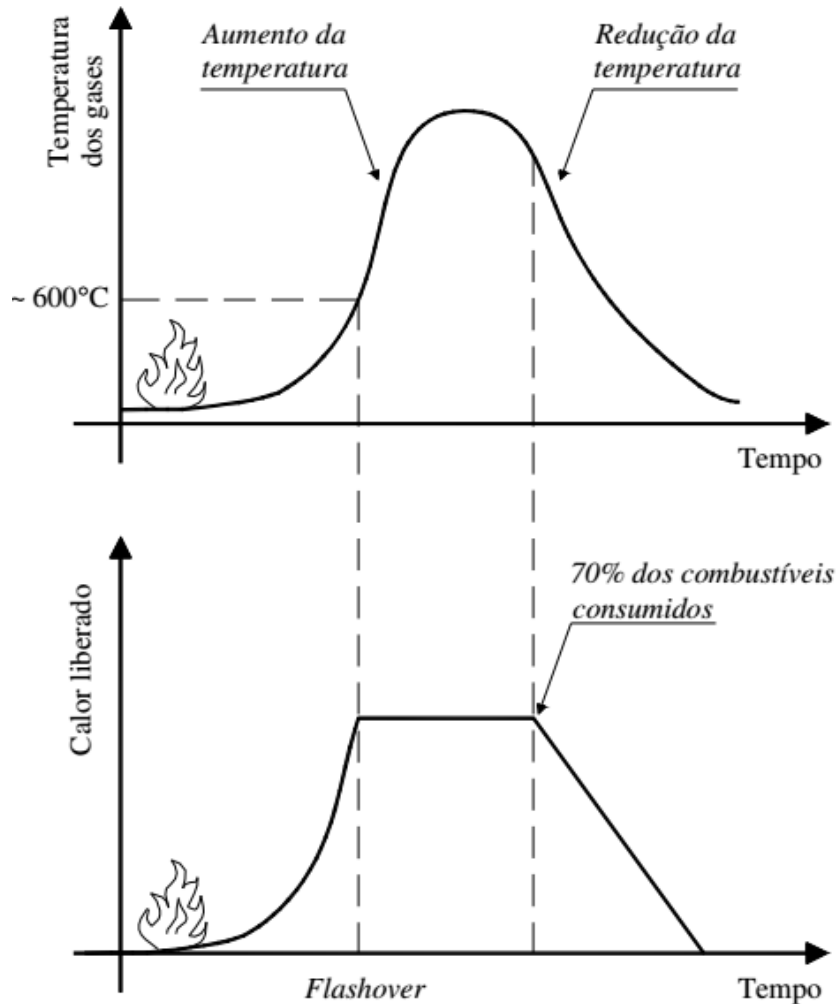


Fonte: Costa (2008) apud Oliveira (2013, p. 13)

Caldas (2008) explica que a intensidade e a duração dos incêndios em edificações podem variar muito. Acredita-se ser possível estimar o desenvolvimento da temperatura em um incêndio em um compartimento sob várias condições, desde que os parâmetros envolvidos sejam conhecidos. Vários desses parâmetros, como quantidade e área superficial dos materiais combustíveis, são imprevisíveis, uma vez que variam com o tempo e de um compartimento para o outro. Portanto é impossível saber a relação temperatura-tempo que um edifício poderá ser exposto durante sua vida útil. Porém, é possível, com razoável probabilidade, indicar para qualquer compartimento, uma relação temperatura-tempo que não será excedida durante a vida útil da edificação.

Da mesma forma que Oliveira (2013), Caldas (2008) relata que o desenvolvimento de um incêndio real em um compartimento, pode ser dividido em três fases com a seguinte nomenclatura: (1) crescimento do incêndio ou *pré-flashover* em que gases quentes e fumaça são liberados a partir da combustão dos materiais; (2) *pós-flashover* onde ocorre um aumento rápido de temperatura e o incêndio entra em um estado estável de combustão e, portanto, a taxa de calor liberado também se torna constante, pois cerca de 70% dos materiais combustíveis já foram consumidos; (3) redução da temperatura quando todos os materiais combustíveis são consumidos, conforme Figura 5.

Figura 5 – Relação temperatura-tempo de um incêndio em um compartimento e taxa de calor liberado em um compartimento



Fonte: Caldas (2008, p. 15)

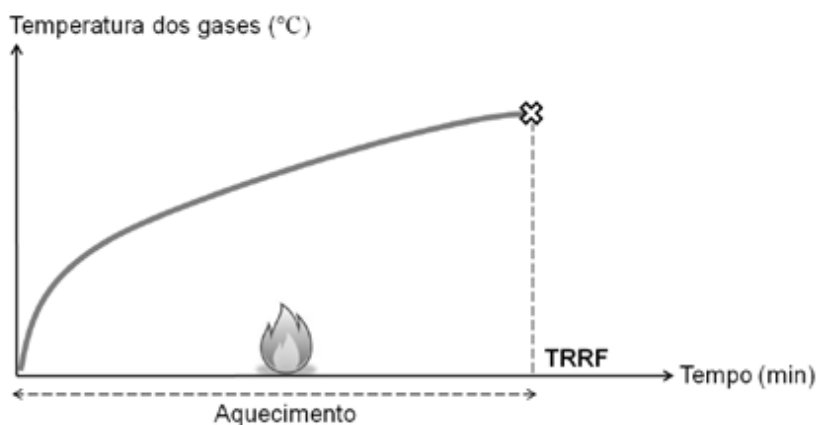
Desta forma, os autores deixam claro que um incêndio real tem seu início ou eclosão, seguido de um desenvolvimento com aumento da temperatura de uma forma rápida até consumir todos os materiais, sejam eles comburentes ou combustíveis e seguindo de uma redução da temperatura ou resfriamento. Concordam também que os incêndios são fenômenos extremamente complexos e que podem variar muito devido ao grande número de variáveis que são associadas, tornando-se muito complexo a aplicação deste modelo em projetos. Assim, os estudos científicos buscam convencionar modelos simplificados para determinação

da curva temperatura-tempo, as quais são apresentadas como modelo de incêndio padrão, que ora não são incêndios reais, mas idealizações para simplificar os cálculos, logo, este modelo representado por equações são aplicadas a qualquer compartimento.

### 2.3.3 Incêndios padrões

Devido à complexidade do estabelecimento do comportamento do incêndio real, Albuquerque (2012) relata que a principal característica da curva de incêndio padrão é considerar a temperatura sempre crescente com o tempo. Desse modo, diferentemente das curvas de incêndio real, possui apenas um ramo ascendente, equivalente à fase de aquecimento, conforme ilustrado na Figura 6. Assim, destaca-se que essa curva não corresponde à situação real de incêndio, sendo, portanto, apenas um modelo prático utilizado em considerações de projeto.

Figura 6 – Curva temperatura-tempo de um modelo de incêndio padrão



Fonte: Albuquerque (2012, p. 27)

Quando a carga de incêndio é similar à madeira, Silva (2012) explica que as Normas Brasileiras (NBR) da ABNT de números 14432 e 5628 recomendam usar a Equação 1 para avaliar a temperatura dos gases durante o incêndio.

$$\theta_g = 345 \log_{10}(8t+1) + \theta_{g,0} \quad (1)$$

Sendo:

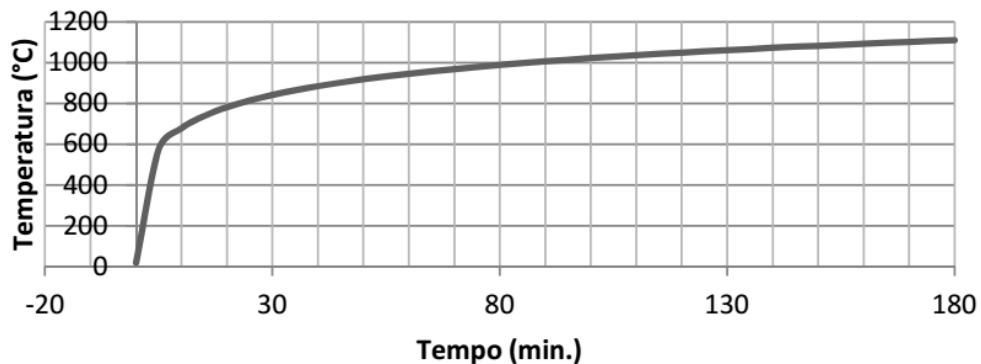
$\theta_g$  – temperatura dos gases no ambiente em chamas (°C);

$\theta_{g,0}$  – temperatura dos gases no instante  $t = 0$ , geralmente admitida 20°C;

$t$  – tempo (min).

A partir da Equação 1, obtemos a curva padrão temperatura-tempo com material celulósico conforme Figura 07 e a Tabela 1 que expressa os valores de temperatura alcançados pelo incêndio padrão até 30 minutos para uma temperatura inicial de 20°C.

Figura 7 – Curva padrão de temperatura-tempo (material celulósico)



Fonte: Souza e Silva (2015, p. 22)

Tabela 1 – Temperatura conforme modelo de incêndio-padrão para os primeiros 30 min.

Tempo (min)	Temperatura (°C)
0	20
5	576
10	678
15	739
20	781
25	815
30	842

Fonte: Silva (2012, p. 39)

Como mostrado na Figura 7, Costa e Silva (2003) e Inácio (2011) apud Oliveira (2013) esclarecem que a curva de incêndio padrão apresenta características que estão longe de serem comparáveis a um incêndio real. Isso se deve ao fato de que características do compartimento, tais como a ventilação e o tipo e a quantidade de combustível, não estão sendo contempladas. A curva de incêndio padrão, embora não manifeste a realidade física de um incêndio em um compartimento, tem mérito na sua utilização pelo simples fato de ser normalizada, unificando os ensaios e permitindo a comparação dos resultados obtidos em diferentes laboratórios pelo mundo.

Costa e Rita (2004) apud Oliveira (2013) relatam que quando a carga de incêndio for de materiais derivados do petróleo, o fluxo de calor durante esse tipo de combustão e o calor liberado são superiores aos dos materiais celulósicos, para esse tipo de incêndio é utilizada a curva H (*hydrocarbon curve*), que é o resultado de ensaios de incêndios de hidrocarbonetos. Silva (2012) apresenta a equação 2 que representa a curva temperatura-tempo para hidrocarbonetos:

$$\theta_g = 1.080 \left( 1 - 0,33 e^{-0,17t} - 0,68 e^{-2,50t} \right) + 20 \quad (2)$$

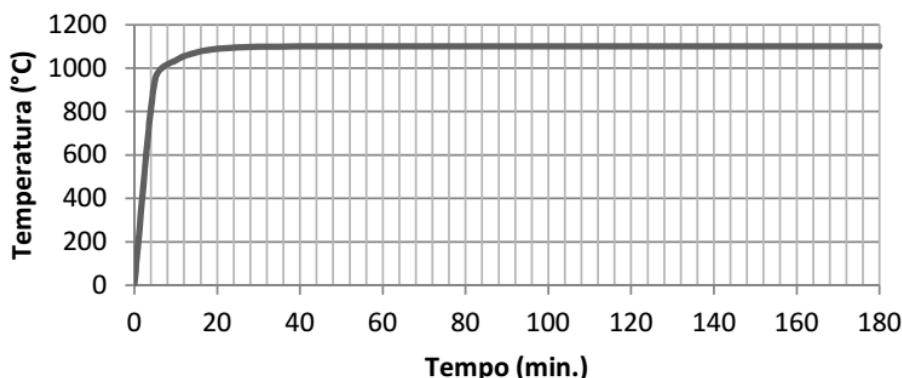
Sendo:

$\theta_g$  – temperatura dos gases no ambiente em chamas (°C);

$t$  – Tempo (min).

A curva H apresentada na Figura 8 foi primeiramente desenvolvida para ser utilizada em incêndios de indústrias petroquímicas, porém, atualmente ela tem sido recomendada para projetos de túneis e outras vias de transporte de veículos movidos a combustíveis inflamáveis. Diferentemente da curva padrão, a curva H é mais realista para representar incêndios de materiais derivados do petróleo, Costa (2008).

Figura 8 – Curva padrão temperatura-tempo (hidrocarbonetos)



Fonte: Souza e Silva (2015, p. 22)

### 2.3.4 Tempo Requerido de Resistência ao Fogo - TRRF

Segundo ABNT (2001, p. 3) o tempo requerido de resistência ao fogo é o “tempo mínimo de resistência ao fogo, preconizado por esta Norma, de um elemento construtivo quando sujeito ao incêndio-padrão.”. Brentano (2015) define o Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF) como sendo o tempo mínimo (em minutos) de resistência ao fogo que um elemento construtivo de uma edificação quando sujeito ao incêndio padrão deve resistir com respeito à integridade, estanqueidade e isolamento. Com isso, segundo o mesmo autor, a resistência ao fogo dos elementos de construção da edificação sujeitos à ação do fogo podem ser classificada de acordo com os comportamentos relativos a três funções:

**Resistência mecânica frente à ação do fogo:** o comportamento dos elementos de construção que tem unicamente a função de suporte estrutural, como paredes auto-portantes, vigas, pilares, lajes, etc. deve ser adequado para assegurar, em caso de incêndio, a estabilidade mecânica do conjunto durante um período de tempo considerado suficiente, isto é, eles devem conservar suas funções mecânicas, não sofrendo rupturas ou deslocamentos transversais quando sob os efeitos das ações do fogo e dos carregamentos;

**Estanqueidade às chamas e aos gases inflamáveis:** os elementos de construção que tem unicamente a função de vedação na compartimentação, como paredes, divisórias, portas, etc., devem manter a estanqueidade sob a ação do fogo, isto é, não devem apresentar fissuras, frestas ou aberturas suficientes para permitir a passagem de chamas, gases quentes inflamáveis e fumaça;

**Isolamento térmico:** os elementos de construção que tem a função de isolamento térmico devem ser capazes de suportar a ação do fogo de tal forma que o aquecimento médio da face não exposta ao fogo não seja superior a 140°C, podendo atingir até 180°C em alguns pontos quaisquer somente. (BRENTANO, 2015, p. 125, grifo do autor).



De um modo geral, o TRRF é avaliado simplificada e representa um parâmetro que é função do risco de incêndio e de suas consequências. Sendo assim, não corresponde ao tempo de duração do incêndio ou ao tempo de resposta do Corpo de Bombeiros Militares ou Brigada de Incêndio. Adicionalmente, Costa e Silva (2003), comentam que o TRRF pode ser calculado combinando os conceitos de Teoria das Estruturas com os conceitos de Transferência de Calor ou, alternativamente, o TRRF pode ser encontrado experimentalmente. De qualquer maneira, alerta-se para as dificuldades desse cálculo, o que torna o processo de obtenção do valor de TRRF pouco prático. Sendo assim, em considerações de projeto, esse tempo é fixado, de um modo geral, a partir de consenso entre os pesquisadores e apresentado na forma tabular.

Silva (2012) apresenta a Tabela 2 onde consta um resumo do tempo TRRF com base na NBR 14432 e Instrução Técnica (IT) nº 8 do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo. Da mesma forma, o projeto de NBR nº 02:136.01.004:2002 da ABNT (2004) estabelece critérios para a resistência ao fogo de elementos construtivos para paredes em edificações conforme Tabela 3.

Tabela 2 – Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (IT N°8, 2011)

Ocupação/uso	Altura da edificação							
	$h \leq 6$ m	$6 \text{ m} < h \leq 12$ m	$12 \text{ m} < h \leq 23$ m	$23 \text{ m} < h \leq 30$ m	$30 \text{ m} < h \leq 80$ m	$80 \text{ m} < h \leq 120$ m	$120 \text{ m} < h \leq 150$ m	$150 \text{ m} < h \leq 180$ m
Residência	30	30	60	90	120	120	150	180
Hotel	30	60	60	90	120	150	180	180
Supermercado	60	60	60	90	120	150	180	180
Escritório	30	60	60	90	120	120	150	180
Shopping	60	60	60	90	120	120	150	180
Escola	30	30	60	90	120	120	150	180
Hospital	30	60	60	90	120	150	180	180
Igreja	60	60	60	90	120	150		

Fonte:Silva (2012, p. 22)

Tabela 3 – Critério relativo à resistência ao fogo de elementos construtivos de paredes

Elemento construtivo	Resistência ao fogo (hora)		
	Isolamento térmico	Estanqueidade	Estabilidade
Fachadas, cegas ou não (excluindo portas e janelas), estruturais e não estruturais, de edifícios multifamiliares, de sobrados unifamiliares geminados e de casas térreas geminadas	1/2	1/2	1/2
Fachadas, cegas ou não (excluindo portas e janelas), estruturais e não estruturais, de sobrados unifamiliares isolados e de casas térreas isoladas	1/2 (*)	1/2 (*)	1/2
Paredes internas de compartimentação, entre duas unidades habitacionais contíguas e entre a unidade habitacional e áreas comuns, com ou sem função estrutural	1/2	1/2	1/2
Paredes internas estruturais	-	-	1/2

(\*) Estes critérios poderão ser desconsiderados caso o atendimento ao critério 8.4.1 do projeto de norma 02:136.01.001, Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Parte 1: Requisitos Gerais leve em conta toda a fachada como emissora de radiação.

Fonte: Projeto de NBR nº 02:136.01.004 (ABNT, 2004, p. 17)

## 2.4 A MADEIRA

Segundo Pfeil e Pfeil (2003), a madeira é o material construtivo usado pelo homem desde épocas da pré-história sendo que até o século XIX, as mais importantes obras de engenharia tinham como material construtivo a pedra, a madeira ou a combinação destes. O Uso da madeira na construção civil vai desde construção de pontes a elementos de coberturas, revestimentos, cimbramentos e caixarias. Possui facilidade de fabricação em diversos produtos e bom isolamento térmico e também comparado a outros materiais de construção, a madeira apresenta uma excelente relação resistência/peso, como mostra a Tabela 4.

Tabela 4 – Propriedade de alguns materiais da construção

Material	$\rho(t/m^3)$	$f(MPa)$	$f / \rho$
Madeira à tração	0,5-1,2	30-110	60-90
Madeira à compressão	0,5-1,2	30-60	50-60
Aço à tração	7,85	250	32
Concreto à compressão	2,5	40	16

Fonte: Pfeil e Pfeil (2003, p. 1)

Laroca (2002) explica que do ponto de vista energético, a madeira além de ser biodegradável é um material construtivo de baixo consumo de produção quando comparado a outros materiais utilizados na construção civil. Quanto mais energia despendida, maior é o dano ao meio ambiente, com isso, a Tabela 5 apresenta o valor energético para diversos materiais. O mesmo autor também cita muitas outras vantagens do sistema construtivo com madeiras como: isolamentos térmico e acústico, velocidade de construção, menos desperdícios, facilidade na colocação de instalações hidráulicas e elétricas e durabilidade desde que devidamente projetada.

Tabela 5 – Consumo energético na fabricação de diversos materiais

Material	kWh/kg	kWh/m <sup>3</sup>	Kg/Carvão
Madeira Serrada	0,7	350	0,8
Madeira Laminada-colada	2,4	1200	N.i
Cimento	1,4	1750	260
Concreto	0,3	700	25
Tijolo	0,8	1360	140
Aço	5,9	46000	1000
Plástico/PVC	18	24700	1800
Alumínio	52	141500	4200

Fonte: Oliveira (1998) apud Laroca (2002, p. 34)

Pfeil e Pfeil (2003) classificam as madeiras utilizadas na construção civil como sendo: madeiras duras ou de lei provenientes de árvores frondosas (*dicotiledôneas* com folhas achatadas e largas) que possuem crescimento lento como peroba, ipê, aroeira, carvalho, etc.; madeiras macias (coníferas com folhas em forma de agulhas ou achatadas) de crescimento rápido, como pinho-do-paraná, pinho-bravo, etc.

#### 2.4.1 Estrutura molecular da madeira

De acordo com Pfeil e Pfeil (2003), independentemente da espécie vegetal considerada, a madeira é constituída principalmente de substâncias orgânicas sendo que os principais elementos constituintes e seus respectivos percentuais são: carbono (50%), oxigênio (44%) e hidrogênio (6%). O composto orgânico predominante é a celulose que constitui cerca de 50% da madeira, outros componentes importantes são as hemiceluloses (20 a 25%) e a lignina (20 a 30%) e uma pequena parcela constituída por sais minerais (0,2 a 1%) que produzem as

cinzas quando a madeira é queimada. Calil Junior et al. (1998), apresenta os três principais elementos constituintes da madeira de acordo com a sua classificação, conforme Tabela 6.

Tabela 6 – Composição orgânica da madeira

	Coníferas	Dicotiledôneas
Celulose	48-56%	46-48%
Hemicelulose	23-26%	19-28%
Lignina	26-30%	26-35%

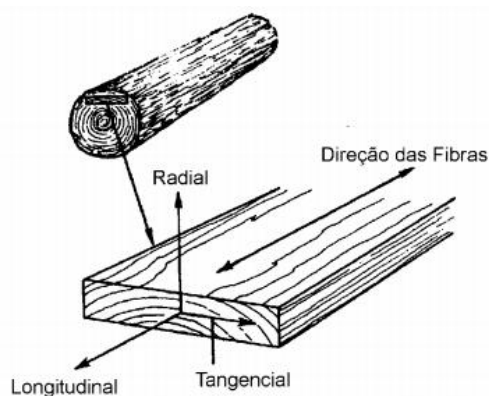
Fonte: Hellmeister (1983) apud Calil Junior (1998, p. 12)

## 2.4.2 Propriedades físicas da madeira

### 2.4.2.1 Anisotropia

Segundo Pfeil e Pfeil (2003), a madeira diferentemente de materiais como o aço, é um material anisotrópico, ou seja, apresenta propriedades físicas diferente nas três dimensões perpendiculares entre si: longitudinal, radial e tangencial. Em termos práticos, as diferenças das propriedades nas direções radial e tangencial são relativamente menores quando comparadas com a direção longitudinal, o que basta é diferenciar a direção das fibras principais (direção longitudinal) das perpendiculares a estas fibras (radial e tangencial) conforme mostrado na Figura 9.

Figura 9 – Eixos principais da madeira em relação à direção das fibras



Fonte: Ritter (1990) apud Calil Junior (1998, p. 13)

#### 2.4.2.2 Umidade

A ABNT (1997) e Pfeil e Pfeil (2003) consideram a determinação da umidade de fundamental importância para suas propriedades sendo o teor de umidade ( $U$ ) da madeira corresponde à relação entre a massa da água nela contida e a massa da madeira seca, dado pela Equação 3.

$$U(\%) = \frac{m_i - m_s}{m_s} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

$m_i$  – é a massa inicial da madeira, em gramas;

$m_s$  – é a massa da madeira seca, em gramas.

Para Pfeil e Pfeil (2003), a quantidade de água nas madeiras verdes ou recém cortadas varia bastante conforme a estação do ano com uma faixa de variação com limite aproximado de 30% para as madeiras mais resistentes e 130% para as madeiras mais macias. Segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2013), a madeira absorve ou libera água para entrar em equilíbrio com o ambiente externo, o que leva a alterações em seu tamanho e formato, a essa característica dá-se o nome de higroscopia. Para MMA (2013), o equilíbrio de umidade ideal para as madeiras de Belém no Estado do Pará está em torno de 18%, essa umidade pode ser considerada para o Estado do Amapá por proximidade entre os estados. No Brasil é adotado 12% como umidade padrão para estruturas de madeira.

Para Calil Junior et al. (1998) a perda de umidade é acompanhada pela retração (redução das dimensões) e aumento da resistência, por isso a secagem deve ser executada com cuidado para se evitarem problemas na madeira como encanoamento, encurvamento, arqueamento e torcimento. A secagem das peças de madeira pode ocorrer de duas formas: natural em que a madeira fica exposta a condições atmosféricas ideais com a circulação natural de ar entre as peças, não há necessidade de mão de obra especializada e é um processo lento que pode durar muitos meses; artificial em que a secagem se dá em estufas, máquinas apropriadas com rigoroso controle de temperatura e umidade relativa do ar, é um processo mais rápido que demanda de uma mão de obra especializada).

No Estado do Amapá, a secagem das peças de madeira se dá predominantemente de forma natural, a maioria das madeiras vende as peças logo após serem serradas com pouco ou nenhuma secagem. Um fator que dificulta a obtenção de uma secagem natural apropriada está relacionado à alta umidade relativa do ar no Estado. Segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2018) no Amapá, durante o ano de 2018 houve máximos de umidade de 96%, a Tabela 7 demonstra as médias, máximos e mínimos de umidade relativa do ar nos meses de janeiro a outubro de 2018.

Tabela 7 – Médias, máximos e mínimos de umidade relativa do ar em Macapá no ano de 2018 (%)

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out
<b>Média</b>	83,14	86,7	85,86	87,34	86,61	84	82,12	76,94	75,14	70,35
<b>Máximo</b>	95	95	95	96	96	95	96	95	95	91
<b>Mínimo</b>	46	46	50	54	54	49	42	36	39	43

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2018)

#### 2.4.2.3 Resistência ao Fogo

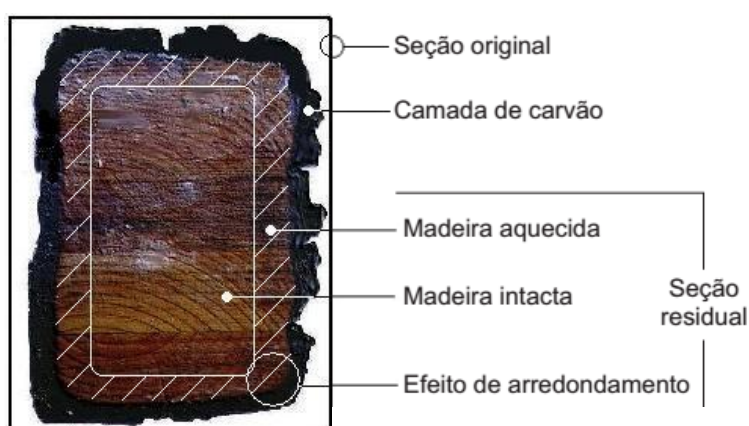
Pfeil e Pfeil (2003) relatam que pelo fato da madeira ser um material combustível faz com que frequentemente seja considerada de pequena resistência ao fogo, tal consideração não é verdade, pois quando adequadamente projetadas e construídas, as estruturas de madeira apresentam ótimo desempenho ao fogo. Calil Junior et al. (1998) relatam que, após alguns minutos, uma peça de madeira exposta ao fogo adquire uma camada externa da madeira carbonizada melhorando o seu isolamento térmico que retém o calor evitando que toda a peça seja consumida. No que concerne ao estudo da madeira como material estrutural, a formação do carvão representa importante parâmetro de estudo que para Pinto e Calil Junior (2006, p. 133), “o carvão representa 1/6 da condutividade térmica da madeira. Sua constituição é de aproximadamente 20% a 25% de material volátil, 70% a 75% de carbono fixo e 5% de cinzas”.

Conforme Pinto e Calil Junior (2006), a degradação térmica da madeira se dá em etapas caracterizadas por faixas de temperatura, são elas: zona A (até 200 ° C), nessa fase a madeira inicialmente libera vapor de água e há a perda de massa

de forma lenta através da pirólise, acima de 95° C a madeira carboniza, porém normalmente não igniza; zona B (200° C a 280° C), nessa faixa, ainda que os gases liberados não entrem em ignição rapidamente, uma condição exotérmica é atingida a uma temperatura em que é considerada em muitas definições como o ponto de ignição da madeira; zona C (280 °C a 500 °C), nessa faixa ocorre a liberação de gases ricos em CO<sub>2</sub> e vapor de água suficientes para manter a combustão flamejante, o carvão gerado retarda a penetração do calor e adia a chegada do ponto exotérmico para as camadas internas da madeira; zona D (acima de 500°C), nessa zona o carvão se torna incandescente e é consumido, quando a temperatura da superfície atinge aproximadamente 1000°C, o carbono é rapidamente consumido na superfície e as regiões de degradação penetram na madeira.

Entre a porção carbonizada e a madeira são encontradas uma região intermediária de madeira aquecida pelo fogo que não carbonizada, porção esta que não deve ser levada em consideração na resistência do material. Segundo Pfeil e Pfeil (2003), as peças robustas de madeira apresentam uma grande resistência ao fogo tendo em vista que sua combustão é lenta devido à baixa condutividade da madeira e do carvão, restando uma seção interna não comprometida pelos efeitos do calor conforme mostrado na Figura 10.

Figura 10 – Seção de viga de madeira exposta ao fogo por 30 min.



Fonte: Pinto e Calil Junior (2006, p. 135)

Silva et al. (2008) relatam que a espessura de carbonização deve ser considerada em todas as superfícies e painéis derivados da madeira expostos ao incêndio, e também em superfícies protegidas onde a exposição ao fogo se dá em um tempo considerável. Explicam que a espessura de carbonização é em função do tempo de exposição ao fogo e da taxa de carbonização sendo os cálculos das propriedades da seção baseados na espessura real do carvão incluindo ou não o arredondamento dos cantos. A taxa de carbonização dos elementos desprotegidos que inclui o efeito de arredondamento dos cantos e fissuras pode ser considerada constante com o tempo e adotados conforme os diversos tipos de madeira descrita na Tabela 8, sendo a espessura de carbonização determinada pela Equação 4. No caso de placas de madeira onde o efeito do arredondamento pode ser desprezado, o valor de  $\beta_n$  toma o valor de  $\beta_o$  que é a taxa de carbonização básica para exposição em uma dimensão.

$$d_{char,n} = \beta_n \times t \quad (4)$$

Onde:

$d_{char,n}$  – é a espessura de carbonização nominal projetada;

$\beta_n$  – é a taxa de carbonização nominal, incluindo o efeito de arredondamento;

$t$  – é o tempo de exposição ao fogo.

**Tabela 8 – Taxa de carbonização para cálculo de madeira,  $\beta_o$  e  $\beta_n$**

ESPECIFICAÇÃO	MATERIAL	$\beta_o$ (mm/min.)	$\beta_n$ (mm/min.)
Coníferas	MLC, densidade $\geq 290$ kg/m <sup>3</sup>	0,65	0,7
	Madeira serrada, densidade $\geq 290$ kg/m <sup>3</sup>	0,65	0,8
Folhosas	Madeira serrada ou MLC, densidade $\geq 290$ kg/m <sup>3</sup>	0,65	0,7
	Madeira serrada ou MLC, densidade $\geq 450$ kg/m <sup>3</sup>	0,5	0,55

Fonte: Silva et al. (2008, p. 161)



### 2.4.3 Madeira serrada

Dentre os tipos de madeiras utilizadas na construção civil, a de uso mais corrente em construções habitacionais em madeira no Estado do Amapá é a madeira serrada que para Pfeil e Pfeil (2003), o produto desse tipo de madeira se dá a partir do abate de árvores com a maturidade suficiente para que o cerne ocupe maior percentual do tronco. A melhor época para o abate dessas árvores se dá na estação seca onde o tronco apresenta menor umidade, essa recomendação nem sempre é seguida onde o abate se dá regularmente durante todo o ano. Se a árvore for cortada na estação chuvosa, as toras devem passar por um tempo de secagem para a redução do excesso de umidade e só depois serem cortadas em unidades industriais próprias (serrarias) nas diversas bitolas comerciais.

No Amapá, os principais pontos de comercialização de madeira serrada estão localizados nos canais das Pedrinhas (Rua Canal das Pedrinhas) e Jandiá (Avenida Canal do Jandiá), em Macapá, e Bueiro (Avenida Igarapé Mata Fome), em Santana. Segundo o Portal de Notícias G1 Amapá (2017), o Ministério Público do Estado do Amapá relata que cerca de 70% da madeira florestal que chega aos canais dos Municípios de Macapá e Santana são de origem do Estado do Pará e não possuem Documento de Origem Florestal (DOF), em 2013, cerca de 300 estabelecimentos comerciais do ramo de madeira atuavam de forma ilegal nos municípios citados.

Figura 11 – Estabelecimento de comercialização de madeira serrada (Canal das Pedrinhas, Macapá-AP)



Fonte: Autor (2018)

### 2.4.3.1 Dimensões de peças de madeira serrada

As dimensões da madeira estão descritas na NBR 7203 da ABNT (1982) que trata de madeira serrada e beneficiada. A norma tem por objetivo fixar a nomenclatura de peças de madeira e os padrões de dimensões (bitola) de madeira serrada e de madeira beneficiada. A madeira serrada é classificada pela ABNT (1982) de acordo com suas dimensões em: pranchões, prancha, viga, vigota, caibro, tábuas, sarrafo e ripa. De acordo com Martins e Araújo (2005), as tábuas dão origem a quase todas as outras peças de madeira serrada por redução de tamanho, apresentam forma retangular, com espessura entre 10 e 40 mm, largura superior a 100 mm e comprimento variável, de acordo com o pedido do solicitante, as mais comuns no comercial Amapaense são as tábuas de 3 e 4 metros de comprimento. Estes produtos são gerados a partir de toras, pranchas e pranchões. Os caibros, ripas e sarrafos têm múltiplas aplicações tanto na construção civil como na fabricação de móveis. As dimensões da seção transversal dos produtos de madeira serrada estão descritos na Tabela 9.

Tabela 9 – Nomenclatura e dimensões de peças de madeira serrada

<b>Nome da Peça</b>	<b>Espessura (cm)</b>	<b>Largura (cm)</b>
Pranchão	> 7,0	> 20,0
Prancha	4,0 – 7,0	> 20,0
Viga	> 4,0	11,0 – 20,0
Vigota	4,0 – 8,0	8,0 – 11,0
Caibro	4,0 – 8,0	5,0 – 8,0
Tábua	1,0 – 4,0	> 10,0
Sarrafo	2,0 – 4,0	> 2,0 – 10,0
Ripa	< 2,0	< 10,0

Fonte: ABNT (1982, p.1)

### 2.4.4 Habitações em madeira

Segundo Shimbo apud Laroca (2002), no Brasil, apesar da oferta de madeira, das potencialidades de reflorestamento e de uma crescente demanda por moradias, o uso da madeira na produção de habitação é irrisório quando comparado com a América do Norte e alguns países da Europa. Restringe-se em sua maioria a

produtos de acabamento como pisos, rodapés, estrutura do telhado e esquadrias. Apesar deste fato existem algumas tentativas no sentido de pesquisar e promover o uso da madeira de reflorestamento na construção de moradias.

Paraná (2001) apresenta uma classificação para as edificações quanto ao à sua construção em: edificações combustíveis que são as construídas total ou parcialmente em madeira; edificações resistentes ao fogo são as construídas com materiais que apresentam resistência ao fogo como ferro, alvenaria de tijolos; edificações incombustíveis que são aquelas construídas totalmente em concreto. No Amapá, as pessoas tem preferência por construções em alvenaria, nos centros das cidades são poucas pessoas que têm habitações com sua totalidade construídas em madeira, sendo estas mais encontradas em meio rural e principalmente nos locais urbanos que sofrem com alagamento (baixadas) com as habitações sobre palafitas que conforme Guerra (1954) apud Simonian (2010):

O vocábulo “palafita” embora seja conhecido internacionalmente como habitação lacustre ou que permanece sempre sobre água ou terrenos encharcados é aqui empregado em um sentido mais amplo. Queremos justificar aqui as necessidades de seu uso para as construções feitas sobre estacas que nem sempre estão sobre as águas. Algumas vezes o sítio escolhido é atingido diariamente pelas marés, outras vezes somente na estação das águas é que a casa se torna uma verdadeira palafita. Estas construções podem estar à margem dos rios, em terrenos pantanosos ou mesmo sobre pilares ou estacas. (GUERRA, 1954 apud SIMONIAN, 2010, p. 5).

Anastácio (2010) explica que as pessoas optam por habitações em madeira, por vantagens como o baixo custo, menor tempo de construção, durabilidade, isolamento térmico e acústico e a simples manutenção. Simonian (2010) relata que é de se destacar as áreas urbanas palafitadas do estado do Amapá, dentre estas as palafitas do município de Laranjal do Jari são as mais conhecidas, senão pela academia, pela mídia, principalmente a televisiva, que não apenas tem noticiado problemáticas das enchentes e incêndios anuais, como também do lixo sempre presente e da criminalidade local.

No Amapá, grandes incêndios ocorreram principalmente em edificações em madeira como o ocorrido no dia 23 de outubro de 2013 no bairro Perpétuo Socorro, localizado da cidade de Macapá – AP, conforme o laudo de investigação de incêndio do Corpo de Bombeiros Militar do Amapá (CBMAP, 2013), a área sinistrada foi de

aproximadamente 26.000 m<sup>2</sup>, conforme Figura 12, vindo a atingir aproximadamente 420 residências afetando uma população de cerca de 2420 pessoas entre desabrigados e desalojados, sendo esse um dos maiores incêndios já registrados no Estado do Amapá. Na ocasião as edificações eram constituídas predominantemente em madeira sobre palafitas.

Figura 12 – Incêndio em Macapá em 23 de outubro de 2013



Fonte – Laudo de Investigação de Incêndio nº 089/2013 (CBMAP, p.3)

Apesar de tantas vantagens que o sistema construtivo em madeira tem sobre outros materiais, qual o motivo do incêndio se tornar mais devastador em habitações em madeira? Segundo estudo realizado através das perícias de incêndio do CBMAP, nos anos de 2013 a 2016, a principal causa de incêndios foi por curto-circuito, e os condutores que entram em curto-curto liberam grande quantidade de energia de forma localizada. De acordo com Anastácio (2010), os materiais considerados como mal condutores de calor como a madeira tem maior facilidade em arderem em relação às boas condutoras, isso acontece devido a concentração de calor em zonas de pequenas proporções onde a temperatura local se eleva causando a liberação de gases combustíveis que na presença de energia de ativação entram em combustão, quanto às substâncias classificadas como boas condutoras, o calor distribui-se por toda a massa fazendo com que a temperatura se eleve mais lentamente.

Para Anastácio (2010), os principais alimentadores das chamas em caso de incêndios em residências não são as paredes, mas sim as peças de mobiliário e decoração, normalmente compostas por materiais pouco densos e de fácil combustão (madeiras macias, tecidos, espumas etc.), que podem ser considerados como a maior fonte de perigo para o surgimento e desenvolvimento de um incêndio. Apesar disso, o código de Segurança Contra Incêndio e Pânico do Estado do Amapá, Lei nº 0871 de 31 de dezembro de 2004, em seu art. 11º isenta a obrigatoriedade das edificações privativas unifamiliares (residências de uma família) em obedecer às exigências do código. Porém, nada impede que os proprietários de residências unifamiliares adotem medidas de prevenção passiva e ativa como forma de resguardar a vida dos usuários da residência e do seu patrimônio.

O pouco afastamento entre as edificações em madeira contribui para que os incêndios progridam para edificações vizinhas que acabam tendo sua fachada consumida pela combustão devido à ação das chamas ou pelo calor irradiado pela edificação incendiada. Segundo Brentano (2015) na prática os afastamentos ideais são mais difíceis de serem adotados nas zonas urbanas devido ao tamanho restrito dos terrenos disponíveis e seus altos custos que acabam influenciando construções mais próximas, concentradas e com alturas cada vez maiores. A Figura 13 mostra como o incêndio pode consumir outras edificações vizinhas devido ao pouco afastamento entre elas. Diante disso, deve-se encontrar soluções de proteção contra o fogo para as edificações em madeira como forma de evitar a perda de vidas e do patrimônio.

Figura 13 – Incêndio em Macapá



Fonte – CBMAP (2013)

#### 2.4.5 Espécie estudada

Para a realização deste Trabalho foram utilizadas tábuas da espécie *Mora paraensis* que conforme Miranda (2009) é uma árvore ocorrente em ambiente de várzea conhecida popularmente como pracuúba branca, pracuúba vermelha ou simplesmente pracuúba. É nativa da Amazônia e encontra-se distribuída pelos estados do Amapá, Amazonas, Roraima e Pará. Esta espécie possui grande potencial madeireiro e pode atingir 40 metros de altura com troncos com mais de um metro de diâmetro, floresce nos meses de janeiro a março.

Coelho (2014) esclarece que a pracuúba é reconhecida como madeira de boa qualidade, é pesada com densidade média de  $1,015 \text{ kg.m}^{-3}$ . Apresenta alborno amarelo-marrom distinto do cerne castanho avermelhado, grã irregular, textura média grossa, aparentando aspecto fibroso, sabor ligeiramente amargo, apresenta boa resistência à organismos xilófagos e alta durabilidade. Seus produtos como tábuas, esteios, tacos para assoalhos, vigamentos, mourões, estacas, são utilizados tanto na construções civil como na naval. Os produtos de madeira serrada da pracuúba são comercialmente muito explorados no Estado do Amapá pelo seu baixo custo e por propiciar um bom acabamento superficial principalmente em habitações residenciais.

Queiroz e Machado (2007) observam que os centros urbanos do Amapá desenvolveram pequenas serrarias que dentre as espécies de madeiras de várzea comercializadas está a pracuúba que possui grande aceitação entre os moradores de Macapá e Santana, os dois maiores municípios do Estado do Amapá, para atendimento da demanda de construção de habitações residenciais, fabricação de móveis, instalação de cercados, etc.

#### 2.6 TRATAMENTO QUÍMICO ANTICHAMAS PARA MADEIRA

A pesar do grande desempenho da madeira frente ao fogo, o mesmo não é suficiente para impedir a propagação para outros ambientes da edificação em madeira e para edificações vizinhas devido à grande carga de incêndio que essas edificações possuem como estantes, estofados, guarda-roupas etc. Diante disso, é necessário utilizar de medidas de proteção passiva como forma de impedir ou

dificultar que o fogo se propague. Pfeil e Pfeil (2003) relatam que por meio do tratamento químico, é possível aumentar a resistência da madeira contra a ação do fogo, esse tratamento consiste em impregnar à madeira produtos preservativos químicos retardadores de fogo que serão cruciais para que a estrutura adquira maior durabilidade. Anastácio (2010) explica que a necessidade de proteção da madeira contra o fogo se dá para que se possa diminuir a probabilidade de ocorrência de incêndios e para que as estruturas mantenham um suporte adequado para permitir a evacuação em segurança das pessoas, as ações de combate ao incêndio e salvamentos.

Para Pinto (2001, p. 14), “o tratamento da madeira é considerado uma medida preventiva, pois suas propriedades frente ao risco inicial de um incêndio podem ser melhoradas por meio de revestimentos, tintas, impregnação de produtos à vácuo-pressão”, o princípio desses tratamentos levam em consideração o fato da madeira possuir degradação química por pirólise a partir de 200°C, necessitando de inibição desse processo através da atuação de produtos químicos adequados, os produtos antichamas. Para Laroca (2002), dependendo do princípio de proteção os produtos podem ser do tipo impregnação ou película de revestimento e o modo de aplicação varia de acordo com a classe de resistência desejada, pode ser impregnado ao material com soluções, ou por aplicação de recobrimento à madeira com tintas, vernizes aplicados a rolo, pincel ou spray.

### **2.6.1 Tratamento superficial com produtos intumescentes**

Segundo Silva et al.(2008), a ação dos produtos intumescentes se dá por expansão, formando uma camada de espuma microporosa e termo-isolante cuja espessura pode passar de 30 mm que inibe a elevação da temperatura do substrato, impede o acesso do oxigênio impedindo a combustão e retardando a propagação de chamas, reduz a emissão de fumaças tóxicas e a liberação dos produtos inflamáveis necessários à combustão. Os produtos com essas características podem ser tintas, vernizes e massas.

Segundo a ficha técnica da tinta Intumescente Maza (2017), a pintura é a base de água, atóxica e inibidora de emissão de fumaça, retarda a propagação do

fogo em madeiras através da intumescência (expansão da camada de tinta, formando uma proteção de carbono), pode ser aplicado em madeiras, alvenarias e metais. O revestimento é na cor branca e textura lisa podendo ser adicionado pigmentação em cores pastéis, possui tempo de cura de 6 dias e é vendida em embalagens de 3,6 litros.

### **2.6.2 Tratamento com produtos retardantes**

Para Pinto (2010), a ação dos produtos retardantes se dá pelo incremento da carbonização e decréscimo da formação de alcatrão e gases voláteis. Silva et al. (2008) ressaltam que esse tratamento consiste em impregnar à madeira soluções de sais ignífugos ou aplicar camada superficial de revestimento com vernizes.

De acordo com a ficha técnica da solução retardante CKC-2020 (2018), o produto é uma solução incolor, inodora, exclusiva para aplicação em superfícies de madeiras cruas tais como casas de madeira, canteiros de obra, divisórias, forros, telhados, revestimentos acústicos de madeira, quiosques, casas de madeira, chalés, portas de madeira, cortinas e carpetes. Seu acabamento não altera a aparência e odor da madeira original. Quando em contato com o fogo, o material protegido se carboniza evitando a propagação das chamas o que aumenta o controle e o tempo de combate ao fogo. A cura pode levar de 3 a 15 dias dependendo das condições de umidade, temperatura e ventilação do local e é vendido em embalagens de 5 e 20 litros.

### **2.6.3 Ensaio de reação ao fogo**

Segundo Seito (2008), a reação frente ao fogo de materiais utilizados em revestimento, acabamento e incorporados aos sistemas construtivos tem sido estudada desde a década de 40. Os diferentes métodos de ensaio servem para a determinação de características importantes que os materiais apresentam frente ao incêndio. A maioria dos ensaios são realizados em escalas reduzidas por meio de corpos-de-prova e visam principalmente a determinação das seguintes características: propagação superficial de chamas, desenvolvimento de fumaça. No Brasil, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), por meio de seu Laboratório de



Segurança ao Fogo realiza diversos ensaios encomendados pelas empresas que lançam materiais no mercado, a realização desses ensaios se dá na maioria dos casos por exigências de normas brasileiras e legislações de segurança contra incêndio e pânico.

### 2.6.3.1 Método de ensaio do painel radiante

Um dos principais ensaios solicitados pelas normas de segurança contra incêndio e pânico está descrito na NBR nº 9442 da ABNT (1986) que trata da determinação do índice de propagação superficial de chama pelo método do painel radiante. Para Silva et al. (2008), esse método a pesar de ser realizado em escala reduzida é bastante prático, de fácil execução e apresenta boa reprodutibilidade. De acordo com IPT (2011), os corpos-de-prova possuem dimensões de  $150 \pm 5$  mm de largura e  $460 \pm 5$  mm de comprimento, são inseridos em um suporte metálico e colocados em frente a um painel radiante poroso, Figura 14, com 300 mm de largura e 460 mm de comprimento, alimentado por gás propano e ar. O conjunto (suporte e corpo de prova) é posicionado em frente ao painel radiante com uma inclinação de  $60^\circ$ , de modo a expor o corpo de prova a um fluxo radiante padronizado.

Figura 14 – Equipamento de ensaio do painel radiante



Fonte – IPT Relatório nº 1 025 775-203 (2011, p. 1)

De acordo com o IPT (2011), com o ensaio é obtido o fator de propagação de chama desenvolvida na superfície do material ( $P_c$ ), medido através do tempo

para atingir as distâncias padronizadas no suporte metálico com o corpo de prova, e o fator de evolução de calor desenvolvido pelo material ( $Q$ ), medido através de sensores de temperatura localizados em uma chaminé sobre o painel e o suporte com o corpo-de-prova. Através da Equação 5 da ABNT (1986), calcula-se o índice de propagação de chama ( $I_p$ ) do corpo-de-prova.

$$I_p = P_c \times Q \quad (5)$$

Onde:

$I_p$  – é o índice de propagação superficial de chama;

$P_c$  – é o fator de propagação de chama;

$Q$  – é o fator de evolução do calor.

De acordo com os valores de índice de propagação de chama ( $I_p$ ), os materiais são classificados com base no Anexo E da ABNT (1986) em cinco classes, conforme Tabela 10. É importante relatar que os valores próximos a 0 (zero) evidenciam melhor eficiência do produto ensaiado.

Tabela 10 – Classificação dos materiais

<b>Classificação</b>	<b><math>I_p</math></b>
Classe A	0 - 25
Classe B	26 - 75
Classe C	76 - 150
Classe D	151 - 400
Classe E	> 400

Fonte – ABNT (1986, p. 15)

A Norma Técnica (NT) nº 10 do CBMAP (2008) trata dos sistemas de segurança contra incêndio de atividades eventuais com concentração de público. Esta norma exige que os materiais de acabamento possuam baixa velocidade de propagação de chama e caracterização dos materiais de construção e acabamentos utilizados. A tabela 2 da referida norma, traz as exigências mínimas de propagação superficial de chamas para coberturas (classe A) e para paredes (classes A, B e C).

### 2.6.3.2 Ensaio de verificação da densidade ótica de fumaça

Para Seito (2008), o desenvolvimento de fumaça e gases tóxicos estão presentes em todas as fases de um incêndio e de acordo com as características dos materiais que entram em combustão poderão ser gerados diversas substâncias nocivas à saúde humana e em diversas concentrações. Levando em consideração a dificuldade em se definir valores letais desses gases liberados pela combustão, há a possibilidade em se registrar a capacidade de obscurecimento da fumaça gerada. Diante disso, o ensaio de densidade ótica da fumaça (DM) mede a densidade de fumaça produzida por um corpo de prova de uma determinada amostra de material ou produto.

De acordo com Pinto e Calil Junior (2002), o ensaio é realizado através da norma americana ASTM E 662 (*standard test method for specific optical density of smoke generated by solid materials*). Neste ensaio, o corpo de prova é submetido a uma radiação de  $2,5 \text{ W/cm}^2$ , uma queima com chama e a outra sem chama produzindo fumaça. A densidade é medida pela determinação da intensidade de um feixe de luz que atravessa uma atmosfera de fumaça. Segundo Lathrop (1991) apud Seito (2008), o estabelecimento de valores máximos aceitáveis é obtido a partir do obscurecimento que a fumaça ofereça, diante da visão humana:

[...] Como exemplo, o Underwriter Laboratories Inc. realizou ensaios preenchendo uma sala com a fumaça proveniente da queima de determinado material. Essa sala continha sinais luminosos de emergência como os utilizados em uma edificação. Foram anotados os tempos, em função dos vários estágios de opacidade causados pelo acúmulo de fumaça. Utilizando-se desses ensaios, chegou-se a um valor considerado tolerável de **450**. (LATHROP, 1991 apud SEITO, 2008, p. 74, grifo nosso).

De acordo com Berto (1998) apud Seito (2008), o Decreto Estadual nº 46.076, que institui o regulamento de segurança contra Incêndio das edificações e áreas de risco do Estado de São Paulo, utiliza-se de dois valores, ou seja, o de 450 e o de 300, tendo como objetivo evitar, ainda na primeira fase do incêndio, o rápido obscurecimento dos caminhos de fuga. No Brasil, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas também realiza esse ensaio.

## 2.6.4 Produtos químicos antichamas do comercio Brasileiro

Nesta subseção serão apresentados alguns produtos químicos de proteção passiva para madeira comercializados no Brasil. O objetivo foi realizar uma comparação através da análise das fichas técnicas dos produtos como forma de completar os aspectos teóricos apresentados e também servir de parâmetro para a escolha de um ou outro produto de acordo com suas características de aplicação e proteção.

A pesquisa se deu através do encaminhamento de e-mail para algumas empresas solicitando o envio das fichas técnicas dos produtos de tratamento antichamas para madeira e dessa forma avaliar as suas características específicas. Diante disso, foram agrupadas em uma tabela as características consideradas mais importantes como: tipo de tratamento, local de aplicação, cores disponíveis, processos de aplicação, ensaios realizados, capacidade do produto, rendimento, número de demãos, tempo de cura e tempo de manutenção. As empresas que enviaram as informações foram CKC do Brasil Ltda., Comercial Antichama, DM Química e Tintas Maza, conforme descrito na Tabela 11. Os produtos custam em média R\$ 95,00 por litro para as tintas intumescentes, R\$ 120,00 por litro para os vernizes retardantes e R\$ 65,00 por litro para as soluções retardantes.

Tabela 11 – Pesquisa no mercado Brasileiro de produtos antichamas para madeira

PRODUTO	CARACTERÍSTICAS GERAIS						PROCESSO DE APLICAÇÃO			ENSAIOS		CAPACIDADE (L)	RENDIMENTOS (M2)	NÚMERO DE DEMÃOS	TEMPO DE CURA (DIAS)	MANUTENÇÃO (ANOS)
	TIPO DE PROTEÇÃO		LOCAL DE PROTEÇÃO		CORES DISPONÍVEIS		PINCEL/TRINCHA	ROLO	SPRAY/PISTOLA	IP	DM					
	INTUMESCENTE	RETARDANTE	INTERIORES	EXTERIORES	BRANCO	INCOLOR										
CKC-268® INTUMESCENTE	X		X		X		X	X		7	105-158	18	35-70	2-4	6	2 a 8
CKC-VR®		X	X	X			X		X	<25	<450	2,5	18,75	2	2	2 a 8
CKC-2020®		X	X	X		X	X	X	X	2-8	124-318	5 e 20	16 e 66	2	2	3 a 10
SHX-9020		X	X	X		X			X	<25	<450	5 e 20	33 e 133	2	N.i	N.i
SHE-6020			X	X		X		X	X	14	349	5	50 a 75	2	N.i	5
SHJ-7020	X		X	X	X		X	X	X	<25	<450	18	35-70	2-4	6	8
FIRELAK WB BRANCO		X	X	X	X		X	X	X	<25	<450	3,5 e 18	12 e 63	2	N.i	N.i
FIRELAK WB INCOLOR		X	X	X		X		X		<25	<450	3,6 e 18	14 e 72	2	N.i	N.i
MAZA® INTUMESCENTE	X		X	X	X		X	X		9	140	3,6	7	4	6	2 a 8
MAZA® VERNIZ ANTI CHAMAS		X	X	X			X	X	X	<25	<450	3,6	12,5		6	2 a 8
MAZA® TINTA ANTI CHAMAS		X	X	X	X		X	X	X	<25	<450	3,6	17,5	4	6	2 a 8
N.i - NÃO INFORMADO																

Fonte – Fichas Técnicas: CKC do Brasil; Comercial Antichama – CAC; DM Química; Tintas Maza.

### 3 ABORDAGEM EXPERIMENTAL

#### 3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Do ponto de vista da abordagem da pesquisa, utilizou-se a abordagem quantitativa que conforme Popper (1972) apud Dalfovo, Lana e Silveira (2008, p.7), “a coleta de dados enfatizará números (ou informações conversíveis em números) que permitam verificar a ocorrência ou não das consequências, e daí então a aceitação (ainda que provisória) ou não das hipóteses”. Essa abordagem é necessária tendo em vista as medições da resistência ao fogo dos corpos de prova estudados.

No que se refere à natureza, a pesquisa proposta é considerada aplicada, pois, para Prodanov e Freitas (2013) o investigador busca, gerar conhecimentos para aplicação prática dirigidos à solução de problemas específicos e envolve verdades e interesses locais. Os problemas específicos em questão são os grandes incêndios que afligem as habitações residências em madeira no Estado do Amapá.

No que tange aos objetivos, é descritiva que conforme Gil (2010) consiste no ato de observar, registrar e descrever as características de um determinado fenômeno sucedido em uma amostra que no caso são os corpos de prova de prachuá com e sem a aplicação dos produtos antichamas.

Quanto aos procedimentos técnicos, a pesquisa é bibliográfica e experimental, sendo a primeira necessária porque, de acordo com Oliveira (2008), é o primeiro passo para a produção acadêmica, a segunda por sua vez, conforme citado por Gil (2010), consiste especialmente em submeter os objetos de estudo à influência de certas variáveis, em condições controladas e conhecidas pelo investigador, para observar os resultados que a variável produz no objeto. Segundo Prodanov e Freitas (2013), na pesquisa experimental:

[...] o pesquisador procura refazer as condições de um fato a ser estudado, para observá-lo sob controle. Para tal, ele se utiliza de local apropriado, aparelhos e instrumentos de precisão, a fim de demonstrar o modo ou as causas pelas quais um fato é produzido, proporcionando, assim, o estudo de suas causas e seus efeitos. (PRODANOV; FREITAS, 2013, p. 57).

## 3.2 PRINCIPAIS COMPONENTES DO ENSAIO

O presente trabalho quantifica e avalia, em uma abordagem experimental, a resistência ao fogo de tábuas com encaixe macho e fêmea do tipo Pracuúba (*Mora paraensis*) com e sem a aplicação de produtos antichamas. Diante disso, resta-se conhecer os principais componentes do ensaio.

### 3.2.1 Corpos de Prova

Para o desenvolvimento do ensaio, foram utilizados corpos de prova de 450 mm de comprimento, com seção transversal de 140 mm de largura e 16 mm de espessura conforme Figura 15. Estas dimensões de seção transversal são comercializadas nas principais madeireiras e estâncias do Estado do Amapá e atendem aos limites propostos pela NBR 7203 da ABNT (1982) apresentados na Tabela 9 da seção 2.4.3.1. Ao todo foram utilizados 6 (seis) corpos de prova que são partes de uma mesma tábua de 4 (quatro) metros. Antes da aplicação dos produtos antichamas, foi aguardado 30 dias para a secagem natural da madeira.

Figura 15 – Corpo de prova (450 mm x 140 mm x 16 mm)



Fonte: Autor (2018)

### 3.2.2 Produtos antichamas utilizados

Com base na pesquisa realizada no mercado Brasileiro de produtos antichamas, foram selecionados, para serem aplicados à madeira escolhida, um produto retardante que na presença do calor carboniza-se evitando a propagação das chamas e outro intumescente que em contato com temperaturas superiores a

200°C, se expande por múltiplas vezes, protegendo o substrato das elevadas temperaturas do fogo. Os produtos escolhidos foram o CKC® 2020 retardante (5l) e a Tinta Maza® intumescente (3,6l), a escolha desses produtos se deu tão somente pelo menor valor destes em relação aos demais e também por apresentarem quantidade suficiente para realização do ensaio. A aplicação dos produtos antichamas ocorreu conforme as especificações contidas em suas respectivas fichas técnicas, respeitando o número de demãos, tempo entre as aplicações das demãos e tempo de cura.

Figura 16 – Produtos antichamas CKC® 2020 e tinta Maza®



Fonte: Autor (2018)

### 3.2.3 Outros materiais

Para a realização do ensaio foram utilizados alguns materiais específicos para a medição de temperatura, medição de comprimentos e geradores de calor, conforme Figura 17. Os materiais utilizados foram: 1 (um) termômetro digital infravermelho com intervalo de medição de -50°C a 950°C; 1 (um) paquímetro com precisão de 0,05 milímetros (mm); 2 (dois) maçaricos de acendimento automático; 6 (seis) cargas de gás (6% propano, 60% nor-butano, 34% isso-butano).

Figura 17 – Outros materiais de auxílio ao ensaio



Fonte: Autor (2018)

Também foi construído um suporte exclusivamente para o ensaio dos corpos de prova constituído de cantoneiras e barras de metalon soldadas. Na parte superior do suporte há parafusos para a fixação dos corpos de prova conforme mostra a Figura 18.

Figura 18 – Suporte para fixação dos corpos de prova



Fonte: Autor (2018)



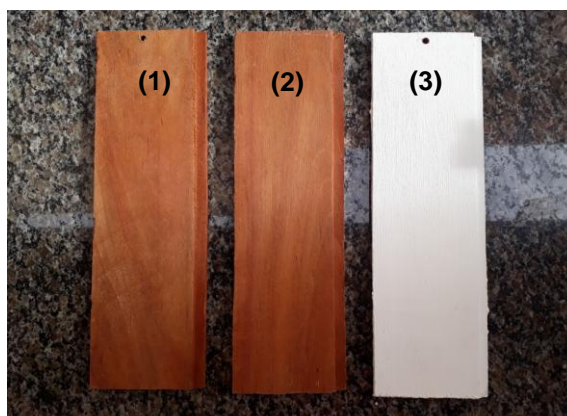
### 3.3 PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA PARA OS ENSAIOS

Após a secagem natural dos seis corpos de prova por trinta dias, estes foram preparados para a realização de três ensaios com as seguintes características:

- a) no primeiro ensaio usou-se um corpo de prova sem proteção antichamas e outro com a aplicação da solução CKC® 2020 retardante. A aplicação do produto se deu conforme sua ficha técnica em duas demãos com intervalos de uma hora e esperou-se o tempo máximo de cura de quinze dias para a realização do ensaio. Ressalta-se que o produto não modificou o aspecto visual do corpo de prova por ser incolor.
- b) no segundo ensaio usou-se novamente um corpo de prova sem proteção antichamas e outro com a aplicação da tinta Maza® intumescente. A aplicação do produto se deu conforme sua ficha técnica com quatro demãos em intervalos seis horas e foi respeitado o tempo de máximo de cura de cinco dias para a realização o ensaio. Com a aplicação do produto, o corpo de prova passou a ter a cor branca;
- c) o terceiro ensaio teve como objetivo verificar a eficiência da tinta Maza® intumescente, de forma que em um corpo de prova realizou-se a aplicação das quadro demãos recomendadas pelo fabricante e no outro foi aplicado duas demãos. Para os dois corpos de prova foi respeitado o tempo entre as demãos e o tempo de cura.

Após a aplicação dos produtos e cumprido o tempo de cura, os copos de prova apresentaram o aspecto conforme Figura 19, sendo: (1) corpo de prova sem aplicação de produtos antichamas; (2) corpo de prova com aplicação da solução CKC® 2020 retardante; (3) corpo de prova com aplicação da tinta Maza® intumescente.

Figura 19 – Corpos de prova



Fonte: Autor (2018)

### 3.4 DEFINIÇÃO DO ENSAIO

O ensaio é a reprodução de um modelo empírico não normatizado realizado pela empresa CKC do Brasil Ltda. que demonstra a eficiência de seus produtos que consiste na fixação de dois corpos de prova em uma estrutura de suporte com a incidência da chama de maçaricos em cada corpo de prova, com isso é verificado o comportamento dos corpos de prova sem e com o tratamento antichamas, conforme esquematizado na Figura 20. Com esse modelo, utilizou-se os conceitos contidos na NBR 5628 da ABNT (2001) que trata da determinação da resistência ao fogo de componentes construtivos estruturais. Essa NBR realiza a verificação de resistência mecânica, isolamento térmico e estanqueidade dos elementos ensaiados. Devido ao fato da tábua ensaiada não apresentar função estrutural, foi realizado apenas as verificações quanto ao seu isolamento térmico e estanqueidade às chamas e fumaça com seguinte roteiro:

- a) medição do isolamento térmico: foi verificado o tempo de isolamento térmico dos corpos de prova ensaiados através da medição da temperatura, a cada 5 (cinco) minutos, da face de incidência do calor da chama do maçarico e na face não exposta por meio de termômetro digital infravermelho com capacidade para até 950°C. Conforme Brentano (2015) o tempo de isolamento térmico será garantido quando o aquecimento médio da face não exposta não for superior a 180°C;

- b) verificação da estanqueidade: constantemente foi verificada visualmente a face não exposta do corpo de prova em busca de fissuras ou outras aberturas que possibilitassem a passagem de chamas, fumaça ou gases aquecidos, quando um desses eventos ocorreu foi anotado o tempo em que permaneceu estanque;
- c) temperatura utilizada: devida à falta de equipamentos adequados para a graduação da temperatura conforme a curva temperatura-tempo do modelo de incêndio padrão, adotou-se a temperatura fixa de 700°C como graduação do maçarico. Essa temperatura é superior à média de 635°C das temperaturas dos primeiros 30 minutos do incêndio padrão contidos na Tabela 1 da seção 2.3.3 e também superior à temperatura de 650°C por volta da qual ocorre o *Flashover* do incêndio real como mostra a Figura 4 da seção 2.3.2;
- d) duração do ensaio: o aquecimento permaneceu até a inutilização do corpo de prova (espessura consumida) ou até ter atingido o Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF) de 30 minutos estabelecido para edificações residenciais conforme descrito nas Tabelas 2 e 3 da seção 2.3.4;
- e) observações adicionais: no decorrer do ensaio foram observadas todas as mudanças ou ocorrências, mesmo que não relativas aos requisitos anteriores, que possam causar riscos ao ambiente de um edifício, por exemplo, a emissão de volume apreciável de fumaça ou de vapores danosos pela face não exposta do corpo de prova.

Figura 20 – Esquemática do ensaio



Fonte: Autor (2018)

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 CONSIDERAÇÕES DA REALIZAÇÃO DO ENSAIO**

O ensaio foi realizado no dia 03 de dezembro de 2018 na cidade de Macapá-AP. Segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) as condições de tempo para o dia foram: temperatura mínima de 23,8°C e máxima de 30,1°C, a umidade relativa do ar média foi 71% e 7,4 mm de precipitação. A influência da ventilação ou disponibilidade de oxigênio se faz importante no ensaio, visto que este foi realizado em ambiente aberto onde a fonte de oxigênio é ilimitada. Dessa forma, a queima foi limitada apenas às condições de disponibilidade do material combustível, ou seja, a madeira ensaiada com e sem a proteção química.

Com a incidência da fonte de calor de 700°C na face incidente, percebeu-se que os corpos de prova sem e com a proteção apresentaram chamas, o que caracteriza a combustão como sendo viva que segundo CBMDF (2006) “os materiais combustíveis ao entrarem em combustão viva, em geral, têm como resultados os seguintes produtos: fumaça, calor, vapor d’água, carvão e cinza.”.

Tendo como base os critérios de avaliação da NBR 5628 da ABNT (2001), que tratam da determinação da resistência ao fogo, foram avaliadas as características de resistência ao fogo apenas referente ao isolamento térmico e à estanqueidade por se tratar de tábuas de madeira para painéis de compartimentação.

### **4.2 AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS**

#### **4.2.1 Ensaio 1**

Antes do início do ensaio, as faces dos corpos de prova apresentavam temperatura de 26,1°C, nos primeiros 5 minutos é observada a liberação de vapores de água e gases da degradação da madeira nos dois copos de prova, porém no corpo de prova sem tratamento a liberação é mais volumosa e constante. As temperaturas da face incidente do calor e da face não exposta, bem como o tempo da estanqueidade de cada corpo de prova estão descritos na Tabela 12 e representados no Gráfico 1 onde percebe-se que a aplicação da solução retardante

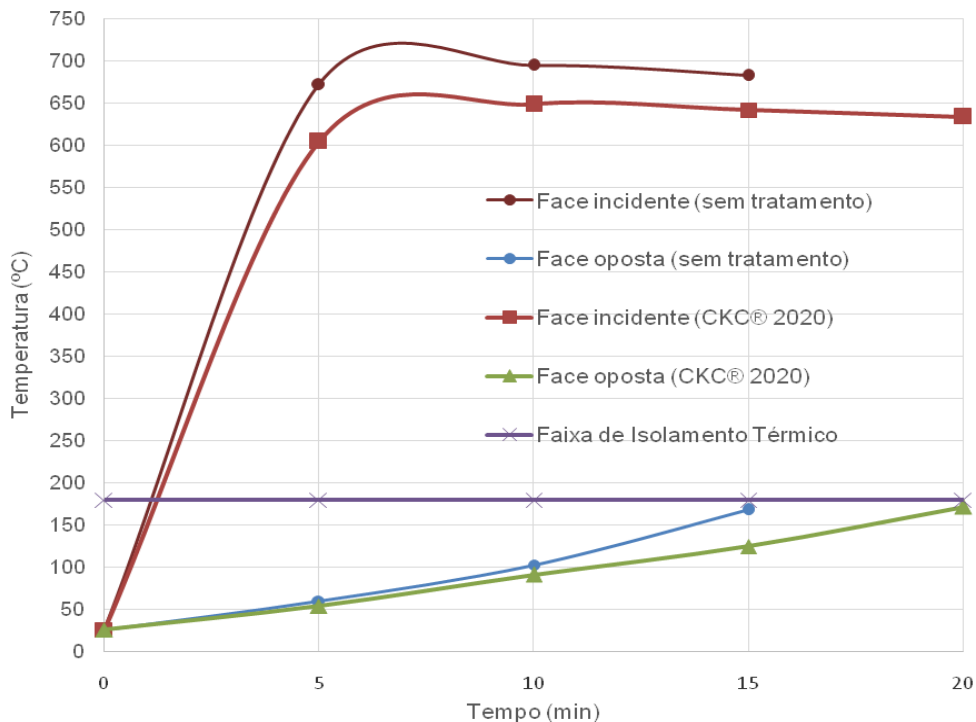
possibilitou a diminuição da temperatura tanto da face incidente quanto da face não exposta.

Tabela 12 – Isolamento térmico e estanqueidade do ensaio 1 à 700° C

ENSAIO	MATERIAIS	ISOLAMENTO TÉRMICO ( °C)												ESTANQUEIDADE (MIN)	INUTILIZAÇÃO (MIN)	TAXA DE PENETRAÇÃO DA CARBONIZAÇÃO (mm/min)		
		0 MIN		5 MIN		10 MIN		15 MIN		20 MIN		25 MIN					30 MIN	
		TEMPERATURA INICIAL	FACE INCIDENTE	FACE OPOSTA	FACE INCIDENTE	FACE OPOSTA	FACE INCIDENTE	FACE OPOSTA	FACE INCIDENTE	FACE OPOSTA	FACE INCIDENTE	FACE OPOSTA	FACE INCIDENTE				FACE OPOSTA	
1	TÁBUA SEM TRATAMENTO	26,1	672	60	695	103	683	168	-	-	-	-	-	-	17'30"	19'20"	0,82	
	TÁBUA COM CKC-2020®	26,1	605	54	649	91	642	125	634	172	-	-	-	-	19'20"	22'40"	0,70	

Fonte: Autor (2018)

Gráfico 1 – Relação temperatura-tempo das faces incidentes e opostas do ensaio 1.



Fonte: Autor (2018)

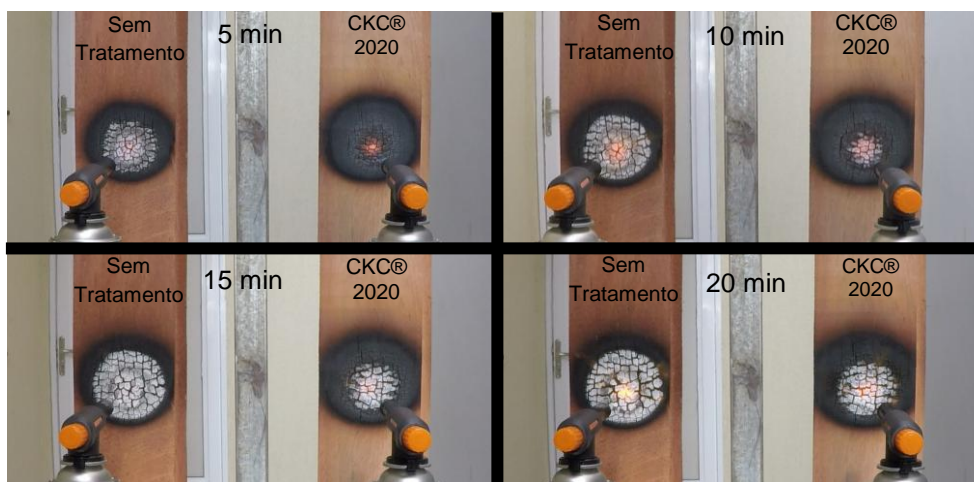
No Gráfico 1, a reta lilás representa a faixa limite de isolamento térmico de 180°C. Conforme os dados da Tabela 12, o corpo de prova sem tratamento químico apresentou razoável resistência. A temperatura medida na face não exposta foi 168°C, atendendo ao limite admitido de 180°C, dessa forma seu isolamento térmico

se deu até os 15min. A partir dos 17min30, passou a permitir a passagem de fumaça para a face não exposta atingindo o limite de sua estanqueidade. O corpo de prova apresentou uma maior área carbonizada, teve a sua inutilização aos 19min20 ao ter sua espessura totalmente consumida, o que propiciou a passagem da chama incidente para o lado oposto, com isso a taxa simples de carbonização para consumir os 16 mm de espessura do corpo de prova foi 0,82 mm/min.

O corpo de prova com o tratamento da solução CKC® 2020 retardante apresentou uma melhor camada carbonizada diminuindo a temperatura da face incidente que consequentemente propiciou um isolamento térmico até os 20min com a medição de 172°C na face não exposta. Sua estanqueidade de 19min20 foi superior ao do outro corpo de prova bem como sua inutilização aos 22min40. Com isso, sua taxa simples de carbonização para consumir os 16 mm de espessura do corpo de prova foi 0,70 mm/min.

A Figura 21 mostra a degradação dos corpos de prova durante as medições de 5, 10, 15 e 20 minutos, sendo o corpo de prova da esquerda sem tratamento químico e o da direita com aplicação da solução CKC® 2020 retardante.

Figura 21 – Degradação dos corpos de prova do ensaio 1



Fonte: Autor (2018)

#### 4.2.2 Ensaio 2

Antes do início do ensaio, as temperaturas das faces dos corpos de prova apresentavam 31,1°C, nos primeiros 5 minutos é observada a liberação de vapores

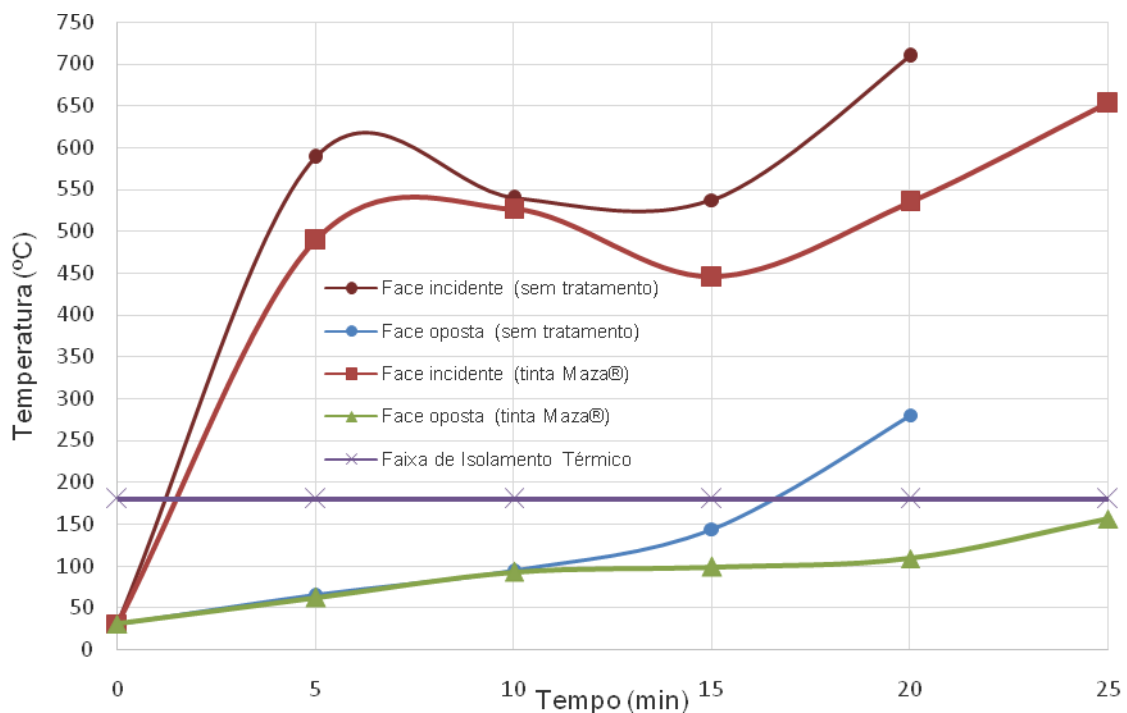
de água e gases da degradação da madeira apenas no corpo de prova sem tratamento, também é observada a saída de água na parte inferior da área carbonizada. As temperaturas da face incidente do calor e da face não exposta, bem como o tempo da estanqueidade de cada corpo de prova estão descritos na Tabela 13 e representados no Gráfico 2 onde a reta lilás representa a faixa limite de isolamento térmico de 180°C.

Tabela 13 – Isolamento térmico e estanqueidade do ensaio 2 à 700° C

ENSAIO	MATERIAIS	ISOLAMENTO TÉRMICO (°C)												ESTANQUEIDADE (MIN)	INUTILIZAÇÃO (MIN)	TAXA DE PENETRAÇÃO DA CARBONIZAÇÃO (mm/min)		
		0 MIN		5 MIN		10 MIN		15 MIN		20 MIN		25 MIN					30 MIN	
		TEMPERATURA INICIAL	FACE INCIDENTE	FACE OPOSTA	FACE INCIDENTE	FACE OPOSTA	FACE INCIDENTE	FACE OPOSTA	FACE INCIDENTE	FACE OPOSTA	FACE INCIDENTE	FACE OPOSTA	FACE INCIDENTE				FACE OPOSTA	
2	TÁBUA SEM TRATAMENTO	31,1	588	66	539	95	537	144	709	280	-	-	-	-	17'50"	20'04"	0,79	
	TÁBUA COM MAZA® INTUMESCENTE 4 DEMÃOS	31,1	489	62	526	93	445	99	535	109	653	156	-	-	25'00"	26'00"	0,62	

Fonte: Autor (2018)

Gráfico 2 – Relação temperatura-tempo das faces incidentes e opostas do ensaio 2.



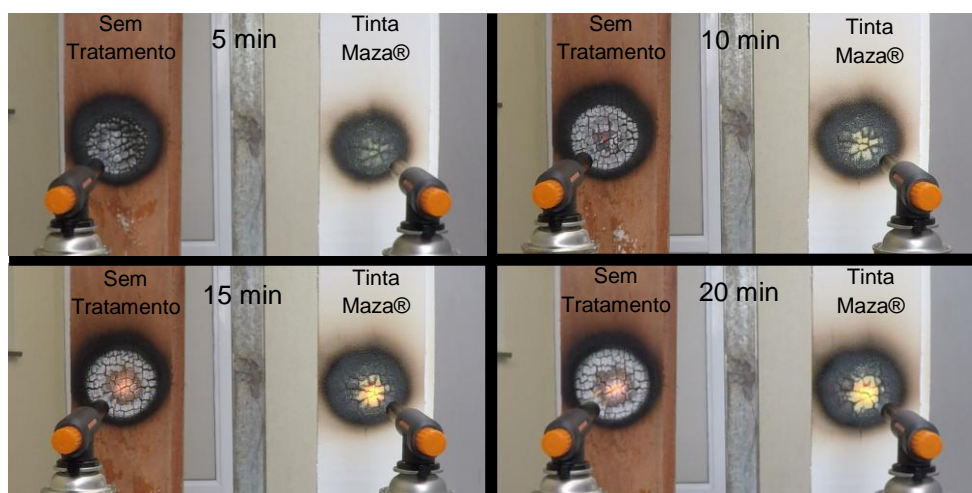
Fonte: Autor (2018)

Da mesma forma como ocorreu no ensaio 1, o corpo de prova sem tratamento químico apresentou razoável resistência e suas características foram semelhantes, no entanto houve expressiva perda de umidade visualizada na parte inferior da área carbonizada. A temperatura medida na face não exposta foi 144°C, dessa forma, seu isolamento térmico se deu até os 15min, pois aos 20 min a temperatura na face não exposta foi 280°C, muito superior ao limite admitido de 180°C. Sua estanqueidade permaneceu até 17min50, sua inutilização aos 20min04 e a taxa simples de carbonização para consumir os 16 mm de espessura do corpo de prova foi 0,79 mm/min.

O corpo de prova com o tratamento da tinta Maza® intumescente com aplicação de 4 demãos apresentou menor temperatura na face incidente devido à sua camada expansiva e carbonizada, porém foi baixa a diferença da temperatura na face não exposta nos primeiros 10 min em relação ao corpo de prova sem tratamento. O corpo de prova apresentou pouca liberação de fumaça e melhor desempenho do que o corpo de prova com a solução CKC® 2020 retardante do ensaio 1. Quanto ao isolamento térmico da face não exposta, resistiu a 25min com temperatura de 156°C, apresentou estanqueidade de 25min, inutilização aos 26min e taxa simples de carbonização para consumir os 16 mm do corpo de prova de 0,62 mm/min.

A Figura 22 mostra a degradação dos corpos de prova durante as medições de 5, 10, 15 e 20 minutos, sendo o corpo de prova da esquerda sem tratamento químico e o da direita com aplicação da tinta Maza® intumescente.

Figura 22 – Degradação dos corpos de prova do ensaio 2



Fonte: Autor (2018)



### 4.2.3 Ensaio 3

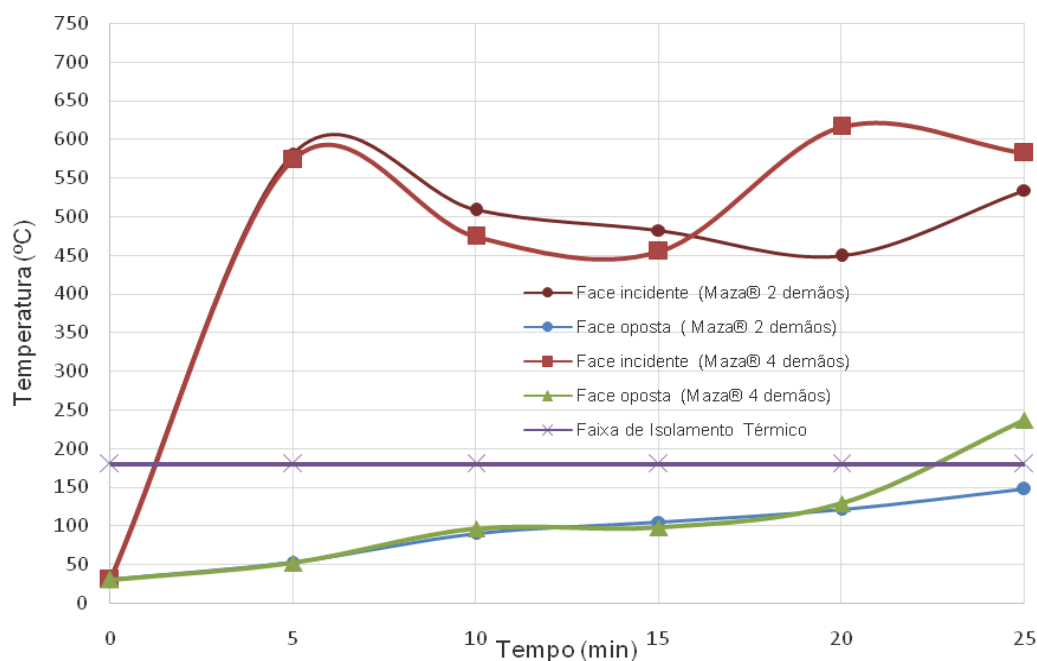
Esse ensaio teve como objetivo avaliar a resistência ao fogo dos corpos de prova, ambos com tratamento da tinta Maza® intumescente, porém com quantidades de demãos diferentes. A ficha técnica do produto recomenda a aplicação de 4 demãos, devido ao alto custo desse tipo de produto, média de R\$ 95,00 por litro, houve a curiosidade em ensaiar um corpo de prova com a aplicação de 2 demãos juntamente com um de 4 demãos para verificar a possibilidade em fazer uso de uma quantidade menor de demãos para a proteção da madeira. A temperatura inicial das faces dos corpos de prova foi 30,3°C, as temperaturas da face incidente do calor e da face não exposta, bem como o tempo da estanqueidade de cada corpo de prova estão descritos na Tabela 14 e representados no Gráfico 3, onde a reta lilás representa a faixa limite de isolamento térmico de 180°C.

Tabela 14 – Isolamento térmico e estanqueidade do ensaio 3 à 700° C

ENSAIO	MATERIAIS	ISOLAMENTO TÉRMICO ( °C)												ESTANQUEIDADE (MIN)	INUTILIZAÇÃO (MIN)	TAXA DE PENETRAÇÃO DA CARBONIZAÇÃO (mm/min)		
		0 MIN		5 MIN		10 MIN		15 MIN		20 MIN		25 MIN					30 MIN	
		TEMPERATURA INICIAL	FACE INCIDENTE	FACE OPOSTA	FACE INCIDENTE	FACE OPOSTA	FACE INCIDENTE	FACE OPOSTA	FACE INCIDENTE	FACE OPOSTA	FACE INCIDENTE	FACE OPOSTA	FACE INCIDENTE				FACE OPOSTA	
3	TÁBUA COM MAZA® INTUMESCENTE 2 DEMÃOS	30,3	581	53	508	90	482	105	449	121	534	147	-	-	27'00"	29'00"	0,55	
	TÁBUA COM MAZA® INTUMESCENTE 4 DEMÃO	30,3	573	52	474	96	455	98	516	129	582	237	-	-	21'00"	25'00"	0,64	

Fonte: Autor (2018)

Gráfico 3 – Relação temperatura-tempo das faces incidentes e opostas do ensaio 3.



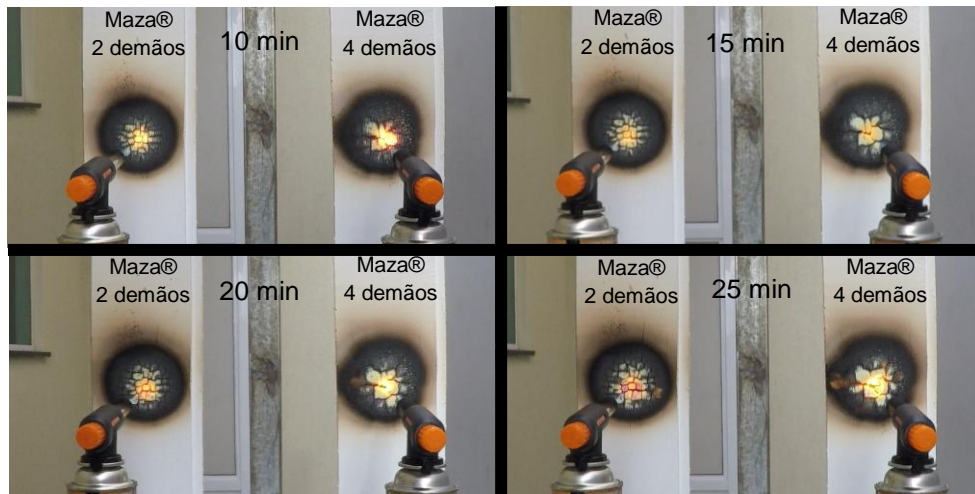
Fonte: Autor (2018)

O corpo de prova com o tratamento da tinta Maza® intumescente com 4 demãos apresentou características inferiores ao do ensaio 2, principalmente com relação à estanqueidade onde obteve-se uma diferença de 4 min. Nos primeiros 15 min do ensaio, seu desempenho foi melhor do que a do corpo de prova com 2 demãos, porém a partir desse momento passou a apresentar temperaturas mais elevadas do que aquele corpo de prova nas duas faces. O isolamento térmico da face não exposta foi de 15 min com temperatura de 129°C, já aos 20min ultrapassou o limite de 180°C chegando a 237°C. Apresentou estanqueidade de 21min, inutilização aos 25min e taxa simples de carbonização de 0,64 mm/min.

O corpo de prova com o tratamento da tinta Maza® intumescente com 2 demãos apresentou as melhores características com isolamento térmico até 25min com temperatura de 147°C na face não exposta, estanqueidade de 27min, inutilização aos 29min e a taxa simples carbonização de 0,55 mm/min.

A Figura 23 mostra a degradação dos corpos de prova durante as medições de 10, 15, 20 e 25 minutos, sendo o corpo de prova da esquerda com aplicação de 2 demãos de tinta Maza® intumescente e o da direita com aplicação de 4 demãos. Observa-se que o corpo de prova com aplicação de 4 demãos apresentou maiores aberturas na área carbonizada o que propiciou maior entrada de calor.

Figura 23 – Degradação dos corpos de prova do ensaio 3



Fonte: Autor (2018)

## 5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados podemos concluir que os corpos de prova de tábuas de Pracuúba (*Mora paraensis*) sem aplicação dos produtos antichamas apresentaram razoável resistência ao fogo. No ensaio 1, a temperatura na face não exposta foi 168°C garantindo o isolamento térmico até os 15 minutos e estanqueidade de 17 minutos e 30 segundos. No ensaio 2, a temperatura na face não exposta foi 144°C garantindo o isolamento térmico até os 15 minutos e estanqueidade de 17 minutos e 50 segundos. Essa resistência ocorreu principalmente pela alta densidade média (1.015 kg.m<sup>-3</sup>) da espécie.

Com a aplicação da solução CKC® 2020 retardante, houve ligeiro aumento na resistência do corpo de prova, no ensaio 1, a temperatura na face não exposta foi 172°C garantindo o isolamento térmico até os 20 minutos e estanqueidade de 19 minutos e 20 segundos. Com a aplicação da tinta Maza® intumescente em 4 demãos, no ensaio 2, obteve-se um melhor desempenho, a temperatura na face não exposta foi 156°C garantindo o isolamento térmico até os 25 minutos e estanqueidade de 25 minutos. Dessa forma, o produto que apresentou melhor desempenho foi o intumescente, pois devido a sua camada expansiva possibilitou uma maior proteção ao corpo de prova, sendo assim, melhor para a proteção de habitações residências em madeira por possibilitar um maior TRRF.

Com a realização do Ensaio 3, chegou-se a conclusão que o corpo de prova com o tratamento da tinta Maza® intumescente com 2 demãos, a partir de 15 minutos de ensaio, apresentou melhor desempenho do que o de 4 demãos. Isso contraria a lógica de aplicação do produto tendo em vista o fato de que uma maior quantidade de aplicações de demãos tende a gerar uma maior camada para intumescer. O corpo de prova apresentou as melhores características com a temperatura na face não exposta de 147°C sendo garantido o isolamento térmico até os 25 minutos e estanqueidade de 27 minutos. Não foi possível chegar a uma conclusão sobre o que veio a gerar essa superioridade, tendo em vista que os corpos de prova pertenciam a uma mesma tábua, as aplicações dos produtos ocorreram no mesmo dia, tiveram os mesmos cuidados de cura e ficaram sujeitos à mesma temperatura havendo a necessidade de estudos futuros para a determinação

da causa. Diante disso, avalia-se que há a possibilidade da aplicação de uma quantidade menor de demãos para a proteção das habitações em madeira.

Ressalta-se que nenhum dos corpos de prova atingiu os 30 minutos estabelecidos para isolamento térmico e estanqueidade, porém os corpos de prova com o tratamento químico com a tinta Maza® intumescente obtiveram resistências próximas a esse tempo. O ideal seria que o ensaio fosse realizado com o aumento da temperatura com base na curva temperatura-tempo do incêndio padrão para um melhor enquadramento no TRRF.

Com base na pesquisa realizada no mercado Brasileiro, observou-se que o produto é de difícil acesso, tendo em vista que estes são comercializados apenas nos grandes centros do Brasil como São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais, para atender às exigências de segurança contra incêndio e pânico daquele local. Outra problemática é o fator econômico presente, sendo as edificações em madeira em sua maioria habitadas por pessoas de baixa renda, a decisão por essa solução de proteção se torna inviável economicamente. Os produtos custam em média R\$ 95,00 por litro para as tintas intumescentes, R\$ 120,00 por litro para os vernizes retardantes e R\$ 65,00 por litro para as soluções retardantes. O ideal seria uma universalização desse produto com uma maior variedade e acesso. Uma forma de resolver a questão econômica seria a disponibilidade do produto pelo poder público para as famílias de baixa renda que moram em locais propícios aos grandes incêndios. Essa disponibilidade seria um investimento tendo em vista as grandes perdas que há nos grandes incêndios que deixam por vezes famílias de baixa renda morando por vários meses em apartamentos às custas de benefícios de aluguel social dos governos.

Por fim, enfatiza-se que o método utilizado apesar de possuir as suas limitações, foi suficiente para demonstrar quantitativamente a maior resistência apresentada pela madeira com o tratamento antichamas como: o aumento do isolamento térmico e da estanqueidade. Fatores estes que podem ser decisivos para a evacuação da população das edificações em madeira e também para a garantia de um maior tempo para que as equipes do Corpo de Bombeiros possam combater o incêndio e impedir que o mesmo venha a consumir outros ambientes da edificação ou progredir para edificações vizinhas. E acima de tudo, além da proteção passiva

com o uso de produtos antichamas, a melhor proteção para qualquer edificação sempre será dada por um conjunto de ações como: adequado dimensionamento de instalações elétricas, conscientização da população, dimensionamento adequado da estrutura e respeito aos espaçamentos entre as edificações.

## REFERÊNCIAS

ACOSTA, Eduardo Santos. **Tecnologias para Prevenção de Incêndios: A Tragédia da Boate Kiss**. Araranguá: UFSC, 2015. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/180403/monografia-Eduardo-Acosta.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 15 nov. 2018.

ALBUQUERQUE, Gabriela Bandeira de Melo Lins de. **Dimensionamento de Vigas de Concreto Armado em Situação de Incêndio**. São Paulo: 2012. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2012.

AMAPÁ. Lei nº 0871, de 31 de dezembro de 2004. **Aprova a Edição do Código de Segurança Contra Incêndio e Pânico do Estado do Amapá**. Amapá, 31 dez. 2004: Disponível em: <[https://sistemas.cbm.ap.gov.br/antigo/documentos/dst/LEI\\_0871\\_CODIGO\\_SEGURANCA\\_INCENDIO\\_PANICO.pdf](https://sistemas.cbm.ap.gov.br/antigo/documentos/dst/LEI_0871_CODIGO_SEGURANCA_INCENDIO_PANICO.pdf)>. Acesso em: 30 nov. 2018.

ANASTÁCIO, Ricardo Samuel Alberto. **Especificação de Protecção Fogo para Estruturas de Madeira**. Porto, 2010. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Universidade do Porto, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 7203: Madeira Serrada e Beneficiada – Padronização**. Rio de Janeiro: 1982.

\_\_\_\_\_, **NBR 8660: Revestimento de Piso – Determinação da densidade crítica de fluxo de energia térmica**. Rio de Janeiro: 1984.

\_\_\_\_\_, **NBR 9442: Materiais de construção – Determinação do índice de propagação superficial de chama pelo método do painel radiante**. Rio de Janeiro: 1986.

\_\_\_\_\_, **NBR 5628: Componentes construtivos estruturais – Determinação da resistência ao fogo**. Rio de Janeiro: 2001.

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

\_\_\_\_\_, **Projeto de Norma 02:136.01.004: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho: Parte 4: Fachadas e paredes internas**. Rio de Janeiro: 2004.

BRENTANO, Telmo. **A Protecção Contra Incêndios no Projeto de Edificações**. 3 ed. Porto Alegre: 2015.

\_\_\_\_\_, Telmo. **Instalações Hidráulicas de Combate a Incêndios em Edificações**. 5 ed. Porto Alegre: 2016.

CALIL JUNIOR, Carlito et al. **ESTRUTURAS DE MADEIRA: Notas de Aula**. São Paulo: 1998.

CALDAS, Rodrigo Barreto. **Análise Numérica de Estruturas de Aço, Concreto e Mistas em Situação de Incêndio**. Belo Horizonte: 2008. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

CARLO, Ualfrido Del. A Segurança Contra Incêndio no Mundo. In: SEITO, Alexandre Itiu et al. (Coord.). **A segurança contra incêndio no Brasil**. São Paulo: Projeto Editora, 2008. p. 01-08.

CKC. **PROTEÇÃO PASSIVA CONTRA O FOGO: Ficha Técnica CKC-268 Intumescente**. São Paulo: 2017.

\_\_\_\_\_, **PROTEÇÃO PASSIVA CONTRA O FOGO: Ficha Técnica CKC-2020 Retardante de Chamas para madeira Crua**. São Paulo: 2018.

\_\_\_\_\_, **PROTEÇÃO PASSIVA CONTRA O FOGO: Ficha Técnica CKC-VR Verniz Retardante de Chamas**. São Paulo: 2018.

COELHO, António Leça. **Incêndios em edifícios**: Lisboa: Orion, 2010.

COELHO, Marina Ulian. **Avaliação da Madeira de *Mora paraensis* (pracuúba) para Utilização em Cruzetas de Redes de Distribuição de Energia Elétrica**. Originalmente apresentada como monografia, Universidade de Brasília, 2014.

COMERCIAL ANTICHAMA - CAC. **FICHA TÉCNICA – SHE-9020: Ignifugante para Madeiras**. São Paulo: 2018.

\_\_\_\_\_, CAC. **FICHA TÉCNICA – SHE-6020: Verniz Antichama para Madeiras**. São Paulo: 2018.

\_\_\_\_\_, CAC. **FICHA TÉCNICA – SHJ-7020: Tinta Intumescente para Madeiras**. São Paulo: 2018.

CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO - CBPMESP. **Instrução Técnica nº 02/2011 – Conceitos básicos de segurança contra incêndio**. São Paulo: 2011.

\_\_\_\_\_, **Instrução Técnica nº 02/2011 – Conceitos básicos de segurança contra incêndio**. São Paulo: 2011.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO AMAPÁ - CBMAP. **Norma Técnica nº 010/2005 – Atividades Eventuais**. Amapá: 2008.

\_\_\_\_\_, CBMAP. **Laudo de Investigação de Incêndio em Edificações nº 089/2013**. Amapá: 2013.

\_\_\_\_\_, CBMAP. **Divisão de Perícias: Banco de dados de perícias realizadas nos anos de 2013, 2014, 2015 e 2016**. Amapá: 2017.



CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL - CBMDF. **Manual de Segurança Contra Incêndio e Pânico: Proteção Passiva**. Brasília: 2006.

DALFOVO, Michael Samir; LANA, Rogério Adilson; SILVEIRA, Amélia. **Métodos Qualitativos e Quantitativos: Um Resgate Teórico**. Revista Interdisciplinar Científica Aplicada, Blumenau, v. 2, n. 4, p. 01-13, Sem II, 2008.

DM QUÍMICA. **FICHA TÉCNICA – Firelak WB Retardante de Chama Branco**. São Paulo: 2018.

\_\_\_\_\_, **FICHA TÉCNICA – Verniz Firelak WB Retardante de Chama**. São Paulo: 2018.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas. 2010.

GILL, Alfonso Antônio; OLIVEIRA, Sérgio Agassi; NEGRISOLO, Walter. Aprendendo com os grandes incêndios. In: SEITO, Alexandre Itiu et al. (Coord.). **A segurança contra incêndio no Brasil**. São Paulo: Projeto Editora, 2008. p. 19-33.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMAT. **Condições de Tempo Registradas nas Capitais até às 18 UTC**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=tempo/condicoesTempoCapitais>>. Acesso em: 08 dez. 2018.

\_\_\_\_\_, INMAT. **Estação Meteorológica de Observação de Superfície Convencional**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/sim/sonabra/dspDadosCodigo.php?ODlwOTg=>>. Acesso em: 25 nov. 2018.

INSTITUTO SPRINKLER BRASIL. **Estatísticas**. Disponível em: <<https://www.sprinklerbrasil.org.br/instituto-sprinkler-brasil/estatisticas/>>. Acesso em: 08 dez. 2018.

KREITH, Franck, BOHN, Mark S. **Princípios de transferência de calor**. São Paulo: Blucher, 1997.

LAROCA, Christine. **Habitação Social em Madeira: Uma alternativa viável**. Curitiba: 2002. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Universidade Federal do Paraná, 2002.

MARTINS, João Guerra; ARAÚJO, Jorge. **Materiais de Construção: Madeiras**. 2 ed. Porto: Universidade Fernando Pessoa, 2005.

MAZA PRODUTOS QUIMICOS LTDA. **BOLETIM TÉCNICO DE PRODUDOS ANTICHAMAS: Tinta Antichamas; Verniz Antichama; Tinta Intumescente Branco**. São Paulo: 2017.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Por que a madeira empena?** 2013. Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/ultimas-noticias/716-por-que-a-madeira-empena>>. Acesso em: 27 nov. 2018.

MIRANDA, Zenaide Palheta. **Aspectos Morfofisiológicos e Ecológicos de Mora paraensis (Ducke) Ducke (Leguminosae-Caesalpinioideae)**. Macapá: 2009. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Universidade Federal do Amapá, 2009.

MITIDIERI, Marcelo Luis. O Comportamento dos Materiais e Componentes Construtivos Diante ao Fogo – Reação ao Fogo. In: SEITO, Alexandre Itiu et al. (Coord.). **A segurança contra incêndio no Brasil**. São Paulo: Projeto Editora, 2008. p. 55-75.

OLIVEIRA, Isaac Aguiar. **Estrutura de Concreto Armado em Situação de Incêndio. Uma Análise Térmica de uma viga sob Flexão Simples**. Curitiba: 2013. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Universidade Federal do Paraná, 2013.

OLIVEIRA, Maria Marly de. **Como fazer pesquisa qualitativa**. Rio de Janeiro: Vozes, 2008.

ONO, Rosaria; VALENTIN, Marcos Vargas; VENEZIA, Adriana P. P. Galhano. Arquitetura e Urbanismo. In: SEITO, Alexandre Itiu et al. (Coord.). **A segurança contra incêndio no Brasil**. São Paulo: Projeto Editora, 2008. p. 123-134.

PARANÁ. Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Paraná. **CÓDIGO DE PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIOS**. 3. ed. Curitiba, 2001. Disponível em:<<http://www.bombeiroscascavel.com.br:2791/modules/mydownloads/singlefile.php?cid=1&lid=28>>. Acesso em: 30 nov. 2018.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. **Estruturas de Madeira**. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

PINTO, Edna Moura; CALIL JUNIOR, Carlito. **Ensaio para avaliação do comportamento de materiais expostos ao fogo: Resistência e Reação**. Revista Madeira, a. 3, n. 9, 2002. Disponível em: <<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwikhv22yoLfAhWLhpAKHf57BBgQFjAAegQIChAC&url=http%3A%2F%2Fmadeira.set.eesc.usp.br%2Farticle%2Fdownload%2F398%2Fpdf&usg=AOvVaw3a6vV7Kfpg0Uqh1U5hwZaO>>. Acesso em: 02 dez. 2018.

\_\_\_\_\_, **Estudo Teórico e Experimental Sobre a Degradação Térmica e os Gradientes Térmicos da Madeira de *Eucalyptus* de Uso Estrutural Exposta ao Fogo**. Revista Minerva, São Paulo, v. 3, n. 2, p. 131-140, 2006. Disponível em:<[http://fipai.org.br/Minerva%2003\(02\)%2001.pdf](http://fipai.org.br/Minerva%2003(02)%2001.pdf)>. Acesso em: 10 nov. 2018.

PINTO, Edna Moura. **Proteção contra incêndio para habitações em madeira**. São Carlos: 2001. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo, 2001.

PORTAL DE NOTÍCIAS G1 AP. **Cerca de 70% da madeira florestal irregular que chega em Macapá e Santana vem do Pará, diz MP.** 2017. Disponível em: <<https://g1.globo.com/ap/amapa/noticia/cerca-de-70-da-madeira-florestal-irregular-que-chega-em-macapá-e-santana-são-do-para-diz-mp.ghtml>>. Acesso em: 28 nov. 2018.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar. **METODOLOGIA DO TRABALHO CIENTÍFICO: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico.** 2 ed. Novo Hamburgo: ASPEUR, 2013.

QUEIROZ, José Antônio Leite de; MACHADO, Sebastião do Amaral. **Potencial de Utilização de Madeiras de Espécies Florestais de Várzea no Município de Mazagão no Estado do Amapá:** Revista Floresta, Curitiba, v. 37, n. 2, p. 293-302, 2007.

SERRÃO, Sybelle Lima; LIMA, Ricardo Ângelo Pereira de. **Áreas alagadas em Macapá: estudo de caso Bairro do Araxá.** Biota Amazônia, Macapá, v. 3, n. 3, p. 146-156, 2013. Disponível em: <<https://periodicos.unifap.br/index.php/biota/article/view/730>>. Acesso em: 18 nov. 2018.

SILVA, 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.

SILVA, Valdir Pignatta. **Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio: conforme ABNT NBR 15200:2012.** São Paulo: Blucher, 2012.

SIMONIAN, Lígia T. L. **Palafitas, Estivas e sua Imagética na Contemporaneidade Urbanorrural da Pan-Amazônia.** Paper Núcleo de Altos Estudos Amazônicos. Belém, n. 267, 2010. Disponível em: <[https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiQg6\\_9o4rYAhWHxpAKHXOWBtsQFggoMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.naea.ufpa.br%2Fnaea%2Fnovosite%2Findex.php%3Faction%3DPublicacao.arquivo%26id%3D329&usg=AOvVaw0HXgO3trJedP3J\\_eYRdCyZ](https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiQg6_9o4rYAhWHxpAKHXOWBtsQFggoMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.naea.ufpa.br%2Fnaea%2Fnovosite%2Findex.php%3Faction%3DPublicacao.arquivo%26id%3D329&usg=AOvVaw0HXgO3trJedP3J_eYRdCyZ)>. Acesso em: 10 nov. 2018.

SOARES, Ecidia Maria Pinto. **Verificação de peças usuais de concreto armado em situação de incêndio.** Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, 2003.

SOUSA, Douglas Alves; SILVA, Guilherme Pereira. **Estruturas de Concreto em Situação de Incêndio.** Originalmente apresentada como monografia, Universidade Federal de Goiás, 2015.