

**COMPORTAMENTO TERMOMECÂNICO DE PAINÉIS COMPÓSITOS DE  
MADEIRA/CORTIÇA**

**GABRIEL AUGUSTO DA SILVEIRA MELLO**

Dissertação apresentada à  
**Escola Superior de Tecnologia e de Gestão do Instituto Politécnico de Bragança**

Para obtenção do Grau de Mestre em  
**Engenharia Mecânica**

**Bragança**  
**2025**

**COMPORTAMENTO TERMOMECÂNICO DE PAINÉIS COMPÓSITOS DE  
MADEIRA/CORTIÇA**

**GABRIEL AUGUSTO DA SILVEIRA MELLO**

Dissertação apresentada à  
**Escola Superior de Tecnologia e de Gestão do Instituto Politécnico de Bragança**

Para obtenção do Grau de Mestre em  
**Engenharia Mecânica**

No âmbito da dupla diplomação com a  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**

Orientado por  
**Luís Manuel Ribeiro Mesquita (IPB)**  
**Thiago Antonini Alves / Gerson Santos (UTFPR)**

**Bragança**

**2025**

*“Sic parvis magna”.*  
*A grandeza nos pequenos começos.*

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer meus pais Isabel Cristina de Oliveira e Fábio Augusto da Silveira Mello por todo suporte, amor e carinho ao longo de toda minha vida e por me fornecerem condições para realizar esta mudança de país que me proporcionou muitas conquistas e felicidades. Ao meu irmão Gustavo José da Silveira Mello por sempre estar comigo e ser motivo de inspiração todos os dias. Aos meus tios Júlio e Teresa Cunha, João e Cidinha Martins, Marli de Oliveira, Ademir e Vilma Zanluchi, Alexandre Chaddad, Fernanda Mello, Fernando e Daniela Carvahó, por todo o carinho e por sempre me apoiarem. Aos meus avós Izabel (Belica) de Oliveria, Marcos e Estela Mello que sempre cuidaram muito de mim. E aos meus primos que acompanharam meu crescimento e sempre participaram muito divertidamente da minha vida.

Deixar este espaço para agradecer também aos meus grupos de amigos Grupo 33 e Every de Avaré pela amizade e respeito de longa data que me incentivaram a vir e que tenho orgulho de acompanhar e dividir conquistas. Agradecer ao Grupo Tropa com os amigos que fiz aqui em Bragança, que sempre me apoiaram e foram como uma família pra mim aqui. Além deles, aos meus antigos colegas de casa no Brasil Matheus Dreveck, Pietro Oriani, Mateus Hamamura e Guilherme Bachega que sempre foram uma família para mim e que compartilharam momentos inesquecíveis comigo.

Agradecer também aos meus colegas de casa e amigos Gustavo Coppla, Gustavo Trelha, Geovanni Souza e David Almeida por serem ótimas pessoas e deixarem os dias mais divertidos.

Gostaria de agradecer aos meus orientadores Professor Luís Mesquita e Professor Thiago Antonini por todo o suporte e ensinamentos no desenvolvimento de toda esta tese. Além disso também agradecer à Engenheira Luísa Barreira por todo o suporte e convívio diário no laboratório e aos colegas Nicolas e Felipe pelas ideias e suporte fornecido no dia a dia do laboratório.

E por último, mas não menos importante, agradecer imensamente à minha namorada Luciane Marcelo Miscovicz que esteve comigo durante todo o desenvolvimento deste estudo, sempre me apoiou, acompanhou, auxiliou em vários momentos; por todo o carinho e amor que me deu e que foram essenciais para eu me sentir bem e tranquilo neste último. Como já diria o poeta brasileiro Mário Quintana “Tão bom morrer de amor! E continuar vivendo...”.

## RESUMO

A utilização da cortiça como material de construção em Portugal é uma alternativa promissora devido à sua ampla disponibilidade, rentabilidade e sustentabilidade em comparação com outros materiais. Pesquisas nessa área tornam-se cada vez mais relevantes, considerando que, em média, 5.000 civis morrem anualmente na Europa devido a incêndios.

Este estudo tem como objetivo fabricar e investigar diferentes composições de aglomerados, analisando a influência de parâmetros como espessura, tipo de resina e percentual de madeira e cortiça nos ensaios de condutividade térmica, reação ao fogo e resistência mecânica.

Ao todo, foram desenvolvidas sete composições distintas, variando em espessura (20 ou 25 mm), tipo de resina (UF ou MUF) e proporção relativa entre cortiça e aparas de madeira.

Todas as composições geraram o mesmo número de amostras que foram utilizadas em testes de reação ao fogo no calorímetro de cone seguindo a norma EN ISO 13927 com um fluxo de calor de 50 kW/m<sup>2</sup>, ensaios de flexão em 3 pontos consoante à norma ISO EN 310 com velocidade de 40 mm/min e testes de condutividade térmica de acordo com a norma BS EN 12667:2001 com uma variação de temperatura de 15 °C.

Os dados de HRR e THR demonstraram que, embora as resinas possuam um comportamento similar, a UF é levemente mais reativa ao fogo do que a MUF. Espessuras maiores apresentaram picos superiores de liberação de calor, muito por conta da quantidade maior de material a ser queimado. O percentual de madeira na composição resultou em picos inferiores de liberação de calor, mas a queima ocorreu mais rapidamente.

Nos ensaios mecânicos, as amostras com maior percentual de cortiça demonstraram resistência superior às que continham mais aparas de madeira, apresentando valores de elasticidade e resistência à rutura próximos ou superiores ao dobro. A espessura, nesse caso, não influenciou significativamente os resultados.

Quanto à condutividade térmica, a variação na espessura das composições não apresentou impacto significativo, tanto térmica quanto mecanicamente. As composições com maior percentual de aparas de madeira foram as que exibiram maior condutividade térmica.

**Palavras Chave:** Aglomerado de Cortiça, MUF, UF, Calorímetro de cone, Flexão em 3 pontos, GHP.

## **ABSTRACT**

The use of cork as a construction material in Portugal is a promising alternative due to its wide availability, cost-effectiveness, and sustainability compared to other materials. Research in this area is becoming increasingly relevant, considering that an average of 5,000 civilians die annually in Europe due to fires.

This study aims to manufacture and investigate different compositions of agglomerates, analyzing the influence of parameters such as thickness, type of resin, and the percentage of wood and cork in tests of thermal conductivity, fire reaction, and mechanical resistance.

In total, seven distinct compositions were developed, varying in thickness (20 or 25 mm), resin type (UF or MUF), and the relative proportion of cork and wood shavings.

All compositions produced the same number of samples, which were used in fire reaction tests in a cone calorimeter following the EN ISO 13927 standard with a heat flux of 50 kW/m<sup>2</sup>, three-point bending tests according to ISO EN 310 at a speed of 40 mm/min, and thermal conductivity tests according to the BS EN 12667:2001 standard with a temperature variation of 15 °C.

HRR and THR data showed that, although the resins exhibited similar behavior, UF is slightly more reactive to fire than MUF. Greater thicknesses resulted in higher peaks of heat release, mainly due to the increased amount of material available for combustion. The higher the wood content in the composition, the lower the heat release peaks, but combustion occurred more quickly.

In mechanical tests, samples with a higher percentage of cork demonstrated superior resistance compared to those with more wood shavings, showing elasticity and rupture resistance values close to or exceeding twice as much. In this case, thickness did not significantly influence the results.

Regarding thermal conductivity, variations in the thickness of the compositions did not have a significant impact, either thermally or mechanically. Compositions with a higher percentage of wood shavings exhibited greater thermal conductivity.

**Keywords:** Cork Agglomerate, MUF, UF, Cone calorimeter, 3 point bending, GHP.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	vi
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	ix
<b>LISTA DE SIGLAS</b> .....	x
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1 MOTIVAÇÕES .....	1
1.2 OBJETIVOS .....	2
1.3 ESTRUTURA DA TESE .....	2
<b>2 ESTADO DA ARTE</b> .....	4
2.1 PROPAGAÇÃO DE FOGO E INCÊNDIOS URBANOS .....	4
<b>2.1.1 Propagação do fogo</b> .....	4
<b>2.1.2 Incêndios urbanos</b> .....	5
2.2 MADEIRA NA CONSTRUÇÃO CIVIL .....	6
2.3 PAINÉIS OSB .....	8
2.4 CORTIÇA COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO .....	9
2.5 FORMALDEÍDO E SUA REGULAMENTAÇÃO .....	10
2.6 VERIFICAÇÕES EXPERIMENTAIS .....	11
<b>2.6.1 Reação ao fogo</b> .....	11
<b>2.6.2 Resistência Mecânica</b> .....	13
<b>2.6.3 Condutividade Térmica</b> .....	14
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	16
3.1 DESENVOLVIMENTO DAS AMOSTRAS .....	16
3.2 NOMENCLATURA DAS AMOSTRAS .....	17
3.3 PAINÉIS DE MADEIRA E CORTIÇA .....	18
<b>3.3.1 Determinação dos parâmetros de fabricação</b> .....	18
<b>3.3.2 Fabricação das amostras</b> .....	19
3.4 TESTE DO CALORÍMETRO DE CONE .....	28
<b>3.4.1 Preparação das amostras</b> .....	29
<b>3.4.2 Preparação do equipamento</b> .....	31
<b>3.4.3 Procedimento de Teste do Calorímetro de cone</b> .....	31
3.5 TESTE DE FLEXÃO EM 3 PONTOS .....	34
3.6 TESTE CONDUTIVIDADE TÉRMICA .....	37
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	39

4.1	RESULTADOS CALORÍMETRO DE CONE .....	39
4.2	RESULTADOS FLEXÃO EM 3 PONTOS .....	52
4.3	RESULTADOS CONDUTIVIDADE TÉRMICA .....	58
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>60</b>
5.1	PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS .....	61
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>63</b>
	<b>ANEXOS</b> .....	<b>69</b>
	ANEXO 1 – <i>DAILY CHECK</i> DO CALORÍMETRO DE CONE.....	69

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1: Curva de desenvolvimento temperatura/tempo do fogo [10].....	4
Figura 2: Produção de cortiça da região mediterrânea até o centro-sul europeu [45]. .....	10
Figura 3: Modelo esquemático do teste de flexão em 3 pontos [71], [72]. .....	14
Figura 4: Modelo 3D do ensaio. ....	14
Figura 5: Modelo esquemático do teste GHP [81]. ....	15
Figura 6: Planejamento dos tipos de placas do estudo. ....	16
Figura 7: Pesagem das aparas de madeira. ....	20
Figura 8: Pesagem da cortiça de maior granulometria. ....	20
Figura 9: Pesagem da cortiça de menor granulometria. ....	21
Figura 10: Pesagem das resinas e da água. ....	21
Figura 11: Passos 2 e 3 – Preparar o molde com as folhas e misturar a resina com a água respectivamente. ....	22
Figura 12: Passo 4 – Despejar a resina e misturar todos os componentes. ....	23
Figura 13: Passo 5 – Colocar e ajeitar a mistura no molde. ....	23
Figura 14: Passo 6 - Embrulhar o material. ....	24
Figura 15: Passo 7 - Tampar o molde. ....	24
Figura 16: Molde inserido no interior da prensa termohidráulica. ....	25
Figura 17: Máquina em funcionamento. ....	25
Figura 18: Conjunto molde e placa resfriando. ....	26
Figura 19: Placa pronta. ....	26
Figura 20: Amostras para o ensaio no calorímetro de cone. ....	27
Figura 21: Amostra para o ensaio de condutividade térmica GHP. ....	27
Figura 22: Amostras para o ensaio de flexão em 3 pontos. ....	28
Figura 23: Calorímetro de cone. ....	29
Figura 24: Pesagem da amostra antes do ensaio. ....	30
Figura 25: Inserir a amostra no interior do molde. ....	30
Figura 26: Molde com a placa de gesso. ....	32
Figura 27: Suporte de amostra vazio e posicionado para a coleta da baseline, respectivamente [65]. ....	32
Figura 28: Teste do calorímetro de cone. ....	33
Figura 29: Amostra após o teste. ....	34
Figura 30: Máquina de ensaio de tração e flexão. ....	35

Figura 31: Amostra posicionada no interior da máquina.....	36
Figura 32: Fim do ensaio com a amostrada destruída. ....	36
Figura 33: Máquina para ensaio de condutividade térmica GHP. ....	37
Figura 34: Amostra envolvida no material isolante.....	38
Figura 35: Amostra posicionada no interior da máquina e máquina no estado fechado respectivamente. ....	38
<i>Figura 36: Gráfico de Perda de massa da placa 1 (MUF_25mm_base).</i> .....	39
Figura 37: Gráfico de Taxa de libertação de calor da placa 1 (MUF_25mm_base).....	40
Figura 38: Gráfico de Calor total libertado da placa 1 (MUF_25mm_base).....	40
Figura 39: Gráfico de Perda de massa da placa 2 (MUF_20mm_base). ....	41
Figura 40: Gráfico de Taxa de libertação de calor da placa 2 (MUF_20mm_base).....	42
Figura 41: Gráfico de Calor total libertado da placa 2 (MUF_20mm_base).....	42
Figura 42: Gráfico de Perda de massa da placa 3 (MUF_25mm_compactação_menor). ....	43
Figura 43: Gráfico de Taxa de libertação de calor da placa 3 (MUF_25mm_compactação_menor). ....	43
Figura 44: Gráfico de Calor total libertado da placa 3 (MUF_25mm_compactação_menor)..	44
<i>Figura 45: Gráfico de Perda de massa da placa 4 (MUF_25mm_%madeira).</i> ....	45
Figura 46: Gráfico de Taxa de libertação de calor da placa 4 (MUF_25mm_%madeira).....	46
Figura 47: Gráfico de Calor total libertado da placa 4 (MUF_25mm_%madeira). ....	46
Figura 48: Gráfico de Perda de massa da placa 5 (MUF_20mm_%madeira). ....	47
<i>Figura 49: Gráfico de Taxa de libertação de calor da placa 5 (MUF_20mm_%madeira).</i> ....	47
Figura 50: Gráfico de Calor total libertado da placa 5 (MUF_20mm_%madeira). ....	48
Figura 51: Gráfico de Perda de massa da placa 6 (UF_25mm_base).....	49
Figura 52: Gráfico de Taxa de libertação de calor da placa 6 (UF_25mm_base). ....	49
Figura 53: Gráfico de Calor total libertado da placa 6 (UF_25mm_base). ....	50
<i>Figura 54: Gráfico de Perda de massa da placa 7 (UF_20mm_base).</i> ....	50
Figura 55: Gráfico de Taxa de libertação de calor da placa 7 (UF_20mm_base). ....	51
Figura 56: Gráfico de Calor total libertado da placa 7 (UF_20mm_base). ....	51
Figura 57: Gráfico Força x Deslocamento da placa 1 (MUF_25mm_base).....	53
Figura 58: Gráfico Força x Deslocamento da placa 2 (MUF_20mm_base).....	53
Figura 59: Gráfico Força x Deslocamento da placa 3 (MUF_25mm_compactação_menor)...	54
Figura 60: Gráfico Força x Deslocamento da placa 4 (MUF_25mm_%madeira). ....	54
Figura 61: Gráfico Força x Deslocamento da placa 5 (MUF_20mm_%madeira). ....	55

Figura 62: Gráfico Força x Deslocamento da placa 6 (UF\_25mm\_base). ..... 55  
Figura 63: Gráfico Força x Deslocamento da placa 7 (UF\_25mm\_base). ..... 56

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Especificações dos aglomerados.....	17
Tabela 2: Picos de HRR, o tempo ocorrido para cada amostra e THR após os 1500 segundos determinados.....	52
Tabela 3: Carga máxima antes da ruptura, MOR e MOE de cada amostra. ....	57
Tabela 4: Carga máxima média, MOR médio e MOE médio para cada placa.....	58
Tabela 5: Condutividade térmica de todas as amostras. ....	59

## **LISTA DE SIGLAS**

<b>Sigla</b>	<b>Significado</b>
CARB	<i>California Air Resources Board</i>
CO2	Gás Carbônico
EUA	Estados Unidos da América
EuroFSA	<i>European Fire Safety Alliance</i>
GHP	<i>Guarded Hot Plate</i>
HRR	<i>Heat release rate</i>
IPB	Instituto Politécnico de Bragança
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LERM	Laboratório de Estruturas e Resistência dos Materiais
MDF	<i>Medium-density Fiberboard</i>
MDI	<i>Methylene Diphenyl Diisocyanate</i>
MOE	<i>Modulus of Elasticity</i>
MOR	<i>Modulus of Rupture</i>
MUF	<i>Melamine Urea Formaldehyde</i>
NFPA	<i>National Fire Protection Association</i>
OSB	<i>Oriented Strand Board</i>
TDI	<i>Toluene Diisocyanate</i>
UE	União Europeia
UF	<i>Urea Formaldehyde</i>
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
WEB	<i>Website</i>

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 MOTIVAÇÕES

Estudar a utilização de cortiça em painéis OSB (Oriented Strand Board) é importante por várias razões, tanto do ponto de vista ambiental quanto técnico e econômico sem deixar de lado a conjectura da segurança domiciliar no âmbito de incêndios e isolamento sonoro.

Protagonista da otimização dos painéis com base em materiais inflamáveis como cortiça e madeira é a segurança na construção civil. Todo ano, milhares de mortes são registradas tendo como vilão incêndios nos quais o fogo muitas vezes se propaga rapidamente e destrói estruturas como portas e janelas, que são comumente fabricados com madeira ou materiais plásticos, impossibilitando a evacuação das pessoas e tornando o efeito do fogo ainda mais letal por conta da inalação de fumaça. De acordo com o “Center for Disease Control” a U.S. Fire Administration” e a “National Fire Protection Association (NFPA)” todos os anos há uma média de 358.300 incêndios domésticos com uma taxa de 2.720 mortes neste processo nos EUA [1]. Na Europa esse dado é ainda mais grave, tendo um registro de 5.000 mortes por incêndios residenciais [2].

Em 2018, a União Europeia (UE) estabeleceu um objetivo para ajudar a reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>. O plano consiste em alcançar uma redução global de 80% das emissões domésticas de dióxido de carbono até 2050. A estratégia da Comissão Europeia assenta em cinco objectivos: garantir a segurança alimentar, gerir os recursos naturais de forma sustentável, reduzir a dependência de recursos não renováveis, atenuar e adaptar-se às alterações climáticas, criar emprego e manter a competitividade da UE [3].

Com isso, é possível identificar que a utilização de materiais mais sustentáveis e renováveis se vê como uma opção bastante viável para contribuir para esse cenário. A construção em madeira oferece vantagens ambientais e econômicas significativas em relação ao aço e ao concreto na construção civil. As avaliações do ciclo de vida revelam que a madeira requer menos energia na fabricação, montagem e funcionamento do que o concreto e o aço [4]. A substituição da madeira em edifícios comerciais pode reduzir o potencial de aquecimento global numa média de 60%, dado que a capacidade de renovação natural da madeira e as suas propriedades de interceptação de carbono fazem dela um material ideal para objetivos de construção sustentável [5]. Ainda, segundo a Direção Geral das Atividades Económicas de

Portugal, as indústrias da madeira e da cortiça têm grande peso no país. Em 2017, apresentou um volume de negócios de 1.729,86 M€ [6].

Ainda nas questões ambientais, o uso de materiais considerados desperdício e refugo de outros processos, como aparas de madeira e serragem, se torna um forte candidato para a fabricação dos componentes de construção civil. Isso acaba tornando indústrias madeireiras mais eficientes e com uma economia mais circular, na medida em que podemos estender a vida útil destes materiais. Porém, a utilização de madeira isoladamente em comparação com aço e concreto não é adequada, já que ela é mais inflamável e com isso, a cortiça, além de todos os benefícios citados, vem a ser uma boa solução, já que ela é um bom isolante térmico. Só que, a utilização de cortiça na fabricação de componentes de construção exige a aplicação de resinas, que são altamente inflamáveis. Por isso, é importante desenvolver uma composição que se adeque às exigências térmicas de projeto.

## 1.2 OBJETIVOS

Com base nas motivações expressas, é necessário analisar o diferente comportamento das diversas composições de placas de camada única e apontar as vantagens e desvantagens relacionadas à utilização deste conceito aplicado à construção civil como isolantes térmicos sustentáveis sem perder o desempenho térmico e estrutural comparado às estruturas utilizadas atualmente.

A partir disso, o objetivo central deste estudo é avaliar a performance térmica, mecânica e de resistência ao fogo destas placas de camada única de material compósito de cortiça, resina e madeira para uso no setor de construção para paredes e portas.

Para isto, os objetivos secundários para este trabalho são compostos pela fabricação de aglomerados dos materiais citados e a influência da variação na composição, tipo de resina e geometria nos ensaios térmicos e mecânicos.

## 1.3 ESTRUTURA DA TESE

Este estudo está dividido em 5 capítulos, sendo eles:

- 1º - Introdução: breve contextualização do tema expondo os objetivos propostos.
- 2º - Estado da Arte: explicação de todos os conceitos essenciais para entendimento do tema com inúmeras referências bibliográficas de estudos relevantes para este trabalho.

- 3º - Materiais e Métodos: descrição de toda metodologia utilizada neste trabalho, desde a estruturação pré-fabricação até os ensaios realizados.
- 4º - Resultados e Discussões: apresentação, análise e comparação dos resultados de todos os ensaios.
- 5º - Conclusão: capítulo final onde o autor expõe as conclusões atingidas após análise de todos os resultados obtidos.

## 2 ESTADO DA ARTE

### 2.1 PROPAGAÇÃO DE FOGO E INCÊNDIOS URBANOS

Considerando que um dos focos deste trabalho é analisar o desempenho térmico das placas, precisamos entender como funciona a propagação do fogo desde a ignição até o decaimento das chamas e também a incidência e funcionamento dos incêndios urbanos.

#### 2.1.1 Propagação do fogo

O desenvolvimento do fogo pode ser descrito através de fases distintas, desde a ignição até um fogo totalmente desenvolvido até o seu decaimento, como indicado na Figura 1. A fase de crescimento inicial, também designada por fase de acumulação, crescimento ou aceleração, envolve um aumento da dimensão, intensidade e taxa de propagação do incêndio [7]. Esta fase pode ser extremamente rápida, com apenas três minutos a decorrer entre a ignição e um incêndio numa sala inteira [8]. As fases de desenvolvimento do incêndio são cruciais para os bombeiros compreenderem, uma vez que ajudam a prever o comportamento do incêndio e a informar as decisões táticas [9].

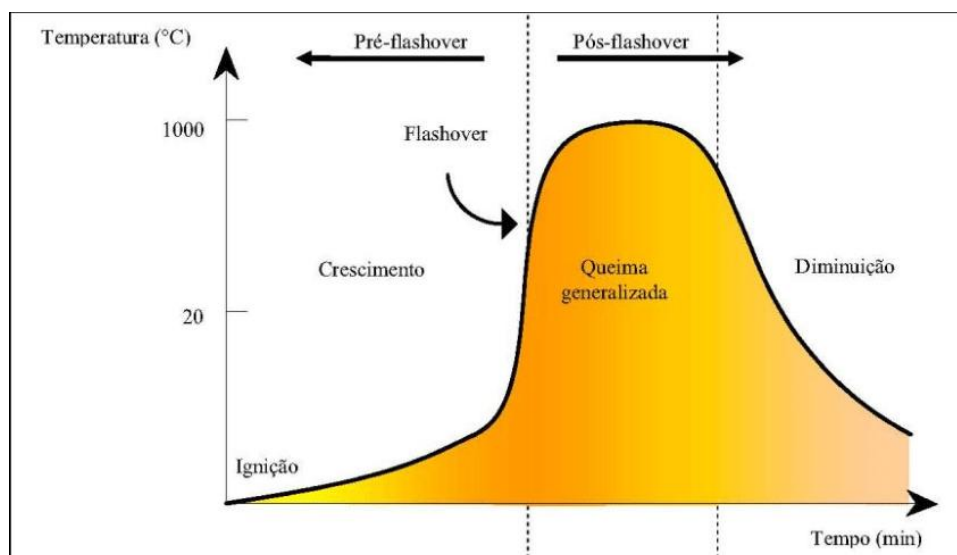


Figura 1: Curva de desenvolvimento temperatura/tempo do fogo [10].

O comportamento do fogo é diretamente proporcional à temperatura dos gases liberados e da estrutura em chamas, tendo como região mais agravante a *Pós-flashover*. Abaixo segue explicação de cada fase da curva apresentada [11]:

- Ignição (ou Ignificação): estágio de aquecimento no início do incêndio, com crescimento gradual de temperatura, com mínimas influências das características do compartimento e sem risco à vida humana ou ao patrimônio, por colapso estrutural. Esse estágio é também conhecido por *pré-flashover* e finaliza no instante conhecido por *flashover*.
- *Flashover*: estágio caracterizado por uma repentina mudança de crescimento da temperatura; nesse estágio todo o material combustível no compartimento entra em combustão. A temperatura dos gases quentes é superior ao patamar de 300°C até atingir o pico da curva, geralmente com temperaturas superiores a 1000°C.
- Resfriamento: estágio que representa a redução gradativa da temperatura dos gases no ambiente, após a completa extinção do material combustível presente no compartimento. Sem novas cargas de incêndio para alimentar as chamas, inicia-se a perda de calor, ou seja, o arrefecimento gradual do incêndio.

Os incêndios residenciais representam riscos significativos para os moradores, exigindo várias medidas de combate. As principais medidas preventivas incluem a educação para a segurança contra incêndios, a melhoria das capacidades de gestão e a melhoria dos ambientes de segurança contra incêndios. Garantir procedimentos adequados de evacuação de emergência e equipar os edifícios com equipamento de evacuação pode melhorar a capacidade de resposta a catástrofes [12]. A instalação de detectores de fumaça e de sprinklers residenciais pode reduzir as mortes relacionadas com incêndios em 11% e 53%, respectivamente [13]. Modificações ambientais, promoção de regras de segurança e mudanças comportamentais entre os residentes são estratégias cruciais [14]. O agrupamento dessas medidas é de extrema importância para garantir uma melhor segurança residencial contra incêndios.

### **2.1.2 Incêndios urbanos**

Um dos maiores causadores de óbitos em regiões urbanas são os incêndios, especialmente em lares que contenham membros da comunidade mais vulnerável considerada pela EuroFSA. Na Europa, existe uma comunidade vulnerável em crescimento. Em 2018, quase 20% da população da UE tinha 65 anos ou mais. Em parte porque a população está envelhecendo, o número de europeus com deficiência também está aumentando significativamente [15]. Além da parcela idosa da população, crianças e pessoas portadoras de

alguma deficiência, seja ela física ou mental, também são consideradas mais vulneráveis a incêndios urbanos e residenciais.

Com isso, devemos sempre buscar fornecer condições residenciais favoráveis para a população com o intuito de amenizar a propagação do fogo e garantir a segurança das pessoas.

A resposta térmica dos materiais influencia a gravidade do acidente e, os elementos de compartimentação têm a função de confinar o acidente ao local de origem, impedindo a sua propagação a compartimentos adjacentes e edifícios vizinhos. Consequentemente, têm uma enorme influência na segurança dos edifícios [16].

No caso deste estudo, desenvolver uma alternativa que aumente o tempo com que uma estrutura irá colapsar pelo incêndio, mantendo uma boa resistência mecânica, contribui para uma fuga mais eficiente e segura.

## 2.2 MADEIRA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

É inegável que a madeira é um dos materiais mais versáteis para diversas aplicações, desde geração de energia até construção civil. Muitos parâmetros influenciam na aplicabilidade de cada tipo de madeira (referente à origem), como granulometria, textura e geometria, além das propriedades mecânicas, térmicas, de condutividade e o quanto conseguem passar por processos maquinários até atingir uma composição ou forma de interesse.

Pesquisas sobre elementos de madeira laminada sugere que vários fatores influenciam o seu desempenho e adequação a diferentes aplicações [17].

Em geral, todas as madeiras têm em comum as seguintes características [18]:

- Os elementos constituintes do tronco são simétricos na direção radial e predominantemente verticais;
- A principal composição química das suas células é a celulose, os carboidratos não celulósicos e a lenhina;
- São anisotrópicas, o que significa que as suas propriedades físicas diferem consoante as variações dimensionais;
- São higroscópicos, ou seja, o teor de umidade varia com a umidade e a temperatura atmosféricas;
- São susceptíveis de serem atacados por xilófagos, como as térmitas;
- São inflamáveis, especialmente quando secos.

A madeira tem desempenhado um papel crucial na civilização humana ao longo da história. Desde os tempos pré-históricos, tem sido utilizada para abrigo, ferramentas, armas e combustível, permitindo aos humanos sobreviver em climas frios e expandir as suas fontes de alimento [19], [20]. Com o desenvolvimento das sociedades, a madeira tornou-se essencial para a construção de estruturas, barcos e utensílios mais sofisticados [20], [21]. A sua abundância ou escassez moldou a cultura, a economia e a política de várias civilizações, desde a Idade do Bronze até ao século XIX [19]. A versatilidade e a capacidade de renovação da madeira tornaram-na um recurso sempre importante, com a investigação moderna a encontrar continuamente novas aplicações [20], [21].

A madeira oferece várias vantagens em relação ao aço e ao concreto na construção. Tem um desempenho ambiental superior, exigindo menos energia na fabricação, montagem e funcionamento, reduzindo assim as emissões de gases com efeito de estufa [22], [4]. A madeira maciça é considerada uma alternativa viável para estruturas de maiores dimensões, demonstrando um melhor desempenho global quando se consideram múltiplos factores [22], apresentando uma melhor resistência ao fogo e durabilidade em comparação com as estruturas de aço e concreto [23]. Em termos de custo, a madeira pode ser mais económica, particularmente em áreas onde os materiais do concreto são escassos [24]. Tendo em conta estes benefícios, os investigadores sugerem que a indústria da construção deve fazer a transição para a madeira maciça como um material de construção de baixo carbono e de alto desempenho, quando apropriado [22], melhorando potencialmente a sustentabilidade das estruturas no futuro.

Mesmo tendo inúmeros apontamentos que sugerem a utilização de madeira na construção civil, essa tarefa não é tão simples, já que estruturas de madeira são muitas vezes vulneráveis sobre condições climáticas de temperatura, umidade, neve, radiação solar e até mesmo insetos que se aproveitam deste substrato. Além disso, dependendo de como a madeira é utilizada e acabada, ela pode apresentar fissuras e defeitos internos que contribuem com a degradação acelerada do material.

Mesmo com todas essas interpéries, o fator que mais prejudica a utilização da madeira na construção, por mais que ela não tenda a fundir ou romper quando comparado ao aço e concreto armado respectivamente, é que ela é um material mais inflamável. Por outro lado, a combustão da madeira é lenta e superficial. Enquanto a camada exterior se decompõe, o núcleo central da secção pode permanecer intacto, forte e estável [25]. Esta característica permite que a madeira seja capaz de manter as propriedades mecânicas do elemento.

### 2.3 PAINÉIS OSB

O *Oriented Strand Board* (OSB) é um painel estrutural à base de madeira feito de fios de madeira orientados ligados com adesivos [26]. É uma alternativa ao compensado, embora a substituição direta nem sempre seja recomendada devido às diferenças nas propriedades mecânicas [27].

Os painéis OSB enfrentam desafios em termos de estabilidade dimensional devido à sua natureza higroscópica e às tensões de compressão resultantes da fabricação. Para resolver este problema, o tratamento térmico tem sido proposto como um método para melhorar a estabilidade dimensional, reduzindo o inchaço da espessura em até 50% e a absorção de água em até 33%. Embora algumas propriedades mecânicas possam ser ligeiramente afetadas, o tratamento é considerado economicamente viável, com aumentos de custos de produção não superiores a 5% [28]. A indústria europeia de OSB continua a evoluir, impulsionada pela necessidade de produtos de nicho, menores emissões de formaldeído e custos de produção reduzidos [26].

Os painéis OSB têm diversas aplicações em vários setores, sendo amplamente utilizados em embalagens e construção devido às suas excelentes propriedades mecânicas [29].

Embora estejam ganhando popularidade, têm várias desvantagens. Uma das principais preocupações é a sua emissão de substâncias nocivas, incluindo formaldeído, para o ar durante a utilização. Os painéis OSB também são classificados como materiais altamente inflamáveis [30]. A instabilidade dimensional é outro problema significativo, com os painéis OSB propensos a inchar quando expostos à humidade [28]. Embora os fabricantes tenham desenvolvido painéis OSB com propriedades de inchamento de espessura melhoradas, estes painéis ainda incham e permanecem suscetíveis ao crescimento de bolor [31]. Além disso, os painéis OSB são vulneráveis às intempéries, que podem causar alterações de cor e degradação das propriedades físicas e mecânicas [32].

Mediante a isso, enquanto painéis OSB apresentam um estrutura irregular e texturizada, painéis de camada única surgem como uma alternativa para agregar soluções compatíveis com o mercado, como um alívio de peso nas placas mantendo o mais próximo possível do ideal de fatores como resistência mecânica, isolamento térmico e acústico.

Os painéis de madeira de camada única são um tipo de painel de madeira maciça composto por uma única camada de material de madeira. Podem ser fabricados a partir de várias espécies de árvores [33] e madeiras duras como carvalho, ácer, bétula, freixo e choupo [34].

Estes painéis podem ser fabricados com uma distribuição aleatória ou orientada dos flocos, o que afeta as suas propriedades físicas e mecânicas. Os painéis de camada única com orientação aleatória dos flocos geralmente apresentam uma resistência à flexão e um módulo de elasticidade ligeiramente inferiores aos painéis orientados [35]. As propriedades dos painéis de camada única podem ser influenciadas por fatores como a espécie de madeira, o tipo de adesivo e o processo de fabricação [33].

#### 2.4 CORTIÇA COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO

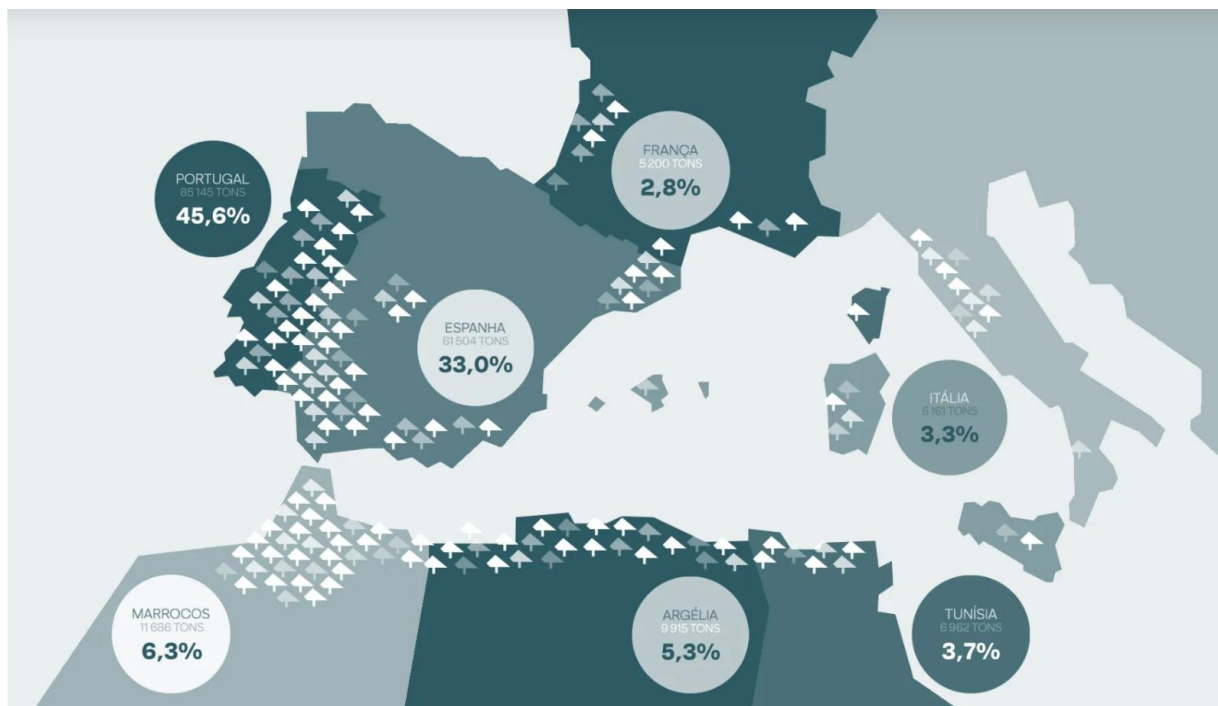
A cortiça é um material natural e renovável derivado da casca do sobreiro, cultivado principalmente em Portugal e na região mediterrânica [36]. É utilizada há mais de 5000 anos e é conhecida pelas suas propriedades únicas, incluindo inércia química, características físicas e mecânicas [37]. A estrutura celular da cortiça contribui para as suas excelentes propriedades de isolamento térmico, acústico e vibratório [38]. Este material desempenha um papel crucial na manutenção da biodiversidade e no desenvolvimento sustentável, uma vez que as florestas de sobreiro proporcionam habitats para várias espécies e contribuem para a captura de CO<sub>2</sub>. Pesquisas recentes conduziram ao desenvolvimento de materiais inovadores à base de cortiça com aplicações em estruturas leves, processos de biorremediação e tintas melhoradas [39]. Sendo um material sustentável e versátil, a cortiça tem potencial para ser utilizada em várias indústrias para além dos produtos tradicionais, alinhando-se com os princípios do Design de Produto Sustentável [39], [38].

A indústria responsável pela utilização do material cortiça é a produção de vinhos, mais especificamente nas rolhas que vedam as garrafas. A produção de cortiça para vinho gera resíduos significativos e desafios ambientais. As águas residuais do processamento da cortiça contêm elevadas concentrações de clorofenóis, exigindo um tratamento dispendioso antes da eliminação [40]. Aproximadamente 15% da cortiça em bruto transforma-se em resíduos florestais, com resíduos adicionais do processamento [41]. Então, para reaproveitamento desse resíduo do corte e coleta de madeira e cortiça, temos as novas aplicações em materiais compósitos com aplicação de pressão, temperatura e um material aglutinador como resinas.

Os painéis compósitos de cortiça e madeira são materiais inovadores que combinam a cortiça com produtos tradicionais à base de madeira. Estes painéis oferecem alternativas leves e de elevado desempenho aos materiais convencionais nas indústrias do mobiliário e da construção [42]. Do mesmo modo, os painéis em camadas de cortiça-MDF apresentam

propriedades físicas e mecânicas promissoras quando testados de acordo com as normas europeias [43]. Os compósitos de cortiça têm diversas aplicações, desde revestimentos de pavimentos e paredes a utilizações industriais, e a investigação recente é centrada no desenvolvimento de novos materiais à base de cortiça e na exploração de resíduos da indústria da cortiça [44]. Estes compósitos inovadores oferecem vantagens potenciais em termos de desempenho, sustentabilidade e relação custo-eficácia.

Por fim, realizar estes estudos em Portugal se mostra ainda mais interessante quando identificamos a abundância de cortiça nesta região, como visto na Figura 2, tornando ainda mais aplicável a produção dessas placas para o mercado europeu e mundial.



*Figura 2: Produção de cortiça da região mediterrânea até o centro-sul europeu [45].*

## 2.5 FORMALDEÍDO E SUA REGULAMENTAÇÃO

As emissões de formaldeído dos painéis à base de madeira têm sido uma preocupação significativa para o setor devido aos possíveis riscos à saúde [47]. Regulamentações e padrões foram estabelecidos em vários países para limitar as emissões de formaldeído, com exemplos notáveis, incluindo os regulamentos CARB na Califórnia e os padrões na Europa, nos EUA e no Japão [47], [48]. Essas regulamentações especificam limites de emissão, métodos de teste e requisitos de certificação para diferentes produtos à base de madeira [49]. O setor de painéis à base de madeira respondeu desenvolvendo produtos de baixa emissão para atender a esses

requisitos rigorosos [50]. Como as regulamentações continuam a evoluir, há uma necessidade contínua de os fabricantes adaptarem e melhorarem seus produtos para atender aos padrões de emissão de formaldeído [47], [49].

Para produtos que liberam formaldeído no ar, como móveis, painéis de madeira e revestimentos, a Europa possui normas de emissão que limitam a quantidade de formaldeído que pode ser liberada. As emissões de formaldeído são regulamentadas, principalmente, para materiais à base de madeira, e esses limites variam de acordo com o país e o uso do material.

Os materiais de madeira, como aglomerado, MDF e compensado, devem atender a normas de emissão de formaldeído, como a EN 13986, que trata de produtos de madeira para construção. A liberação de formaldeído é medida em partes por milhão (ppm) ou miligramas por metro cúbico ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) de ar, e os limites estabelecidos são baixos para reduzir a exposição.

Alguns dos principais limites de emissões de formaldeído incluem:

- Classe E1: Produtos de madeira com uma emissão de formaldeído de até 0,1 ppm. Esta é a classe mais comum e aceita em muitos países da UE.
- Classe E2: Produtos com uma emissão de formaldeído entre 0,1 e 0,3 ppm. Esses produtos são menos comuns devido às restrições mais rígidas para a classe E2.

## 2.6 VERIFICAÇÕES EXPERIMENTAIS

### 2.6.1 Reação ao fogo

As falhas em estruturas de madeira são atribuídas principalmente a erros humanos, e não a defeitos de material. As principais causas incluem projeto de resistência ineficiente (41%), princípios de montagem inadequados (14%), alterações no local (13%) e consideração insuficiente de ações ambientais (11%) [51].

Outro fator que muitas vezes é atribuído para falhas estruturais em residências é o fogo e a maneira como os materiais que constituem as casas reagem a ele. O fogo afeta significativamente as estruturas de madeira, acelerando as taxas de carbonização e aumentando as profundidades de carbonização, o que agrava a degradação térmica [52].

O sistema de classificação europeu para o desempenho de reação ao fogo de painéis à base de madeira é baseado no sistema Euroclass, que inclui dois subsistemas: um para produtos de construção e outro para pisos [54].

A taxa de liberação de calor, do inglês *Heat release rate* (HRR), é considerada o fator mais crítico para determinar os riscos de incêndio e prever o comportamento do fogo [54]. Ela é definida como o produto do calor de combustão e da taxa de perda de massa do combustível [55]. As medições de HRR são essenciais para compreender o comportamento de chamas instáveis e as interações termoacústicas [56]. Compreender a HRR é fundamental para avaliar o risco relativo de incêndio dos combustíveis, avaliar o potencial de fuga humana e otimizar os dispositivos de detecção de incêndio [55]. Notavelmente, a HRR é um indicador mais significativo do risco de incêndio do que a toxicidade relativa dos gases de combustão ou os tempos de atraso de ignição [54]. A HRR de um material pode ser determinada por testes realizados em um calorímetro de cone [57].

#### *2.6.1.1 Calorímetro de cone*

O calorímetro de cone é um instrumento em escala de bancada usado para medir a taxa de liberação de calor (HRR) em testes de incêndio. Ele analisa os gases de combustão, mede a produção de fumaça e calcula a HRR com base na concentração de oxigênio [58]. Desenvolvido por [59], ele utiliza o princípio do consumo de oxigênio, que afirma que aproximadamente 13,1 MJ de energia são gerados por kg de oxigênio consumido durante a combustão. O aparelho consiste em um aquecedor radiante com controle de temperatura que pode impor uma irradiação externa de até 100 kW/m<sup>2</sup> aos corpos de prova. O calorímetro de cone foi adotado pela norma ISO 5660-1 e é amplamente utilizado para várias aplicações, incluindo medições de ignitabilidade [60].

Ainda segundo a norma citada, os tamanhos de amostra padrão são normalmente 100x100mm [61]; estudos examinaram várias espessuras, normalmente variando de 10 a 40 mm [62], [63] e uma superfície exposta essencialmente plana [64].

Estes valores se mostram condizentes com a realidade de uma simulação de reação ao fogo em vários estágios como visto na utilização de 50 e 75 kW/m<sup>2</sup> nas mesmas condições em calorímetro de cone deste trabalho realizadas por Moia [65]. Além disso, a ETAG:028 juntamente com a EN16755:2017 estabelece que o fluxo de calor utilizado para a avaliação de desempenho da reação ao fogo de produtos de construção, excluindo pavimentos, deve ser de 50 [kW/m<sup>2</sup>] [66]. Ambos estudos foram realizados no Instituto Politécnico de Bragança e utilizaram os mesmos instrumentos e procedimentos.

## **2.6.2 Resistência Mecânica**

Considerando que o intuito das placas fabricadas é ser uma boa alternativa para a construção civil, a resistência com que o material consegue suportar de rajadas de vento, chuvas e retardar o máximo possível o colapso perante um incêndio deve ser analisada.

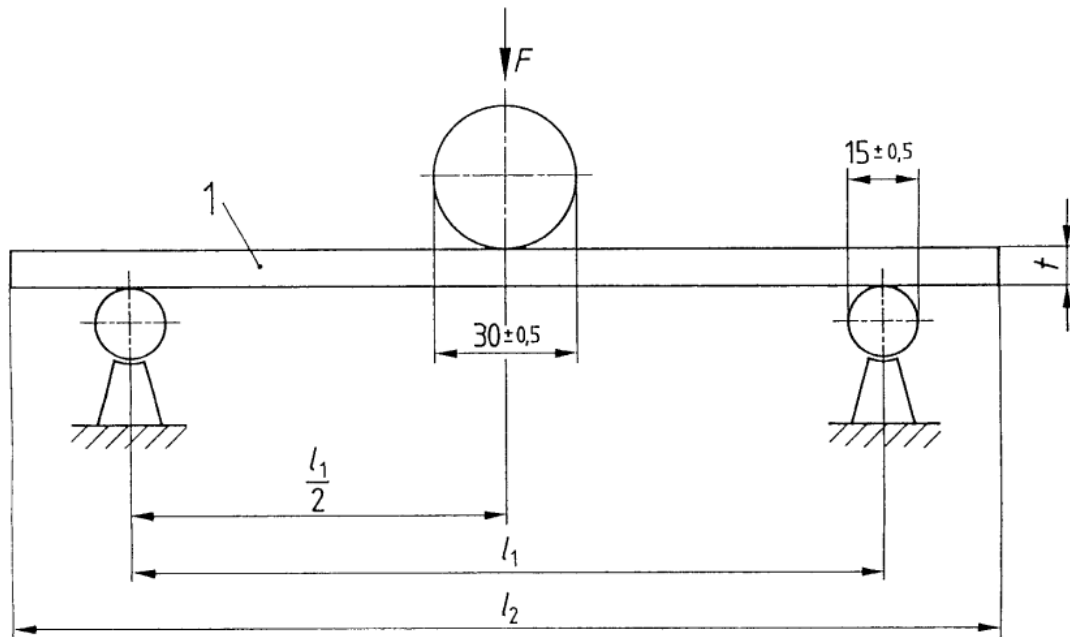
A análise da resistência mecânica dos painéis de madeira é fundamental para o desenvolvimento de materiais de construção inovadores e sustentáveis [67]. A análise experimental das propriedades da madeira sob várias tensões é essencial para o projeto de elementos de construção em madeira [68].

Para produtos de madeira projetados, os testes de flexão de três pontos podem determinar o módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade (MOE), revelando diferenças entre painéis retardantes de fogo e não tratados [69].

### *2.6.2.1 Teste de flexão em 3 pontos*

O teste de flexão de três pontos é um método amplamente utilizado para avaliar as propriedades mecânicas dos materiais, especialmente em aplicações farmacêuticas e de engenharia. Ele envolve a aplicação de uma carga no centro de um corpo de prova apoiado em dois pontos [70].

A configuração do teste, bem como seu preparo e execução estão disponibilizados nas normas “ISO 16978:2003(E)” [71] e “BS EN 310:1993” [72]. Abaixo segue uma figura retirada destas normas que ilustra o modelo e as dimensões do teste e um modelo CAD representando a placa no teste.



- 1 = test piece
  - $F$  = load
  - $t$  = thickness of the test piece
  - $l_1 = 20 t$
  - $l_2 = l_1 + 50$
- Dimensions in millimetres.

Figura 3: Modelo esquemático do teste de flexão em 3 pontos [71], [72].

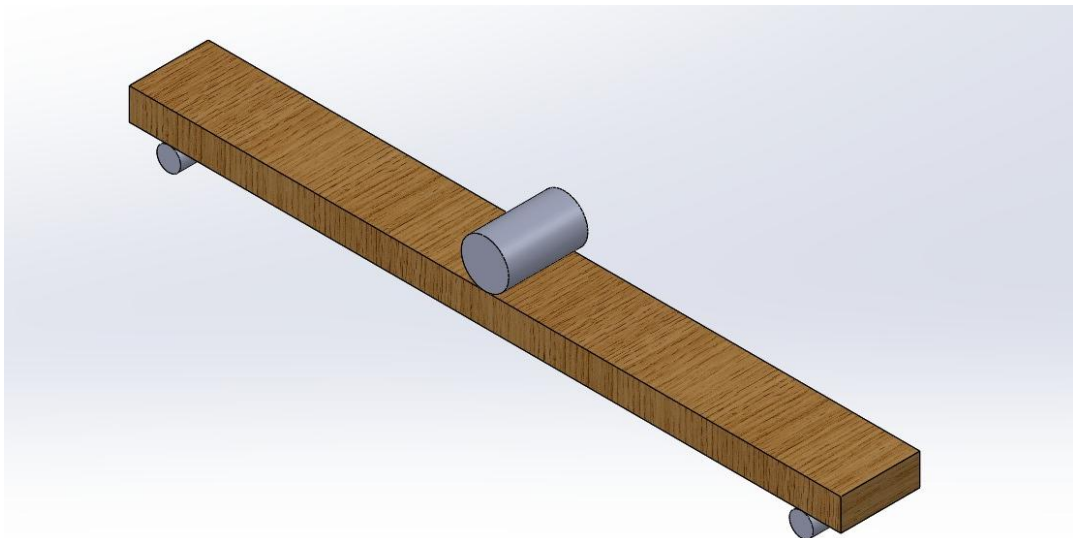


Figura 4: Modelo 3D do ensaio.

### 2.6.3 Condutividade Térmica

O estudo da condutividade térmica dos painéis de madeira é crucial para prever a transferência de calor e avaliar as propriedades de isolamento em materiais de construção [73].

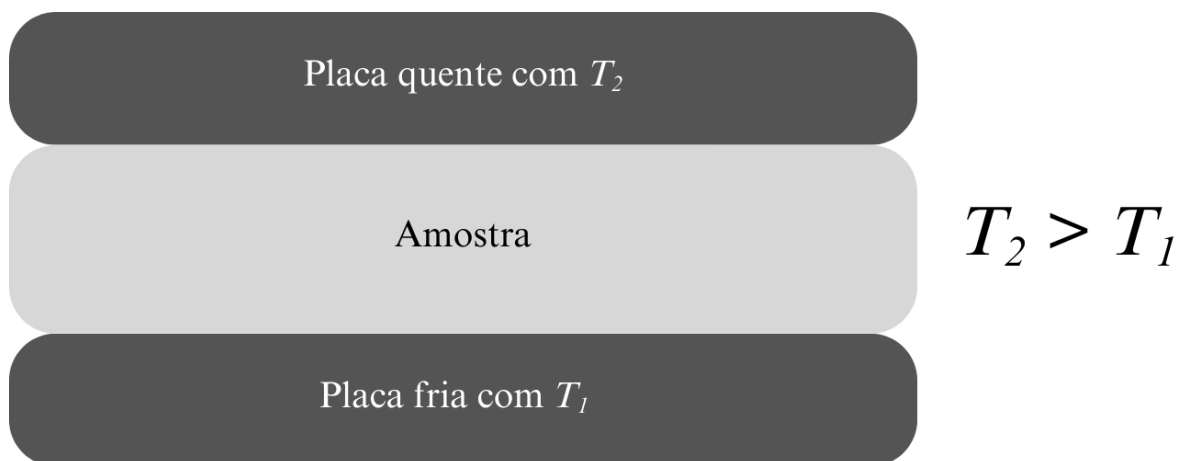
Pesquisas mostram que a condutividade térmica varia com base em fatores como espécies de madeira, direção da fibra, densidade, teor de umidade e processos de fabricação [74], [75]. Compreender esses fatores é essencial para desenvolver modelos precisos de transferência de calor e projetar materiais de isolamento eficientes para várias aplicações.

### 2.6.3.1 *Guarded Hot Plate*

O *Guarded Hot Plate* (GHP) é um padrão primário para medir a condutividade térmica de materiais isolantes [76]. Ele consiste em placas quentes e frias, com a placa quente impressada entre dois corpos de prova idênticos [77]. O aparelho pode ser projetado para aplicações de alta temperatura, com placas que podem ser inclinadas e configuradas para várias direções de aquecimento [78]. As medições de GHP se baseiam na Lei de Fourier de condução de calor e podem atingir precisões entre 0,5% e 1% [76], [77].

O método do ensaio e a geometria das amostras seguem as normas “ISO 8302:1991(E)” [79] e “BS EN 12667:2001” [80].

Abaixo segue a Figura 5 que demonstra de maneira simples a maneira como a amostra fica disposta com relação às placas da máquina.



*Figura 5: Modelo esquemático do teste GHP [81].*

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 DESENVOLVIMENTO DAS AMOSTRAS

Para realização do estudo, foi desenvolvido um fluxograma que demonstra a ideia inicial da quantidade de placas que deve ser fabricada e qual a ideia central por trás da comparação que será feita entre as placas, como as diferentes densidades e espessuras. Esse diagrama se encontra abaixo na Figura 6.

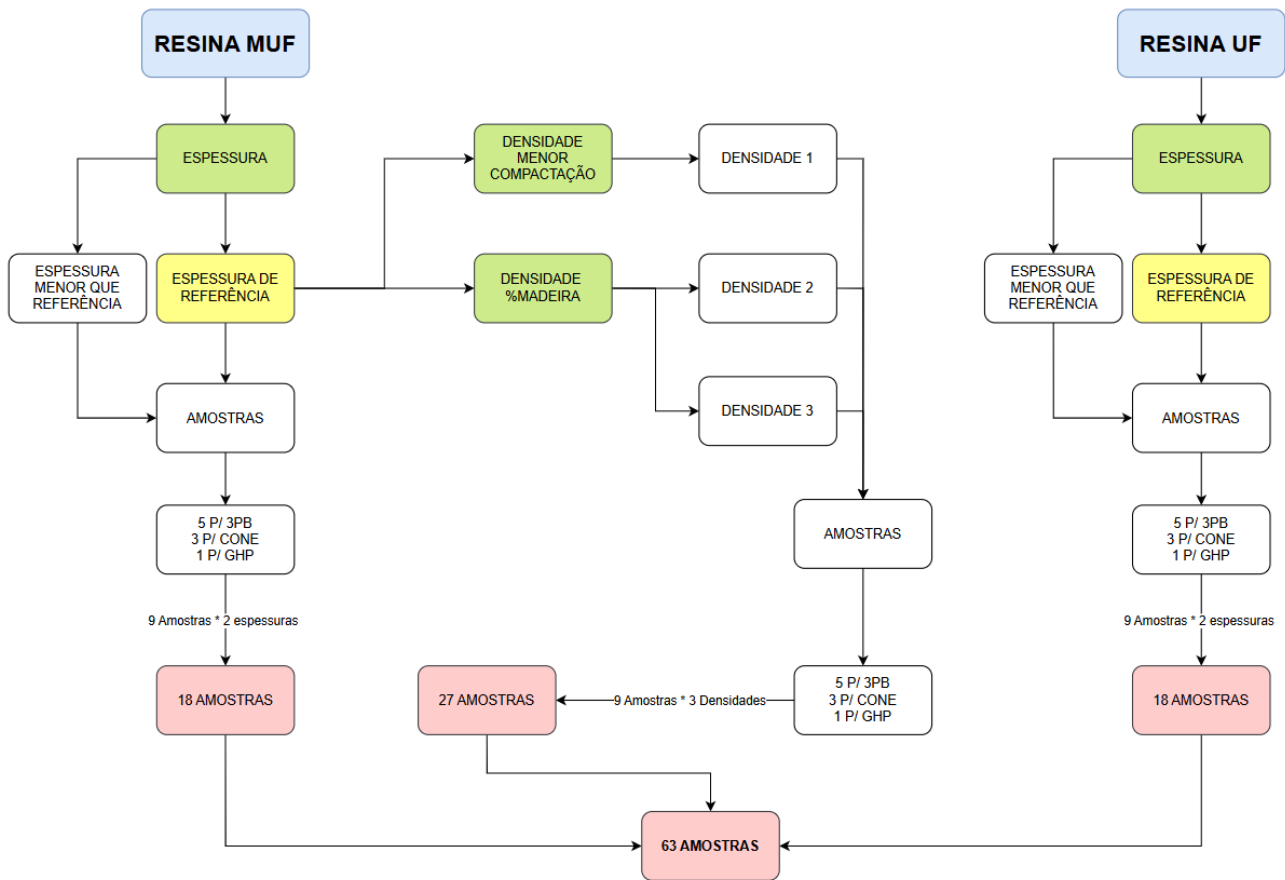


Figura 6: Planejamento dos tipos de placas do estudo.

Neste fluxograma é possível observar as amostras pretendidas pensando nas análises sobre os efeitos do tipo de resina, espessura (compactação) e composição das placas na resistência mecânica, condutividade térmica e reação ao fogo. Para isso, foram então fabricadas 7 composições diferentes de placas a fim de se realizar essas análises.

*Tabela 1: Especificações dos aglomerados.*

<b>Composição</b>	<b>Resina</b>	<b>Espessura (mm)</b>	<b>Densidade (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Característica</b>	<b>Percentuais</b>
1	MUF	25	250	Modelo base	60% cortiça / 30% madeira / 10% resina + água
2	MUF	20	250	Modelo base	60% cortiça / 30% madeira / 10% resina + água
3	MUF	25	200	Compactação menor	60% cortiça / 30% madeira / 10% resina + água
4	MUF	25	250	% de madeira	40% cortiça / 50% madeira / 10% resina + água
5	MUF	20	250	% de madeira	40% cortiça / 50% madeira / 10% resina + água
6	UF	25	250	Modelo base	60% cortiça / 30% madeira / 10% resina + água
7	UF	20	250	Modelo base	60% cortiça / 30% madeira / 10% resina + água

### 3.2 NOMENCLATURA DAS AMOSTRAS

Com as características definidas, foi desenvolvido um critério de nomenclatura sobre as amostras para diferenciar com maior facilidade as mesmas nas análises e nos resultados. O primeiro campo do nome se refere a resina utilizada, enquanto a segunda seção corresponde à espessura da amostra. Por fim, o último campo ficou com a descrição da característica comparativa descrita na Tabela 1 junto do número da amostra relativo ao ensaio que será realizado. Utilizando a placa 1 da mesma tabela como exemplo temos que seu nome é MUF\_25mm\_base\_A1\_F (no caso para a amostra 1 que será utilizada no ensaio de flexão em 3 pontos, MUF\_25mm\_C (para ensaio em calorímetro de cone) e MUF\_25mm\_GHP (para ensaio de condutividade térmica).

Caso a referência seja apenas à composição, sem especificar a finalidade, retiramos os campos a partir do número de amostra e temos MUF\_25mm\_base por exemplo.

### 3.3 PAINÉIS DE MADEIRA E CORTIÇA

Os materiais utilizados na mistura de cada composição foram disponibilizados pelo LERM (Laboratório de Estruturas e Resistência dos Materiais) do IPB (Instituto Politécnico de Bragança).

As aparas de madeira são típicas das utilizadas para serragem de animais, fornecidas pelo IPB. As proporções de madeira foram de 30 e 50% da composição total, sendo 30% das composições 1, 2, 3, 6 e 7 da Tabela 1 e 50% das composições 4 e 5.

As cortiças foram fornecidas pela Granorte em duas diferentes granulometrias diferentes, sendo elas de 0,2 – 0,5 mm e 3 – 6 mm. A proporção de tamanhos de partículas de cortiça usada foi: 6% de grãos pequenos e 94% de grãos grandes. Os grãos pequenos foram colocados apenas para envolver os maiores e melhorar a adesão entre eles [65]. A proporção das cortiças totalizou 60% da mistura completa nas placas com 30% de aparas de madeira e 40% da mistura nas placas que possuíam 50% de aparas de madeira.

As resinas MUF (Melanina-Ureia-Formaldeído) e UF (Ureia-Formaldeído) foram fornecidas pela Unatudo – Soluções Técnica para Colagens. As resinas MUF geralmente apresentam maior resistência de união e menor emissão de formaldeído em comparação com as resinas UF [82]. No entanto, as resinas MUF curadas têm menor estabilidade hidrolítica do que as resinas UF curadas, o que é atribuído à sua maior estrutura ramificada [83]. Normalmente, a fração de peso da resina é de cerca de 10% em aglomerados à base de cortiça. Isso corresponde a uma fração de volume de cerca de 2% [84]. Então essa foi a proporção de resina utilizada em todas as placas, ressaltando que esse valor é referente ao somatório de resina com a água utilizada para solubilizar as resinas que são em pó, na proporção 1:1 entre elas. O uso de uma proporção de 1:1 em resinas de melamina-ureia-formaldeído (MUF) e ureia-formaldeído (UF) com água é influenciado por vários fatores que afetam as propriedades e o desempenho da resina. A proporção molar de formaldeído para ureia/melamina desempenha um papel crucial na determinação das características da resina e na qualidade dos compostos à base de madeira [85].

#### 3.3.1 Determinação dos parâmetros de fabricação

Tendo conhecimento das características desejadas para as placas e seus materiais, foram então determinados os parâmetros de prensagem e quantidades mássicas de cada componente.

Para isso, um código em MATLAB [65] foi utilizado para determinar esses dados. No caso, a mistura realizada pela autora do código consistia apenas em um aglomerado de cortiça de granulometrias similares e resinas *Methylene Diphenyl Diisocyanate* (MDI) e *Toluene Diisocyanate* (TDI), então por conta disso alguns ajustes tiveram de ser realizados para atingir resultados mais coerentes. A partir disso, algumas placas de teste foram fabricadas para entender melhor a diferença das resinas e a adição das aparas de madeira na composição das placas e, com isso, foi possível encontrar uma receita base que se mostrou precisa para este estudo apenas realizando os percentuais citados nos dados de massa gerados pelo código para as densidades e espessuras desejadas.

### **3.3.2 Fabricação das amostras**

#### *3.3.2.1 Pesagem, mistura e motagem dos componentes*

O primeiro passo para a fabricação das placas após todos os parâmetros de prensagem e receitas terem sido determinados é a pesagem dos componentes que o constituirão, ou seja, pesar as cortiças, as aparas de madeira, as resinas e a água. A balança, os baldes, os recipientes e os materiais utilizados foram disponibilizados pelo LERM no IPB. As figuras 7, 8, 9 e 10 a seguir mostram como essa etapa foi realizada.



*Figura 7: Pesagem das aparas de madeira.*



*Figura 8: Pesagem da cortiça de maior granulometria.*



*Figura 9: Pesagem da cortiça de menor granulometria.*



*Figura 10: Pesagem das resinas e da água.*

Após as pesagens, o processo de mistura seguiu os seguintes passos:

1. Misturar as aparas com as cortiças previamente à adição de resina. Feito à mão apenas para tornar a mistura mais homogênea.
2. Colocar folhas de papel vegetal com desmoldante no molde para facilitar a retirada da placa após sua fabricação e resfriamento e impedir a cura da resina nas paredes do molde.
3. Realizar a mistura da resina com a água. Processada com o auxílio de um acoplamento pequeno em formato de cruz acoplado na parafusadeira.
4. Misturar o composto da resina solubilizada ao amontoado das aparas e das cortiças. Tarefa realizada similar à etapa anterior, com auxílio de um acoplamento dessa vez maior também acoplado na parafusadeira.
5. Colocar e ajeitar a mistura completa no molde.
6. “Embrulhar” a mistura com mais folhas do papel vegetal.
7. Por fim, colocar a tampa.

As figuras 11, 12, 13, 14 e 15 ilustram o passo a passo do procedimento.



*Figura 11: Passos 2 e 3 – Preparar o molde com as folhas e misturar a resina com a água respectivamente.*



*Figura 12: Passo 4 – Despejar a resina e misturar todos os componentes.*



*Figura 13: Passo 5 – Colocar e ajeitar a mistura no molde.*



*Figura 14: Passo 6 - Embrulhar o material.*



*Figura 15: Passo 7 - Tampar o molde.*

### *3.3.2.2 Formagem e cura do painel*

Após ter realizado todos os passos de pesagem, mistura e preparação no molde, a etapa atual consiste em alojar o conjunto no interior da prensa termohidráulica, aplicar os parâmetros de prensagem e aguardar o tempo determinado para que o aglomerado se una à resina e forme a placa final que utilizaremos nas etapas de testes e análises posteriores após o corte das amostras.

Para isso, o tempo do processo foi de 90 minutos; as temperaturas das placas superior e inferior da prensa termohidráulica foram de 130°C e força de prensagem constante com valores entre 30 e 40 kN dependendo da espessura desejada.

Para isso, as seguintes Figuras 16 e 17 demonstram essa atividade.



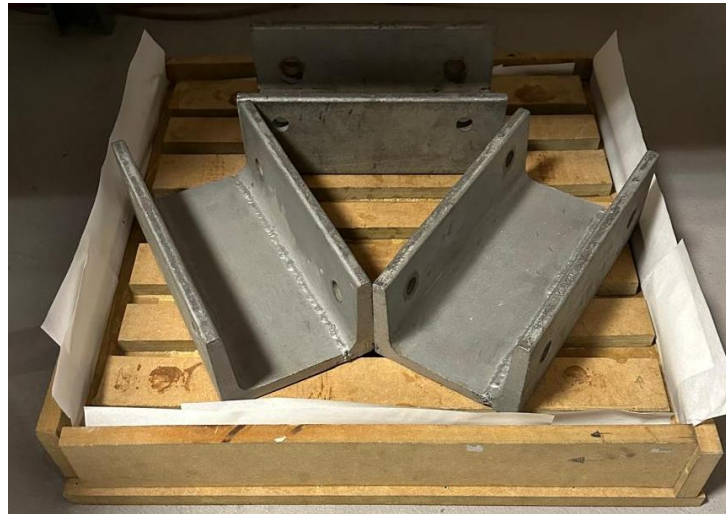
*Figura 16: Molde inserido no interior da prensa termohidráulica.*



*Figura 17: Máquina em funcionamento.*

### *3.3.2.3 Retirada e resfriamento*

Passados os 90 minutos necessários para execução da formagem das placas, o molde é então retirado com utilização de luvas que protegem do calor, colocado no chão e 3 pesos são postos sobre a tampa para manter uma certa pressão enquanto o conjunto todo resfria, como podemos ver na Figura 18.



*Figura 18: Conjunto molde e placa resfriando.*

#### *3.3.2.4 Corte das amostras*

Após o resfriamento do conjunto, é possível retirar a placa do molde.

É válido notar que mesmo com a utilização do desmoldante alguns pedaços da folha de papel vegetal ainda ficam grudadas na placa então, com o auxílio de um estilete ou chave de fendas fina, retiramos o excesso dessas folhas para manter a superfície da placa o mais “limpa” possível.



*Figura 19: Placa pronta.*

Enfim, o último passo antes dos ensaios consiste em cortar a placa nas medidas necessárias para execução dos testes no calorímetro de cone, flexão em 3 pontos e condutividade térmica pelo *Guarded Hot Plate* (GHP).

As amostras foram cortadas seguindo as normas já citadas e as Figuras 20, 21 e 22 representam um exemplo das placas resultantes deste corte para uma das placas analisadas. O número 1 é a referência da placa que foi citada na Tabela 1. Além disso, é importante destacar que no caso das amostras para teste de flexão em 3 pontos do exemplo da Figura 22 foram indicados com “\_N”, como “N” sendo um número crescente de 1 a 5 como 1 sendo a amostra mais próxima da borda e 5 a amostra mais próxima do centro da placa.



*Figura 20: Amostras para o ensaio no calorímetro de cone.*



*Figura 21: Amostra para o ensaio de condutividade térmica GHP.*



*Figura 22: Amostras para o ensaio de flexão em 3 pontos.*

#### 3.4 TESTE DO CALORÍMETRO DE CONE

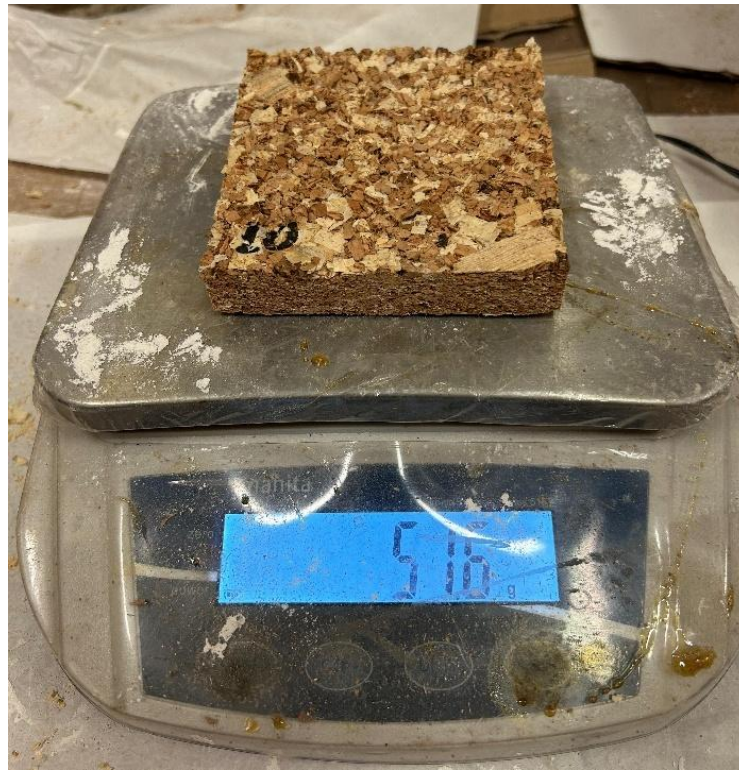
Para este teste, o equipamento do calorímetro de cone utilizado foi disponibilizado pelo IPB, no Laboratório de Estruturas e Resistência dos Materiais (LERM). A Figura 23 a seguir ilustra o equipamento contendo os termopares (1), chaminé (2), indutor elétrico em formato de cone (3), suporte da amostra (4), balança (5) e ignitor (6).



*Figura 23: Calorímetro de cone.*

### **3.4.1 Preparação das amostras**

Tendo as amostras prontas para todas as referências, o primeiro passo é prepará-las no molde para o ensaio. Para isso, considerando que o molde está vazio e pronto para uma nova amostra, devemos pesar a amostra (este dado será inserido no software antes do início do teste), envolver esta amostra com papel alumínio e posicioná-la no interior do molde de maneira que a superfície da amostra esteja o mais exposta possível ajustando o revestimento de papel alumínio para isso. Isso é realizado para que todo o calor gerado pelo calorímetro de cone seja transmitido somente para a superfície da amostra e o mínimo possível para o revestimento de alumínio que, por sua vez, ainda auxilia a medição da variação de massa na medida em que previne que as cinzas geradas pela queima da amostra escapem do molde. As Figuras 24 e 25 demonstram este processo.



*Figura 24: Pesagem da amostra antes do ensaio.*



*Figura 25: Inserir a amostra no interior do molde.*

Importante destacar que uma fibra cerâmica é utilizada entre a amostra e o molde de modo que ao inserir a tampa não existam espaços livres entre a ela e a amostra, evitando qualquer entrada do fluxo de calor para o interior do molde. Após isso basta apertar os parafusos laterais da tampa para evitar qualquer movimento ou balanço durante o processo ou na inserção do conjunto no suporte do equipamento.

### **3.4.2 Preparação do equipamento**

Antes de realizar todos os ensaios, é necessário garantir que o calorímetro de cone esteja devidamente calibrado. Então seguindo a norma EN ISO 13927 [86] a calibração foi realizada e, a cada dia que novos ensaios seriam efetuados um *daily check* deveria ser feito para garantir que a calibração estava adequada para o fluxo de calor pretendido. Este procedimento está descrito no Anexo 1 – *Daily check* do calorímetro de cone.

### **3.4.3 Procedimento de Teste do Calorímetro de cone**

Seguindo a norma citada [86], os testes foram então realizados da seguinte maneira. Com o escudo de proteção do calorímetro de cone fechado, um molde contendo apenas a fibra cerâmica é colocado no suporte para que a balança seja tarada. Isso permitirá a leitura adequada da perda de massa que irá ocorrer com a queima da amostra. Após este ajuste da balança, o escudo pode ser aberto novamente e alguns segundos são necessários para que a temperatura estabilize novamente. Enquanto isso, uma placa de gesso é colocada sobre o molde para evitar que o fluxo de calor do calorímetro de cone afete a superfície da amostra antes do início do teste, como mostra a Figura 26.



*Figura 26: Molde com a placa de gesso.*

Enquanto a temperatura estiver estabilizando e sempre que o calorímetro de cone estiver ligado é essencial que uma placa de gesso esteja no suporte de amostras para evitar qualquer dano na balança proveniente do calor gerado pelo indutor do calorímetro de cone.

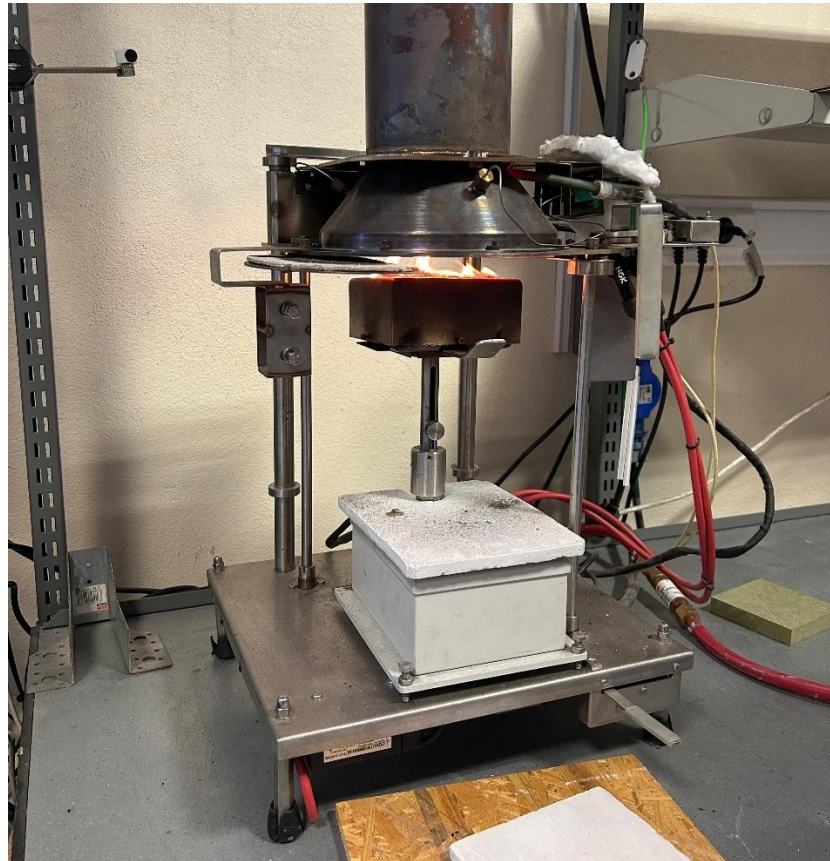
Após a nova estabilização da temperatura, um molde vazio é colocado no suporte para que a *baseline* seja obtida durante 60 segundos. A Figura 27 a seguir retrata esta etapa.



*Figura 27: Suporte de amostra vazio e posicionado para a coleta da baseline, respectivamente [65].*

Após coleta da *baseline*, podemos então retirar o molde vazio e posicionar o molde contendo a amostra com a placa de gesso da Figura 26 no suporte do equipamento e iniciar o teste no software da máquina. Agora o próximo passo é finalmente o início do teste. Para isso, o campo “*Start Test*” é selecionado na tela do computador simultaneamente à retirada da placa de gesso de cima do molde e, o mais rápido possível devemos mover o ignitor para a superfície do molde para que a chama seja gerada. No momento em que a chama se estabelece a tecla “I”

do teclado deve ser pressionada para que o software indique este momento em segundo(s). Após isso, quando a chama se extinguísse (ou a massa apresentada pela balança estivesse inferior a 1 grama, ou seja, apenas cinzas no molde) a tecla “F” era pressionada para que o software registrasse este valor. O fim do teste era então indicado com a estabilização da perda de massa, e então o campo “*Finish Test*” era pressionado. A Figura 28 a seguir demonstra a amostra em chamas sendo ensaiada.



*Figura 28: Teste do calorímetro de cone.*



*Figura 29: Amostra após o teste.*

Na análise da reação ao fogo, é comum realizar testes de fluxo constante de 35, 50 e 75 kW. Esses fluxos simulam os estágios de um incêndio. Um fluxo de 35 kW/m<sup>2</sup> simula o início da propagação do fogo, um fluxo de 50 kW/m<sup>2</sup> simula o início do *flashover* e um fluxo de 75 kW/m<sup>2</sup> simula um incêndio totalmente desenvolvido [57]. Como o intuito deste ensaio para este estudo é avaliar o desempenho da mistura de madeira e cortiça diretamente ao fogo, sem outras camadas de material antes e depois da proliferação da chama, o fluxo de 50 kW/m<sup>2</sup> foi selecionado para todas as amostras.

A norma citada [86] determina que pelo menos 3 amostras de cada tipo devem ser testadas para gerar resultados mais confiáveis. A Figura 20 exemplifica essas amostras para uma das placas estudadas.

### 3.5 TESTE DE FLEXÃO EM 3 PONTOS

O segundo teste realizado neste estudo e que nos demonstra a eficiência mecânica do material foi o teste de flexão em 3 pontos. Para este teste, a norma [71] determina 5 amostras para cada material estudado, como indicado na Figura 22.

A máquina de flexão e tração utilizada para realização destes ensaios se encontra no LERM, no IPB, no qual contém a os suportes superior (1) e infeiror (2) e a tela de comando (3), retratada na Figura 30 a seguir:



*Figura 30: Máquina de ensaio de tração e flexão.*

Para realização do teste, é necessário utilizar o suporte correto para o ensaio de flexão (o da imagem é relativo ao ensaio de tração) e após realizar o *setup*, basta posicionar a amostra com os apoios definidos pela norma [71] e definir a velocidade com que o suporte superior irá “descer” e dobrar a amostra. Considerando que para o gráfico gerado ilustrar o perfil elástico mais adequado possível, a distância do centro inferior da amostra até o ponto mais próximo possível de toque na região inferior do suporte e respeitando a norma citada, a velocidade definida para os ensaios foi de 40 mm/min. Essa velocidade fazia com que a faixa de ruptura das amostras estivesse dentro da faixa de 60 a 90 segundos, como sugere a norma citada para valores não obdistantes de 30 segundos há mais ou há menos destes 60 segundos. Além disso, uma pré-carga de 1 N era utilizada para garantir que o ensaio seria iniciado com um toque inicial mínimo do suporte superior que aplica a carga na amostra. As Figuras 31 e 32 mostram o *setup* inicial do conjunto equipamento e suportes e a amostra fraturada no final do ensaio respectivamente.



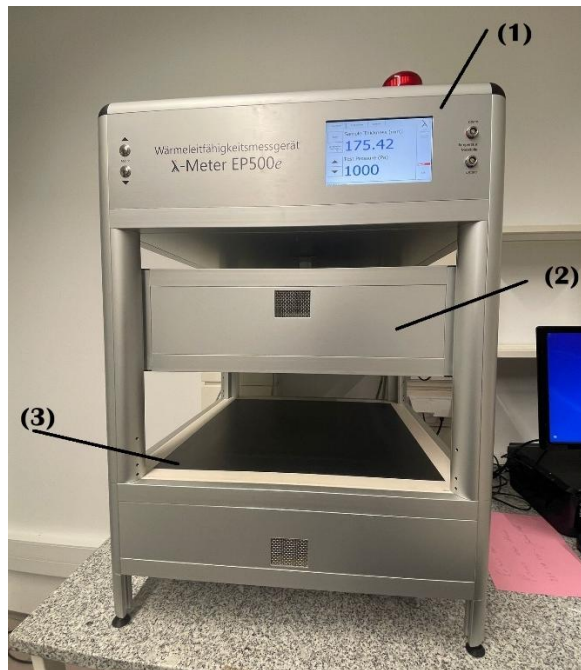
*Figura 31: Amostra posicionada no interior da máquina.*



*Figura 32: Fim do ensaio com a amostrada destruída.*

### 3.6 TESTE CONDUTIVIDADE TÉRMICA

O terceiro e último teste realizado foi o de condutividade térmica no *Guarded Hot Plate*. A máquina utilizada desta vez se encontra no Brigantia EcoPark, na cidade de Bragança e parceira do IPB. A Figura 33 a seguir ilustra a máquina utilizada contendo a tela de comando (1), a placa superior móvel (2) e a base (3).



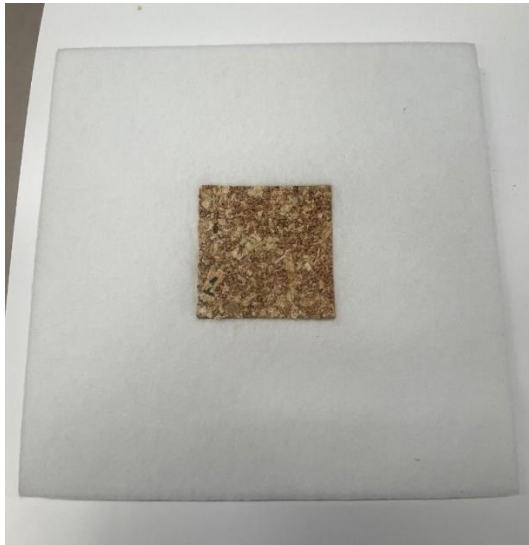
*Figura 33: Máquina para ensaio de condutividade térmica GHP.*

Para realização deste ensaio, seguindo a norma adotada [80], a variação de temperatura entre a placa superior e a base foi de 15°C e o tempo dos ensaios variou entre 6 e 8 horas para que houvesse a convergência dos dados a partir do equilíbrio entre as temperaturas superior e inferior da amostra. Além disso, a pressão aplicada para manter o sistema estático foi de 1000 Pa.

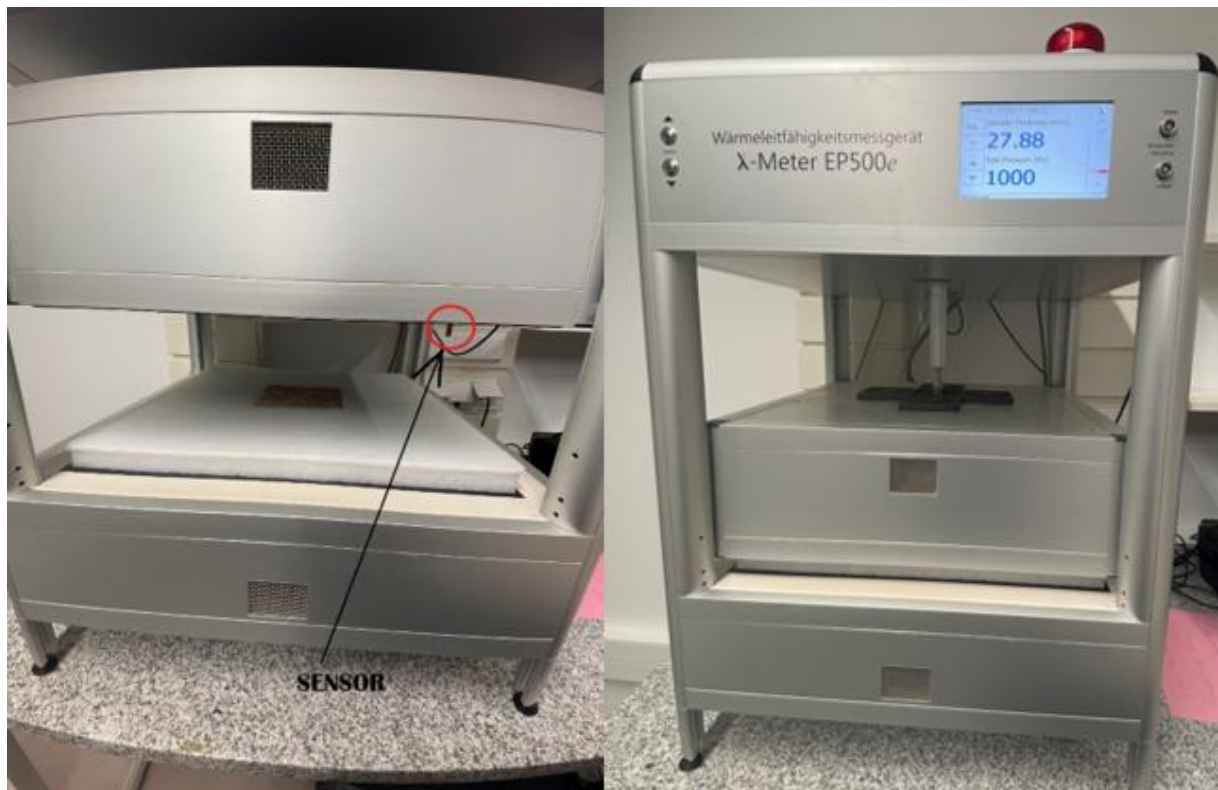
O procedimento realizado para este ensaio seguiu os seguintes passos:

1. Envolver a amostra com uma espécie de isopor (material isolante) para que a variação de temperatura ocorresse o mais unicamente possível no interior da amostra.
2. Posicionar a amostra com o isopor no interior do equipamento.
3. Fechar o equipamento, ou seja, descer a placa superior até que o sensor alojado na placa toque o isopor (processo automático pela máquina). Neste momento a tela mostra o valor da espessura medida em milímetros.
4. Com a máquina no seu estado “fechado”, iniciar o teste.

As Figuras 34 e 35 ilustram este processo.



*Figura 34: Amostra envolvida no material isolante.*



*Figura 35: Amostra posicionada no interior da máquina e máquina no estado fechado respectivamente.*

Diferente dos ensaios anteriores, este não é destrutivo, então após a finalização do teste, basta “subir” a placa superior e retirar o conjunto amostra e isolante. Por conta disso, esta amostra pode ser reutilizada para corte nas medidas do ensaio de calorímetro de cone se for do interesse do pesquisador.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 RESULTADOS CALORÍMETRO DE CONE

Tendo realizado os ensaios das amostras de todas as 7 placas, foi possível obter os dados de perda de massa, taxa de libertação de calor (HRR) e libertação total de calor (THR), todos em função do tempo até extinção da chama ou perda completa da massa utilizando um fluxo de  $50 \text{ kW/m}^2$ .

Analisando todos os resultados, as escalas foram definidas até 1400 segundos para os gráficos de perda de massa e 1500 segundos para os dados de HRR e THR para que seja mais intuitiva a interpretação dos dados comparados entre as placas.

As figuras 36, 37 e 38 abaixo mostram os gráficos da perda de massa percentual, HRR e THR ao longo do ensaio para as 3 amostras relativas à primeira placa MUF\_25mm\_base.

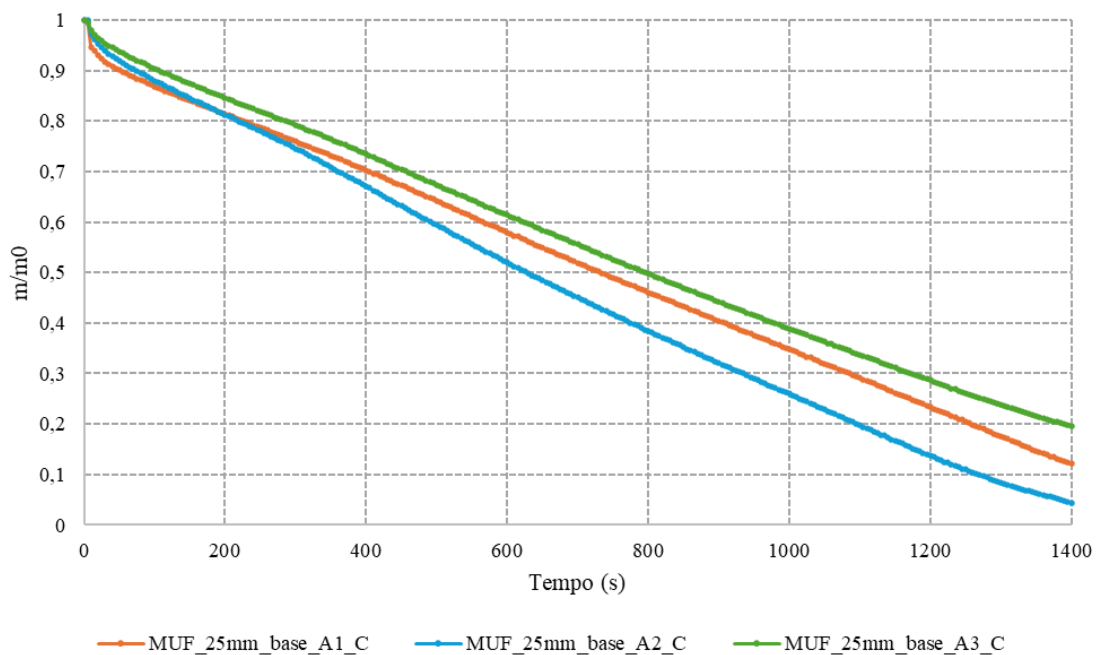


Figura 36: Gráfico de Perda de massa da placa 1 (MUF\_25mm\_base).

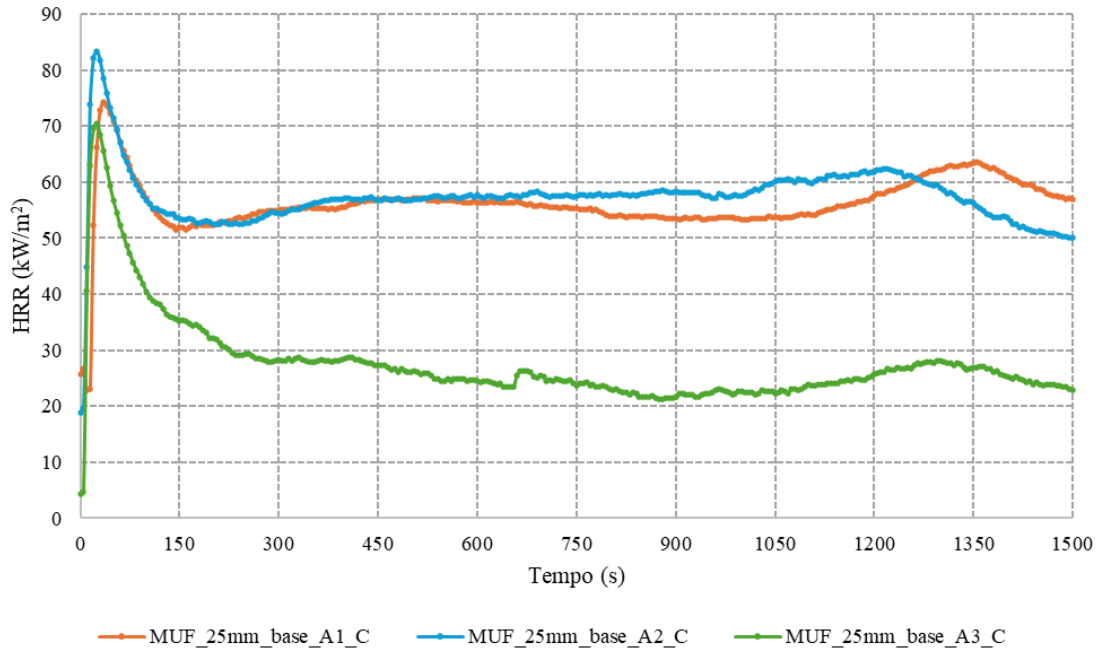


Figura 37: Gráfico de Taxa de liberação de calor da placa 1 (MUF\_25mm\_base).

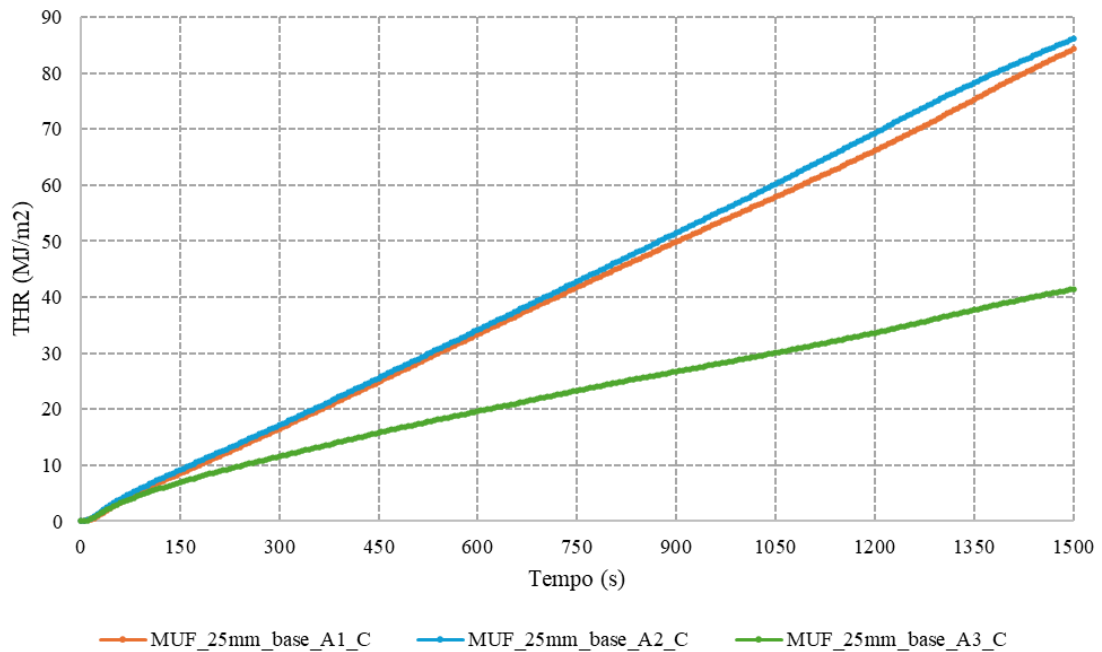


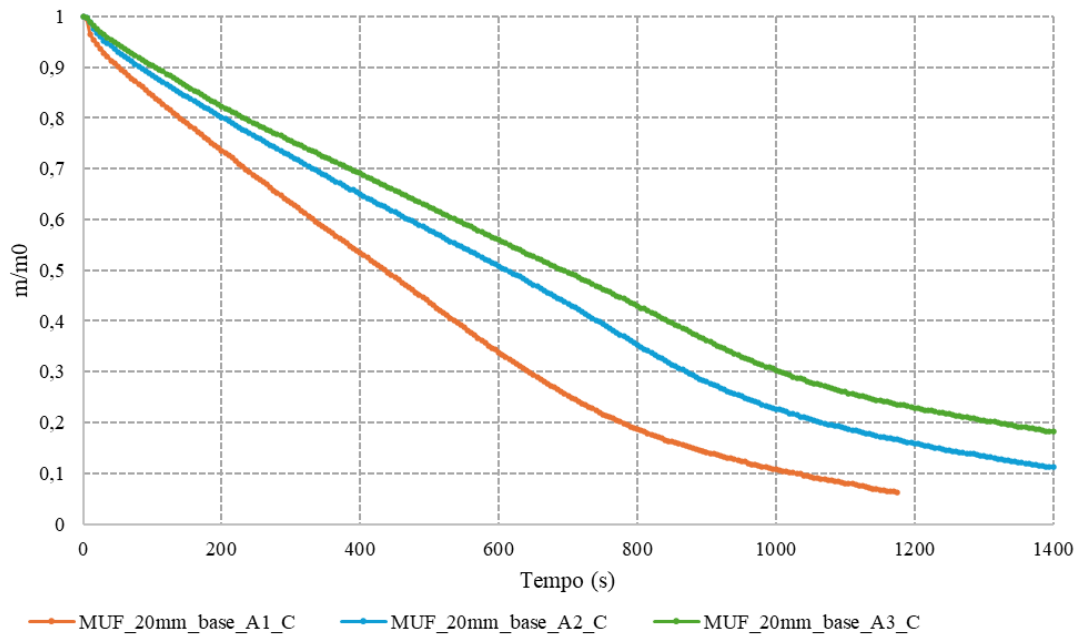
Figura 38: Gráfico de Calor total libertado da placa 1 (MUF\_25mm\_base).

Para a primeira placa deste estudo podemos perceber que mesmo após o tempo determinado a amostra mais central da placa ainda estava com 20% de sua massa, enquanto as estavam com 10% ou inferior a isso.

Com relação aos dados de HRR e THR podemos perceber que existe uma proporcionalidade deles com a perda de massa na medida em que a placa que resistiu melhor à queima apresentou resultados bastante inferiores nos valores destes fatores, com um pico de

aproximadamente  $70 \text{ kW/m}^2$  comparado aos picos de aproximadamente  $75 \text{ kW/m}^2$  e  $80 \text{ kW/m}^2$  na HRR e  $40 \text{ MJ/m}^2$  comparado aos mais de  $80 \text{ MJ/m}^2$  das outras amostras que perderam mais massa.

Para a segunda placa MUF\_20mm\_base, as figuras 39, 40 e 41 abaixo mostram os gráficos da perda de massa percentual, HRR e THR ao longo do ensaio para as 3 amostras.



*Figura 39: Gráfico de Perda de massa da placa 2 (MUF\_20mm\_base).*

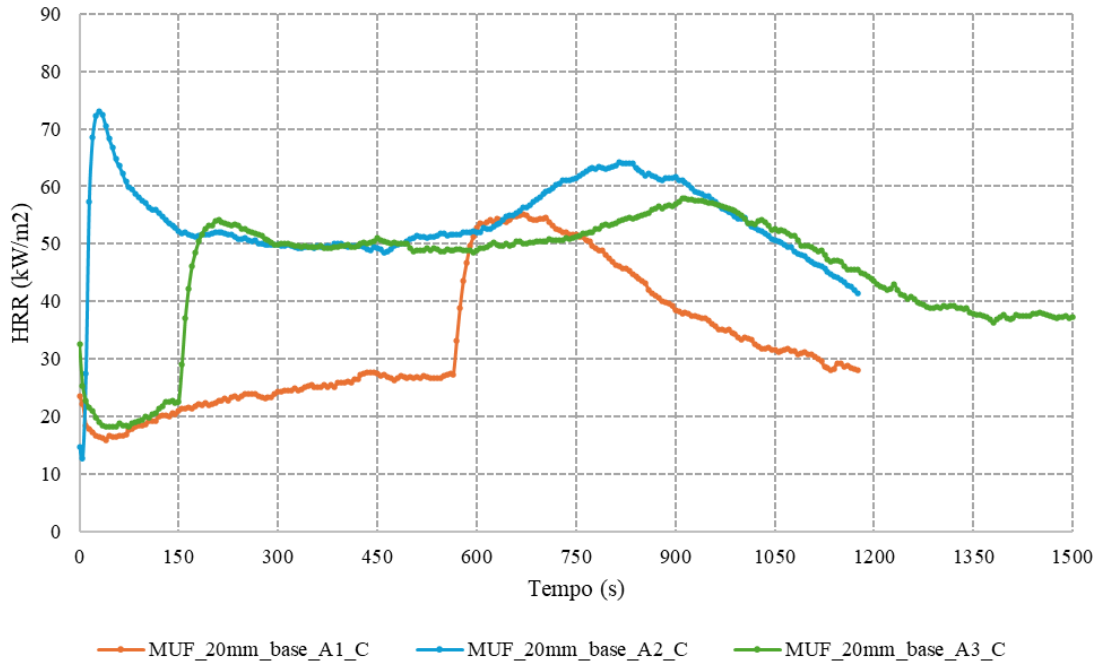


Figura 40: Gráfico de Taxa de liberação de calor da placa 2 (MUF\_20mm\_base).

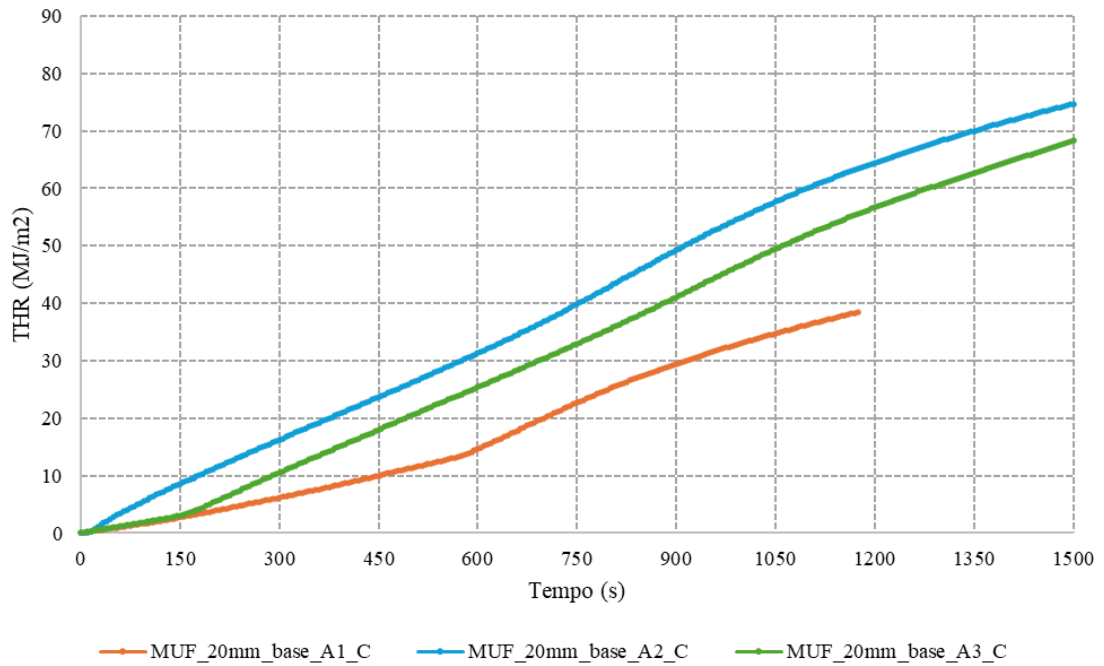


Figura 41: Gráfico de Calor total libertado da placa 2 (MUF\_20mm\_base).

Para o caso desta placa, podemos observar que a amostra mais central resistiu mais à perda de massa, mas não foi a que teve uma menor liberação total de calor e teve uma taxa de liberação de calor similar à outra amostra apesar da diferença de tempo entre os picos.

Para a terceira placa MUF\_25mm\_compactação\_menor, as figuras 42, 43 e 44 abaixo mostram os gráficos da perda de massa percentual, HRR e THR ao longo do ensaio para as 3 amostras.

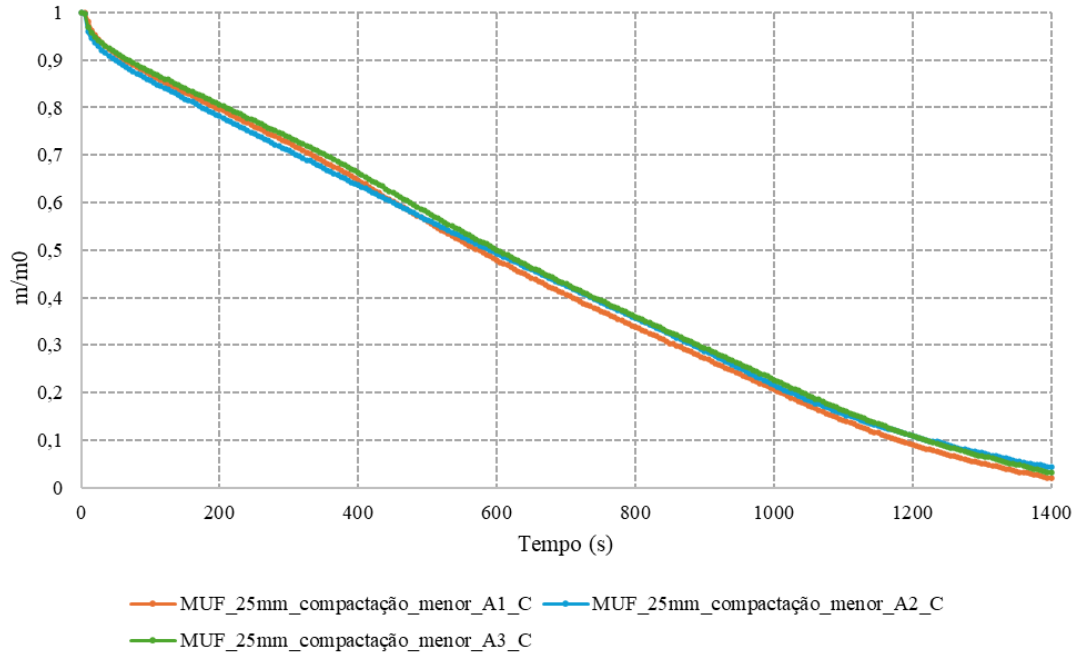


Figura 42: Gráfico de Perda de massa da placa 3 (MUF\_25mm\_compactação\_menor).

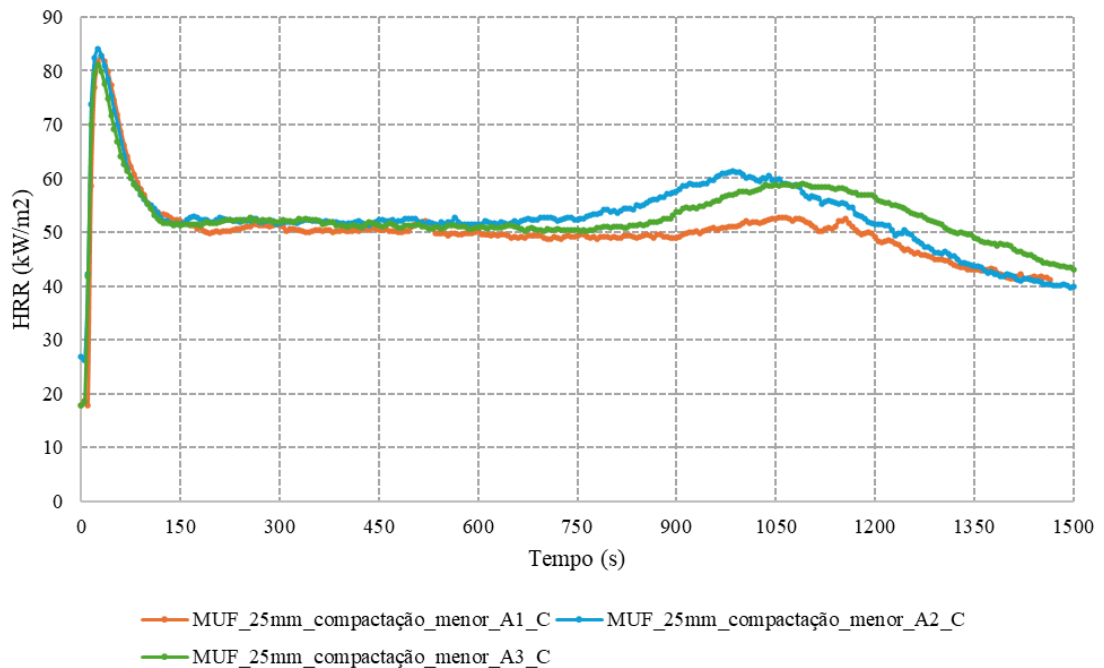


Figura 43: Gráfico de Taxa de liberação de calor da placa 3 (MUF\_25mm\_compactação\_menor).

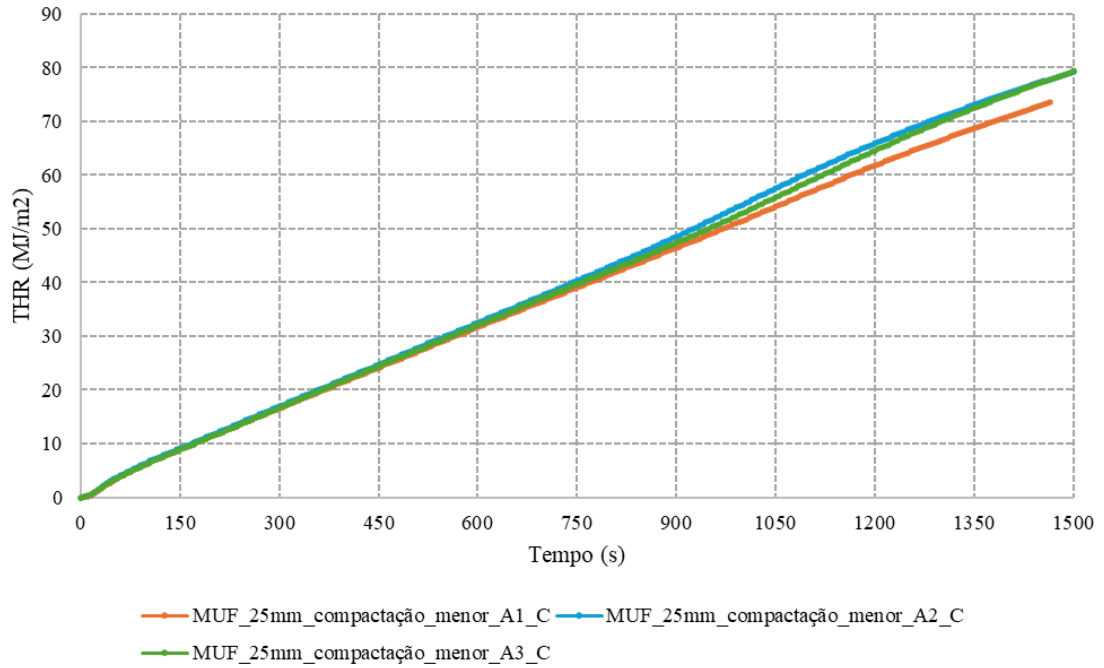


Figura 44: Gráfico de Calor total libertado da placa 3 (MUF\_25mm\_compactação\_menor).

Nestes testes para esta placa, é possível identificar que para este tipo de composição, apesar da massa ter sido praticamente toda perdida no tempo determinado, foi a placa que demonstrou maior homogeneidade entre as amostras em todos os gráficos, independente da região que a amostra foi retirada da placa.

Partindo para as placas com maior percentual de madeira, temos a primeira delas nomeada de MUF\_25mm\_%madeira. Para esta placa, as figuras 45, 46 e 47 abaixo mostram os gráficos da perda de massa percentual, HRR e THR ao longo do ensaio para as 3 amostras.

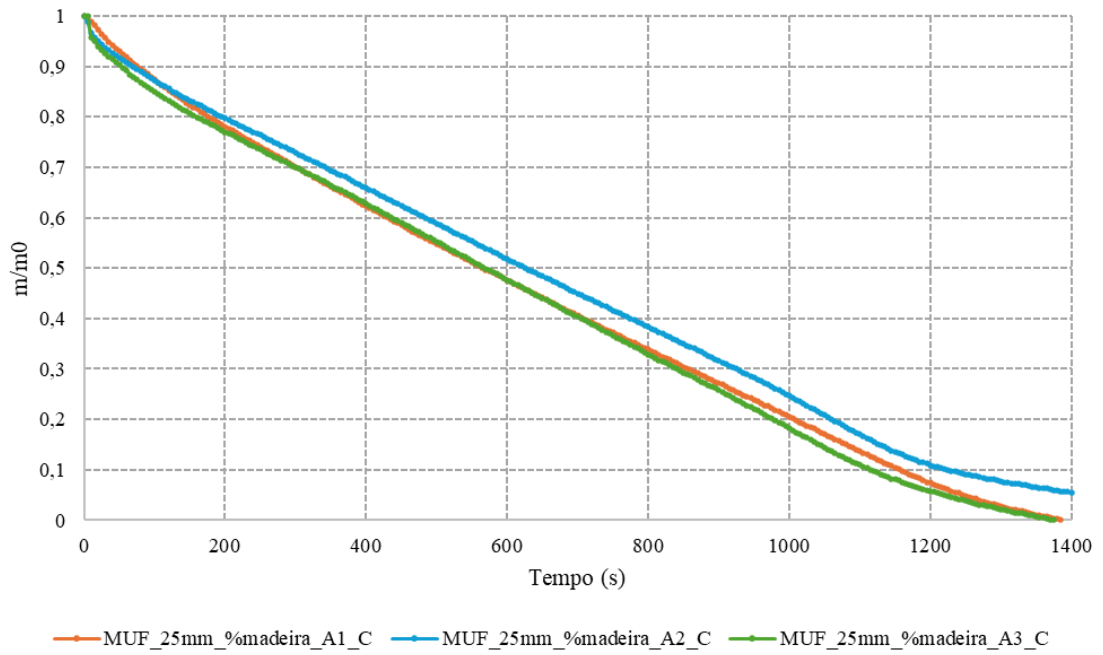


Figura 45: Gráfico de Perda de massa da placa 4 (MUF\_25mm\_%madeira).

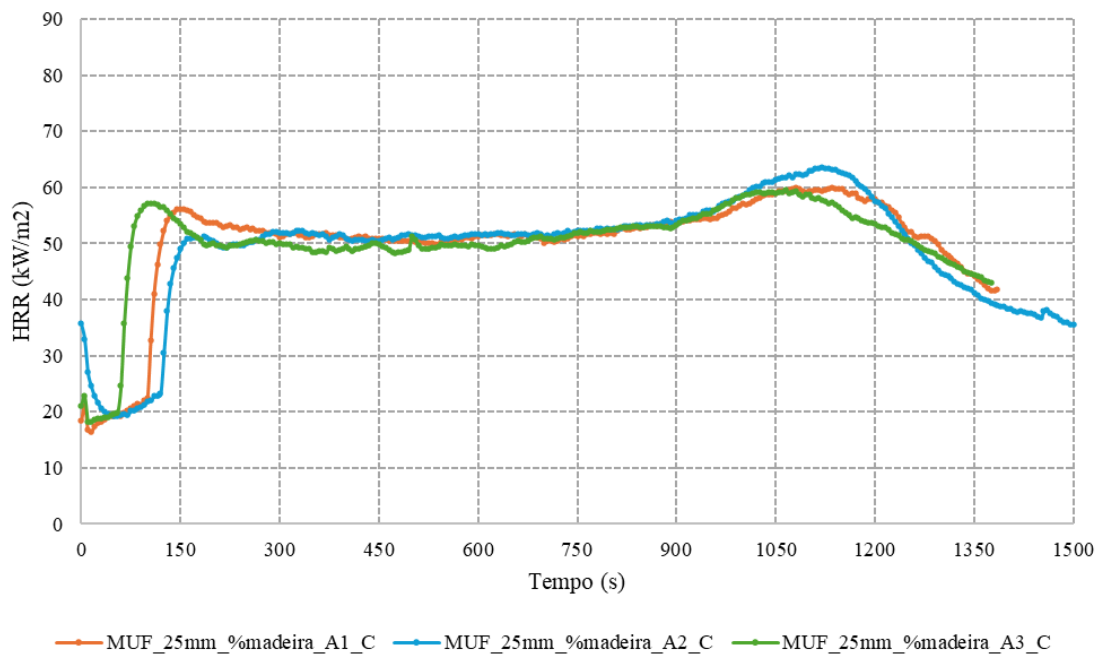


Figura 46: Gráfico de Taxa de libertação de calor da placa 4 (MUF\_25mm\_%madeira).

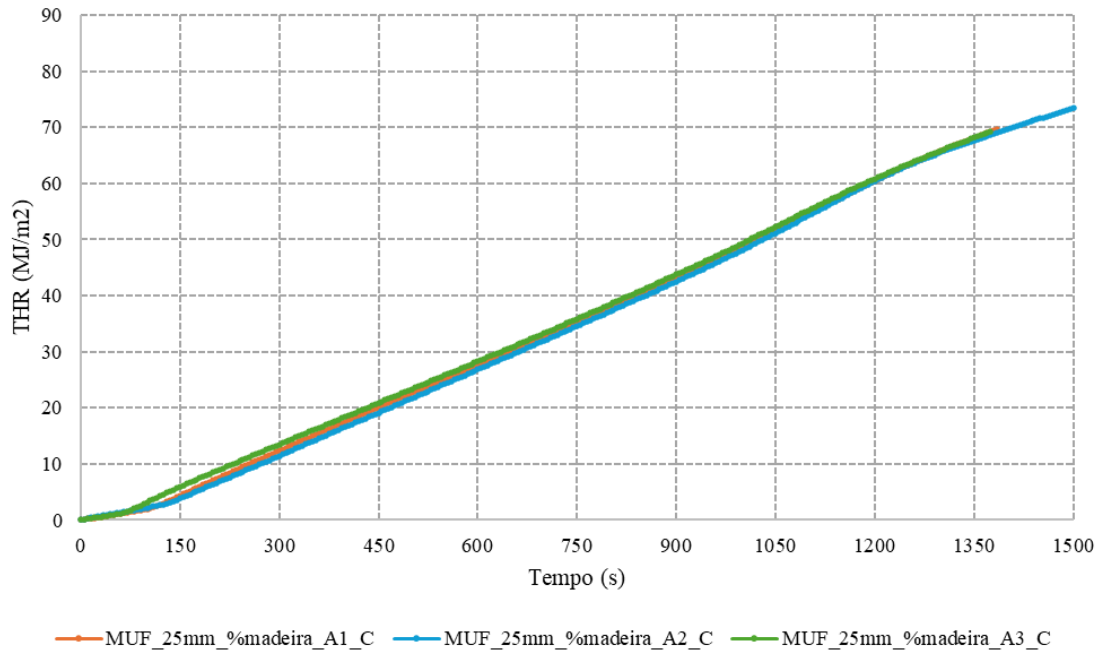


Figura 47: Gráfico de Calor total libertado da placa 4 (MUF\_25mm\_%madeira).

Para esta composição de aumento na quantidade de madeira da placa UF\_25mm\_%madeira, é perceptível que a perda de massa ocorreu quase que completamente em todas as amostras no tempo determinado e também houve bastante proximidade entre os resultados de liberação total e taxa de calor assim como na placa 3, mas com picos bastante inferiores, não ultrapassando os valores de 75 MJ/m<sup>2</sup> e 65 kW/m<sup>2</sup>.

Para a segunda placa com alteração no percentual de madeira, chamada de MUF\_20mm\_%madeira, as figuras 48, 49 e 50 abaixo mostram os gráficos da perda de massa percentual, HRR e THR ao longo do ensaio para as 3 amostras.

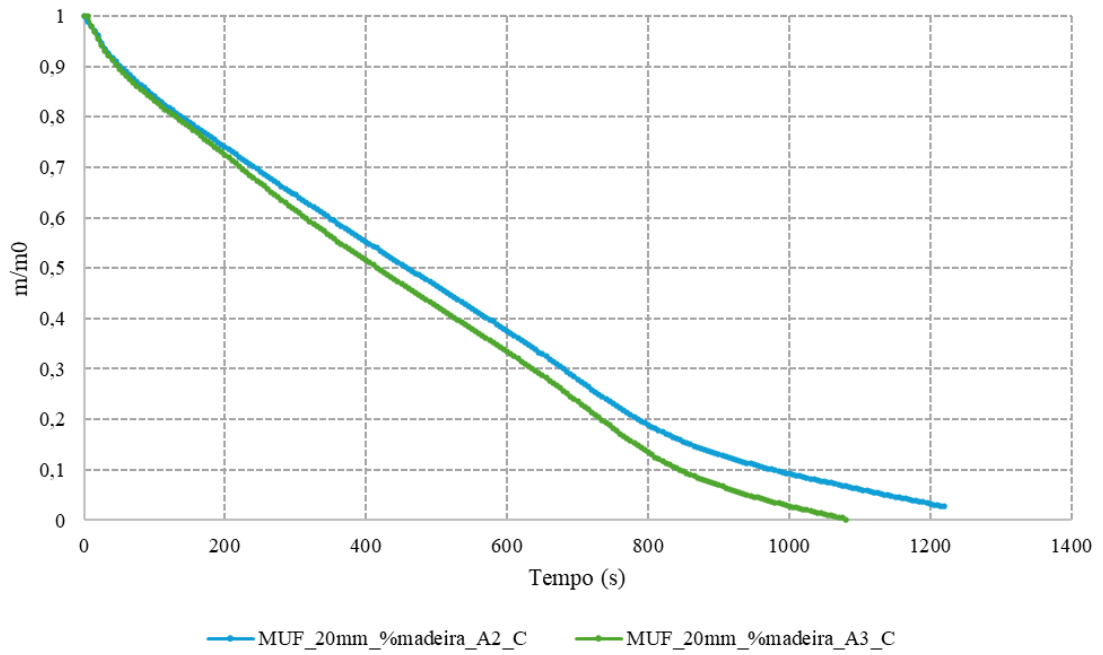


Figura 48: Gráfico de Perda de massa da placa 5 (MUF\_20mm\_%madeira).

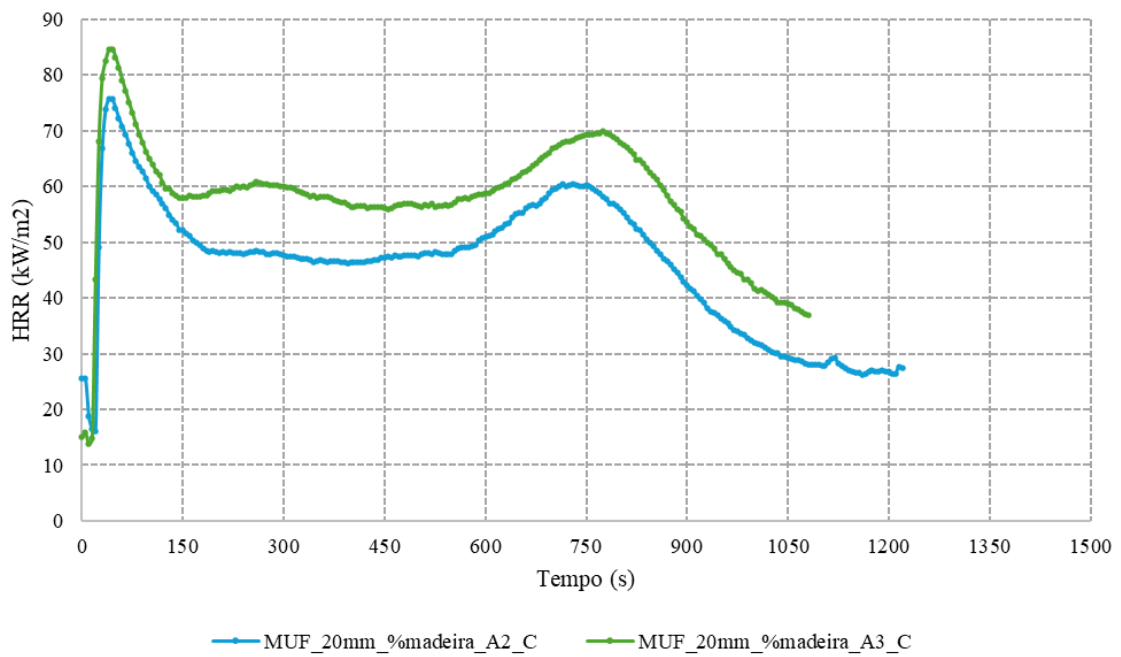


Figura 49: Gráfico de Taxa de libertação de calor da placa 5 (MUF\_20mm\_%madeira).

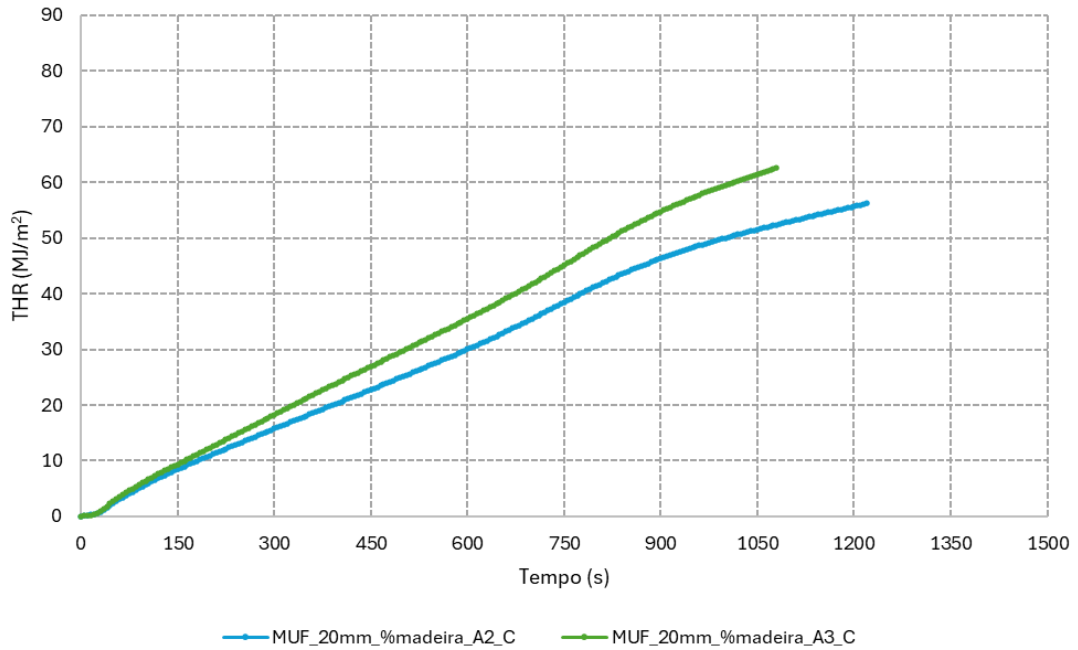


Figura 50: Gráfico de Calor total libertado da placa 5 (MUF\_20mm\_%madeira).

Neste caso da placa 5 MUF\_20mm\_%madeira, apenas duas amostras tiveram suas curvas criadas a partir dos dados coletados. Isso ocorreu por conta de um erro inesperado da exportação dos dados.

Para as leituras das duas amostras que tiveram suas leituras registradas, podemos perceber que para esta receita as amostras tiveram a perda completa da massa e/ou extinção da chama relativamente cedo se comparado com as amostras de outras composições.

Partindo para as placas com utilização de resina UF, temos a primeira delas nomeada de UF\_25mm\_base e as figuras 51, 52 e 53 abaixo mostram os gráficos da perda de massa percentual, HRR e THR ao longo do ensaio para as 3 amostras.

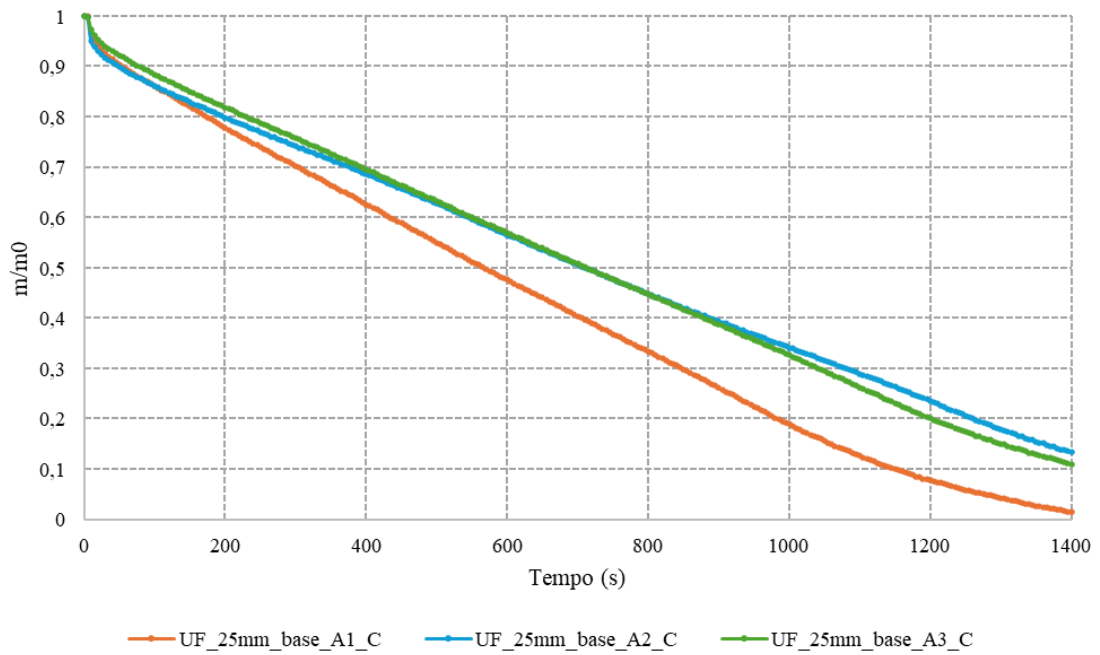


Figura 51: Gráfico de Perda de massa da placa 6 (UF\_25mm\_base).

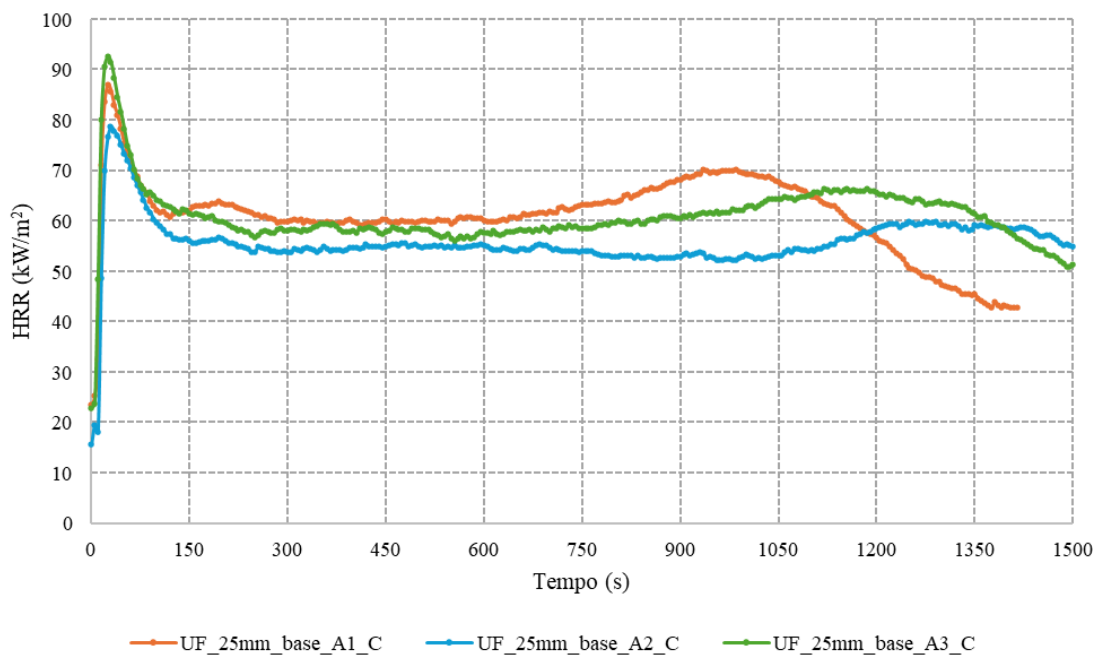


Figura 52: Gráfico de Taxa de liberação de calor da placa 6 (UF\_25mm\_base).

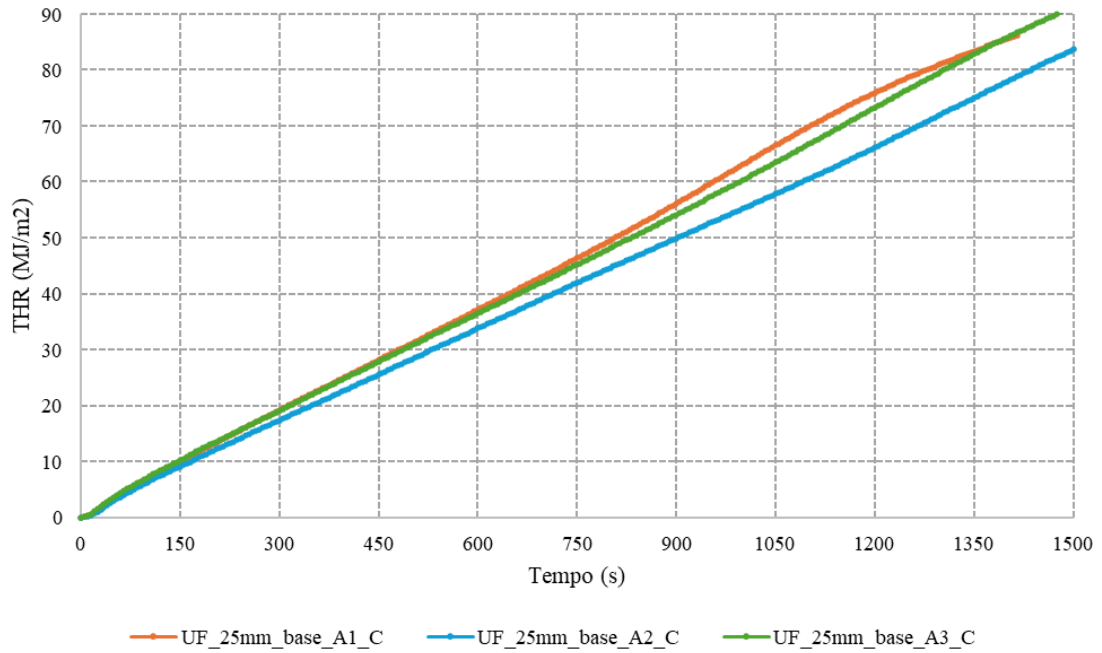


Figura 53: Gráfico de Calor total libertado da placa 6 (UF\_25mm\_base).

Para esta composição, é notável que os resultados de perda de massa estão similares às perdas de outras composições, mas os valores de HRR e THR superaram em pico de uma das amostras os valores de  $90 \text{ kW/m}^2$  e  $90 \text{ MJ/m}^2$  respectivamente.

Para a última das placas, a UF\_20mm\_base, as figuras 54, 55 e 56 abaixo mostram os gráficos da perda de massa percentual, HRR e THR ao longo do ensaio para as 3 amostras.

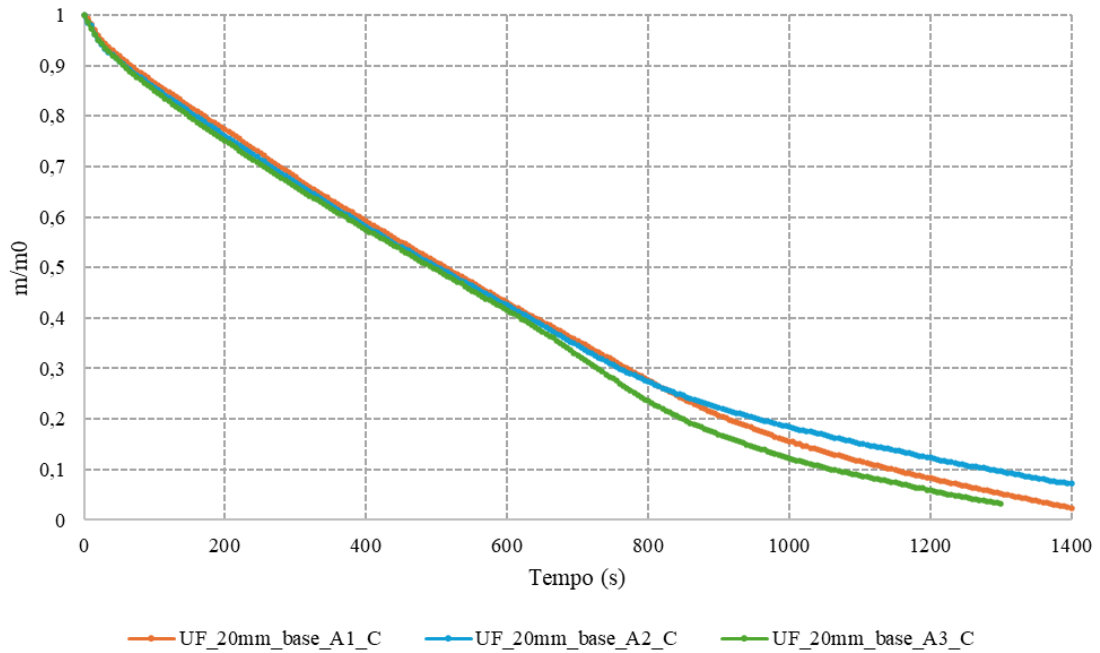


Figura 54: Gráfico de Perda de massa da placa 7 (UF\_20mm\_base).

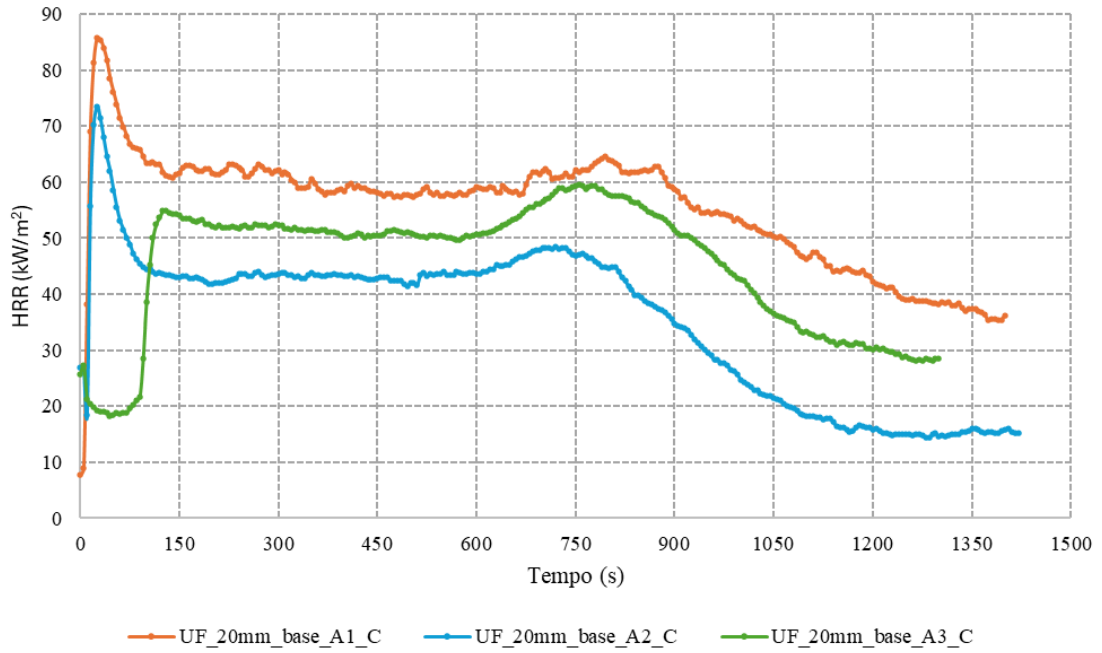


Figura 55: Gráfico de Taxa de liberação de calor da placa 7 (UF\_20mm\_base).

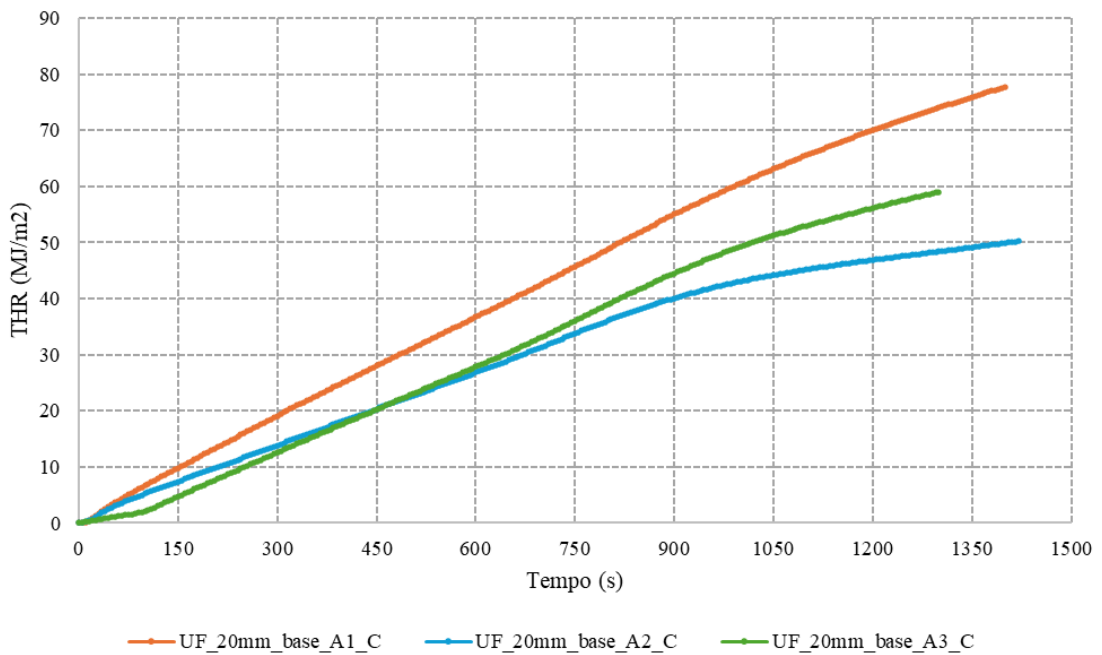


Figura 56: Gráfico de Calor total libertado da placa 7 (UF\_20mm\_base).

Por fim, para esta última placa, podemos observar que os valores das amostras são relativamente dispersos, com uma variação de picos de taxa de liberação de calor entre 55 e 85  $\text{kW/m}^2$  e picos de liberação total de calor entre 50 e quase  $80 \text{ MJ/m}^2$ , apesar da perda de massa estar similar às outras placas.

Além dos gráficos apresentados para cada placa com suas respectivas amostras, é interessante destacar os valores atingidos por cada uma delas de maneira mais prática, com valores absolutos. Por conta disso, a Tabela 2 abaixo nos mostra esses valores de *Heat Release Rate* (HRR) e *Total Heat Release* (THR) para que seja possível uma comparação mais direta dos dados.

*Tabela 2: Picos de HRR, o tempo ocorrido para cada amostra e THR após os 1500 segundos determinados.*

Amostra	Pico 1	Tempo	Pico 2	Tempo	THR (MJ/m <sup>2</sup> )
	HRR (kW/m <sup>2</sup> )	Pico 1 (s)	HRR (kW/m <sup>2</sup> )	Pico 2 (s)	
MUF_25mm_base_A1_C	74,18	35	63,62	1355	84,28
MUF_25mm_base_A2_C	83,39	25	62,41	1220	88,09
MUF_25mm_base_A3_C	70,43	25	28,08	1300	41,45
MUF_20mm_base_A1_C	20,18	125	55,12	670	38,48
MUF_20mm_base_A2_C	73,01	30	64,13	815	76,68
MUF_20mm_base_A3_C	54,20	210	57,95	910	80,74
MUF_25mm_compactação_menor_A1_C	82,79	30	52,79	1060	75,60
MUF_25mm_compactação_menor_A2_C	84,03	25	61,46	985	80,44
MUF_25mm_compactação_menor_A3_C	81,12	25	59,11	1090	79,55
MUF_25mm_%madeira_A1_C	56,19	150	60,01	1135	69,58
MUF_25mm_%madeira_A2_C	51,09	170	63,51	1120	80,03
MUF_25mm_%madeira_A3_C	57,14	100	59,49	1065	69,24
MUF_20mm_%madeira_A2_C	75,80	40	60,39	730	56,23
MUF_20mm_%madeira_A3_C	84,70	45	69,91	775	62,66
UF_25mm_base_A1_C	86,91	25	70,06	985	86,17
UF_25mm_base_A2_C	78,58	30	59,76	1250	100,49
UF_25mm_base_A3_C	92,55	25	66,39	1155	104,02
UF_20mm_base_A1_C	85,67	25	64,51	795	77,70
UF_20mm_base_A2_C	73,52	25	48,44	720	50,22
UF_20mm_base_A3_C	54,91	125	59,53	755	59,04

#### 4.2 RESULTADOS FLEXÃO EM 3 PONTOS

Após realização de todos os ensaios para cada placa, foi possível obter os dados de força máxima, tensão máxima e variação da força aplicada por tempo e deslocamento. Com isso, foram gerados gráficos de Força x Deslocamento para cada tipo de placa e calculados os módulos de ruptura e elasticidade para cada amostra. Para os gráficos, a nomenclatura “FD1\_1”

representa a curva Força x Deslocamento da primeira amostra da placa 1, sendo que as amostras foram numeradas de ordem crescente iniciando pela borda da placa até o centro.

A Figura 57 a seguir retrata o gráfico Força x Deslocamento da placa 1 chamada de MUF\_25mm\_base:

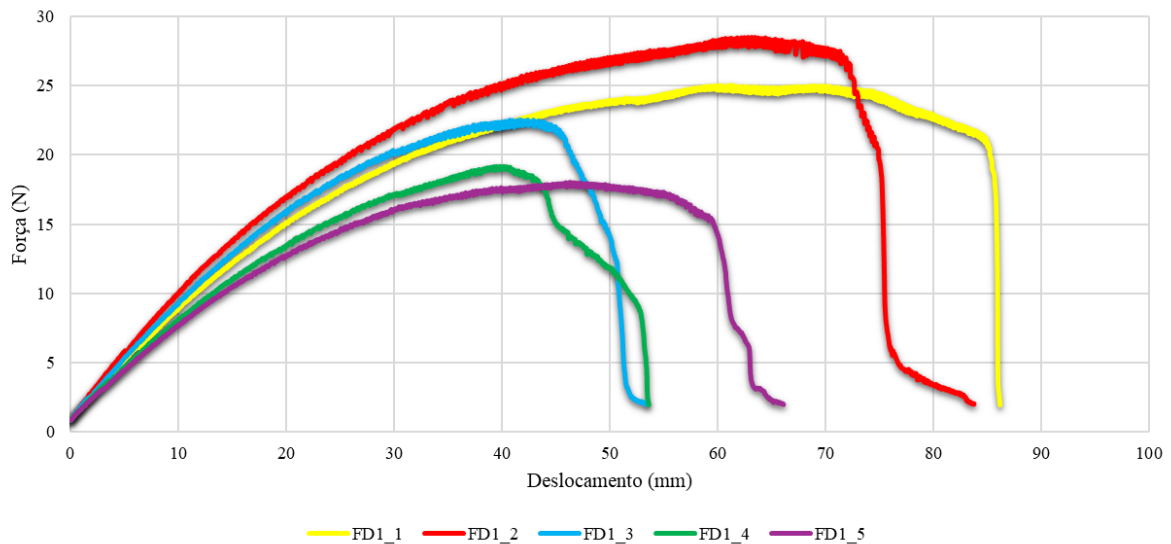


Figura 57: Gráfico Força x Deslocamento da placa 1 (MUF\_25mm\_base).

Para esta placa, podemos perceber que as amostras mais próximas da borda apresentaram melhores resultados de força máxima e alongamento até a ruptura.

Abaixo segue a Figura 58 demonstrando o gráfico para a placa 2 denominada MUF\_20mm\_base.

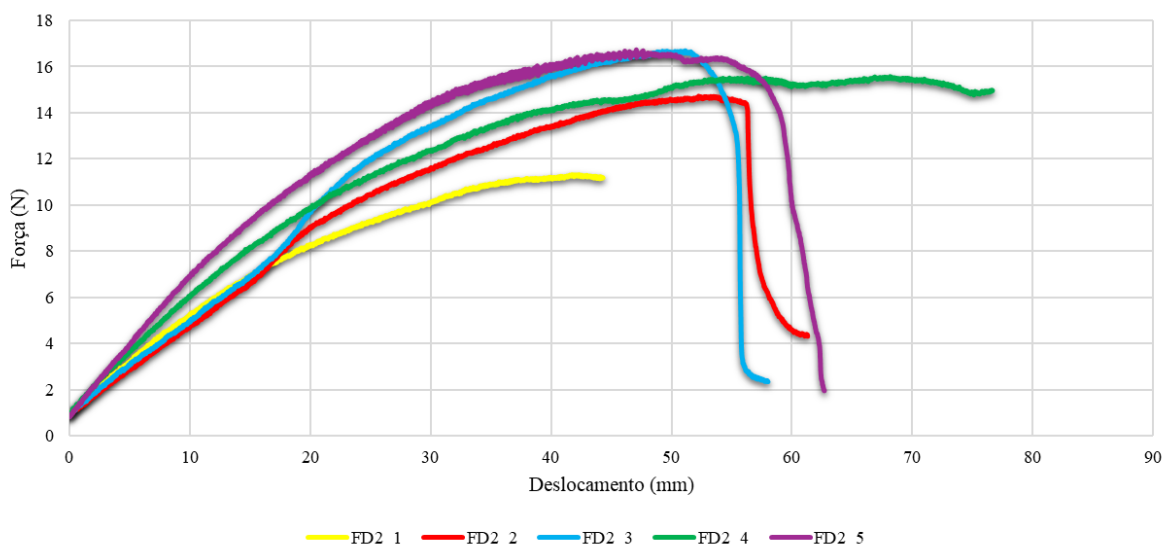


Figura 58: Gráfico Força x Deslocamento da placa 2 (MUF\_20mm\_base).

Já esta placa, podemos observar que as amostras mais distantes da borda apresentaram resultado superior. Além disso, o perfil da curva das amostras FD2\_1 e FD2\_4 se deve ao fato

da amostra ter tocado algum componente do suporte antes da ruptura, retirando a seção de alívio da força da curva.

Para a placa 3, MUF\_25mm\_compactação\_menor temos a Figura 59 com o gráfico à seguir.

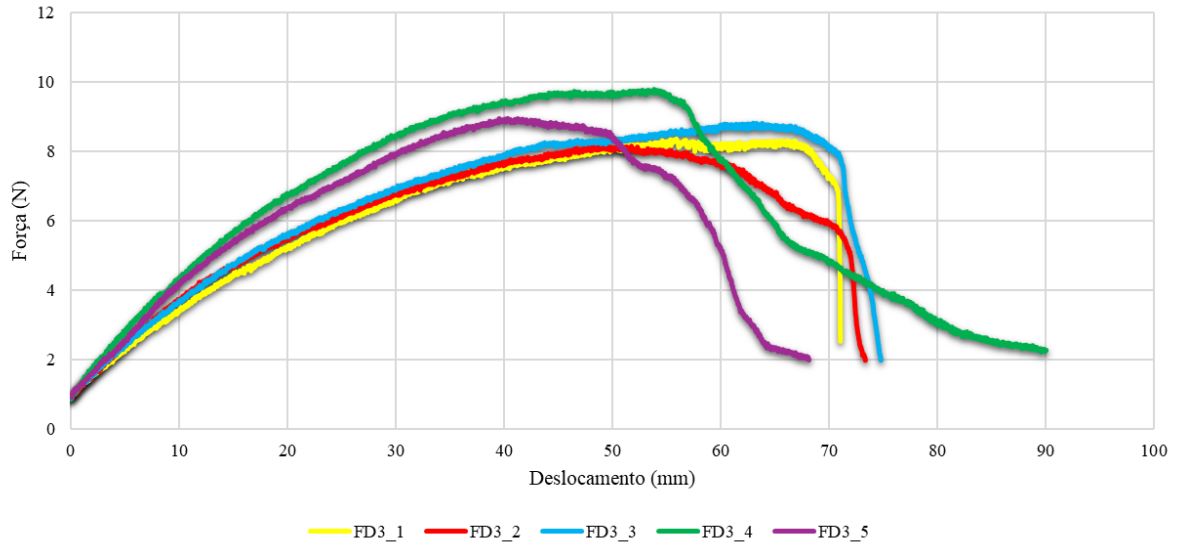


Figura 59: Gráfico Força x Deslocamento da placa 3 (MUF\_25mm\_compactação\_menor).

Esse gráfico deixa evidente que para nenhuma das amostras utilizando este método a força máxima de ruptura ultrapassou o valor de 10 N.

Partindo para as placas com maior percentual de madeira na composição, temos a primeira delas MUF\_25mm\_%madeira representada pela Figura 60.

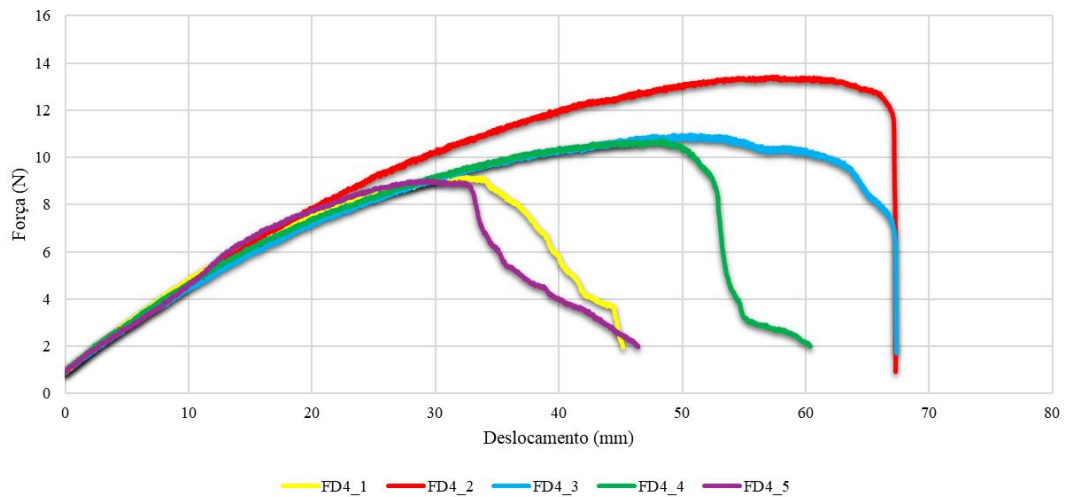


Figura 60: Gráfico Força x Deslocamento da placa 4 (MUF\_25mm\_%madeira).

Para estas amostras, podemos perceber que não houve uma tendência de melhora entre borda e centro, ou seja, os resultados ficaram intercalados e o local de onde foi retirada a amostra da placa não pareceu ser relevante em termos de resistência mecânica.

No caso da segunda placa alterando o percentual de madeira na composição, MUF\_20mm\_%madeira, temos a Figura 61 abaixo.

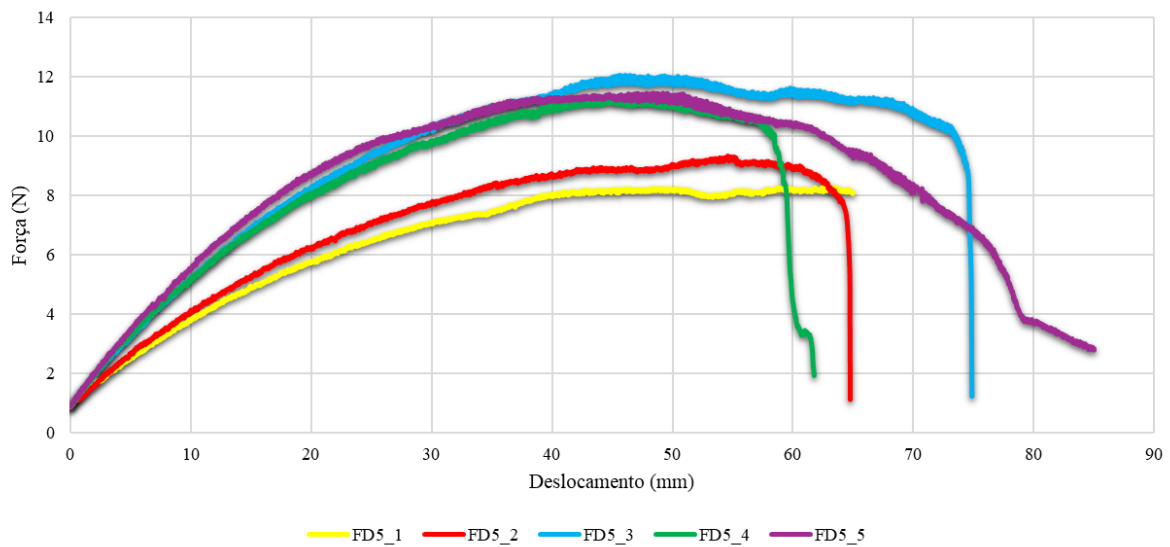


Figura 61: Gráfico Força x Deslocamento da placa 5 (MUF\_20mm\_%madeira).

Neste ensaio, podemos ver que uma das amostras também apresentou uma flexibilidade maior e tocou o suporte antes de apresentar ruptura.

Agora para as placas com resina UF, temos a Figura 62 abaixo que representa a primeira delas chamada de UF\_25mm\_base.

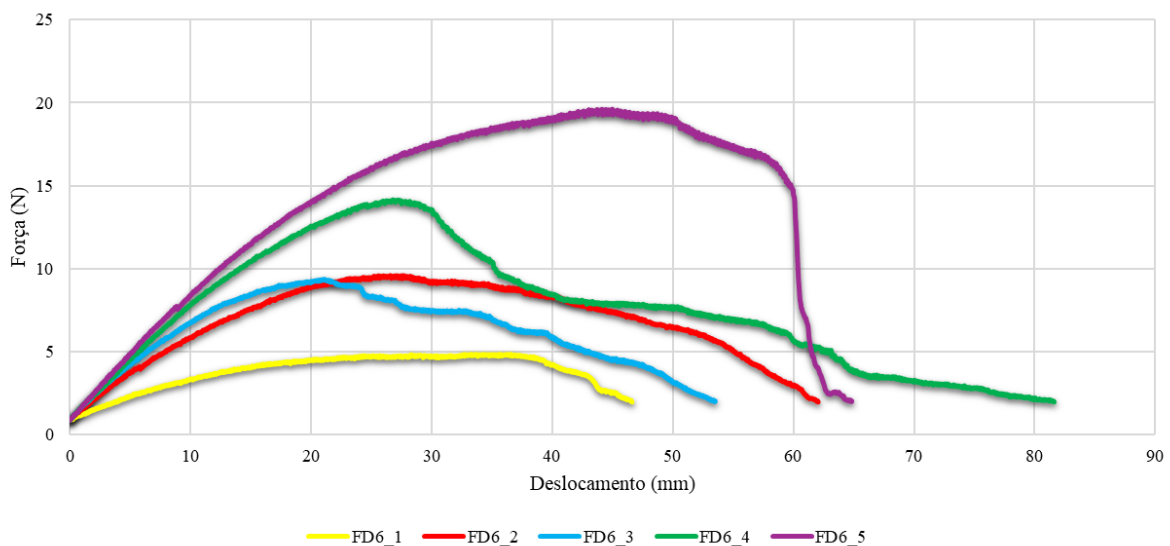


Figura 62: Gráfico Força x Deslocamento da placa 6 (UF\_25mm\_base).

Aqui já é notável que houve uma grande variação na resistência, com amostras atingindo valores próximos de 20 N e outras não excedendo 10 N.

Por fim, para a última placa que também teve utilização da resina UF, UF\_20mm\_base, temos a Figura 63 a seguir.

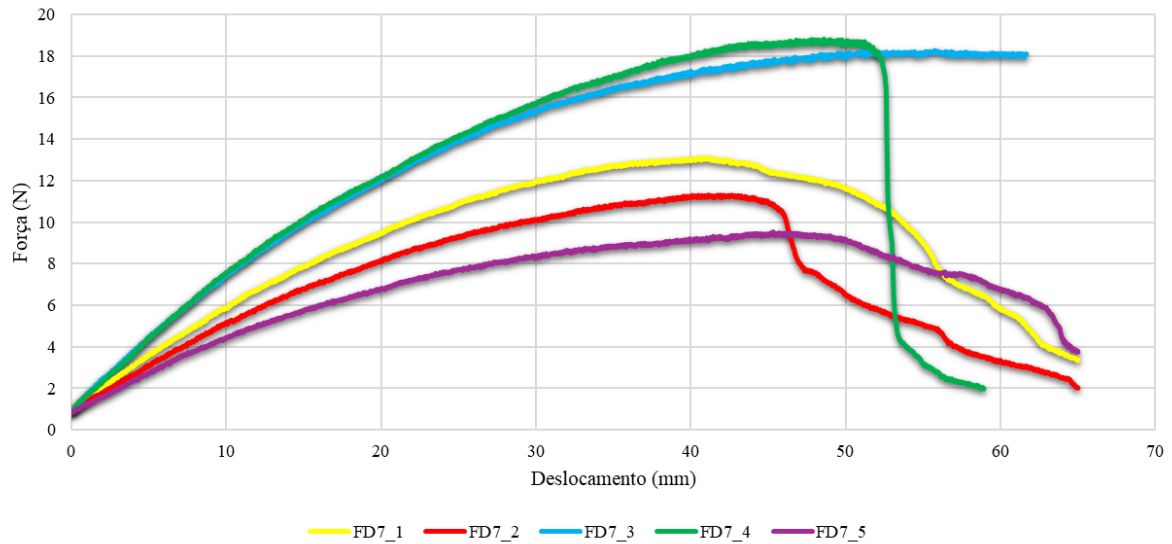


Figura 63: Gráfico Força x Deslocamento da placa 7 (UF\_25mm\_base).

Após o ensaio e análise dos gráficos apresentados para cada placa, outros dois fatores são interessantes para o entendimento da resistência mecânica das amostras. Esses fatores são o Módulo de Ruptura (MOR) e o Módulo de Elasticidade (MOE) ambos resultados em MPa.

Para o cálculo destes módulos para cada amostra, utilizaremos as seguintes equações 1 e 2 (87):

$$MOR = \frac{3 \times P_{rup} \times L}{2 \times b \times h^2} \quad (1)$$

$$MOE = \frac{P \times L^3}{4 \times b \times h^3 \times \delta} \quad (2)$$

Sendo P o incremento de força aplicada (N),  $P_{rup}$  a força máxima antes da ruptura (N), L a distância entre apoios (mm), b a largura (mm), h a altura (espessura) (mm) e  $\delta$  o deslocamento vertical devido ao incremento de força aplicada (mm) [87].

Podemos dizer que a relação  $\frac{P}{\delta}$  da equação 2 pode ser descrita como a inclinação da reta da seção elástica de cada amostra, gerando assim a equação 3 a seguir:

$$MOE = \frac{L^3 \times m}{4 \times b \times h^3} \quad (3)$$

Sendo  $m$  a inclinação da reta (N/mm) e com cálculo desmonstrado abaixo na equação 4.

$$m = \frac{\Delta P}{\Delta \delta} = \frac{P_2 - P_1}{\delta_2 - \delta_1} \quad (4)$$

Com isso, foram então determinados os valores de MOR e MOE para cada amostra, além de um valor médio para cada um deles junt da carga máxima antes da ruptura. Os valores estão apresentados na Tabela 3 e 4 a seguir.

*Tabela 3: Carga máxima antes da ruptura, MOR e MOE de cada amostra.*

<b>Placa</b>	<b>Carga máxima antes da ruptura (N)</b>	<b>MOR (MPa)</b>	<b>MOE (MPa)</b>
1_1	25,023	0,60	21,04
1_2	28,494	0,68	23,80
1_3	22,526	0,54	21,88
1_4	19,172	0,46	17,96
1_5	18,026	0,43	16,75
2_1	11,795	0,35	9,83
2_2	14,718	0,44	13,64
2_3	16,689	0,50	16,90
2_4	15,459	0,46	12,70
2_5	16,727	0,50	15,15
3_1	8,359	0,20	6,40
3_2	8,168	0,20	6,08
3_3	8,809	0,21	6,36
3_4	9,781	0,23	8,30
3_5	8,944	0,21	7,42
4_1	9,169	0,22	8,36
4_2	13,416	0,32	11,21
4_3	10,964	0,26	9,38
4_4	10,735	0,26	8,92
4_5	9,037	0,22	8,68
5_1	8,296	0,25	6,60
5_2	9,338	0,28	7,20
5_3	12,057	0,36	10,17
5_4	11,350	0,34	9,20

Tabela 3: Continuação.

5_5	11,461	0,34	9,54
6_1	4,866	0,12	4,46
6_2	9,597	0,23	12,29
6_3	9,382	0,23	9,85
6_4	14,163	0,34	18,84
6_5	19,617	0,47	22,55
7_1	13,116	0,39	12,16
7_2	11,312	0,34	9,89
7_3	18,329	0,55	15,75
7_4	18,814	0,56	16,27
7_5	9,538	0,29	7,90

Tabela 4: Carga máxima média, MOR médio e MOE médio para cada placa.

Placa	Carga máxima média (N)	Desvio padrão da Carga máxima (N)	MOR médio (MPa)	Desvio padrão do MOR (MPa)	MOE médio (MPa)	Desvio padrão do MOE (MPa)
1	22,648	4,280	0,54	0,102	20,28	2,888
2	15,077	2,022	0,45	0,060	13,64	2,660
3	8,812	0,627	0,21	0,015	6,91	0,928
4	10,664	1,771	0,26	0,042	9,31	1,125
5	10,500	1,602	0,32	0,048	8,54	1,553
6	11,525	5,591	0,28	0,134	13,60	7,192
7	14,222	4,171	0,43	0,125	12,39	3,632

Analisando os dados apresentados, podemos observar que os melhores valores de resistência estão em geral nas placas que foram fabricadas seguindo o modelo adotado como base mencionado na Tabela 1, destacando a primeira formulação em todos os valores.

Os valores encontrados se encaixam nos padrões fornecidos pelas empresas que comercializam estes produtos, com valores de resistência à tensão de ruptura próximos de 2 kgf/cm<sup>2</sup> (0,2 MPa) ou acima de 50 kPa chamado de TR50 como estabelecido pela norma europeia BS EN 1607:2013 [88].

#### 4.3 RESULTADOS CONDUTIVIDADE TÉRMICA

A última análise realizada para determinação das propriedades térmicas de cada composição foi a de condutividade térmica pelo método *Guarded Hot Plate* (GHP).

Para estes ensaios, as condições do teste contaram com a temperatura de 27,5°C para a placa superior e 12,5°C para a placa inferior, resultando em uma variação de 15°C entre as superfícies das amostras.

Após este processo de testes, a Tabela 5 a seguir mostra os valores em mW/m.K da condutividade térmica de todas as amostras (no caso 1 amostra para cada composição).

*Tabela 5: Condutividade térmica de todas as amostras.*

<b>Amostra</b>	<b>Condutividade térmica (mW/m.K)</b>
MUF_25mm_base_A1_GHP	54,09
MUF_20mm_base_A1_GHP	52,46
MUF_25mm_compactação_menor_A1_GHP	49,48
MUF_25mm_%madeira_A1_GHP	57,07
MUF_20mm_%madeira_A1_GHP	58,09
UF_25mm_base_A1_GHP	51,83
UF_20mm_base_A1_GHP	51,40

Com base nestes resultados, e entendendo que quanto menor a condutividade térmica melhor o desempenho no isolamento deste material, a composição definida que apresentou o menor dos valores foi a placa MUF\_25mm\_compactação\_menor, o que tem sentido por ser uma placa de espessura superior e densidade reduzida se comparada com a placa MUF\_25mm\_base.

Em termos de condutividade térmica, estes valores se encontram próximos aos valores de outros produtos de isolamento e aglomerados de cortica, que apresentam números dentro de uma margem de 0,037 a 0,040 W/m°C (37 a 40 mW/m°C) vendidos na plataforma da Leroy Merlin [89], valores entre 0,03 a 0,05 W/m°C (30 a 50 mW/m°C) fornecidos pela empresa CORTICA24.PT [90], valores próximos a 0,040 W/m°C (40 mW/m°C) das empresas OBRAS360 e TOPECA como visto em suas fichas técnicas presentes em suas páginas da WEB [91], [92], e até mesmo pelas comercializadas pela empresa AMORIM CORK SOLUTIONS com valores declarados de 0,040 W/m.K para certificação ACERMI [93]; todas elas com densidades e espessuras similares às analisadas, sendo que algumas delas fabricam placas de até 100 mm.

## 5 CONCLUSÃO

De modo geral, este trabalho foi proposto pela fabricação e análise de placas de aglomerado de cortiça, madeira e resina, seguindo a metodologia recomendada nas normas EN ISO 13927 para os ensaios de Calorímetro de cone, ISO EN 310 para os testes de flexão em 3 pontos e BS EN 12667:2001 para os ensaios de condutividade térmica pelo método *Guarded Hot Plate* (GHP). Além disso, todo o passo-a-passo para realização dos testes está relatado neste documento.

Toda a fabricação, bem como as receitas para cada composição, estão descritas neste trabalho e as placas resultantes puderam ser fabricadas para um corte preciso nas dimensões de cada amostra necessária.

Após todos os ensaios e análises, foi possível obter resultados de Perda de Massa, *Heat Release Rate* (HRR) e *Total Heat Release* (THR) para os testes no calorímetro de cone; Carga máxima antes da ruptura, Módulos de Ruptura (MOR) e Elasticidade (MOE) e as curvas Força x deslocamento para os testes de flexão em 3 pontos; e Condutividade térmica nos testes de *Guarded hot plate* (GHP).

Com relação à reação ao fogo é possível inferir que em termos de perda de massa, as amostras de composição “base”, ou seja, placas de número 1, 2, 6 e 7 obtiveram a maior resistência, apresentando uma massa 10% ou superior após os 1400 segundos determinados. Além disso, para os dados de HRR e THR, que representam o caráter térmico de reação ao fogo, pode-se concluir que a resina UF é levemente mais reativa ao fogo do que a MUF, além de que a espessura reflete um comportamento similar, na medida em que as placas de 25 mm, por possuírem mais massa, apresentaram valores maiores em ambos os fatores de HRR e THR, com exceção das amostras com maior composição de aparas de madeira, nas quais as amostras com 20 mm demonstraram valores maiores de reação ao fogo.

Para os testes de resistência mecânica, pode-se constatar que amostras da mesma placa apresentam uma heterogeneidade em todos os casos, ou seja, amostras de uma mesma placa apresentaram valores muito distintos de elasticidade e resistência à ruptura. Mas mesmo os resultados sendo variados, ainda é possível assumir que para as amostras analisadas, as que possuíam a nomenclatura “base” apresentaram melhor resultado de MOR e de MOE. Assim sendo, é perceptível que as amostras que apresentam maior percentual de cortiça na sua composição são mais resistentes das que possuem mais aparas de madeira. Não obstante a isso, a espessura apresentou um fator de maior relevância apenas no caso comparativo das duas primeiras placas (MUF\_25mm\_base e MUF\_20mm\_base), portanto não é adequado assumir

que o aumento da espessura representa um aumento na resistência mecânica como mostrado neste caso, ou até mesmo que a heterogeneidade das amostras dificulta essa determinação.

A partir dos resultados obtidos, é possível dizer que em termos de condutividade térmica houve pouca variação entre todas as composições, destacando que um aumento nestes valores ocorreu mais devido à uma parcela maior de aparas de madeira na composição do que relativo à espessura das amostras ou até mesmo da resina utilizada.

Por fim, de modo geral, comparando os resultados obtidos de todas as placas para as 3 análises, pode-se dizer que as duas melhores opções são as placas “base”, ou seja, MUF\_25mm\_base e MUF\_20mm\_base por conta principalmente dos valores muito superiores de resistência mecânica contra as demais analisadas, mantendo um índice de condutividade térmica pouca acima da média dos resultados obtidos e liberação total e taxa de liberação de calor com valores médios dos apresentados.

## 5.1 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

Para estudos nesta vertente de analisar mecânica e termicamente placas que contenham os materiais utilizados em sua composição, é interessante determinar se a adição de um retardante térmico mantendo as medidas apresentadas resultaria em uma melhora na reação ao fogo e como isso afetaria a condutividade térmica e resistência mecânica.

Outro estudo interessante seria utilizar os aglomerados apresentados em um sistema multicamadas em sanduíche com MDF para avaliar o quanto isso poderia tornar a mistura mais homogênea na fabricação, e quanto o aumento no peso do conjunto ainda assim retornaria um resultado economicamente viável com bons valores de resistência mecânica, reação ao fogo e condutividade térmica.

Além disso, utilizar outros tipos de aparas, mais longas e de maior granulometria, seria significativo para elevar a resistência mecânica das amostras e talvez inverter o quadro apresentado neste estudo onde as aparas de madeira utilizadas reduziram a eficiência mecânica. Variar a granulometria da cortiça utilizada pode alterar o comportamento de adesão às resinas, então poderia ser outra alternativa de análise relevante.

Realizar um estudo de liberação de gases oriundos da queima das amostras, bem como o isolamento acústico, seriam interessantes para se compreender ainda mais as características destas composições.

Por fim, utilizar espessuras e densidades diferentes que estejam dentro de um espectro de viabilidade econômica e construtiva traria resultados consideráveis, podendo até mesmo reduzir o consumo dos materiais dependendo da composição.

## REFERÊNCIAS

- [1].Residential fire estimate summaries [internet]. 2022 [citado 8 de novembro de 2024]. Disponível em: <https://www.usfa.fema.gov/statistics/residential-fires/>
- [2].EU-wide data on residential fires [internet]. 2024 [citado 8 de novembro de 2024]. Disponível em: <https://www.europeanfiresafetyalliance.org/our-focus/statistics/>
- [3].Commission E, Research DG for, Innovation. A sustainable bioeconomy for Europe – Strengthening the connection between economy, society and the environment – Updated bioeconomy strategy. Publications Office; 2018.
- [4].Glover J, White DO, Langrish TAG. Wood versus concrete and steel in house construction: A life cycle assessment. *Journal of forestry*. 1 de dezembro de 2002;100(8):34–41.
- [5].Milaj K, Sinha A, Miller TH, Tokarczyk JA. Environmental utility of wood substitution in commercial buildings using life-cycle analysis. *Wood and Fiber Science*. 2017;49:338–58.
- [6].DGAE, “Indústrias da madeira e da cortiça - Divisão 16 da CAE Rev. 3, excluindo subclasses 16293 a 16295 - Indústria da madeira e suas obras, exceto mobiliário; fabricação de cestaria e espartaria,” Portugal, 2019.
- [7].Cheney NP, Gould J. Fire growth and acceleration. *international journal of wildland fire*. 1997;7:1–5.
- [8].Lilley DG. Only Three minutes from ignition to inferno: It’s not unusual in fires. Em 2004. Disponível em: <https://api.semanticscholar.org/corpusid:130426477>
- [9].Fang H, Lo SM, Zhang Y, Shen Y. Development of a machine-learning approach for identifying the stages of fire development in residential room fires. *Fire safety journal* [Internet]. 2021; Disponível em: <https://api.semanticscholar.org/corpusid:242289788>
- [10].Reboledo A. Análise comportamental das cargas de incêndio em estruturas [phd Thesis]. 2010.
- [11].Helene P, Britez C, Carvalho M. Fire impacts on concrete structures. A brief review. *Revista ALCONPAT*. Dezembro de 2019;10(1):1–21.
- [12].Zhou B xia. Fire situations and prevention measures of residential building. Em 2017. Disponível em: <https://api.semanticscholar.org/corpusid:114108625>
- [13].Nystedt F. Deaths in Residential Fires - An analysis of appropriate fire safety measures. Em 2003. Disponível em: <https://api.semanticscholar.org/corpusid:54806924>
- [14].Shokouhi MA, Nasiriani K, Cheraghi Z, Ardalan A, Khankeh HR, Fallahzadeh H, et al. Preventive measures for fire-related injuries and their risk factors in residential buildings: a systematic review. *Journal of Injury and Violence Research*. 2019;11:1–14.
- [15].The growing vulnerable community [Internet]. 2018 [citado 1 de dezembro de 2024]. Disponível em: <https://www.europeanfiresafetyalliance.org/our-focus/the-growing-vulnerable-community/>
- [16].Costa C, Ono R, Silva V. A importância da compartimentação e suas implicações no dimensionamento das estruturas de concreto para situação de incêndio. Em 2005.

- [17].Buck D, Wang X, Hagman O, Gustafsson A. Comparison of different assembling techniques regarding cost, durability, and ecology - A survey of multi-layer wooden panel assembly load-bearing construction elements. *Bioresources*. 2015;10:8378–96.
- [18].Panshin AJ, De Zeeuw C. Textbook of wood technology: structure, identification, uses, and properties of the commercial woods of the United States and Canada [Internet]. McGraw-Hill; 1970. (American forestry series). Disponível em: <https://books.google.pt/books?Id=q2ufaaaaamaaj>
- [19].Rhodes L. A forest journey - the story of wood and civilization. Em 2013. Disponível em: <https://api.semanticscholar.org/corpusid:160651881>
- [20].Kochhar S. Wood and its uses. Em 2016. Disponível em: <https://api.semanticscholar.org/corpusid:226997478>
- [21].Youngs RL. Every age, the age of wood. *interdisciplinary science reviews*. 1982;7:211–9.
- [22].Abed J, Rayburg SC, Rodwell J, Neave M. A review of the performance and benefits of mass timber as an alternative to concrete and steel for improving the sustainability of structures. *sustainability* [Internet]. 2022; Disponível em: <https://api.semanticscholar.org/corpusid:248599500>
- [23].Nuere E. Construir con madera. *Informes de la construccion*. 1998;49:5–10.
- [24].Octavia S, Raubaba HS, Simorangkir YV. Wood and steel as a material alternative of concrete replacement in house structures in merauke city. *IOP Conference series: Earth and environmental science* [Internet]. 2019;343. Disponível em: <https://api.semanticscholar.org/corpusid:209782270>
- [25].Martins GCA, Calil Júnior C, Munaiar Neto J. Análise numérica e experimental de vigas de madeira laminada colada em situação de incêndio [Master's Thesis]. Universidade de São Paulo; 2016.
- [26].Mantanis GI, Athanassiadou E, Barbu MC, Wijnendaele K. Adhesive systems used in the European particleboard, MDF and OSB industries\*. *Wood material science & engineering*. 2018;13:104–16.
- [27].Júnior GB, Garcia JN. Propriedades de resistência e rigidez à flexão estática de painéis OSB e compensados. *Revista Arvore*. 2004;28:563–70.
- [28].Menezzi D, Soares CH. Estabilização dimensional por meio do tratamento térmico e seus efeitos sobre as propriedades de painéis de partículas orientadas (OSB). Em 2013. Disponível em: <https://api.semanticscholar.org/corpusid:128292904>
- [29].Benetto E, Becker M, Welfring J. Life cycle assessment of oriented strand boards (OSB): from process innovation to ecodesign. *Environmental science & technology*. 2009;43 15:6003–9.
- [30].Лоїк В, Бабаджанова О, Синельніков О. ФАКТОРИ НЕБЕЗПЕКИ ВИКОРИСТАННЯ ПЛИТ OSB. *Grail of science* [Internet]. 2023; Disponível em: <https://api.semanticscholar.org/corpusid:260298539>
- [31].Taylor A, Wang S, Freitag CM, Morrell JJ. Properties of «enhanced» OSB subfloor panels. *Forest products journal*. 2008;58:77–9.
- [32].Pereira T de L, Carvalho CL de, Prado NRT do, Mendes R, Junior JBG, Tonoli GHD. Effect of natural weathering and accelerated artificial in physical, mechanical and colorimetric OSB panels. *Scientia forestalis*. 2017;45:573–80.

- [33].Barbu MC, Radauer H, Petutschnigg A, Tudor EM, Kathriner M. Lightweight solid wood panels made of paulownia plantation wood. *Applied sciences* [Internet]. 2023; Disponível em: <https://api.semanticscholar.org/corpusid:264083673>
- [34].Hoover WL, Hunt MO, Lattanzi RC, Bateman JH, Youngquist JA. Modeling mechanical properties of single-layer, aligned, mixed-hardwood strand panels. *Forest products journal*. 1992;42:12–8.
- [35].Shupe TF, Hse C yun, Price EW. Flake orientation effects on physical and mechanical properties of sweetgum flakeboard. *Forest products journal*. 2001;51:38–43.
- [36].Urbaniak M, Goluch-Goreczna R, Bledzki AK, Gajdzinski S. Korek naturalny. Cz. I. Uprawy dębu korkowego, makro- i mikroskopowa morfologia korka. *Polimery*. 2017;62:388–93.
- [37].Oliveira V, Pereira H. Cork and cork stoppers: Quality and performance. *Chemistry and biochemistry of winemaking, wine stabilization and aging* [Internet]. 2020; Disponível em: <https://api.semanticscholar.org/corpusid:225785432>
- [38].Gil L. New cork-based materials and applications. *Materials*. 2015;8:625–37.
- [39].Gil L. Cork: a strategic material. *Frontiers in chemistry* [Internet]. 2014;2. Disponível em: <https://api.semanticscholar.org/corpusid:5224173>
- [40].Castillo I del, Hernandez P, Lafuente A, Rodríguez-Llorente ID, Caviedes MA, Pajuelo E. Self-bioremediation of cork-processing wastewaters by (chloro)phenol-degrading bacteria immobilised onto residual cork particles. *Water research*. 2012;46 6:1723–34.
- [41].Ramos A, Berzosa J, Clarens F, Marin MA, Rouboa A. Environmental and socio-economic assessment of cork waste gasification: Life cycle and cost analysis. *Journal of cleaner production*. 2020;249:119316.
- [42].Kráľ P, Klímek P, Mishra PK, Rademacher PK, Wimmer R. Preparation and characterization of cork layered composite plywood boards. *Bioresources*. 2014;9:1977–85.
- [43].Kasapseckin MA. Investigation of using cork– and MDF–Layered panel material in interior furnishing. *journal of interior design*. 2018;43:45–56.
- [44].Gil L. Cork composites: A review. *materials*. 2009;2:776–89.
- [45].Montado - Cortiça [Internet]. 2024 [citado 9 de dezembro de 2024]. Disponível em: <https://www.amorim.com/pt/cortica/montado/#:~:text=Portugal%2C%20que%20det%C3%a9m%20um%20ter%C3%a7o,de%2050%25%20da%20transforma%C3%A7%C3%a3o%20mundial>.
- [46].Kim KH, Jahan SA, Lee JT. Exposure to formaldehyde and its potential human health hazards. *journal of environmental science and health, Part C*. 2011;29:277–99.
- [47].Octavia Z. Standards and regulations concerning the formaldehyde emissions from wood panels. Em 2016. Disponível em: <https://api.semanticscholar.org/corpusid:106399130>
- [48].Popovic M, Điporović-Mom\veilović M, Gavrilović-Grmu\vs a I. New standards and regulations on formaldehyde emission from wood-based composite panels. Em 2020. Disponível em: <https://api.semanticscholar.org/corpusid:226443304>
- [49].Ruffing TC, Shi W, Brown NR, Smith PM. Review of united states and international formaldehyde emission regulations for interior wood composite panels. *Wood and fiber science*. 2011;43:21–31.

- [50]. Yu C, Crump D. Review : Testing for formaldehyde emission from wood-based products - A review. indoor and built environment. 1999;8:280–6.
- [51]. Frühwald E, Thelandersson S. Design of safe timber structures - How can we learn from structural failures in concrete, steel and timber? Em 2007. Disponível em: <https://api.semanticscholar.org/corpusid:108430222>
- [52]. Qin R, Zhou A, Chow CL, Lau D. Structural performance and charring of loaded wood under fire. *Engineering Structures*. 2020;111491.
- [53]. Östman B, Mikkola E. European classes for the reaction to fire performance of wood-based panels. *Fire and materials* [Internet]. 2010;34. Disponível em: <https://api.semanticscholar.org/corpusid:111273925>
- [54]. Babrauskas V, Peacock R. Heat release rate: The single most important variable in fire hazard☆. *Fire safety journal*. 1990;18:255–72.
- [55]. Tewarson A. Heat release rate in fires. *Fire and materials*. 1980;4:185–91.
- [56]. Ayoolaa BO, Balachandranb R, Franke J, Mastorakosb E, Kaminskia CF. Spatially resolved heat release rate measurements in turbulent premixed flames. Em 2005. Disponível em: <https://api.semanticscholar.org/corpusid:13449741>
- [57]. Conde, Otávio Sateles. Reação ao fogo de elementos de construção leve com incorporação incorporação de resíuos têxteis. Instituto politécnico de bragança; 2020.
- [58]. Lindholm J, Brink A, Hupa M. Cone calorimeter – a Tool for measuring heat release rate. Em 2009. Disponível em: <https://api.semanticscholar.org/corpusid:34302048>
- [59]. Babrauskas V. Development of the cone calorimeter—A bench-scale heat release rate apparatus based on oxygen consumption†. *Fire and Materials*. 1982;8:81–95.
- [60]. Babrauskas V, Parker WJ. Ignitability measurements with the cone calorimeter. *Fire and materials*. 1986;11:31–43.
- [61]. Harada T, Uesugi S, Masuda H. Fire resistance of thick wood-based boards. *Journal of wood science*. 2006;52:544–51.
- [62]. Harada T. Time to ignition, heat release rate and fire endurance time of wood in cone calorimeter test. *Fire and materials* [Internet]. 2001;25. Disponível em: <https://api.semanticscholar.org/corpusid:135913004>
- [63]. Beijing C. Study on the burning behaviour of plantation wood. Em 2004. Disponível em: <https://api.semanticscholar.org/corpusid:138071518>
- [64]. CEN. ISO 5660-1:2015 - Reaction-to-fire tests — Heat release, smoke production and mass loss rate — Part 1: Heat release rate (cone calorimeter method) and smoke production rate (dynamic measurement). 2015.
- [65]. Moia M de M. Analysis of thermal performance of multilayer systems for fire doors. Instituto politécnico de bragança; 2022.
- [66]. Ferle L. Avaliação da durabilidade das propriedades mecânicas e reação ao fogo dos painéis de derivados de madeira. Instituto politécnico de bragança; 2020.

- [67].Li J, Hunt JF, Gong S, Cai Z yong. High strength wood-based sandwich panels reinforced with fiberglass and foam. *Bioresources*. 2014;9:1898–913.
- [68].Isopescu D. Analiza experimentală a proprietăților mecanice ale lemnului la încovoiere, întindere și compresiune experimental analysis of wood mechanical properties from bending, tensile and compression tests. Em 2012. Disponível em: <https://api.semanticscholar.org/corpusid:111436508>
- [69].Ferle L, Santos GR dos, Mesquita LMR. Mechanical properties of wood based panels with and without fire retardants. Em 2018. Disponível em: <https://api.semanticscholar.org/corpusid:134213877>
- [70].Mazel V, Diarra H, Busignies V, Tchoreloff P. Study of the validity of the three-point bending test for pharmaceutical round tablets using finite element method modeling. *Journal of pharmaceutical sciences*. 2014;103 4:1305–8.
- [71].CEN. ISO 16978:2003(E) - Wood-based panels — Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength. 2003.
- [72].ISO. BS EN 310:1993 - Wood-based panels — Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strengt. 1993.
- [73].Czajkowski Ł, Olek W, Weres J, Guzenda R. Thermal properties of wood-based panels: thermal conductivity identification with inverse modeling. *European journal of wood and wood products*. 1 de julho de 2016;74(4):577–84.
- [74].Birinci AU, Öztürk H, Yücesoy D, Demirkir C. The effects of polystyrene species and fiber direction on thermal conductivity of plywood. *Journal of anatolian environmental and animal sciences*. 2020;5(5):825–8.
- [75].Öztürk HT, Colakoglu G, Demirkir C. Effect of drying types and polystyrene density on thermal conductivity of polystyrene composite particleboard. Em 2019. Disponível em: <https://api.semanticscholar.org/corpusid:216544841>
- [76].Salmon D, Silberstein A, Kumaran K. Report on inter-laboratory comparison of guarded hot plate measurements. *journal of thermal insulation and building envelopes*. 1995;18(3):289–300.
- [77].Singh S. A Review on the utilization of guarded hot plate apparatus for obtaining thermal conductivity. Em 2020. Disponível em: <https://api.semanticscholar.org/corpusid:226066543>
- [78].Reid D. Guarded hot plate apparatus design and construction for thermal conductivity measurements. Janeiro de 2005; Disponível em: [https://rshare.library.torontomu.ca/articles/thesis/Guarded\\_hot\\_plate\\_apparatus\\_design\\_and\\_construction\\_for\\_thermal\\_conductivity\\_measurements/14653422](https://rshare.library.torontomu.ca/articles/thesis/Guarded_hot_plate_apparatus_design_and_construction_for_thermal_conductivity_measurements/14653422)
- [79].CEN. ISO 8302:1991(E) - Thermal insulation - Determination of steady-state thermal resistance and related properties - Guarded hot plate apparatus. 1991.
- [80].ISO. BS EN 12667:2001 - Thermal performance of building materials and products — Determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter methods — Products of high and medium thermal resistance. 2001.
- [81].Ebert HP, Vidi S. Correct Use of the guarded-hot-plate method for thermal conductivity measurements on solids. *International journal of thermophysics*. 22 de janeiro de 2024;45(2):20.

- [82].Zhang J, Wang XM, Zhang S, Gao Q, Li J. Effects of melamine addition stage on the performance and curing behavior of melamine-urea-formaldehyde (MUF) resin. *Bioresources*. 2013;8:5500–14.
- [83].Ding Z, Ding Z, Zhang D, Chao C. The hydrolytic stability and structure of the cured melamine-urea-formaldehyde resin. *The journal of adhesion*. 2021;98:1614–34.
- [84].Delucia M, Catapano A, Montemurro M, Pailhès J. Pre-stress state in cork agglomerates: simulation of the compression moulding process. *international journal of material forming*. 1 de maio de 2021;14(3):485–98.
- [85].Dazmiri MK, Kiamahalleh MV, Dorieh A, Pizzi A. Effect of the initial F/U molar ratio in urea-formaldehyde resins synthesis and its influence on the performance of medium density fiberboard bonded with them. *International journal of adhesion and adhesives*. 2019;95:102440.
- [86].CEN. EN ISO 13927 - Plastics — Simple heat release test using a conical radiant heater and a thermopile detector. 2023.
- [87].Segundinho PG de A, Regazzi AJ, Poletti FS, Paula MO de, Mendonça AR de, Gonçalves FG. Variação dos módulos de elasticidade e ruptura em madeira de cedro-australiano por meio de ensaios não destrutivo e destrutivo. *Ciência florestal*. Outubro de 2018;28(3):1163–78.
- [88].ISO. BS EN 1607:2013 - Thermal insulating products for building applications — Determination of tensile strength perpendicular to faces. 2013.
- [89].Isolamento de cortiça [Internet]. 2025 [citado 8 de maio de 2025]. Disponível em: <https://www.leroymerlin.pt/produtos/isolamento-de-cortica-go4cork-expanded-20mm-2m2-pack-4-un-17845534.html>
- [90].Aglomerado de cortiça expandida [Internet]. 2025 [citado 8 de maio de 2025]. Disponível em: <https://cortica24.pt/loja/32-aglomerado-de-cortica-expandida/877-paineis-isolantes-aglomerados-de-corticcedila-20x500x1000mm/>
- [91].Placa de cortiça [Internet]. 2025 [citado 8 de maio de 2025]. Disponível em: [https://topeca.pt/pt/product/placa-de-cortia?Srsltid=afmboorne1vps6lbabiih7qzclx-45wphod1mxgijbdwc1j\\_fyw0olmd](https://topeca.pt/pt/product/placa-de-cortia?Srsltid=afmboorne1vps6lbabiih7qzclx-45wphod1mxgijbdwc1j_fyw0olmd)
- [92].Cortiça expandida aglomerado [Internet]. 2025 [citado 8 de maio de 2025]. Disponível em: <https://www.obras360.pt/0010040002cw-aglomerado-de-cortica-expandida-icb-isolamento-termico-acustico>
- [93].Aglomerado de cortiça expandida [Internet]. 2025 [citado 8 de maio de 2025]. Disponível em: <https://www.amorimcorkinsulation.com/produtos/>

## **ANEXOS**

### **ANEXO 1 – DAILY CHECK DO CALORÍMETRO DE CONE.**

1. Ligar o equipamento e inserir a temperatura da calibração anterior.
2. Após a estabilização da temperatura, um molde contendo areia para homogeneizar o máximo possível o fluxo do gás é inserido no suporte. Este molde possui uma conexão com um tanque contendo gás metano que será utilizado na próxima etapa para aferição do *Heating Helease Rate* (HRR).
3. Abrir a válvula do gás metano e ajustar sua liberação para um fluxo de aproximadamente 5,03 litros que corresponde a um fluxo de calor de 3 kW, como descrito no manual do equipamento que segue a norma citada.
4. Utilizar o ignitor sobre o molde com areia para gerar a chama. O calor gerado pela chama irá ser lido pelos termopares e o fluxo mencionado de 3 kW deve ser atingido após um breve tempo com uma margem de 5%, ou seja, em um limiar de valores entre 2.85 e 3.15 kW. Caso a estabilização ocorra fora deste período, uma nova calibração deve ser feita.
5. No caso positivo do passo anterior, podemos então fechar a válvula do gás metano e retirar o molde de aferição com areia e o equipamento está pronto para ser utilizado.