



REDE TEMÁTICA EM ENGENHARIA DE MATERIAIS – REDEMAT
UFOP – CETEC – UEMG
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

Monografia

INVESTIGAÇÃO DA REAÇÃO AO FOGO DA MADEIRA DE CUMARU (*Dipteryx odorata*) UTILIZADA NA CONSTRUÇÃO CIVIL TRATADA COM VERNIZ RETARDANTE DE CHAMA

Karolyne Nascimento Lemos

Ouro Preto - MG

2021



REDE TEMÁTICA EM ENGENHARIA DE MATERIAIS – REDEMAT
UFOP – CETEC – UEMG
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

**INVESTIGAÇÃO DA REAÇÃO AO FOGO DA MADEIRA DE CUMARU
(*Dipteryx odorata*) UTILIZADA NA CONSTRUÇÃO CIVIL TRATADA
COM VERNIZ RETARDANTE DE CHAMA**

Karolyne Nascimento Lemos

Monografia apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Rede Temática em Engenharia de Materiais - REDEMAT, do convênio entre a Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP, o Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC e a Universidade do Estado de Minas Gerais - UEMG, como parte integrante dos requisitos necessários à obtenção do título de Especialista em Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Maria Claret de Gouveia

Ouro Preto - MG

2021

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

L556i Lemos, Karolyne Nascimento.
Investigação da reação ao fogo da madeira de cumaru (*dipteryx odorata*) utilizada na construção civil tratada com verniz retardante de chama. [manuscrito] / Karolyne Nascimento Lemos. - 2021.
54 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientador: Prof. Dr. Antônio Maria Claret de Gouveia.
Produção Científica (Especialização). Universidade Federal de Ouro Preto. Rede Temática em Engenharia de Materiais.

1. Madeira - Madeira de Cumaru. 2. Madeira - Proteção contra o fogo - Retardante de Chama. 3. Prevenção de incêndios - Cone Calorímetro. I. Gouveia, Antônio Maria Claret de. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 620.1

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
PROGRAMA DE POS-GRADUACAO EM ENGENHARIA DE
MATERIAIS



FOLHA DE APROVAÇÃO

Karolyne Nascimento Lemos

Investigação da reação ao fogo da madeira de Cumaru (*Dipteryx Odorata*) utilizada na construção civil tratada com verniz retardante de chama

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Engenharia de Materiais

Aprovada em 26 de novembro de 2021.

Membros da banca

Prof. Dr. Antônio Maria Claret de Gouveia - Universidade Federal de Ouro Preto
Prof. Dr. Domingos Sávio de Resende - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Campus Araxá
Prof. Dr. Danton Heleno Gameiro - Universidade Federal de Ouro Preto

O Prof. Dr. Gilberto Henrique Tavares Álvares da Silva, Coordenador do programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 14/06/2022.



Documento assinado eletronicamente por **Gilberto Henrique Tavares Alvares da Silva**, **COORDENADOR(A) DE CURSO DE PÓS-GRADUACÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS**, em 14/06/2022, às 15:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0345294** e o código CRC **F9F53795**.

ÍNDICE

Índice	v
Agradecimentos	vii
Resumo	viii
Abstract	ix
Lista de Figuras	x
Lista de Tabelas	xii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO	3
3. JUSTIFICATIVA	3
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
4.1. Empregabilidade do Cumaru (<i>Dipteryx Odorata</i>) na construção civil	8
4.1.1. Acabamento das Edificações e Mobiliários	9
4.1.2. Divisórias de Ambiente e Isolamento Acústico.....	11
4.1.3. Estrutura de Telhados e Forros	12
4.2. Recobrimentos específicos aplicáveis à superfície da madeira	14
4.2.1. Retardante de chama a base de ácido bórico e bórax	15
4.2.2. Retardante de chama a base de nitrogenados e boratos <i>versus</i> Retardantes de chama à base de resina sintética pigmentada com aditivos ignífugos (tintas ignífuga)	16
4.2.3. Retardantes de chama a base de tanino-boro	17
4.2.4. Verniz antichama a base de água	18
4.3. Cone Calorímetro para teste da reação ao fogo da madeira	19
4.3.1. Preparação dos Corpos de Prova	21
4.3.2. Funcionamento do Cone Calorímetro do LCP do INPE	23
5. METODOLOGIA E PROCEDIMENTO	31
5.1. Confecção dos corpos de prova de Cumaru sem tratamento e com o emprego de retardante de chama	31
5.2. Exposição dos corpos de prova ao ensaio do Cone Calorímetro	39

6. RESULTADOS	43
7. CONCLUSÕES.....	48
8. ANEXO 1	50
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ter me dado saúde para realizar este trabalho.

Ao meu orientador, Antonio Maria Claret, que não mediu esforço para me auxiliar.

Ao Dr. Fernando Costa e ao Dr. Ely Cortez do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), pela oportunidade e suporte na execução dos testes deste trabalho.

Aos demais professores da REDEMAT, pelas colaborações técnicas.

À minha família, por acreditar em mim e apoiar os meus sonhos.

Muito obrigado!

RESUMO

LEMOS, Karolyne Nascimento. **Investigação da reação ao fogo da madeira de Cumaru (*dipteryx odorata*) utilizada na construção civil tratada com verniz retardante de chama.** Araxá: REDEMAT, 2021. 63 p.

Entre os diversos materiais utilizados na construção civil, a madeira de Cumaru (*Dipteryx odorata*) se destaca devido à alta empregabilidade e conseqüentemente surge à preocupação com a segurança contra incêndio. Na tentativa de construir edificações mais seguras, aplicam-se na madeira retardantes de chama. Com o propósito de investigar a reação ao fogo da madeira de Cumaru, foram moldados corpos de provas sem tratamento superficial e com o emprego de retardante de chama do tipo verniz à base de água. Foram medidas as propriedades geométricas, densidade, umidade e porosidade dos corpos de prova. Posteriormente, foram realizados os ensaios de caracterização da reação ao fogo dos corpos de prova no Cone Calorímetro no Laboratório Associado de Combustão e Propulsão no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Foi medida a massa total consumida em 1200 s e a taxa de perda de massa específica. Concluiu-se que a massa consumida dos corpos de prova não tratados tem uma variação maior que a dos corpos de provas tratados o que evidencia que o tratamento reduz ligeiramente a taxa de perda de massa, mas reduz fortemente a sua amplitude de variação. Por fim, foram avaliadas as curvas de taxa média de liberação de calor e notou-se que o efeito do tratamento reduz a taxa de liberação de calor no início da ignição (nos primeiros 180 s), depois ela se eleva (entre 180 s e 840 s) e posteriormente se mantém inalterada (entre 840 s e 1200 s). Os resultados permitem concluir que o efeito benéfico do tratamento do Cumaru com retardante de chama se restringe aos primeiros 3 minutos da ignição. Devido ao reduzido número de corpos de prova, não foi possível concluir sobre a grandeza da redução da taxa de liberação de calor nos minutos iniciais da ignição nem sobre a grandeza da sua elevação no período seguinte.

Palavras-Chave: Madeira de Cumaru. Retardante de Chama. Cone Calorímetro.

ABSTRACT

LEMOS, Karolyne Nascimento. **Investigation of the fire reaction of Cumaru wood (*Dipteryx odorata*) used in civil construction treated with flame retardant varnish.** Araxá: REDEMAT, 2021. 63 p.

Among the various materials used in civil construction, the Cumaru wood (*Dipteryx odorata*) stands out due to its high employability and consequently the concern with fire safety arises. In an attempt to build safer buildings, flame retardants are applied to the wood. In order to investigate the reaction of Cumaru wood to fire, specimens were molded without surface treatment and with the use of water-based varnish type flame retardant, and geometric properties, densities, standard deviations, moisture and porosity were verified. Subsequently, tests were performed to characterize the reaction to fire of the specimens in the Cone Calorimeter in the Associated Laboratory of Combustion and Propulsion at the National Institute for Space Research. In the tests it was evaluated the mass loss, but it was found that it is not adequate to analyze the effect of treatment with flame retardant, so it was evaluated the total mass consumed in 1200 s and the specific mass loss rate and it was noted that the mass consumed of the untreated specimens has a greater variation than the treated specimens and it is evident that the treatment slightly reduces the rate of mass loss, Finally, the curves of average heat release rate were evaluated and it was noted that the effect of the treatment reduces the rate of heat release at the beginning of ignition (in the first 180 s), then it increases (between 180 s and 840 s) and subsequently remains unchanged (between 840 s and 1200 s). Analyzing the results, one can conclude that this study indicates that the beneficial effect of the Cumaru flame retardant treatment is restricted to the first 3 minutes of ignition. Due to the small number of specimens, it is not possible to conclude on the magnitude of the reduction of the heat release rate in the initial minutes of ignition nor on the magnitude of its increase in the following period.

Keywords: Cumaru wood. Flame Retardant. Calorimeter Cone.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Cobertura em Madeira no Shopping Iguatemi de Fortaleza, CE.....	4
Figura 2: A Igreja Matriz de Nossa Senhora do Pilar.....	7
Figura 3: Faces do Cumaru (Dipteryx Odorata).....	8
Figura 4: Batentes de porta em Cumaru.....	10
Figura 5: Vista superior e lateral da ilha em Cumaru.....	10
Figura 6: Biombos de Cumaru: (a) Divisão de hall, dormitório e closet [Conte, 2018] e (b) Divisão de dormitório e escritório [Zago, 2019].....	11
Figura 7: Estrutura de Telhado em Cumaru.....	13
Figura 8: Forro em Cumaru.....	13
Figura 9: Visão geral do cone calorímetro.....	20
Figura 10: Bancada do cone calorímetro do INPE/ LCP.....	21
Figura 11: Sequência esquemática do cone calorímetro do INPE/LCP.....	24
Figura 12: Posicionamento das placas refletoras do cone calorímetro do INPE/ LCP.....	25
Figura 13: Esquema do cone calorímetro, medidas em mm.....	26
Figura 14: Suporte horizontal para amostras.....	26
Figura 15: Posicionamento do controlador de potência do cone calorímetro do INPE/ LCP.....	28
Figura 16: Esquema de filtros e do banho térmico.....	29
Figura 17: Estrutura de telhado em Cumaru na residência em Araxá.....	31
Figura 18: Amostra de Cumaru: (a) Comprimento e largura (100 cm x 35 cm) e (b) Espessura de 7 cm.....	32
Figura 19: (a) Cortes dos corpos de prova na serra circular e (b) Desengrossamento dos corpos de prova.....	33
Figura 20: (a) Conferência das dimensões do CP e (b) Identificação do CP.....	33
Figura 21: (a) Massa Original (g) do CP 01, (b) Primeira secagem dos CPs e (c) Primeira massa seca (g) do CP 01.....	34
Figura 22: (a) Homogeneização do verniz antichama, (b) Coleta de água e verniz antichama, (c) Diluição da água no verniz antichama e (d) Mistura de materiais.....	36
Figura 23: (a) Primeira demão da face frontal e das laterais dos CPs às 6 horas e (b) primeira demão do verso dos CPs às 18 horas.....	37
Figura 24: Identificação dos CPs quanto ao tratamento antichama.....	38

Figura 25: (a) Cadinho envolvido com papel alumínio, (b) CP-01 envolvido com papel alumínio	40
Figura 26: Cadinho com o corpo de prova e placas refletoras no cone calorímetro.	40
Figura 27: (a) Ensaios dos CPs 03, 13, 04, 14 (b) Ensaios dos CPs 05, 15, 06, 16 (c) Ensaios dos CPs 07, 17, 08, 18, 09, 19.....	42
Figura 28: Comparação dos históricos de massa dos CPs não tratados e dos CPs tratados.	45
Figura 29: Comparação dos históricos de taxa de perda de massa dos CPs não tratados e dos CPs tratados.	47
Figura 30: Comparação da taxa média de liberação de calor (kJ/m^2) para os corpos de prova não tratados e tratados.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dados dos corpos de prova até a variação do peso após a segunda secagem.	35
Tabela 2: Dados dos corpos de prova até a massa depois de tratado.....	38
Tabela 3: Propriedades geométricas e densidade aparente dos corpos de prova.....	43
Tabela 4: Propriedades geométricas e densidade aparente média e desvios padrão.	43
Tabela 5: Umidade e Porosidade médias dos corpos de prova	44
Tabela 6: Comparação da massa consumida média e da taxa específica média de perda de massa para CPs não tratados e tratados.	46

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a madeira tem alta empregabilidade na construção civil, notadamente com aplicação em divisórias de ambientes, mobiliários, pisos e estruturas de telhados e forros, sendo importante também para o isolamento acústico e acabamento das edificações. Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 2019), *Dipteryx odorata* é o nome científico dado à madeira de Cumaru, pertencente à família *Leguminosae*, muito utilizada nas edificações brasileiras.

Dados da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura – FAO *apud* Associação Paranaense de Empresas de Base Florestal (APEBF, 2020)¹, dão conta de que a média de consumo mundial de madeira para a construção civil é de 0,17 m³/habitante ano. Os Estados Unidos, principal consumidor de produtos madeireiros brasileiros, consome 0,57 m³/habitante, porque a madeira entra na composição da estrutura das edificações. No Brasil, o consumo de madeira é de 0,11 m³/habitante, uma vez que aqui a madeira é utilizada predominantemente para telhados (42%) e formas para construção civil convencional em concreto armado.

O uso intenso da madeira na construção civil evidencia a importância de conhecer seu comportamento em incêndio (MANTANIS *et al*, 2019). Dentre as grandezas que definem esse comportamento são de grande importância os seguintes: temperatura de ignição (TIG, °C), tempo de ignição (tig, s), poder calorífico (PC, MJ/kg) e taxa de liberação de calor (TLC, kJ/m²).

¹Apre Florestas. Ampliar consumo da madeira no brasil é desafio do setor. Disponível em: <https://apreflorestas.com.br/noticias/ampliar-consumo-da-madeira-no-brasil-e-desafio-do-setor/> Consultado em 21 de Julho de 2021.

Peças de dimensões reduzidas como as que, em geral, compõem o mobiliário das edificações costumam ter tempo de ignição muito baixos. O tempo de ignição do primeiro objeto exposto a uma chama (por exemplo, oriunda de um curto-circuito) ou a uma intensa radiação (por exemplo, a oriunda de um ferro de passar ou, mesmo, de uma chama) é definidor do tempo disponível para o escape dos usuários. Com a intenção de elevá-lo, foram desenvolvidos os retardantes de chama, aditivos químicos de várias espécies que são aplicados na superfície da madeira com o fim de retardar o início de ignição. Em geral, os retardantes atuam reduzindo a velocidade de propagação superficial da chama, reduzindo a massa de matéria que entra em combustão na unidade de tempo (MARTINS, 2013).

De acordo com o boletim técnico da empresa Liko Tintas Industriais (LTI, 2016), o verniz antichama por eles produzido e posto no mercado é feito à base de água, atuando como retardante na propagação das chamas ao mesmo tempo em que reduz a geração de gases tóxicos resultantes da combustão.

O ensaio de espécimes normatizados de madeira em cone calorímetro permite medir as grandezas mencionadas TIG, tig, PC e HRR bem como a concentração dos gases resultantes da combustão, especialmente CO₂, CO e NO_x. Nessa pesquisa, foi utilizado o cone calorímetro do Laboratório Associado de Combustão do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais para ensaiar corpos de prova de Cumaru (*Dipteryx Odorata*) que é uma das espécies de madeira mais consumidas em edificações no Brasil atual.

2. OBJETIVO

Investigar a reação ao fogo da madeira Cumaru (*Dipteryx Odorata*) sem tratamento superficial e com o emprego de retardante de chama do tipo verniz à base de água.

3. JUSTIFICATIVA

Aumentar o tempo de ignição (tig) e reduzir a velocidade superficial de chama levará à redução do risco de desenvolvimento de incêndio e, conseqüentemente, de danos à edificação e à saúde dos usuários. Segundo Gallo e Agnelli (1998), o fogo se propaga a partir da superfície da madeira, atingindo outros combustíveis do ambiente. De modo inverso, as chamas oriundas de outros objetos que iniciam o incêndio podem atingir peças de madeira, elevando a quantidade de calor liberada no ambiente da qual depende a severidade do incêndio.

Como foi mencionado anteriormente, nos Estados Unidos, o consumo de madeira em edificações chega a ser 0,57 m³/habitante. Dados estatísticos (CTIF, 2020) mostram que, em 2018, ocorreram nos Estados Unidos 104 chamadas de bombeiros por 1000 habitantes, sendo cerca de 40% delas causadas por início de incêndio em edificações. Comparativamente, na Grã-Bretanha, o consumo de madeira em edificações é cerca de 0,08 m³/habitante. No mesmo ano, o número de chamadas de bombeiros foi de 9,79 por 1000 habitantes. Admitindo semelhança no padrão econômico dos americanos e dos britânicos bem como semelhanças culturais no que tange ao uso das edificações, pode-se concluir que a quantidade de madeira utilizada em edificações está relacionada ao número de inícios de incêndios. Entretanto, as vantagens do uso da madeira superam a elevação do risco de incêndios, resultando

na pesquisa de tecnologias de mitigação desses riscos, dentre as quais o emprego de retardantes de chama.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A madeira é um dos materiais de acabamento de edificações mais utilizados no Brasil. Suas diversas cores e fibras elevam a qualidade estética dos ambientes. Quanto à capacidade portante, ela é rígida e densa. Ademais, é o único material utilizado na construção civil de fonte renovável. A Figura 1 ilustra o emprego da madeira em grandes estruturas de cobertura.



Figura 1: Cobertura em Madeira no Shopping Iguatemi de Fortaleza, CE.

Fonte: Cordeiro Júnior et. al., 2017

Em contrapartida, a madeira exige medidas adequadas de conservação para não apodrecer, rachar e servir de abrigo a insetos. A prevenção de incêndios via

propagação é uma das maiores preocupações quanto à conservação da madeira. As peças utilizadas no mobiliário são mais vulneráveis ao fogo (ALLEN; IANO, 2013; MITIDIERI, IOSHIMOTO, 1998).

Sabe-se que o fogo é utilizado pela humanidade desde a Pré-História e saber controlá-lo é essencial para a vida humana. A perda desse controle gera o princípio de incêndio que, quando não contido, propaga-se, ganha volume e torna-se difícil de extinguir sem danos materiais à edificação, danos à saúde dos usuários e até perdas de vida. De acordo com Claret-Gouveia (2017), o conceito de incêndio não se restringe apenas ao fogo desordenado:

[...] incêndio é o resultado da interação entre o fogo, a edificação e os usuários, interação esta que se desenvolve por meio de múltiplos fenômenos químicos, físicos, biológicos, e psíquicos, mutuamente influenciáveis e ocorrentes, na sua maioria, em um tempo muito curto (CLARET-GOUVEIA, 2017, p.49).

É importante ressaltar que existe a normalização técnica brasileira, a exemplo da Instrução Técnica Nº 16 do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo, classifica os incêndios, supostamente simples na fase inicial, quanto ao tipo de combustível, sendo mais comum a menção às classes A, B, C, D e K (CBPMESP, 2019).

Segundo Rocha (2016), o incêndio de classe A ocorre em materiais comuns em estado sólidos e deixam resíduos após a sua queima, por exemplo, incêndio em madeira. A queima ocorre tanto na superfície quanto em profundidade crescente à medida que a radiação produzida pelas chamas e o calor superficial penetram o corpo da madeira.

É importante ressaltar que uma análise criteriosa do risco de incêndio deve ser realizada ao empregar a madeira em uma edificação. De acordo com Mitidieri e Ioshimoto (1998), alguns dos principais responsáveis pelo crescimento do incêndio e propagação das chamas de forma a gerar pânico e perdas de vidas são os materiais presentes nos mobiliários e nos revestimentos de tetos e paredes.

A velocidade superficial da chama e o poder calorífico é um dos principais motivos que limita a utilização da madeira para fins industriais. Desse modo, o tratamento com retardantes de chama é uma medida preventiva crucial (PEDIEU *et al*, 2011). É preciso mencionar que igrejas do período colonial brasileiro eram decoradas com madeira entalhada (Figura 2). Essas edificações que formam o grande acervo histórico de Minas Gerais carregam parte importante da História do Brasil e precisam ser preservadas (CLARET-GOUVEIA *et al*, 2019) especialmente da ocorrência de incêndios. Sendo assim, quando em restauração ou, mesmo, como medida de conservação, deve-se optar pela utilização de um verniz ou tinta com a capacidade de retardar a propagação da chama nessas edificações. Portanto, é preciso investigar a reação ao fogo da madeira tratada com retardantes de chama para que o modelamento adequado do incêndio possa ser feito. Por outro lado, é preciso conhecer a eficácia do tratamento da madeira com o fim de especificar o mais adequado nas situações de restauração e conservação. No Brasil, adquiriu especial atenção dos órgãos normativos da segurança contra incêndio, a exemplo do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo, o controle dos materiais de acabamento e revestimento (CMAR), dentre os quais a madeira.

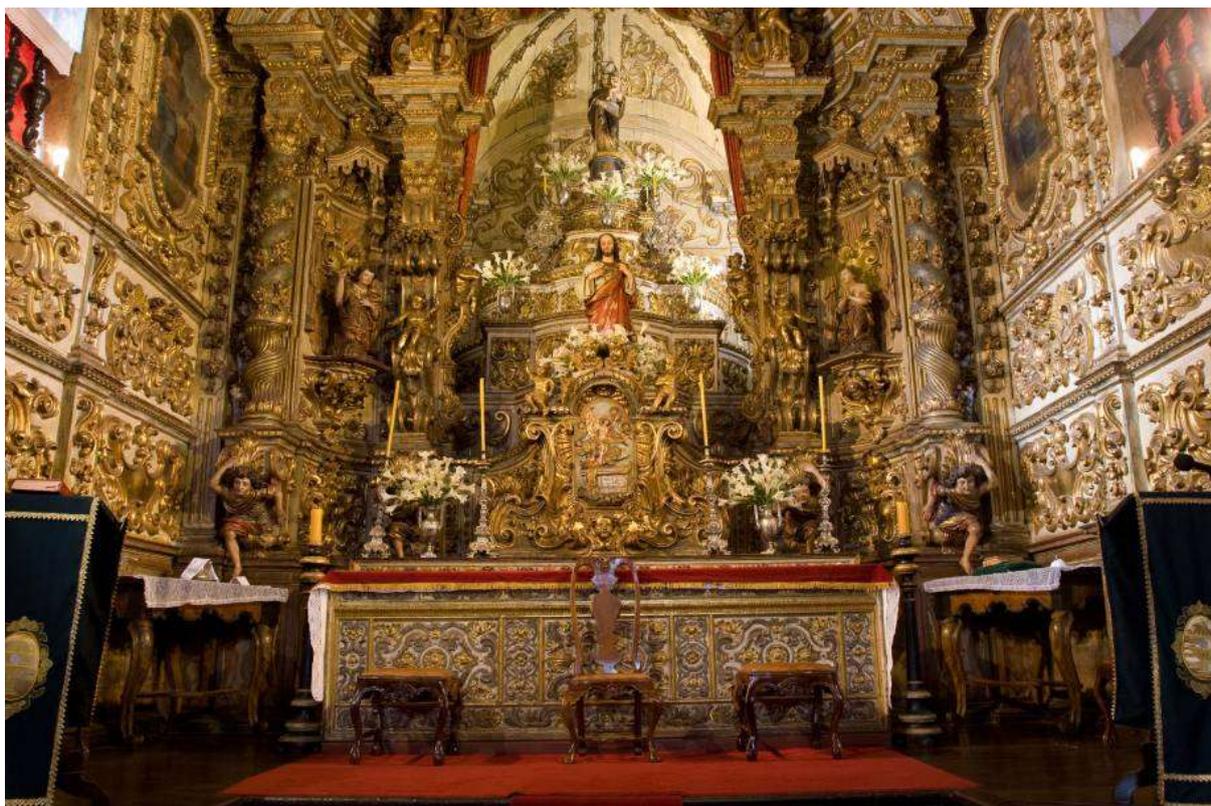


Figura 2: A Igreja Matriz de Nossa Senhora do Pilar.
Fonte: <http://viajeaqui.abril.com.br/cidades/br-mg-ouro-preto>".

O CMAR é responsável por padronizações que visam evitar o aparecimento de condições que possam gerar um princípio e crescimento de incêndio. Segundo Mitidieri e Ioshimoto (1998), a maioria das regulamentações fala sobre a relação do fogo e os materiais para revestimentos de tetos e paredes. Assim, destacam que:

Isto acontece porque análises de sinistros ocorridos nos Estados Unidos demonstraram que os pisos tradicionais (madeira, vinílicos e à base de resinas) apresentam contribuição reduzida para a propagação do fogo nos primeiros momentos do incêndio, ao passo que os revestimentos e acabamentos de paredes e tetos, quando em contato com fontes de ignição, podem se envolver logo nos primeiros instantes (MITIDIERI; IOSHIMOTO, 1998, p.1).

O piso de madeira natural maciça, apesar de ter um custo mais alto em relação aos demais, é muito utilizado nas edificações. Nesses casos, independentemente de

estarem ou não envernizados, de acordo com a Instrução Técnica IT-10 do Corpo de Bombeiro Militar do Estado de São Paulo (CBMESP, 2019), são dispensados da avaliação do CMAR.

Por apresentar pouca contribuição na propagação do fogo no princípio de incêndio, os pisos, não serão o foco deste trabalho. O Cumaru é empregado nos acabamentos, mobiliários, paredes, divisórias de ambiente e isolamentos acústicos. No entanto, o foco desse trabalho é o Cumaru empregado na estrutura de telhados e forros.

4.1. EMPREGABILIDADE DO CUMARU (*DIPTERYX ODORATA*) NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O Cumaru é uma madeira conhecida internacionalmente, por ter uma alta ocorrência na América Central e principalmente na América do Sul. Seu nome científico é *Dipteryx Odorata* (Figura 3); internacionalmente é chamada de charapilla, ebo, faux gaiax, sarrapia, dentre outros. No Brasil, é chamada de Cumaru, Cumaru-ferro, cambaru, Cumaru-verdadeiro, Cumaru-escuro e champanha, e pode ser encontrado nos seguintes estados brasileiros, Amazonas, Pará e Mato Grosso (IPT, 2019).



Figura 3: Faces do Cumaru (*Dipteryx Odorata*)

Fonte: IPT, 2019

Devido a suas diversas de aplicações na construção civil, o Cumaru é muito

comercializado. Segundo Sousa *et al* (2007), o polo madeireiro do Pará abastece as regiões Sul e Sudeste e destacam que

“a madeira comercializada sob a denominação de “Cumaru” caracteriza-se por seu uso diversificado, desde a construção civil até a fabricação de móveis, torneados e cabos de ferramentas, destacando-se na fabricação de dormentes [...]” (SOUSA *et al*, 2007, p. 81).

De acordo com o IPT (2019), o Cumaru é usado em construções pesadas externas (por exemplo, pontes, estacas e dormentes ferroviários), construções pesadas internas (vigas e caibros), construções leves externas (batente de esquadrias), leves internas (forros e lambris) e, principalmente, em mobiliários de alta qualidade e nas partes decorativas dos móveis.

4.1.1. ACABAMENTO DAS EDIFICAÇÕES E MOBILIÁRIOS

Uma das principais características do Cumaru é a sua durabilidade, devido ao fato de ter alta resistência a ataques de xilófagos, sendo os cupins e os fungos causadores do apodrecimento da madeira (IPT, 2019). Essa característica faz com que essa madeira seja muito utilizada nos acabamentos das edificações (janelas, portas, corrimãos e batentes de esquadrias), como ilustra a Figura 4.

Para a confecção de móveis de alta qualidade, o Cumaru é muito exigido, pois conforme o IPT (2019), ele tem excelente acabamento no torno e pode ser polido, vernizado e pintado. Os móveis constituídos desse material são estruturas de sofás, puffs e abajur, bancos, cadeiras e mesas (Figura 5).



Figura 4: Batentes de porta em Cumaru

Fonte: Arquivo da Autora, 2020



Figura 5: Vista superior e lateral da ilha em Cumaru

Fonte: Arquivo da Autora, 2020

4.1.2. DIVISÓRIAS DE AMBIENTE E ISOLAMENTO ACÚSTICO

O Cumaru pode ser utilizado em divisórias de ambiente, como os biombos, e também como material para garantir o isolamento acústico. A madeira que mais se destaca para a confecção dos biombos é o Cumaru. Conte (2018) relata que, em um apartamento em Salvador - BA, uma suíte espaçosa foi setorizada, utilizando divisórias treliçadas em madeira de Cumaru (Figura 6a). Em outra residência o biombo em madeira de Cumaru ripada, também foi utilizado no dormitório, porém para realizar a divisão entre quarto e escritório, deixando perto os ambientes de descanso e trabalho (ZAGO, 2019) (Figura 6b). Essas soluções são citadas, porque tornam-se moda e, popularizadas, se multiplicam com impacto sobre o risco de incêndio em escala social. Nota-se que a madeira é altamente empregada em divisórias de ambientes, sendo importante destacar que esses ambientes são locais em que as pessoas passam boa parte do seu tempo, como dormitórios e escritórios, onde a presença de outros materiais combustíveis faz do compartimento um local propício para a origem e o desenvolvimento de incêndio.

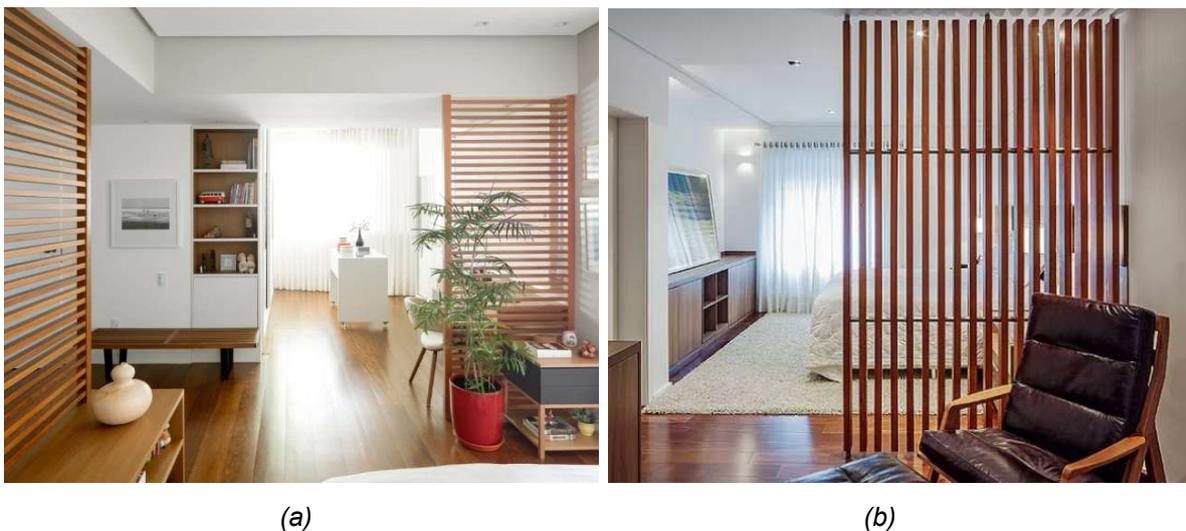


Figura 6: Biombos de Cumaru: (a) Divisão de hall, dormitório e closet [Conte, 2018] e (b) Divisão de dormitório e escritório [Zago, 2019].

No isolamento acústico, é preciso atentar para dois aspectos: o controle dos sons dentro do ambiente interno, e o isolamento dos sons ou ruídos externos. O poder de isolamento está ligado às propriedades dos materiais utilizados; no caso da madeira, a forma final e as dimensões do elemento isolante, a umidade, dimensões e principalmente a densidade.

Loschi Neto (2007), em estudo feito com o objetivo de avaliar e verificar o comportamento do isolamento sonoro de madeiras com densidades distintas, por meio da análise espectral, analisou cinco famílias dentre as quais a *Dipteryx* (Cumaru), *Eucalyptus* (Eucalipto) e *Pinus* (Pinho). Nesse estudo, foi possível verificar que o Cumaru mostrou maior isolamento em baixas frequências. Sendo assim, entende-se que o Cumaru também pode ser utilizado com a função de isolamento acústico, seja para fins residenciais quanto comerciais, sendo empregada em forros e locais que necessitam de tal característica.

4.1.3. ESTRUTURA DE TELHADOS E FORROS

Em construções mais antigas, a madeira esteve fortemente presente nos tetos e telhados (CLARET-GOUVEIA *et al*, 2019). E apesar do vasto crescimento da estrutura metálica para coberturas na últimas décadas na construção civil, as estruturas de madeiras ainda são muito empregadas em residências e escritórios, devido à qualidade estética e ao conforto (IPT, 2019). Quando a estrutura de um telhado é feita de Cumaru a qualidade estética se sobressai (Figura 7) em face da limpidez da madeira aparelhada. Por outro lado, a boa resistência mecânica do Cumaru permite a adoção de vãos grandes.



Figura 7: Estrutura de Telhado em Cumaru.

Fonte: Arquivo da Autora, 2020.

Os forros Cumaru são muito utilizados na construção civil. Conforme Barros (2011), os forros são caracterizados por ser uma barreira utilizada na parte interna de uma edificação que se posiciona entre a cobertura (telhado) e o ambiente (cômodos), tendo a função de prover conforto térmico e acabamento estético (Figura 8).



Figura 8: Forro em Cumaru.

Fonte: Arquivo da Autora, 2020.

4.2. RECOBRIMENTOS ESPECÍFICOS APLICÁVEIS À SUPERFÍCIE DA MADEIRA

Os recobrimentos superficiais aplicados à madeira estão agrupados em vernizes, tintas e lacas. E, ao utilizá-los, surgem as precauções que visam à segurança (REMADE, 2004). A aplicação de recobrimento na madeira pode ter objetivos diversos, dentre eles retardar o princípio de incêndio na sua superfície. Segundo Allem e Iano (2013), tratamentos químicos são necessários para neutralizar duas das grandes fraquezas da madeira, sendo elas a fragilidade ao ataque por insetos e a combustibilidade.

A inflamabilidade tem conceito extremamente importante quando se trata de redução de princípio de incêndio. Genericamente, é considerado inflamável o material que apresenta facilidade de queimar. Conforme Gallo e Agnelli (1998), é preciso investigar para cada espécie de madeira os modos de minimizar a inflamabilidade, através do uso de aditivos e aplicação de agentes retardantes de chamas.

Dentre as características necessárias dos retardantes de chamas estão a durabilidade ou estabilidade química; o consumo reduzido, gerando pequenos volumes de fumaça; não produção de gases tóxicos; baixo custo; pequena ou nenhuma influência sobre as propriedades de interesse do material, a exemplo das propriedades mecânicas, aparência e cor; não ser corrosivo (LEVCHIK, 2007) e principalmente elevar a T_{ig} e o t_{ig} .

A aparência e a cor são dois aspectos que influenciam na decisão pela utilização da madeira, devido a sua estética rústica, portanto, é desejável que o retardante não

mude essas características. O recobrimento é esteticamente importante, além do efeito protetor, ele torna o material mais atraente, realçando o interior das casas (REMADE, 2004).

Existem diferentes tipos de retardantes de chamas; variando a composição química, são encontrados em forma de tinta e de verniz. Como exemplo, podem ser citados: retardantes a base de nitrogenados e boratos; resina sintética com aditivo ignífugo ou tinta ignífuga; verniz antichama à base de água; conservantes de tanino e boro; e retardantes à base de ácido bórico. Para Tondi *et al* (2012), um retardante menos viscoso, tem uma capacidade de infiltração mais homogênea e mais profunda na madeira, gerando uma proteção mais eficiente.

É preciso considerar que há vários retardantes de chama que podem ser aplicados em madeira, portanto, é necessários saber qual atenderá melhor a madeira de Cumaru para reduzir o princípio de incêndio na sua superfície, levando em conta a permanência de algumas características da madeira, como o aspecto rústico e a cor.

4.2.1. RETARDANTE DE CHAMA A BASE DE ÁCIDO BÓRICO E BÓRAX

De acordo com Mantanis *et al.* (2019), o ácido bórico e o bórax (tetraborato decahidratado dissódico) são muito empregados em proteção superficial de elementos de edificações industriais, pois quando exposto a um calor elevado reduzem a propagação da chama na superfície. Isso ocorre devido a esses dois componentes terem baixo ponto de fusão gerando uma camada de filme vítreo na superfície a ser protegida (NUSSBAUM, 1998; WANG; LI, 2004). É importante mencionar que o bórax pode extinguir a propagação da chama, já o ácido bórico eleva

a carbonização, sendo assim quando utilizados eles devem ser misturados. Um estudo feito por Mantanis *et al.* (2019) sobre as propriedades tecnológicas e desempenho ao fogo de painéis de fibra de média densidade (MDF) tratado com retardantes de fogo selecionados à base de poli fosfato, cita que o ácido bórico juntamente com o bórax numa solução de poli fosfato de amônio, gera um retardamento eficiente da chama, diminui a geração de fumaça nociva e principalmente diminui a intensidade do fogo.

Segundo Pedieu *et al.* (2011), o ácido bórico eleva a reação de desidratação da celulose (componente da madeira), o que aumenta a quantidade de carvão produzida, e reduz a quantidade de compostos orgânicos voláteis. O ácido bórico também diminui a combustão lenta, mas gera pouco efeito na propagação da chama. Então, o ácido bórico pode ser utilizado como retardante de fogo (ROWELL; LE VAN-GREEN, 2005). Pedieu *et al.* (2011) cita que o retardante à base de ácido bórico em painéis de partículas de madeira reduz a velocidade de propagação da chama, além de melhorar outras propriedades dentre elas a redução do inchaço da colagem.

4.2.2. RETARDANTE DE CHAMA A BASE DE NITROGENADOS E BORATOS VERSUS RETARDANTES DE CHAMA À BASE DE RESINA SINTÉTICA PIGMENTADA COM ADITIVOS IGNÍFUGOS (TINTAS IGNÍFUGA)

Primeiramente, é preciso citar que bases nitrogenadas, como o próprio nome diz, são aquelas que possuem Nitrogênio (N) na sua composição; já a base de borato contém Boro (B).

Segundo Marques *et al.* (2018), tanto o produto à base de nitrogenados e boratos

quanto o produto à base de resina sintética pigmentada com aditivos ignífugos (tinta ignífuga) são eficazes na função de retardante de chama, porém o retardante a base do nitrogenados e boratos é mais eficiente. Isso acontece devido ao fato de esse retardante de chama ter viscosidade mais baixa, quando comparado à tinta ignífuga que, ao contrário, tem uma textura mais viscosa. A viscosidade afeta a qualidade da retardância, pois impede que a substância penetre profundamente na madeira, gerando uma aplicação não homogênea.

Os retardantes de nitrogenados e boratos agem absorvendo o calor incidente sobre a superfície e evitando a geração de gases inflamáveis no decorrer da combustão; em síntese, evitam a pirólise do material. Os retardantes à base de resina sintética pigmentada com aditivos ignífugos atuam como uma camada protetora da superfície e impedem a geração e eliminação de gases inflamáveis e tóxicos. Logo, os retardantes à base de nitrogenados e boratos são mais eficientes do que os retardantes à base de resina sintética com aditivo ignífugo (MARQUES *et al*, 2018).

4.2.3. RETARDANTES DE CHAMA A BASE DE TANINO-BORO

O tanino é um polifenol vegetal e, de acordo com Tondi *et al.* (2012), quando a madeira é tratada com formulações de tanino, a variação da resistência ao fogo é favorável à segurança. Com o acréscimo do boro e do fósforo, as propriedades antichamas da resina de tanino são incrementadas. O tempo de combustão lenta nas peças de madeira tratadas com essa substância pode ser reduzido em até dez vezes (TONDI *et al.*, 2012).

Portanto, nota-se que o tanino tem influência positiva quanto se trata de redução da

combustão da madeira. É possível perceber também que o boro está novamente presente nesse composto químico. Geralmente, os retardantes de fogo para tratamento das madeiras são preparados com fósforo, nitrogênio e boro (MANTANIS *et al.*, 2019).

4.2.4. VERNIZ ANTICHAMA A BASE DE ÁGUA

O verniz antichama à base de água é um composto químico que atua como retardante na propagação das chamas e ameniza a geração de gases tóxicos; é utilizado em ambientes internos, aplicado em forros e galpões de madeira, mas sua aplicação não deve ser realizada para áreas externas, pisos e corrimãos e nem em locais com grande contato com a água (LIKO, 2016).

De acordo com a Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ) da empresa Liko Tintas Industriais (2016), dois itens que compõem o verniz antichamas à base de água são o isopropanol e o amoníaco. E segundo Mantanis *et al.* (2019), produtos químicos ou misturas di-hidrogenofosfato de amônio, sulfato de amônio e borato de amônio podem contribuir para o tratamento antichama. Uma vantagem especial desse verniz vem do fato de ser incolor, pois, após sua aplicação, a madeira manterá o seu aspecto original rústico, porém com uma propriedade a mais, a retardância de chama na superfície da madeira.

Para a realização desse estudo, o verniz antichama à base de água da empresa Liko Tintas Industriais será aplicado nos corpos de provas a serem levados ao cone calorímetro. A optar por esse produto se deu pelo fato de que, sendo já um verniz, não haveria, nos casos práticos, necessidade de preparação da superfície da madeira com

outro produto, otimizando o custo.

4.3. CONE CALORÍMETRO PARA TESTE DA REAÇÃO AO FOGO DA MADEIRA

Para saber se um determinado retardante de chamas está realmente exercendo sua função, é necessário realizar testes de reação ao fogo da madeira tratada. No caso de medida da inflamabilidade, há dois testes específicos quais sejam: o teste UL94 (classificação UL94) e o teste Limite Inferior de Oxigênio (LOI). O teste via calorímetro de consumo de oxigênio (calorímetro de cone ou cone calorímetro) mede diversas grandezas relacionadas à inflamabilidade dos corpos de prova.

Para os testes ao cone calorímetro, existem duas normatizações de extrema importância: a ASTM E-1354 e a ISO 5660-1. Segundo Martins (2013), no cone calorímetro, a liberação de calor é medida através do consumo de oxigênio no decorrer da combustão. Com este ensaio é possível mensurar o poder calorífico da amostra; o histórico da taxa de liberação de calor; a composição química dos gases de combustão CO, CO₂ e NO_x; o tempo de início de ignição (t_{ig}); o tempo de permanência da chama ou tempo de ignição (T_{ig}).

Conforme Gemaque (2012), a quantidade de calor liberado (THR, *total heat released*) e a taxa de liberação de calor (HRR, *heat released rate*) no decorrer da queima são dois dos parâmetros mais utilizados na pesquisa de propagação de incêndio nos materiais. Em várias situações, a HRR é mais importante do que o THR, quando se deseja comparar a inflamabilidade.

Para desenvolver o cone calorímetro utilizado atualmente, outros equipamentos

pioneiros na realização de medição da HRR foram desenvolvidos a exemplo do calorímetro da Ohio State University, criado no ano de 1970, e do calorímetro NBS-I do National Bureau of Standards. Finalmente, em 1982, nos Estados Unidos a National Bureau of Standards criou o primeiro cone calorímetro (Figura 9) que veio a torna-se um padrão em todo o mundo, com menor custo e de fácil operação (BABRAUSKAS, 2010 *apud* GEMAQUE, 2012, p.11).

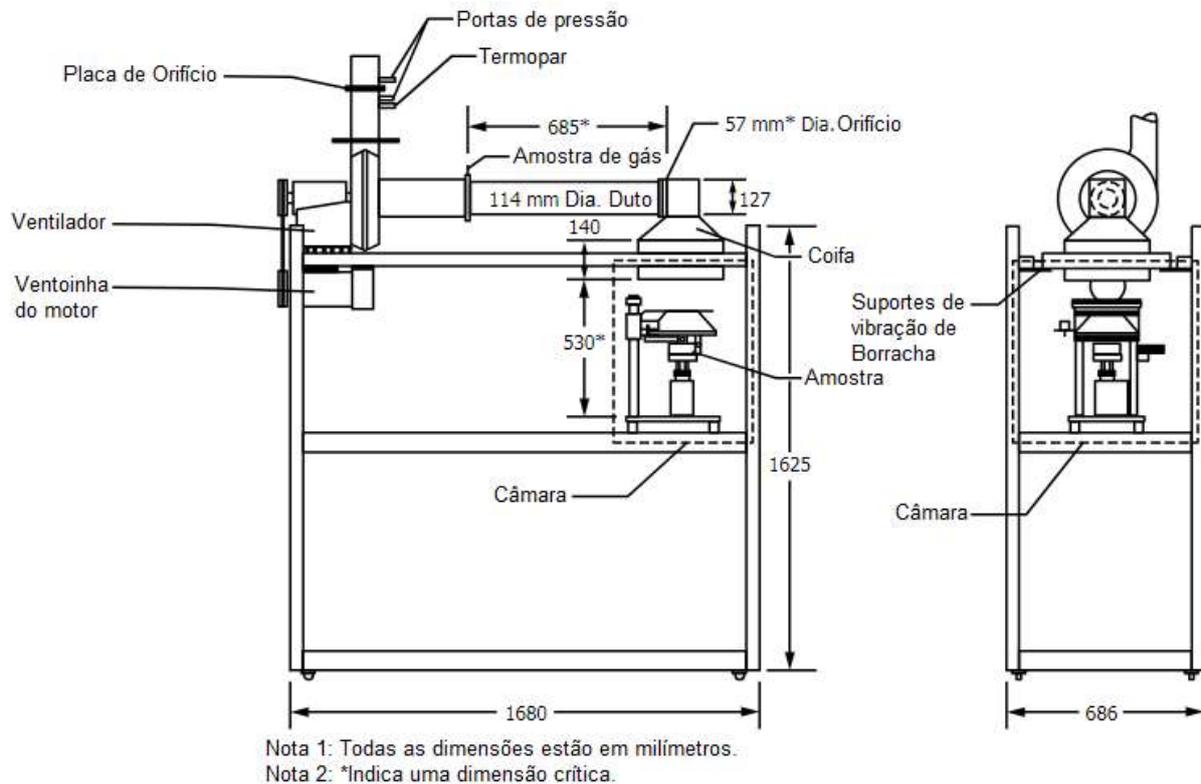


Figura 9: Visão geral do cone calorímetro.

Fonte: ASTM E 1354, 2017 – adaptada pela Autora, 2020

No Brasil há um cone calorímetro (Figura 10) no Laboratório Associado de Combustão e Propulsão (LCP) no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), localizado na cidade de Cachoeira Paulista, São Paulo. De acordo com Gemaque (2012), esse cone calorímetro foi construído segundo a norma ASTM E 1354-03.



Figura 10: Bancada do cone calorímetro do INPE/ LCP.

Fonte: Arquivo da Autora, 2019.

Segundo Gemaque (2012), os estudos do comportamento da madeira ao cone calorímetro fora do Brasil apresentam uma linha de evolução. No início da década de 70, os estudos focalizaram a HRR. Já ao final dessa década, o foco de pesquisa passou a ser o tempo de início de ignição. No ano de 1999, um estudo realizou a queima da madeira em um cone calorímetro, mostrando que a sua combustão está relacionada a vários fatores, dentre eles o teor de umidade, orientação dos grãos e a espécie. E em 2001, um estudo analisou de forma teórica e experimental a ignição de quatro tipos de madeiras em um cone calorímetro, com atenção voltada para a orientação dos grãos.

4.3.1. PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

O tamanho dos corpos de prova é diretamente relacionado com o tamanho do cadinho do cone calorímetro. Conforme a ASTM E 1354 (2017), as dimensões do cadinho são 106 mm x 106 mm de área e 25 mm de altura. Sendo assim, os corpos de provas devem ter dimensões de 100 x 100 mm de área e até 50 mm de altura, com variação de ± 2 mm. É importante que cada corpo de prova seja identificado, assim facilitará as anotações das suas características, como dimensões e massas.

Seguindo o método da ASTM 1354, as amostras de madeira devem ser secas em estufa a uma temperatura de 110 °C até atingir uma variação de peso por perda de água menor que 1%. Sendo assim, após a identificação, cada CP deve ser pesado para determinar a massa original (M_o) em gramas (g) e, depois, colocadas na estufa para secagem e, em seguida, pesada para determinar a massa seca (M_s), o processo deve se repetir até atingir menos de 1% de umidade, conforme a Eq. (1):

$$U = \frac{M_o - M_s}{M_o} \times 100 \leq 1\% \quad (1)$$

De acordo com o boletim técnico da empresa Liko Tintas Industriais (2016), algumas orientações devem ser seguidas para se ter melhores resultados, quando o verniz antichama à base de água for aplicado na madeira, segue abaixo as orientações:

- **Preparação:** o primeiro passo é a agitação do produto, seja ela manual ou mecânica para homogeneizar o mesmo. E deve ser diluído com água limpa.
- **Superfície da madeira:** Na superfície da madeira não pode haver contaminantes e ela deve estar limpa e seca.
- **Cuidados:** O verniz não deve ser aplicado em dias de chuva e/ou neblina, a

umidade do ar deve está maior que 85%. E para obter eficiência nos resultados, o verniz antichama deve ser aplicado quando a temperatura for superior a 18 °C.

- **Modo de aplicação:** no caso de áreas pequenas deve ser aplicado com pincel de cerdas macias de medidas entre 75 e 100 mm. O rolo pode ser usado, mas deve ser umedecido previamente, podendo ser lã sintética o de carneiro. A pistola convencional também pode ser utilizada. A diluição da água no verniz deve ser de no máximo 20% e precisa ser realizado no mínimo 3 demãos, os intervalos entre as demãos é de no mínimo 3 horas e no máximo 48 horas.
- **Tempo para Secagem:** para realizar o manuseio deve esperar aproximadamente duas horas.

É preciso lembrar que os corpos de provas que receberam a aplicação do verniz antichama a base de água devem ser pesados para a determinação da sua massa depois de tratado.

4.3.2. FUNCIONAMENTO DO CONE CALORÍMETRO DO LCP DO INPE

Gemaque (2012) descreve a construção e aferição do cone calorímetro do LCP do INPE. A Figura 11 ilustra os elementos constitutivos do equipamento que são descritos a seguir e operados conforme indicado:

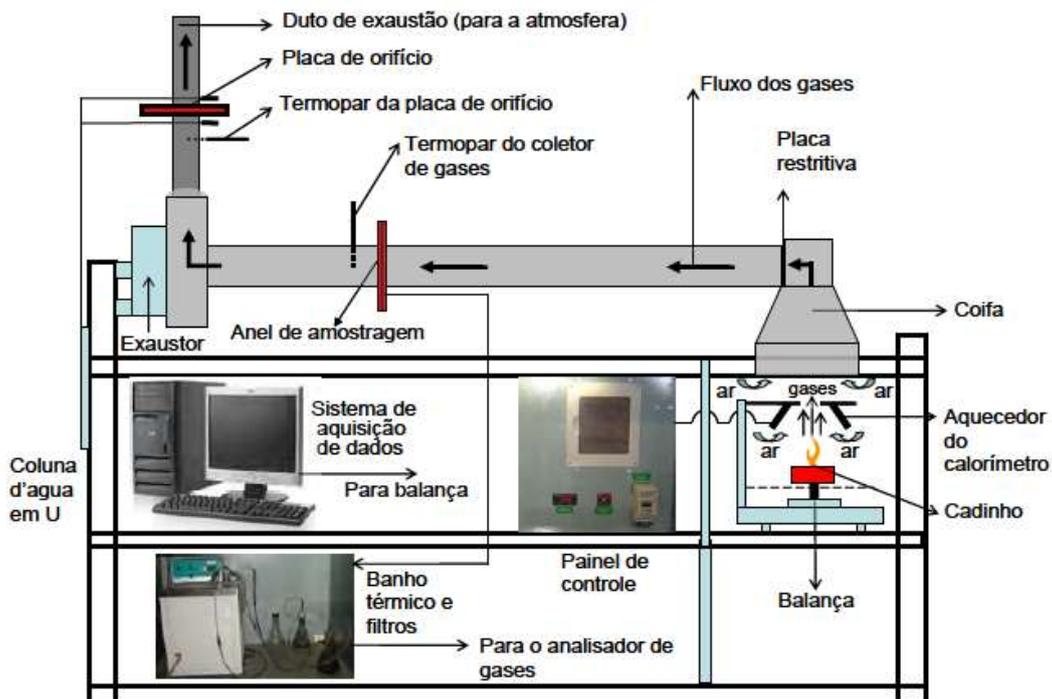


Figura 11: Sequência esquemática do cone calorímetro do INPE/LCP

Fonte: GEMAQUE, 2012.

- **Balança:** A medição da massa da amostra é feita através de uma balança, que deve ser calibrada antes da utilização.
- **Placas refletoras:** No começo do ensaio, é utilizada uma placa refletora, que fica entre a base do aquecedor e o topo do cadinho, sendo apoiada em roletes. Sua função é bloquear a energia do calorímetro, até que a temperatura média das resistências chegue a um valor condizente com a potência escolhida para a realização da pesquisa. Assim, garante-se que as condições iniciais sejam as mesmas para todos os ensaios. Outra placa refletora é utilizada, ficando abaixo do cadinho e tem como objetivo refletir e proteger a balança (GEMAQUE, 2012). A Figura 12 mostra a posição das placas refletoras.



Figura 12: Posicionamento das placas refletoras do cone calorímetro do INPE/ LCP

Fonte: Arquivo da Autora, 2019.

- **Fator de forma:** é uma característica primordial para estabelecer a taxa de transferência de calor entre a superfície da amostra colocada no cadinho e o aquecedor. O fator de forma foi calculado por meio da variação de h_2 , distância do plano inferior do cone ao plano superior do corpo de prova, entre 25 mm e 35 mm, como tendo um valor médio de 0,2382. Vide Figura 13. O calor dissipado pela resistência elétrica é emitido predominantemente perpendicular à superfície da amostra por radiação e, ainda, por condução através do ar do entorno e por convecção (GEMAQUE, 2012).

- **Cadinho:** Conforme a ASTM E 1354 (2017), o cadinho deve ter dimensões de 106 mm x 106 mm de área e 25 mm de altura, com uma alça na lateral para facilitar o manuseio e uma base chamada de borda que é opcional, conforme Figura 14. Segundo Gemaque (2012), algumas modificações no cadinho são necessárias, dentre elas a remoção da alça do cadinho, por gerar uma distribuição inadequada da temperatura e o uso do papel alumínio em vez de sob a amostra externamente ao cadinho para evitar o desprendimento do papel durante a queima da amostra.

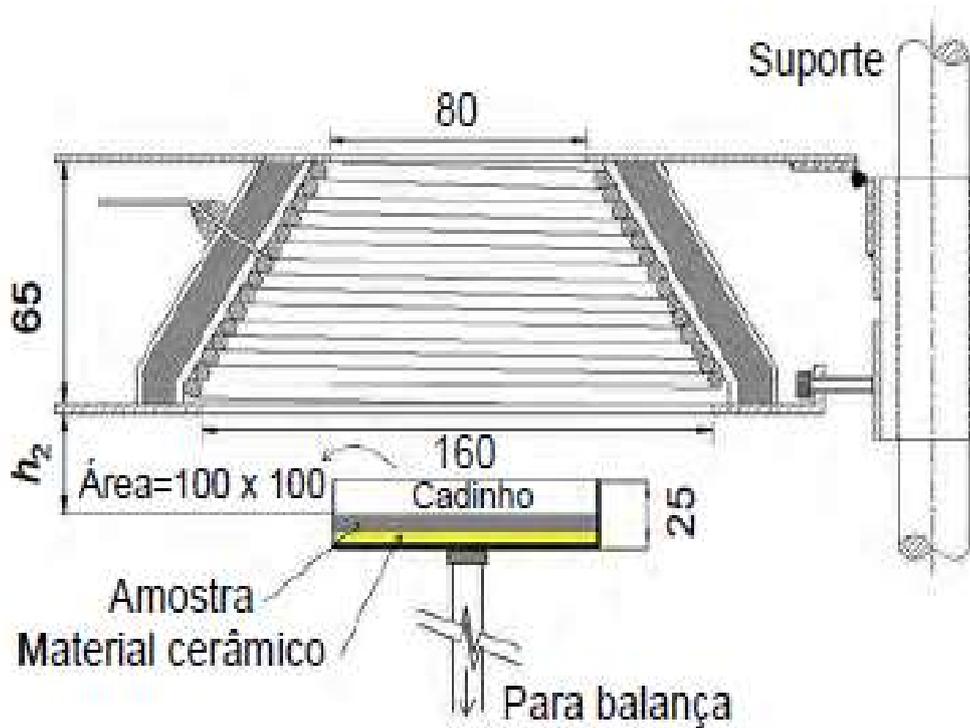


Figura 13: Esquema do cone calorímetro, medidas em mm.

Fonte: GEMAQUE, 2012.

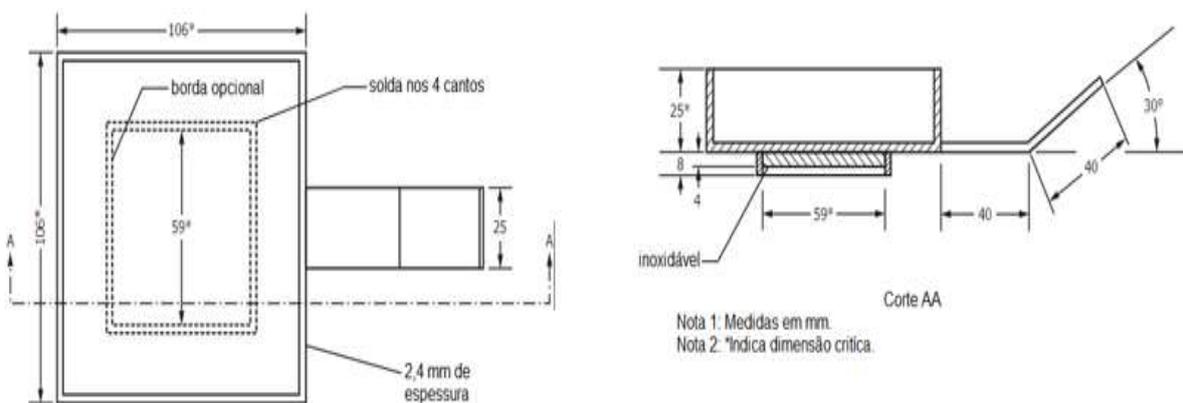


Figura 14: Suporte horizontal para amostras.

Fonte: ASTM E 1354, 2017 – Adaptada pela Autora, 2020.

- **Cone aquecedor:** De acordo com Gemaque (2012), o cone aquecedor é feito de aço inox 304, sendo composto por dois troncos de cone tendo entre eles um material isolante. São utilizados também quatro termopares para medir e controlar a temperatura da resistência do calorímetro. O termopar que fica no centro da

base do cone realiza a leitura da temperatura de toda a região inferior do cone e dos gases que são gerados pela queima da amostra. Quando a placa refletora é retirada e se inicia a ignição da amostra, a temperatura se eleva bruscamente, pois a chama passa pelo sensor do termopar. Os outros três termopares, localizados próximos à resistência elétrica, operam com temperaturas de até 1100 °C.

- **Resistência elétrica:** São necessárias três resistências elétricas ligadas em paralelo, tendo cada uma as seguintes medidas 33 Ω , 27.2 Ω , 26 Ω , gerando um resistência equivalente de 9.48 Ω (GEMAQUE, 2012).

- **Sistema de controle de potência do calorímetro:** O objetivo do sistema de controle de potência do calorímetro é assegurar a potência elétrica definida pelo pesquisador, pois as características de inflamabilidade do material amostrado está completamente relacionado com a quantidade de energia térmica que está sendo irradiada sobre a amostra (GEMAQUE, 2012). A Figura 15 apresentar o posicionamento do controlador de potência no cone calorímetro.

- **Coifa:** É destinada à coleta dos gases provenientes da combustão e o duto horizontal. Os gases passam por uma placa de orifício restritivo de 57 mm de (ASTM E 1354, 2017) cuja função é realizar a mistura dos gases gerados durante a queima da amostra (GEMAQUE, 2012).



Figura 15: Posicionamento do controlador de potência do cone calorímetro do INPE/LCP.

Fonte: Arquivo da Autora, 2019.

- **Sistema de aquisição de gases:** O sistema de aquisição de gases é formado por anel coletor de gases, banho térmico, filtros e analisadores de gases. É um sistema de fácil entupimento, devido ao contato com a fuligem gerada pela queima das amostras. No duto de escoamento horizontal do cone calorímetro é coletada a amostra de gases que ocorre através do anel coletor, conhecido também como anel de amostragem, tendo furos de diâmetro 3 mm. Um termopar é situado a jusante do anel coletor para medir a temperatura gases. Os particulados gerados pela combustão são extraídos por filtros. Um dos filtros fica dentro do kitasato localizado após o anel de amostragem onde é retida grande parte desses particulados, e, dentro do banho térmico (localizado após o kitasato), há um lavador de gases que promove uma nova retenção dos particulados, conforme Figura 16.

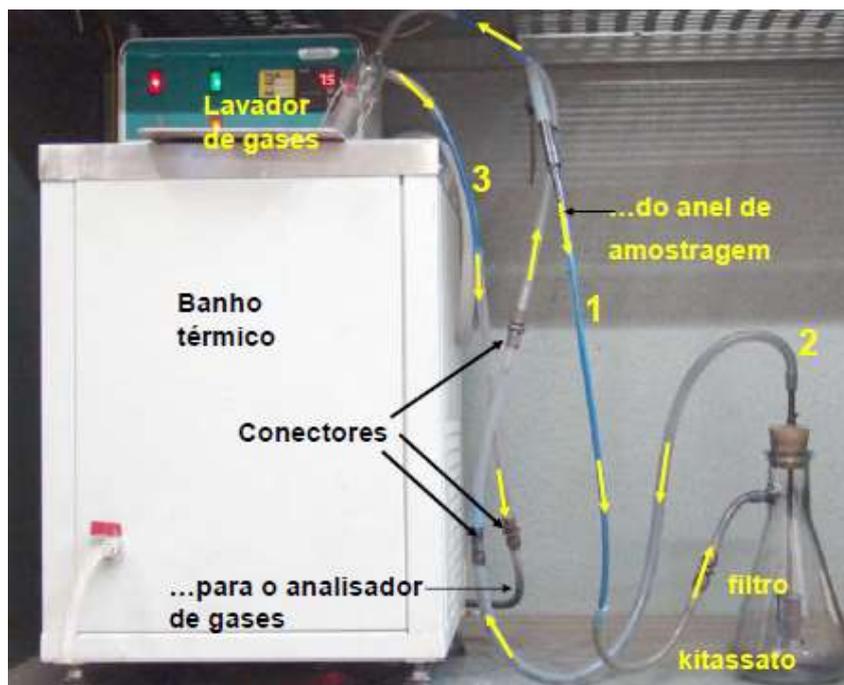


Figura 16: Esquema de filtros e do banho térmico

Fonte: GEMAQUE, 2012.

Já os analisadores de gases tem como função fazer análises contínuas de Oxigênio (O₂), Dióxido de Carbono (CO₂), Monóxido de Carbono (CO), Óxidos de Nitrogênio (NO_x) e Hidrocarboneto não queimado (UHC). O escoamento dos gases é separado em três quantidades de massa, em que parte dos gases vão a para os analisadores de NO_x e UHC, outra parte dos gases vão para os analisadores de O₂, CO₂ e CO, sendo colocados em série e o restante dos é lançado na atmosfera (GEMAQUE, 2012).

- **Placa de orifício:** Conforme Gemaque (2012), a constante de calibração (C) é determinada através da vazão mássica e da variação de temperatura e pressão na placa de orifício. A constante de calibração é necessária para estabelecer a taxa de liberação de calor durante a combustão.

- **Medidores de pressão da placa de orifício:** São utilizados dois tipos de medidores de pressão na placa de orifício, sendo o medidor de pressão de coluna d'água em "U", que está localizado antes e depois da placa e o outro é um medidor de pressão automatizado que fica instalado paralelamente ao medidor em coluna d'água e tem como função a medição contínua das pressões no decorrer de toda combustão, ajudando na determinação da taxa de liberação de calor (GEMAQUE, 2012).
- **Termopar da placa de orifício:** De acordo com Gemaque (2012), o termopar da placa de orifício é fundamental para estabelecer a taxa de liberação de calor, com sua localização à montante da placa.
- **Ventilador:** Devido a um sistema de ventilação que está localizado antes da placa de orifício, os gases provenientes da queima da amostra escoam pelos dutos de exaustão e, para isso, é necessário que um inversor de frequência esteja ligado ao motor do ventilador, gerando o escoamento forçado (GEMAQUE, 2012).
- **Sistema de aquisição de dados:** Conforme Gemaque (2012), para aquisição de dados há dois programas, um deles fica no cone calorímetro e registra os dados de massa e taxa de consumo da mesma, e o outro programa fica em um ambiente diferente, sendo uma sala de aquisição de dados, que realiza as medições de massa de UHC, CO, CO₂, O₂ e NO_x. Ambos os programas trabalham de forma independente.

5. METODOLOGIA E PROCEDIMENTO

5.1. CONFEÇÃO DOS CORPOS DE PROVA DE CUMARU SEM TRATAMENTO E COM O EMPREGO DE RETARDANTE DE CHAMA

Para a realização dos experimentos desejados, foi necessário escolher uma peça de madeira de Cumaru empregada na construção Civil. Como dito anteriormente, as peças de tetos são mais suscetíveis a desenvolver o incêndio. Sendo assim, para a realização dos testes foi escolhida uma peça de madeira de Cumaru empregada na estrutura de um telhado de uma residência na cidade de Araxá, no Estado de Minas Gerais, Brasil (Figura 17). Da mesma peça, foram coletadas peças com as dimensões de 100 x 35 x 7 cm (comprimento x largura x espessura), Figura 18.



Figura 17: Estrutura de telhado em Cumaru na residência em Araxá.

Fonte: Arquivo da Autora, 2019.



(a)

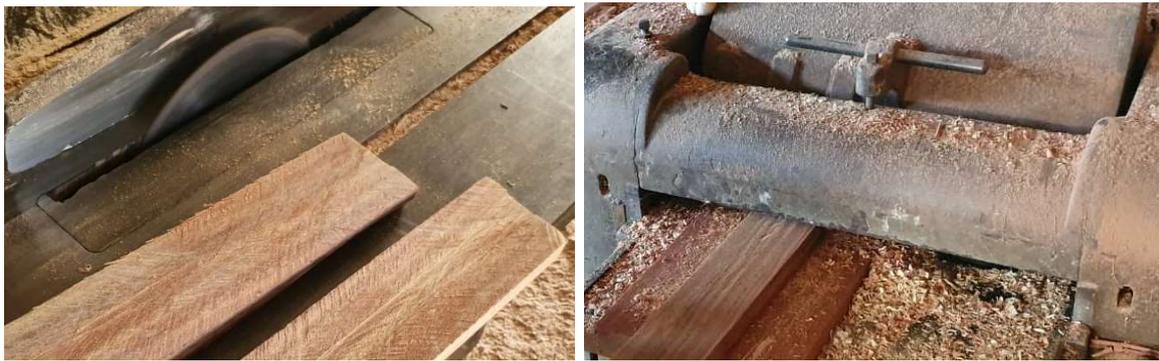


(b)

Figura 18: Amostra de Cumaru: (a) Comprimento e largura (100 cm x 35 cm) e (b) Espessura de 7 cm.

Fonte: Arquivo da Autora, 2019.

Para certificar que a madeira utilizada era o Cumaru, uma amostra foi enviada ao laboratório do Departamento de Botânica da Universidade Federal de Minas Gerais, o qual realizou o polimento e análise macroscópica, sob lupa de mão e estereomicroscópio. O material foi seccionado nos planos transversal, longitudinal radial e longitudinal tangencial do eixo axial da madeira e montado entre lâmina e lamínula para análise ao microscópio de luz. Assim, identificou-se que a amostra era de Cumaru do gênero *Dipteryx sp.*, e certamente da espécie *odorata* (Aublet.). Após a certificação, foram cortados da amostra de Cumaru, 20 corpos de provas (CPs) como dimensões de 100 x 100 x 20 mm (comprimento x largura x espessura), com variação de ± 2 mm (Figura 19).



(a)

(b)

Figura 19: (a) Cortes dos corpos de prova na serra circular e (b) Desengrossamento dos corpos de prova.

Fonte: Arquivo da Autora, 2019.

Após a confecção dos corpos de prova, todas as dimensões de cada CP foram conferidas com o auxílio de paquímetro, de forma a garantir que as variações não eram superior ou inferior a 2 mm. Os 20 CPs foram colocados em sacos plásticos separadamente, sendo, em seguida, identificados e etiquetados com números de 01 a 20 e suas dimensões (Figura 20).



(a)

(b)

Figura 20: (a) Conferência das dimensões do CP e (b) Identificação do CP.

Fonte: Arquivo da Autora, 2019

Em seguida, todos os CPs foram levados para pesagem para determinação da massa original (M_o) em gramas (g), através de uma balança de precisão disponibilizada pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, campus da cidade de Araxá. Após a anotação da massa original, os CPs foram levados a uma estufa com temperatura de 110 °C, durante 20 minutos e em seguida pesados para a obtenção da primeira massa seca (M_s) (Figura 21).

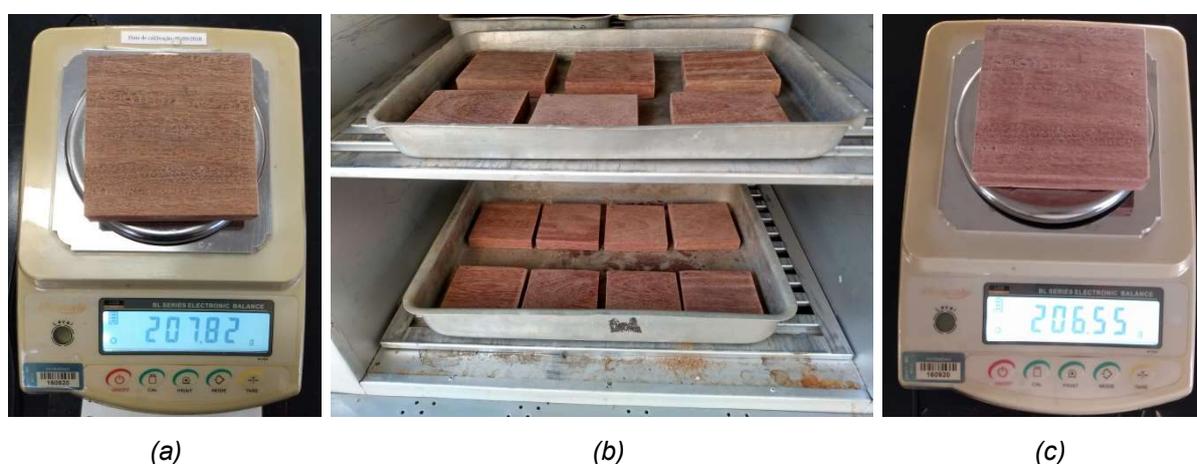


Figura 21: (a) Massa Original (g) do CP 01, (b) Primeira secagem dos CPs e (c) Primeira massa seca (g) do CP 01

Fonte: Arquivo da Autora, 2019

Com a identificação da massa original (M_o) e da primeira massa seca (M_s), foi calculada a umidade (U), ou seja, a variação de peso por perda de água de cada corpo de prova, através da Eq. (1) (vide seção 4.3.1). Mesmo considerando que os resultados indicavam que os CPs estavam secos, a operação de secagem foi repetida. Os resultados encontrados constam da Tabela 1. Como se constata, todos os CPs se mostraram secos após a segunda secagem.

Tabela 1: Dados dos corpos de prova até a variação do peso após a segunda secagem.

Corpo de Prova (CP)	Dimensões (mm)	Massa Original (g)	1ª Massa Seca (g)	Variação do peso (Massa Original com a 1ª Massa seca (%))	2ª Massa Seca (g)	Variação do peso da amostra em relação ao peso após a 2ª secagem.
1	100 x 99.3 x 20	207.82	206.55	0.61	205.66	0.43
2	99.5 x 99.1 x 19.8	202.24	201.36	0.44	200.57	0.39
3	100 x 98.2 x 20	206.02	205.32	0.34	204.58	0.36
4	100 x 99.3 x 20	206.08	205.32	0.37	204.51	0.39
5	99.2 x 99.5 x 20	205.82	204.91	0.44	204.13	0.38
6	99.1 x 99.3 x 19.8	201.61	200.59	0.51	199.71	0.44
7	100 x 99.1 x 20	209.22	208.14	0.52	207.21	0.45
8	100 x 99.2 x 19.7	204.15	203.57	0.28	202.94	0.31
9	98.9 x 99.8 x 20	203.39	202.72	0.33	202.11	0.30
10	99.1 x 99.2 x 20	203.68	202.86	0.40	202.3	0.28
11	99.3 x 99.3 x 20	208.91	207.96	0.45	207.28	0.33
12	99.4 x 100 x 20	205.24	204.46	0.38	203.87	0.29
13	100 x 99.2 x 20	203.52	202.72	0.39	202	0.36
14	99.7 x 98.9 x 20	207.18	206.44	0.36	205.75	0.33
15	99.2 x 99.1 x 20	199.58	199.12	0.23	198.57	0.28
16	99.9 x 99.3 x 20	206.02	205.34	0.33	204.68	0.32
17	99.4 x 99.2 x 2	198.54	197.9	0.32	197.23	0.34
18	100 x 99.2 x 20	201.5	200.96	0.27	200.47	0.24
19	99.8 x 98.8 x 19.7	200.32	199.75	0.28	199.14	0.31
20	98.9 x 100 x 20	200.91	200.24	0.33	199.6	0.32

Após a secagem, os CPs de 11 a 20 foram separados para aplicação do verniz antichama à base de água. Os materiais e instrumentos usados foram: um pincel, duas seringas, uma de 20 ml e outra de 60 ml, 1000 ml de verniz, uma colher, água e um recipiente de 1500 ml. A aplicação do verniz antichama foi realizada durante 4 dias, pois cada demão foi executada com intervalos de 24 horas, gerando um total de 4 demãos. Cada CP foi envernizado em duas etapas: às 6 horas da manhã era aplicado o verniz na face frontal e nas laterais e às 18 horas o verniz era aplicado na face anterior dos CPs. Nos três dias seguintes, e nos mesmos horários, foram aplicadas as outras três demãos.

A aplicação realizada às 6 horas ocorria da seguinte forma, o verniz era

homogeneizado manualmente com o auxílio de uma colher; em seguida, eram coletados 100 ml de verniz antichama da Liko Tintas Industriais e colocado em um recipiente e acrescentava-se 10 ml de água para uma diluição de 10%; após, os materiais eram misturados com o próprio pincel. A rotina de aplicação do verniz no CPs foi a mesma: o pincel foi passado sempre no mesmo sentido sobre a superfície frontal dos CPs da esquerda para a direita até cobrir toda a superfície e nas suas laterais.



(a)

(b)

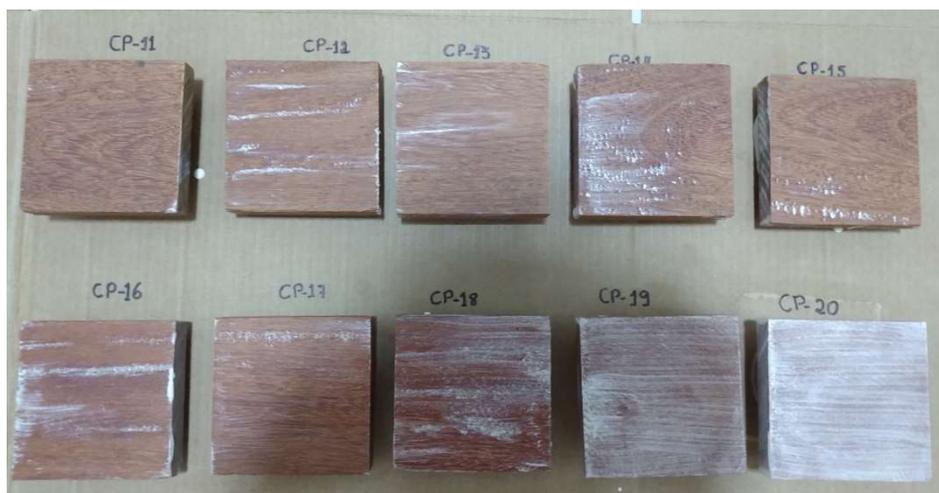


(c)

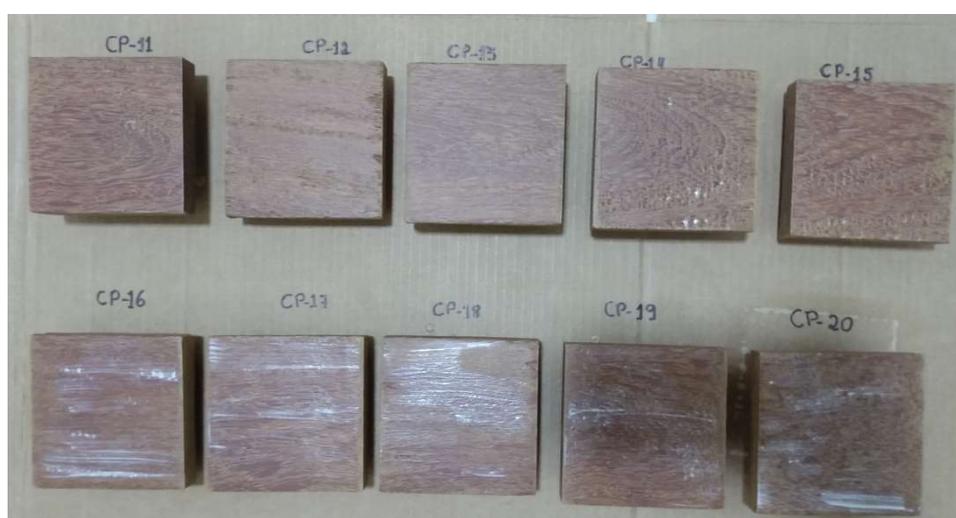
(d)

Figura 22: (a) Homogeneização do verniz antichama, (b) Coleta de água e verniz antichama, (c) Diluição da água no verniz antichama e (d) Mistura de materiais

Fonte: Arquivo da Autora, 2019.



(a)



(b)

Figura 23: (a) Primeira demão da face frontal e das laterais dos CPs às 6 horas e (b) primeira demão do verso dos CPs às 18 horas

Fonte: Arquivo da Autora, 2019

Após a aplicação do verniz nos CPs de 11 a 20, todos os CPs foram colocados em sacos plásticos e identificados com seu número e se eram ou não tratados, Figura 24. Posteriormente, os CPs foram pesados para obtenção da massa após tratamento como se indica na Tabela 2.



Figura 24: Identificação dos CPs quanto ao tratamento antichama.

Fonte: Arquivo da Autora, 2019

Tabela 2: Dados dos corpos de prova até a massa depois de tratado.

Fonte: Arquivo da Autora, 2019

Corpo de Prova (CP)	Dimensões (mm)	Massa Original (g)	1ª Massa Seca (g)	Variação do peso (Massa Original com a 1ª Massa seca (%))	2ª Massa Seca (g)	Variação do peso (1ª Massa Seca com a 2ª Massa seca (%))	Massa depois de Tratado (g)
11	99.3 x 99.3 x 20	208.91	207.96	0.45	207.28	0.33	208.99
12	99.4 x 100 x 20	205.24	204.46	0.38	203.87	0.29	206.95
13	100 x 99.2 x 20	203.52	202.72	0.39	202	0.36	204.11
14	99.7 x 98.9 x 20	207.18	206.44	0.36	205.75	0.33	207.86
15	99.2 x 99.1 x 20	199.58	199.12	0.23	198.57	0.28	201.6
16	99.9 x 99.3 x 20	206.02	205.34	0.33	204.68	0.32	206.93
17	99.4 x 99.2 x 2	198.54	197.9	0.32	197.23	0.34	199.46
18	100 x 99.2 x 20	201.5	200.96	0.27	200.47	0.24	203.55
19	99.8 x 98.8 x 19.7	200.32	199.75	0.28	199.14	0.31	201.92
20	98.9 x 100 x 20	200.91	200.24	0.33	199.6	0.32	202.29

Após pesados, os CPs de 11 a 20, tratados com o verniz antichama, foram colocados

novamente em seus sacos plásticos com suas respectivas identificações. Em seguida todos os CPs foram levados para o Laboratório Associado de Combustão e Propulsão do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, localizado em Cachoeira Paulista, Estado de São Paulo.

5.2. EXPOSIÇÃO DOS CORPOS DE PROVA AO ENSAIO DO CONE CALORÍMETRO

No Laboratório Associado de Combustão e Propulsão do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais foram realizados os ensaios de caracterização da reação ao fogo dos CPs no cone calorímetro.

Para definir a ordem dos testes optou-se por executar um CP não tratado e depois um CP tratado, mantendo a seguinte ordem CP-01, CP-11, CP-02, CP-12, CP-03, CP-13, CP-04, CP-14, CP-05, CP-15, CP-06, CP-16, CP-07, CP-17, CP-08, CP-18, CP-09, CP-19, CP-10, CP-20.

Para iniciar os testes, a parte externa do cadinho do cone calorímetro foi envolvida com papel alumínio (14 cm x 14 cm e 0,35 g). As laterais e a parte inferior de todos os CPs também foram envolvidas com papel alumínio, deixando exposta apenas sua parte superior, Figura 25.

O cadinho com o papel alumínio foi pesado para a calibração da balança, sendo 246.18 gramas.

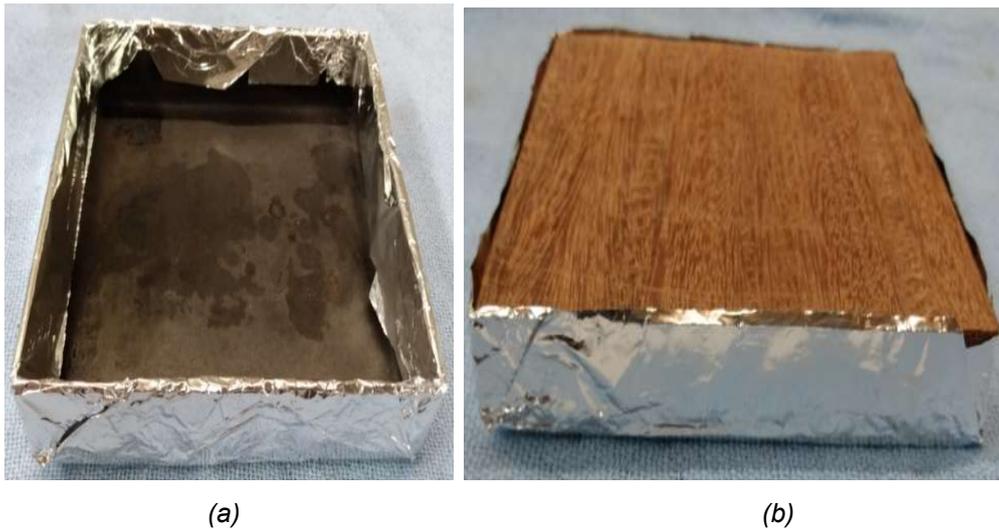


Figura 25: (a) Cadinho envolvido com papel alumínio, (b) CP-01 envolvido com papel alumínio

Fonte: Arquivo da Autora, 2019

A Figura 26 mostra o arranjo inicial do ensaio. A placa refletora que é posta no topo do cadinho foi retirada, quando a temperatura da resistência do cone calorímetro atingiu 300 °C, temperatura esta que corresponde à potência de 2160 Watts igual a 40% da potência máxima do equipamento. A outra placa foi colocada abaixo do cadinho, ver figura 26. O valor de h_2 para a realização dos testes foi de 25 mm, com o fator de forma médio de 0,2382. Esse procedimento adotado foi o mesmo para todos os CPs.

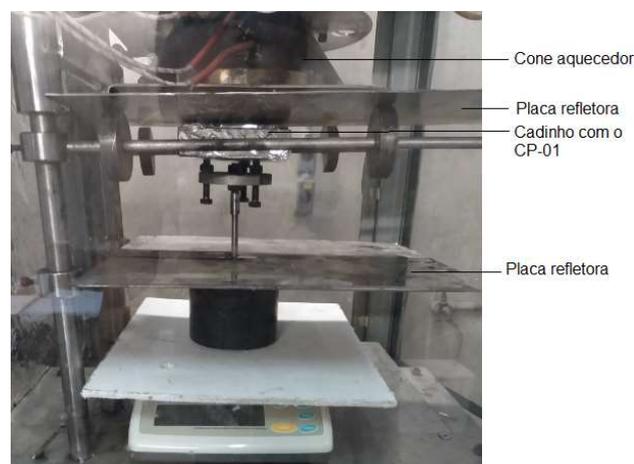


Figura 26: Cadinho com o corpo de prova e placas refletoras no cone calorímetro.

Fonte: Arquivo da Autora, 2019.

Após a retirada da placa refletora, os dois programas de computador já mencionados registram os dados. Inicialmente, como havia possibilidade de que houvesse falha desse sistema, foram feitas anotações a cada 30s das temperaturas do cone calorímetro ($^{\circ}\text{C}$) e da amostra ($^{\circ}\text{C}$). Anotava-se também o tempo de início da chama visível no CP (s), o tempo final de desaparecimento da chama e a massa final do CP depois de queimado (g).

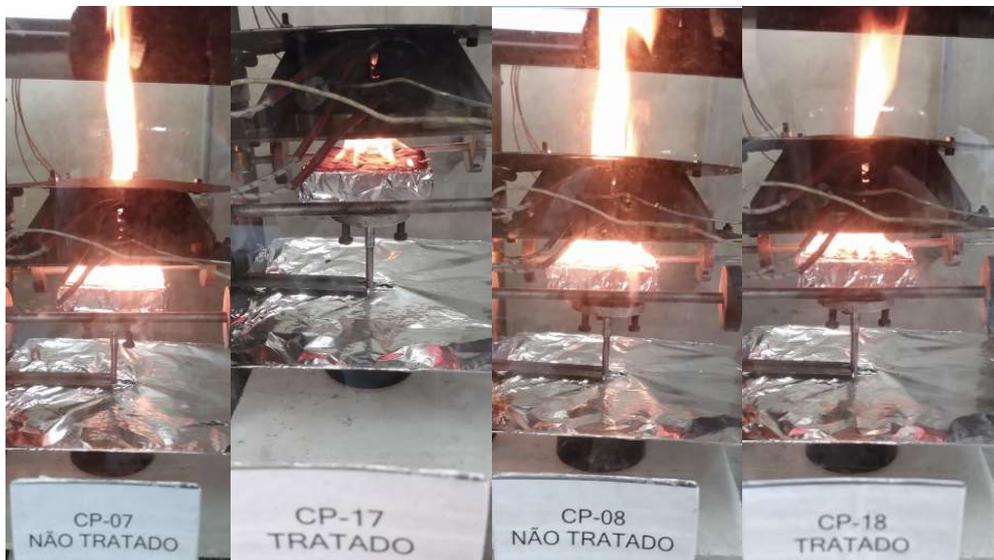
É preciso citar que os ensaios realizados nos CP-01, CP-11, CP-02 e CP-12 foram desconsiderados desse trabalho, pois a potência utilizada foi diferente da dos demais CPs. Para os CP-10 e CP-20 não foi possível realizar o ensaio, portanto eles também serão desconsiderados. O ensaio de inflamabilidade pelo cone calorímetro ocorreu perfeitamente nos CP-03, CP-13, CP-04, CP-14, CP-05, CP-15, CP-06, CP-16, CP-07, CP-17, CP-08, CP-18, CP-09, CP-19 e foram considerados nesse trabalho. Vide as Figuras 27a, 27b e 27c.



(a)



(b)



(c)

Figura 27: (a) Ensaios dos CPs 03, 13, 04, 14 (b) Ensaios dos CPs 05, 15, 06, 16
(c) Ensaios dos CPs 07, 17, 08, 18, 09, 19

6. RESULTADOS

A Tabela 3 mostra as propriedades geométricas e as densidades dos corpos de prova.

A Tabela 4 mostra os correspondentes valores médios e seus desvios padrão.

Tabela 3: Propriedades geométricas e densidade aparente dos corpos de prova

Tipo do corpo de prova	N° do corpo de prova	Espes. (cm)	Área superf. (cm ²)	Massa Original (M _o) (g)	Massa Seca (M _s) (g)	Dens. Aparente ρ _a (g/cm ³)
NT	4	2.00	99.3	206.08	204.51	1.038
NT	5	2.00	98.7	205.82	204.13	1.043
NT	6	1.98	98.41	201.61	199.71	1.035
NT	7	2.00	99.1	209.22	207.21	1.056
NT	8	1.97	99.2	204.15	202.94	1.045
NT	9	2.00	98.7	203.39	202.11	1.030
T	13	2.00	99.2	203.52	202.00	1.026
T	14	2.00	98.6	207.18	205.75	1.051
T	15	2.00	98.31	199.58	198.57	1.015
T	16	2.00	99.2	206.02	204.68	1.038
T	17	2.00	98.6	198.54	197.23	1.007
T	18	2.00	99.2	201.5	200.47	1.016
T	19	1.97	98.6	200.32	199.14	1.031

Tabela 4: Propriedades geométricas e densidade aparente média e desvios padrão.

	Tipo do corpo de prova	Espes. (cm)	Área Superf. (cm ²)	Massa Original (M _o) (g)	Massa Seca (M _s) (g)	Dens. Aparente ρ _a (g/cm ³)
Desv Padr	NT	0.013	0.415	2.424	2.341	0.009
Média	T	2.00	98.82	202.38	201.12	1.03
Desv Padr	T	0.011	0.374	3.296	3.185	0.015

Com a Eq. (1) calcula-se a umidade de cada corpo de prova e a sua média U e desvio padrão S_u. A porosidade P de cada CP é calculada pela fórmula McLean (1952):

$$P = [1 - \rho(0.667 + 0,01U)] \times 100 \quad (2)$$

A umidade e a porosidade média dos corpos de prova não tratados (NT) e tratados (T) e os respectivos desvios padrão são dados na Tabela 5. Como se observa, os corpos de prova NT e T apresentam aproximadamente a mesma umidade (%) e a mesma porosidade (%).

Tabela 5: Umidade e Porosidade médias dos corpos de prova

Tipo do corpo de prova	Umédia	Su	P (%)	Sp
NT	0,772	0,14	30,47	0,589
T	0,622	0,09	31,54	1,011

A potência bruta do cone calorímetro foi de 2160 W que corresponderia a uma intensidade de radiação incidente sobre a área superficial média do corpo de prova A igual a:

$$q'' = \frac{P}{A} \quad (3)$$

Porém, há dispersão da radiação que é medida pelo fator de forma do cone para a superfície superior do CP igual a 0.2382 (vide seção 5.2). Nesse caso, a radiação incidente sobre os CPs é igual a:

$$q'' = 0.2382 \frac{2.160}{0.009881} = 52.07 \text{ kW/m}^2 \quad (4)$$

Do histórico de perda de massa durante a combustão registrado a partir da balança do cone calorímetro, é costume calcular para fins de segurança contra incêndio a massa consumida em 180 s e em 300 s, tempos correspondentes à ordem de grandeza do tempo de escape. Claret-Gouveia (2017) considera importante também a massa consumida em 20 minutos ou 1200 s pois esse é o tempo estimado de início

de combate de incêndio no Brasil. Outro dado muito utilizado é a taxa específica de perda de massa ($\text{g}/\text{m}^2\text{s}$).

A Figura 28 compara os históricos de perda de massa média entre os corpos de prova não tratados e os corpos de prova tratados no intervalo de tempo de 1200 s que é considerado o tempo necessário para início de combate. A curva $m(t) \times t$ não é adequada para avaliar o efeito do tratamento, embora, em ambos os casos, assumam a forma típica, aproximadamente linear decrescente, indicando perdas médias de massa aproximadamente constante.

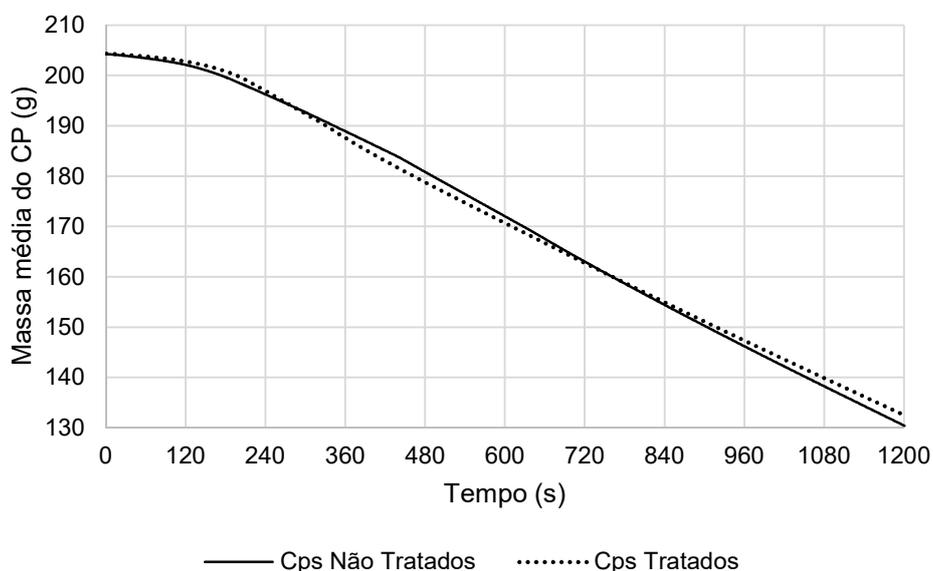


Figura 2829: Comparação dos históricos de massa dos CPs não tratados e dos CPs tratados.

Fonte: Arquivo da Autora, 2019.

Para verificar esse resultado, toma-se a massa total consumida em 1200 s e a taxa de perda de massa específica em três corpos de prova não tratados e em três tratados. A Tabela 6 mostra que a massa consumida no caso dos CP não tratados tem uma variação 4 vezes maior que a correspondente dos CPs tratados, indicando

que há maior estabilidade na combustão desses corpos de prova.

Tabela 6: Comparação da massa consumida média e da taxa específica média de perda de massa para CPs não tratados e tratados.

CP	Tipo	Massa Cons. (g)	Tx. Esp. de perda de massa (g/m ² s)
3	NT	64.7	17.1
6	NT	72.5	16.7
7	NT	83.2	17.3
Média	NT	73.5±9.3	17.0±0.3
14	T	69.1	17.5
15	T	69.9	17
18	T	73.5	17
Média	T	70.8±2.3	17.2±0.3

Levando a um gráfico as taxas médias de perda de massa instantâneas de três corpos tratados e três não tratados, evidencia-se o efeito do tratamento mencionado acima (Figura 29): o tratamento reduz ligeiramente a taxa de perda de massa mas reduz fortemente a sua amplitude de variação.

As curvas de Taxa Média de Liberação de Calor (kJ/m²), Figura 30, para os corpos de prova não tratados e os tratados sugerem que o efeito do tratamento reduz a taxa de liberação de calor no início da ignição, aproximadamente de 0 a 180 s, elevando-a no intervalo de 180 s a 840 s e mantendo-a inalterada no intervalo de 840 s a 1200 s.

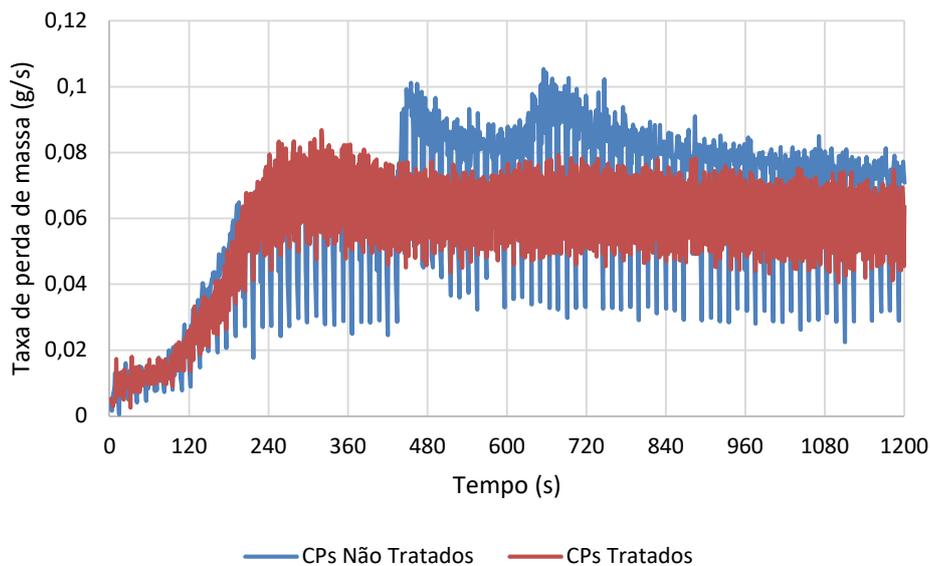


Figura 3031: Comparação dos históricos de taxa de perda de massa dos CPs não tratados e dos CPs tratados.
 Fonte: Arquivo da Autora, 2019.

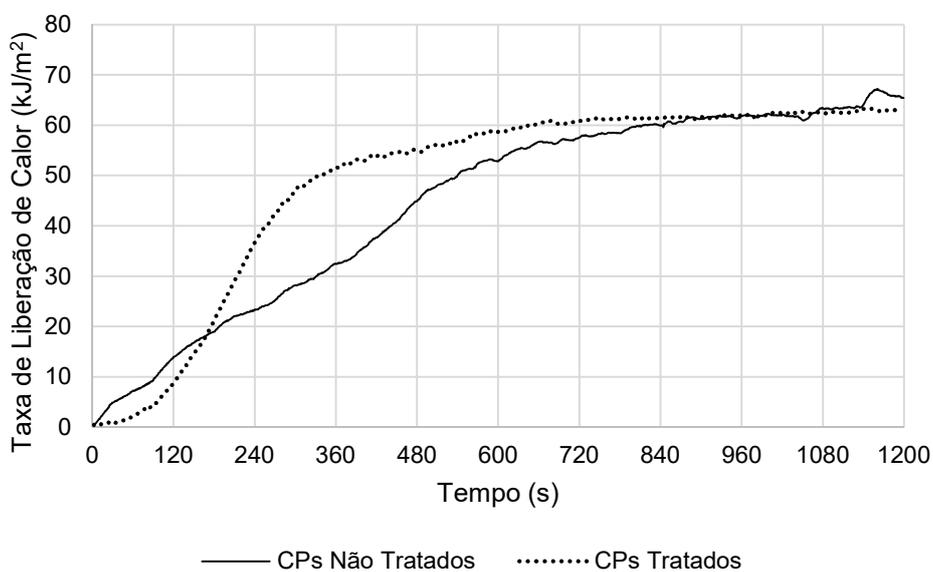


Figura 3233: Comparação da taxa média de liberação de calor (kJ/m²) para os corpos de prova não tratados e tratados.
 Fonte: Arquivo da Autora, 2019.

7. CONCLUSÕES

Os resultados da pesquisa permitem concluir que:

- 1) O Cumaru é uma das espécies de madeira mais utilizadas em Construção Civil, especialmente em telhados, revestimento interno de paredes, pisos e forros e em mobiliário. Isto se deve às suas propriedades estéticas, de resistência mecânica e a cupins e fungos.
- 2) O tratamento do Cumaru com verniz retardante de chama é feito com materiais encontrados no comércio com o objetivo de incrementar sua resposta ao início de ignição, evitando o incêndio desenvolvido.
- 3) Os experimentos em cone calorímetro não permitem avaliar diretamente a velocidade de propagação superficial de chamas, mas propriedades como temperatura de ignição (T_{ig} , °C), tempo de ignição (t_{ig} , s), poder calorífico (PC, MJ/kg) e taxa de liberação de calor (TLC, kJ/m²).
- 4) Os ensaios descritos nessa pesquisa foram realizados no Laboratório Associado de Combustão e Propulsão do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), em Cachoeira Paulista, SP. Foram envolvidos 20 corpos de prova cujo preparo e tratamento é descrito nesse trabalho. Inicialmente, 10 corpos de prova foram programados para ensaio sem tratamento e 10 corpos de prova para ensaio após aplicação de verniz retardante de chama, adquirido no comércio e fabricado por LIKO TINTAS INDUSTRIAIS LTDA.
- 5) Com o desenvolvimento dos ensaios, 3 corpos de prova de cada tipo (tratados e não-tratados) foram descartados. A pesquisa focalizou a perda de massa (g), a taxa de perda de massa (g/s), a taxa específica de perda de massa (g/m²s) e a Taxa de Liberação de Calor (kJ/m²).

6) A análise dos resultados parece indicar que o efeito do verniz retardante de chamas consiste em reduzir ligeiramente a Taxa de Liberação de Calor (TLC) da madeira nos primeiros 180 s, aproximadamente, da ignição, mas elevando-a no intervalo entre 180 s e 800 s e aproximando-se do desempenho da madeira não tratada no intervalo de tempo restante até 1200 s. Portanto, esse estudo indica que o efeito benéfico do tratamento se restringe aos primeiros minutos (cerca de 3 min) da ignição.

7) Em face do reduzido número de corpos de prova, não é possível concluir sobre a grandeza da redução da TLC nos minutos iniciais da ignição nem sobre a grandeza da sua elevação no período seguinte (de 180 s a 800 s, aproximadamente).

8. ANEXO 1

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
LABORATÓRIO DE BOTÂNICA
Registro de identificação da Madeira

Objetivo: Identificar se a peça de madeira utilizada para a confecção dos corpos de prova é realmente de Cumaru (*Dipteryx odorata*).

Data: 14/10/2019

Procedimento: Polimento e análise macroscópica, sob lupa a mão e estereomicroscópio, o material foi seccionado nos planos transversal, longitudinal radial e longitudinal tangencial do eixo axial da madeira e montado entre lâminas e lamínula para análise ao microscópio de luz.

Resultados: A madeira é de uma árvore de família Leguminosae, gênero *Dipteryx* sp., certamente espécie *odorata* (Aublet.) Willd.

Conclusão: A madeira utilizada para a confecção dos corpos de prova é um Cumaru do gênero *Dypteryx* e certamente da espécie *odorata*.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, E.; IANO, J. **Fundamentos da engenharia de edificações: materiais e métodos.** São Paulo: Bookman Editora, 2013.
- BARROS, C. **Materiais de construção.** 2011. 16 f. Apostila de polímeros – Instituto Federal de Educação Tecnologia, Rio Grande do Sul, 2011.
- CLARET-GOUVEIA, A. M. **Introdução à engenharia de incêndio para estudantes, arquitetos, engenheiros, administradores e bombeiros.** Belo Horizonte: 3i Editora, 2017.
- CLARET-GOUVEIA, A. M. *et al.* **Cone calorimeter characterization of Brazilian wood species treated with Fipronil.** Ouro Preto, 2019. 14 p.
- CLARET-GOUVEIA, A. M. *et al.* **Cone calorimeter investigation of Imbuia wood (*ocotea porosa*) aged at least 150 years in a historic church roof's structure.** Ouro Preto, 2020. 10 p.
- CONTE, M. **Suíte de 35 m² é setorizada com biombos de madeira de Cumaru.** 2018. Disponível em: <<https://casaclaudia.abril.com.br/inspiracao-do-dia/suite-de-35-m2-e-setorizada-com-biombos-de-madeira-de-Cumaru/>>. Acesso em: 23 mai. 2020.
- GALLO, J. B.; AGNELLI, J. A. **Aspectos do comportamento de polímeros em condições de incêndio.** Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14281998000100005>. Acesso em: 25 dez. 2019.
- GEMAQUE, M. J. A. **Característica de inflamabilidade de materiais poliméricos com aplicação no setor aeroespacial.** 2012. 497 f. Tese de Doutorado – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2012.

- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. **Informações Sobre Madeiras: Cumaru**. Disponível em: <http://www.ipt.br/informacoes_madeiras/10.htm>. Acesso em: 26 dez. 2019.
- INSTRUÇÕES TÉCNICAS DO CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO (CBPMESP). **IT-10: Controle de materiais de acabamento e de revestimento**. São Paulo, 2019. 8 p.
- LEVCHIK, S. V. 2001. **Introduction to flame retardant and polymer flammability**. [A. do livro] Alexandre B. Morgan e Charles A. Wilkie. Flame retardant polymer nonocomposites. New York: John Wiley & Sons, 2007.
- LIKO. **Boletim Técnico Likchamas WB verniz base água**. 2016. Disponível em: <<http://www.liko.com.br/fotos/files/boletins/likchamas-wb-verniz-base-agua.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2019.
- LOSCHI NETO, A. **Análise do som transmitido por madeiras de diferentes densidades**. 2007. 56 f. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.
- MANTANIS, G. I. *et al.* **Technological properties and fire performance of medium density fibreboard (MDF) treated with selected polyphosphate-based fire retardants**. Wood Material Science & Engineering. 2019.
- MARQUES, V. D. *et al.* **Retardante de chama comerciais em quatro variedades de eucalipto**. Revista Matéria, v.23, n.3, 9f, 2018.
- MARTINS, P. A. **Uso de aditivos não tóxicos como retardantes de chama em ABS**. 2013. 152f. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.
- MITIDIERI, M. L.; IOSHOMOTO, E. **Proposta de Classificação de**

Materiais e Componentes Construtivos com Relação ao Comportamento Frente ao Fogo - Reação ao Fogo. 1998. 29 f. Boletim Técnico, Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1998.

- NUSSBAUM, R. (1988) The effect of low concentration fire retardant impregnations on wood charring rate and char yield. *Journal of Fire Sciences*, 6, 290–307.
- PEDIEU, R. *et al.* **Fire-retardant properties of wood particleboards treated with boric acid.** Originals Originalarbeiten. 2011.
- REMADE. **Revista da madeira.** 2004. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=631&subject=M%F3veis%20&%20Tecnologia&title=Aplica%20de%20tintas%20e%20vernizes%20exige%20cuidados>. Acesso em: 13 mai. 2020.
- ROCHA, A. C. B. Q. Análise das instalações de proteção e combate a incêndio de uma edificação pública. 2016. 23 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, 2016.
- Rowell RM, LeVan-Green SL (2005) Thermal properties. In: Rowell RM (ed) *Handbook of wood chemistry and wood composites*, Boca Raton, London, New York, Washington, DC, pp 121–138, Chap 6
- SOUSA, M. A. R. *et al.* Levantamento das espécies comercializadas vernacularmente como Cumaru no Estado do Pará. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v.5, 2007, n. 1, p.81-83, jul. 2007.
- TONDI, G. *et al.* **Tannin-boron preservatives for wood building: mechanical and fire properties.** Originals Originalarbeiten. 2012.

- WANG, Q. W., LI, J. AND WINANDY, J. E. (2004) Chemical mechanism of fire retardant of boric acid on wood. *Wood Science and Technology*, 38(5), 375–389.
- ZAGO, M. **12 projetos com biombos e divisórias para você se inspirar.** 2019. Disponível em: <<https://revistacasaejardim.globo.com/Casa-e-Jardim/Decoracao/noticia/2018/11/12-projetos-com-biombos-e-divisorias-para-voce-se-inspirar.html>>. Acesso em: 31 mai. 2020.