



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP**  
**ESCOLA DE MINAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE CONTROLE  
E AUTOMAÇÃO**



**VICTOR HUGO DA FONSECA GAMA**

**REAÇÃO AO FOGO DE ESPÉCIES COMERCIAIS DE  
MADEIRA: O EMPREGO DO CONE CALORÍMETRO DE PERDA DE  
MASSA**

**OURO PRETO - MG**  
**2017**

**VICTOR HUGO DA FONSECA GAMA**

**victorhugofgama@gmail.com**

**REAÇÃO AO FOGO DE ESPÉCIES COMERCIAIS DE  
MADEIRA: O EMPREGO DO CONE CALORÍMETRO DE PERDA DE  
MASSA**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

**Professor orientador:** Prof. MSc. DSc. PDr. Antonio Maria Claret

**OURO PRETO – MG  
2017**

G184r

Gama, Victor Hugo da Fonseca.

Reação ao fogo de espécies comerciais de madeira [manuscrito]: o emprego do cone calorímetro de perda de massa / Victor Hugo da Fonseca Gama. - 2017.

60f.: il.: color; tabs.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Maria Claret.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia de Controle e Automação e Técnicas Fundamentais.

1. Madeira - Densidade. 2. Madeira - Testes. 3. Madeira - Proteção contra fogo. 4. Madeira - Umidade. I. Maria Claret, Antonio. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 681.5

Catálogo: [ficha@sisbin.ufop.br](mailto:ficha@sisbin.ufop.br)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE CONTROLE E  
AUTOMAÇÃO E TÉCNICAS FUNDAMENTAIS  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**ATA DA DEFESA**

Aos 30 dias do mês de março de 2017, às 15h, na sala 01, localizada na Escola de Minas – Campus - UFOP, foi realizada a defesa de Monografia do aluno **Vitor Hugo da Fonseca Gama**, sendo a comissão examinadora constituída pelos professores: Prof. DSc. Antonio Maria Claret de Gouveia (DECAT), Prof. MSc. Hélder Luis Françoso (DEARQ) e Prof. MSc. Edésio Alves de Sousa (DEARQ). O candidato apresentou o trabalho intitulado: **“Reação ao fogo de espécies comerciais de madeira: o emprego do cone calorímetro de perda de massa”**, elaborado sob orientação do Prof. DSc. Antonio Maria Claret de Gouveia. Após as observações dos avaliadores, em comum acordo, os presentes consideram o(a) aluno(a) **aprovado** com a nota/conceito 9,7 (nove vírgula sete).

Ouro Preto, 30 de março de 2017.

Prof. DSc. Antonio Maria Claret de Gouveia  
**Professor Orientador**

Prof. MSc. Hélder Luis Françoso  
**Professor Avaliador**

Prof. MSc. Edésio Alves de Sousa  
**Professor Avaliador**

Vitor Hugo da Fonseca Gama  
**Aluno(a)**

A minha família por sempre me orientar  
e estarem ao meu lado em todas minhas  
decisões.

## **AGRADECIMENTO**

Ao meu orientador Antônio Maria Claret pelo incentivo e pela dedicação na orientação neste trabalho.

A minha família por suporte e amparo em todos os momentos.

Aos professores do curso de engenharia mecânica por suas importantes contribuições para o aprimoramento deste trabalho.

Aos irmãos da República Refugiados, pela amizade e a convivência dos melhores anos da minha vida.

Aos amigos da Engenharia Mecânica por todos esses anos de convivência.

À renomada instituição de ensino Escola de Minas/Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP.

*“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível”.*

Charles Chaplin

## RESUMO

Com o largo emprego da madeira na construção civil, é importante o conhecimento das propriedades da queima da madeira para o devido emprego desta matéria-prima. O cone calorímetro de perda de massa é um aparelho que permite a obtenção dos parâmetros envolvidos em uma queima, tais como calor efetivo de combustão, perda de massa, taxa de liberação de calor, a composição da fumaça, o tempo de ignição e a taxa de propagação das chamas, importantes para o entendimento do comportamento das madeiras comerciais utilizadas. Neste presente trabalho, é apresentada a análise em forma de pesquisa bibliográfica dos resultados obtidos na Tese de Mestrado de Monique Ferreira Rocha intitulado “*Determinação Experimental de Propriedades de Combustão de Madeiras Maciças Brasileiras*”, além de um estudo do funcionamento e apresentação de um cone calorímetro de perda de massa. Cada tipo de amostra demonstra valores específicos das propriedades estudadas. Como já observado em outros estudos, nota-se que a densidade da madeira e a umidade da amostra são parâmetros de alta influência nos indicadores analisados.

**Palavras-chave:** madeira, cone calorímetro de perda de massa, queima, parâmetros de combustão.



## ABSTRACT

*With the wide use of wood in construction, it is important to know the properties of wood burning for the proper use of this raw material. The mass loss calorimeter is a device that allows the achievement of parameters involved in the burn. Parameters such as effective heat of combustion, mass loss, heat release rate, smoke composition, ignition time and flame propagation rate are important for understanding the behavior of commercial wood used in general. In this paper, the analysis is presented as a bibliographical research of the results obtained in Monique Ferreira Rocha's master thesis titled "Experimental Determination of Combustion Properties of Brazilian Massive Woods", in addition to a study of the operation and presentation of a mass loss calorimeter. Each type of sample demonstrates specific values of the properties studied. As already observed in other studies, it is noticed that the wood density and the humidity of the sample are parameters of high influence in the indicators analyzed.*

*Keywords: wood, mass loss calorimeter, burning, combustion parameters.*

## LISTA DE SIMBOLOS

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

CCPM – Cone Calorímetro de Perda de Massa.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

EHC – Calor efetivo de combustão.

HRR – Taxa de liberação de calor.

THR – Taxa total de liberação.

MLR – Taxa de perda de massa.

MDF - Medium density fiber board.

OSB - Oriented Strand Board.

ASTM - American Society for Testing and Materials.

$U_{\text{termo}}$  – Diferença de Potencial.

$dQ_p$  – Calor gerado.

$\Pi$  – Coeficiente de Peltier.

$E$  – Força eletromotriz.

$T$  – Temperatura.

TIG – Temperatura de ignição.

TOP – Tempo de pirólise.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Cone calorímetro e unidade de processamento de sinais.
- Figura 2 - Corrente Termoelétrica  $i$  gerada pela diferença de temperatura  $T_1$  e  $T_2$ .
- Figura 3 – Seção carbonizada da madeira.
- Figura 4 – Resistência mecânica à compressão paralela às fibras.
- Figura 5 – a) Orientação vertical; b) Orientação horizontal.
- Figura 6 – Aquecedor cônico elétrico.
- Figura 7 – Vela de ignição elétrica.
- Figura 8 – Reguladores de saída de gás Metano.
- Figura 9 – Queimador.
- Figura 10 – Medidor de fluxo de calor.
- Figura 11 –  $T_2 > T_1$ ; a)  $V$  – voltímetro; b)  $I$  – corrente de circuito estacionária.
- Figura 12 - A polarização em  $V$  determina o tipo de semicondutor.
- Figura 13 - Corrente  $i$  e força eletromotriz  $E$  gerada pela diferença de temperatura das juntas  $p$  e  $q$ .
- Figura 14 – A força eletromotriz  $E$  não é afetada pelas temperaturas  $T_3$  e  $T_4$ , pois  $T_1$  e  $T_2$  são constantes.
- Figura 16 – Temperaturas sucessivas.
- Figura 17 – O Termômetro mede a temperatura de  $T_2$  podendo assim determinar  $T_1$ .
- Figura 18 – Adição de fios de cobre no circuito do termopar.
- Figura 19 – Associação em série de termopares ou termopilha, a soma das forças eletromotrizes é de  $3E$ .
- Figura 20 – Associação em paralelo de termopares.
- Figura 21 – Classificação da pesquisa bibliográfica.
- Figura 22 – Amostras preparadas e enroladas em papel alumínio.
- Figura 23 – Programa de testes.
- Figura 24 – Condução do teste.

Figura 25 – Amostras das espécies de madeira.

Figura 26 – Tela principal da coleta de dados dos ensaios.

Figura 27 – Gráfico de HRR (dividido por amostra) x tempo.

Figura 28 – Gráfico de HRR x tempo. Pontos onde ocorreram as mudanças dos regimes de queima. 1 - início da pirólise, 2 – Pico HRR, 3 - combustão na parte inferior da madeira, 4 - incandescência.

Figura 29 – Gráfico de THR x Densidade

Figura 30 Gráfico de PHRR x Densidade

Figura 31 – Gráfico de MHRR x Densidade

Figura 32 – Gráfico de HRR180 x Densidade.

Figura 33 – Gráfico de HRR300 x Densidade.

Figura 34 – Gráfico de EHC x Densidade.

Figura 35 – Gráfico de TML x Densidade.

Figura 36 – Gráfico de MLR x Densidade.

Figura 37 – Gráfico de TTI x Densidade.

Figura 38 – Gráfico de TOP x Densidade.

Figura 39 – Gráfico de TIG x Densidade.

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Fases da degradação da madeira.

Tabela 2 – Tipos de Termopares.

Tabela 3 – Diferenças entre a pesquisa quantitativa e qualitativa.

Tabela 4 – Espécies de madeira selecionadas para o teste.

Tabela 5 – Variáveis e indicadores.

Tabela 6 – Tabela da análise experimental.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1	Formulação do Problema.....	1
1.2	Justificativa.....	3
1.3	Objetivos.....	4
1.3.1	Geral .....	4
1.3.2	Específicos.....	4
1.4	Estrutura do Trabalho .....	5
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>6</b>
2.1	Comportamento da madeira em temperaturas elevadas .....	6
2.2	Influência da temperatura sobre as propriedades da madeira.....	7
2.3	Taxa de liberação de calor (TLC).....	8
2.4	Cone calorímetro de perda de massa (CCPM) .....	9
2.5	Termopilha.....	13
2.5.1	Efeito <i>Seebeck</i> .....	14
2.5.2	Efeito <i>Peltier</i> .....	15
2.5.3	Efeito Thomson .....	15
2.6	Termopares .....	16
2.6.1	Tipos usuais de termopares.....	18
2.6.2	Circuitos de Termopares .....	19
2.6.3	Circuitos em associação em série e paralelo .....	20
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>22</b>
3.1	Tipos de pesquisa.....	22
3.2	Materiais e métodos.....	25
3.3	Corpos de prova.....	26
3.4	Condução do teste.....	27
3.5	Variáveis e indicadores.....	30
3.6	Instrumentos para coletas de dados .....	31
3.7	Tabulação dos dados.....	31
3.8	Considerações finais .....	31
<b>4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>32</b>

4.1	Parâmetros analisados.....	32
4.2	HRR, PHRR, MHR, THR, <i>HRR</i> <sub>180</sub> e <i>HRR</i> <sub>300</sub> .....	34
4.3	EHC .....	39
4.4	TML e MLR .....	39
4.5	TTI, TOP E TIG .....	41
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>44</b>
5.1	Sugestões para trabalhos futuros .....	45
	<b>REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>1</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Formulação do Problema

A madeira é uma *commodity* indispensável no dos dias atuais e uma matéria prima importante com ampla aplicação na indústria e em edificações. Segundo o IBGE (2014) foram extraídos 290 milhões de metros cúbicos de madeira no Brasil, incluindo silvicultura e extrativismo vegetal, somando R\$ 20,8 bilhões (IBGE, 2014).

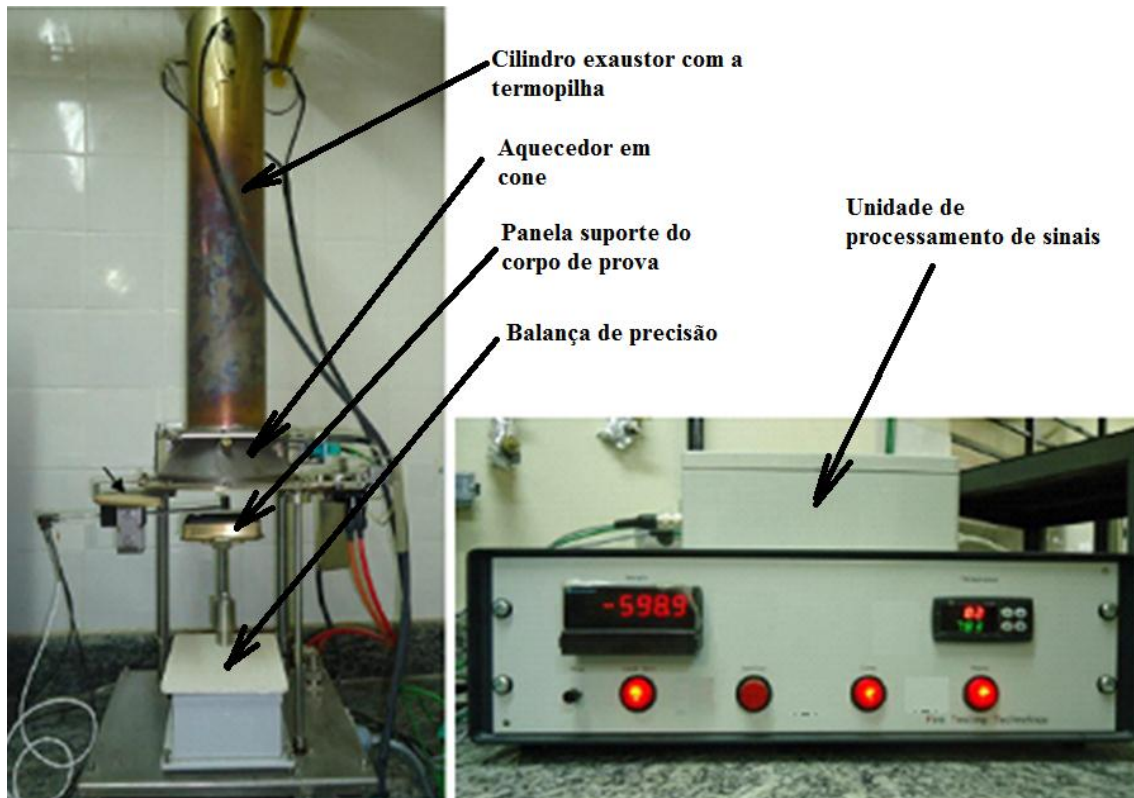
O risco de incêndio é inerente a qualquer edificação, o que implica na necessidade de investigar o comportamento da madeira ao fogo, ou seja, estudar a reação ao fogo da madeira e de outros materiais de construção. Em particular, as edificações barrocas das cidades históricas são predominantemente em madeira, o que aumenta seu risco em incêndio comparado ao uso da alvenaria. Sua conservação e restauração são diretamente dependentes do conhecimento das propriedades de reação ao fogo da madeira.

A densidade, composição química e o teor de umidade definem as propriedades mecânicas da madeira. Contudo, em situações de queima, esse material se comporta de maneira alterada. A degradação causada por um incêndio afeta a resistência deste material. Com o conhecimento do comportamento da madeira em altas temperaturas é possível prever o tempo de resistência e a quantidade de calor gerado nessa situação (ROCHA, 2014).

Diversos equipamentos são utilizados em um laboratório de pesquisa da reação ao fogo de materiais. Dentre eles, citam-se os cones calorímetros, sendo o de consumo de O<sub>2</sub> e o de perda de massa os mais comuns.

O Cone Calorímetro de Perda de Massa (CCPM) é um equipamento que se compõe basicamente de um aquecedor em forma de um tronco de cone, de uma balança de precisão e de um cilindro para recolhimento dos gases de combustão, ver Figura 1. O aquecedor, em geral, utiliza resistências elétricas capazes de gerar uma radiação incidente constante na superfície de um corpo de prova horizontal com intensidade que pode variar de 0 kW/m<sup>2</sup> a 100 kW/m<sup>2</sup> (ROCHA, 2014).





O cilindro destina-se a coletar os gases gerados pela combustão da madeira. A diferença de temperatura dos gases entre a base do cilindro e o seu topo gera uma diferença de potencial elétrico em uma termopilha. A relação entre essa diferença de potencial e a potência da combustão é feita em um processo de calibração que envolve a combustão de 1 g de gás metano que gera a quantidade fixa de 13,1 kJ, segundo a norma ASTM E-1354-11b.

Os ensaios no cone calorímetro de perda de massa são realizados de acordo com o procedimento descritos na norma ISO 5660-1 (2002), específica para ensaios que visam a medir a potência da combustão ou taxa de liberação de calor. As amostras tem as dimensões de 100 x 100 mm<sup>2</sup> e com espessuras variáveis entre 19 mm e 50 mm, colocadas sobre uma base de lã de vidro isolante, sendo as faces não expostas ao fluxo cobertas por papel laminado. Esses cuidados são tomados para garantir que toda energia calorífica conduzida pelo corpo de prova retorne para ele ao chegar à superfície inferior (maior quantidade) ou às superfícies laterais (quantidade desprezível de energia) (ISO 5660-1, 2002).

A termopilha é um componente do cone calorímetro de Perda de Massa — CCPM. Trata-se de um módulo termo eletrônico baseado no efeito *Seebeck*. O efeito *Seebeck* pode ser descrito com um circuito com dois materiais diferentes; uma corrente é gerada pela diferença de temperatura entre as duas junções, conforme figura 2. Este circuito é denominado termopar, ou seja, é uma fonte de força

eletromotriz  $E$ . Conectando-se um voltímetro na extremidade  $p$  e  $q$  do circuito, é possível a leitura da quantidade de perda de calor em  $mV$  (milivolts) na termopilha (GÓMES, 2014).

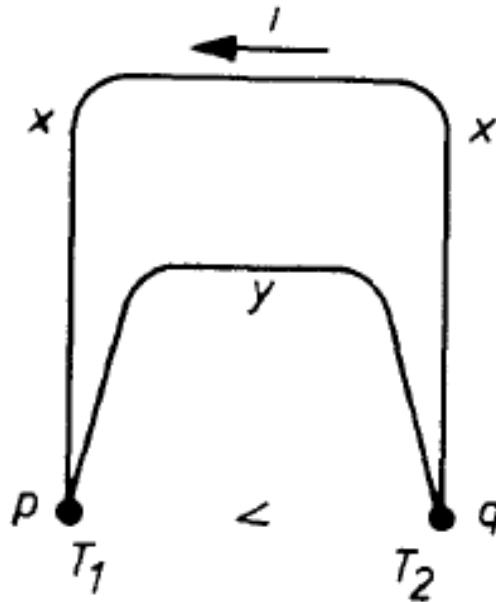


Figura 2 - Corrente Termoelétrica  $i$  gerada pela diferença de temperatura  $T_1$  e  $T_2$ .  
Fonte: Gómes, L. A. (2014).

Nesse trabalho, investigam-se as propriedades de queima, já publicadas na literatura técnica recente brasileira, de diferentes espécies de madeira por meio do ensaio no CCPM. Esse trabalho visa a responder as seguintes questões:

- a) Como se aplica o CCPM na pesquisa da reação ao fogo da madeira?
- b) Qual a taxa típica de liberação de calor e a taxa de perda de massa das espécies comerciais comuns de madeira no Brasil?

## 1.2 Justificativa

Internacionalmente a segurança contra incêndios é abordada de forma mais séria, sendo considerada uma importante área de pesquisa em países da Europa assim como dos EUA e o Japão. Já no Brasil essa realidade é diferente, não há muitos registros de pesquisas conduzidas nessa área. Isso pode ser explicado pela pouca utilização da madeira na construção civil e sua baixa utilização pode ser devida à insegurança gerada pelo risco de incêndio (SEITO, 2008).

A escassez de dados experimentais decorre da pouca infraestrutura laboratorial compatível para a pesquisa do comportamento ao fogo dos materiais. Nas últimas duas décadas, criaram-se laboratórios de pesquisa da reação ao fogo de madeiras nas Universidades de Campina, USP - São Paulo e na Escola de Engenharia de São Carlos, onde o seu foco está no comportamento estrutural de barras formadas de madeira laminada. Para a pesquisa do comportamento da madeira a ser utilizada como material de revestimento e em móveis, apenas o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE e a COPPE/UFRJ possuem equipamentos aplicáveis.

Devido a escassez de dados experimentais causa uma carência de um banco de dados e de normas que regularizam as propriedades dos materiais em relação ao fogo, fundamentais para avaliação de riscos de incêndio (ROCHA, 2014), como por exemplo:

1. a taxa de liberação de calor;
2. a composição da fumaça;
3. o tempo de ignição;
4. a taxa de propagação das chamas.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Geral**

Pesquisar a metodologia experimental de obtenção das propriedades de queima da madeira com o emprego do CCPM de acordo com o exposto na literatura técnica brasileira. Embora toda a literatura tenha sido consultada, o trabalho básico é a dissertação de mestrado: “*Determinação experimental de propriedades de combustão de madeiras maciças brasileiras*” por Monique Amaro de Freitas Rocha (2014), defendida no Programa de Engenharia Civil da COPPE/UFRJ.

#### **1.3.2 Específicos**

- Introduzir o tema estudado, assim como seus objetivos, vantagens e consequências;
- Apresentar uma fundamentação teórica explicando o funcionamento do CCPM e seus componentes;
- Apresentar os materiais e métodos, descrevendo-os e explicando sua construção e instrumentação;
- Exemplificar as medições experimentais das seguintes propriedades: calor efetivo de combustão (EHC – *Effective Heat of Combustion*); tempo de ignição (*Time to ignition* – TTI), tempo de pirólise (*Time of pyrolysis* – TOP) e temperatura de ignição (TIG); o

HRR (*Heat Release Rate*) ou potência de combustão da queima, calor total liberado (THR – *Total Heat Release*); a massa total perdida (MLR – *Massa Loss Rate*).

Os dados utilizados nas análises apresentadas nesse trabalho foram obtidos de Rocha (2014) e da tese de doutorado em desenvolvimento de Luciana Castanheira que versa sobre a reação ao fogo de madeiras comerciais brasileiras tratadas contra insetos.

#### **1.4 Estrutura do Trabalho**

O presente trabalho será dividido em cinco capítulos, sendo eles divididos e seguindo a ordem a seguir: introdução, na qual é apresentado o tema dividido em subcapítulos: revisão bibliográfica, onde se desenvolve embasamento teórico do tema: metodologias nele são listadas os métodos de pesquisa e os materiais utilizados; resultados, que são apresentados os resultados obtidos de acordo com o tema; e discussões a respeito, conclusão, onde o tema é brevemente concluído de acordo com os dados obtidos nos resultado.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Comportamento da madeira em temperaturas elevadas

Em situação de incêndio, a madeira queima-se produzindo subprodutos, dos quais o carvão, retarda o fluxo de calor para o interior da seção agindo como um isolante térmico. Esse fenômeno diminui a velocidade de degradação da madeira pela alta temperatura e diminui a taxa de carbonização causada pela queima. Dessa forma, pode-se observar que no interior do material, há uma área carbonizada, cuja propriedade mecânica é afetada pelo calor e um núcleo inalterado (FIGUEROA, 2009).

Durante processo da queima da madeira, Figura 3, ocorre primeiramente o seu pré-aquecimento até ocorrer a vaporização da água presente no material. Forma-se em seguida, uma frente de vaporização que se direciona ao interior da peça. Com o constante aquecimento, a superfície da madeira atinge uma temperatura acima da qual forma-se uma frente de decomposição, a pirólise, que causa liberação de voláteis leves e pesados. Ocorre a chama quando essa taxa de liberação de voláteis é grande o suficiente para formar uma mistura combustível acima do seu limite inferior de inflamabilidade. Caso isso não ocorra, existirá uma fase da queima com incandescência, sem chama. Ao final da liberação dos voláteis, a madeira transforma-se em carvão (ROCHA, 2014).

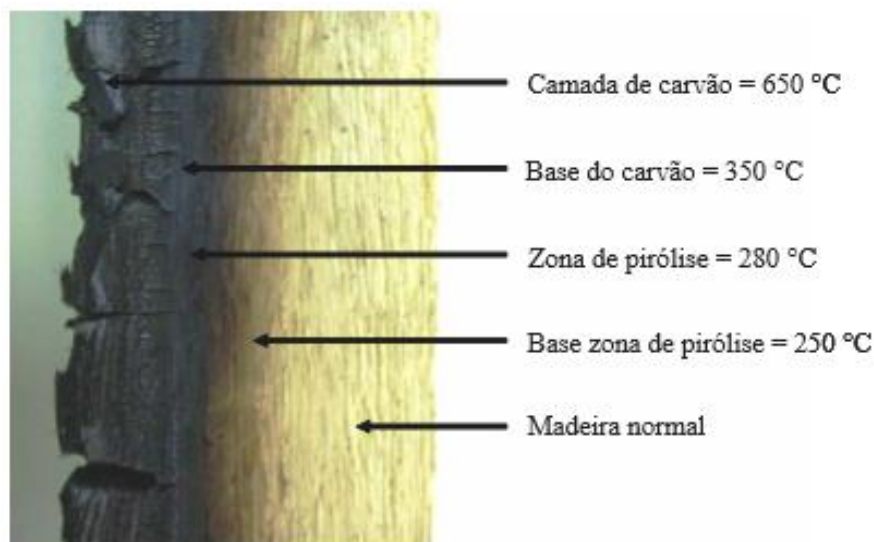


Figura 3 – Seção carbonizada da madeira.

Fonte: Figueroa, *et al* (2009).

Rocha (2014) cita que o processo de queima pode ser dividido em cinco fases de acordo com a temperatura, ver tabela 1. A partir de 50°C surgem as primeiras mudanças físico-químicas. Entre 150°C e 160°C, iniciam-se as reações exotérmicas e são diretamente proporcionais ao aumento da temperatura. Acima de 200°C ocorre a perda acelerada de massa, a qual implica na redução da resistência mecânica da madeira (ROCHA, 2014).

Tabela 1 – Fases da degradação da madeira.

Fase	Temperatura	Fenômeno
I	Até 200 °C	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Processo denominado pirólise lenta.</li> <li>- Liberação de vapor d'água e gases.</li> <li>- A madeira não se igniza.</li> <li>- Existência de algumas reações exotérmicas de oxidação.</li> <li>- Mudança de cor.</li> </ul>
II	200 a 280 °C	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumento de reação química e eliminação de gases.</li> <li>- Ocorrência de reações exotérmicas primárias sem inflamação.</li> <li>- Temperatura considerada como a temperatura de ignição.</li> <li>- Fase conhecida como pirólise rápida.</li> </ul>
III	280 a 380 °C	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Produção de grandes quantidades de destilados, principalmente ácidos acéticos e metanol.</li> <li>- O resíduo final dessa fase já é carvão vegetal, mas que ainda apresenta compostos volatilizáveis em sua estrutura.</li> <li>- Fase exotérmica.</li> </ul>
IV	380 a 500 °C	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Redução da emissão de gases.</li> <li>- Produção de ácido acético, metanol, alcatrão e diversas substâncias gasosas condensáveis.</li> <li>- A perda de massa é da ordem de 70% em relação à massa original.</li> <li>- Fase exotérmica.</li> </ul>
V	Acima de 500 °C	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Término da carbonização e início da gaseificação do carvão.</li> <li>- O carvão é o resíduo principal.</li> <li>- No interior da madeira permanece a temperatura das fases I, II e III.</li> <li>- Fase exotérmica.</li> </ul>

Fonte: Figueroa, *et al* (2009).

## 2.2 Influência da temperatura sobre as propriedades da madeira

A temperatura exerce grande influência sobre as propriedades da madeira. Essa influência pode se apresentar como temporária ou permanente. (FIGUEIROA, 2009).

Após 65°C ocorrem os efeitos permanentes, aqueles que não são reversíveis após o resfriamento. Caracteriza-se pela perda de peso dos carboidratos, perda de água e adesão pelo amolecimento de lignina (FIGUEROA, 2009).

FIGUEROA (2012) analisou casos de influência da temperatura nas propriedades da madeira como resistência à compressão, à tração, ao cisalhamento, e nos módulos de elasticidades à compressão e à torção. Avaliou o resultado desses parâmetros para amostras da espécie *Pinus taeda*, *Eucalyptus saligna* e *Schizolobium amazonicum* submetidas a temperaturas entre 20°C e 230°C.

No caso específico da resistência à compressão no sentido paralelo às fibras, Figueiroa (2012) descreve o ensaio de 2025 corpos de provas das três espécies de madeira, a saber, *Pinus taeda* (Pinheiro), *Eucalyptus saligna* (Eucalipto) e *Schizolobium amazonicum* (Canafista). Como se pode observar na figura 4 abaixo, os resultados mostraram que o aumento de temperatura ocasionou uma significativa redução da resistência mecânica (ROCHA, 2014).

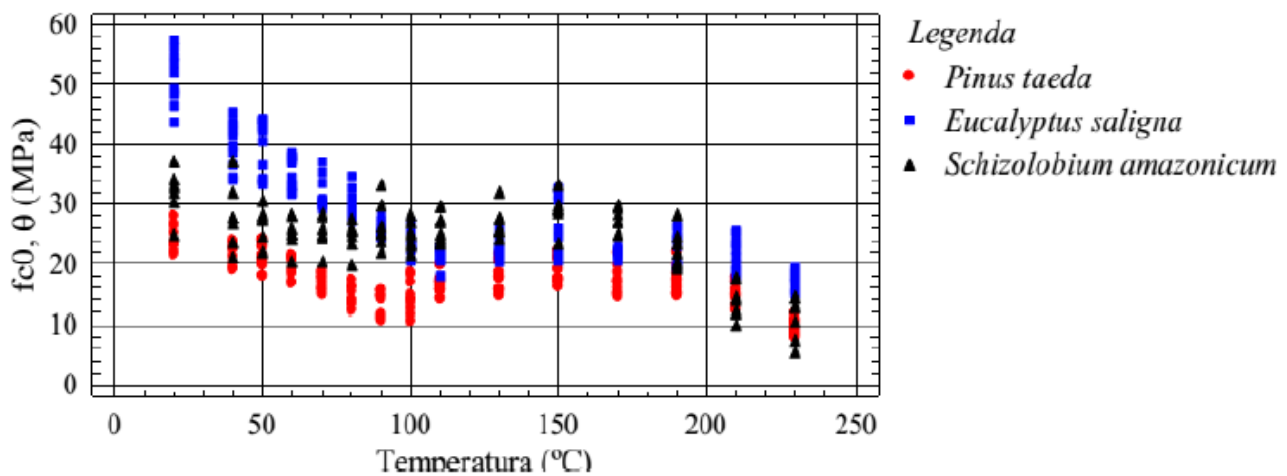


Figura 4 – Resistência mecânica à compressão paralela às fibras.

Fonte: Rocha, (2014).

### 2.3 Taxa de liberação de calor (TLC)

A taxa de liberação de calor - TLC ou *Heat Release Rate* - HRR é a grandeza que mede a potência da combustão, isto é, a quantidade de calor liberado na unidade tempo. Em Engenharia de Incêndio, costuma-se dizer que a TLC mede a grandeza de um incêndio. Simplificando, TLC é a grandeza que define o tamanho do incêndio.

A relação entre consumo de oxigênio e calor liberado na combustão é de aproximadamente  $13,1 \times 10^3 \text{ kJ}$  de calor produzido e liberado, por quilo de oxigênio. As amostras são queimadas nas condições do ar ambiente sendo submetidas a uma radiação externa variando de 0 a  $100 \text{ kW/m}^2$ . As medidas das concentrações dos gases de combustão são feitas a partir da coleta por meio de uma coifa que é montada em cima do radiador em cone. Este método de ensaio é utilizado com o intuito de

avaliar a resposta do produto diante da queima, ou seja, a sua taxa de liberação de calor (ROCHA, 2014).

Em alguns modelos de cone calorímetro, os gases de combustão são aspirados por uma bomba e são lavados. Um agente de secagem remove a umidade dos gases. Analisadores de gases calculam a quantidade de oxigênio presente na amostra de gases de combustão a partir da qual é possível calcular a porcentagem a taxa de calor liberada.

#### 2.4 Cone calorímetro de perda de massa (CCPM)

O cone calorímetro de perda de massa - CCPM foi proposto na década de 1950 por *Vytenis Babrauska*. Seu princípio físico-químico consistia na determinação da massa consumida na combustão que correspondia a uma quantidade de calor produzida. Esse método tinha muitas imprecisões por causa da variabilidade das amostras de um mesmo material. Na década de 1980, um novo princípio foi proposto, dando origem ao cone calorímetro que permitia o cálculo da taxa de calor liberada em função da depleção de oxigênio na combustão. No entanto, o CCPM não perdeu sua utilidade por ser mais simples e de menor custo (ROCHA, 2014).

A norma ASTM E1354-11B (2013) regulamenta a calibração do CCPM e a norma ISO 5660-1 (2002) especifica os ensaios para determinação da taxa de liberação de calor (HRR). Conforme a norma, a superfície de amostra deve ter dimensões de área de no máximo 100 x 100 mm e espessura entre 19 mm e 50 mm. Essa superfície é exposta a um nível constante de radiação de calor variando entre 0–100  $kW/m^2$  e colocada sobre uma balança que mede a perda de massa a taxas de calor (25, 35, 50 e 75  $kW/m^2$ ).

Os gases gerados na combustão realizada pela vela de ignição são recolhidos por um exaustor conectado a um tubo, no qual são acoplados termopares. Esse tubo forma uma termopilha. Adotando-se como referência a variação de temperatura entre dois pontos fixos do tubo da termopilha, quando se queima 1 g de metano que gera 13,1 kJ, faz-se a calibração da termopilha. Com esse procedimento é possível calcular a taxa de liberação de calor e outros parâmetros importantes como tempo de ignição, perda de massa, calor efetivo de combustão.

Existem 2 tipos de cone calorímetro, o de orientação vertical e o de orientação horizontal, conforme a figura 5.



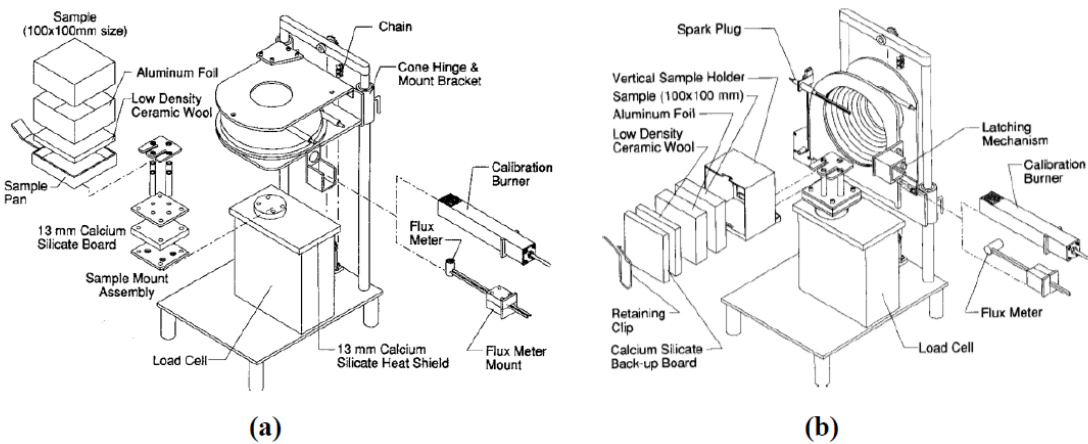


Figura 5 – a) Orientação vertical; b) Orientação horizontal.

Fonte: Rocha, (2014).

O CCPM é composto de um conjunto cone que se constitui por aquecedor cônico (Figura 6), célula de carga, produtor de faísca de ignição (Figura 7), medidor de fluxo (Figura 10), três termopares de controle de temperatura, mecanismo de isolamento, suporte de montagem e unidade de controle.

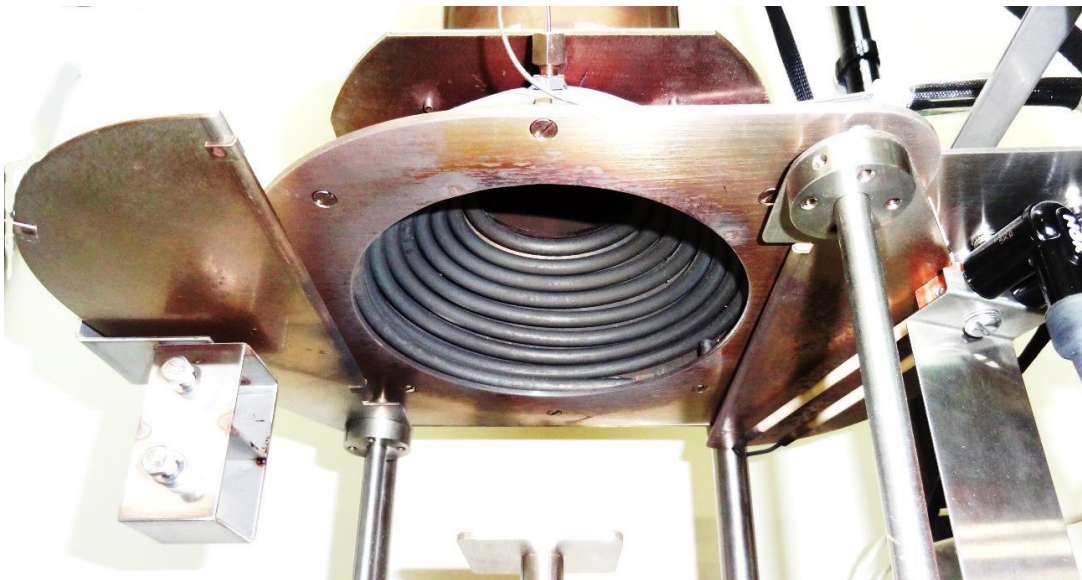


Figura 6 – Aquecedor cônico elétrico.

Fonte: Rocha, (2014).



Figura 7 – Vela de ignição elétrica.

Fonte: Rocha, (2014).



Figura 8 – Reguladores de saída de gás Metano.

Fonte: Rocha, (2014).



Figura 9 – Queimador.

Fonte: Rocha, (2014).



Figura 10 – Medidor de fluxo de calor.

Fonte: Rocha, (2014).

## 2.5 Termopilha

A termopilha é o componente responsável pela captura de dados no tubo onde são coletados os gases de combustão. Ele é ligado a uma rede de processamento onde é possível a leitura dos parâmetros do processo. Segue a seguir os princípios de funcionamento da termopilha e como é possível a leitura dos parâmetros da queima da madeira.

Elas são componentes baseados no efeito *Seebeck* desenvolvidos para aplicações aeroespaciais e militares. Possuem a função de transformar a diferença de calor entre pontos em diferença de potencial, tornando assim possível a leitura do valor numérico da temperatura. São constituídos por pares de semicondutores, principalmente bismuto e telúrio, e são ligados eletricamente em série e termicamente em paralelo (VOLPE, 2009).

Os materiais dos semicondutores que constituem a termopilha são do tipo P e N e são denominados N quando possuem mais elétrons do que o necessário para completar retículo cristalino e P quando não possuem déficit de elétrons para completar o retículo cristalino (VOLPE, 2009).

### 2.5.1 Efeito Seebeck

Verifica-se que se se aplica um gradiente de temperatura a um condutor sólido, surge nele uma corrente elétrica. O efeito *Seebeck* (Figura 11) surge da ligação entre si de fios condutores de diferentes materiais, mantendo-se os pontos de ligação a diferentes temperaturas. Observa-se uma diferença de potencial entre os pontos de ligação (Figura 11 a) ou uma intensidade de corrente (Figura 11 b) (ROLF, *et al.*, 2005).

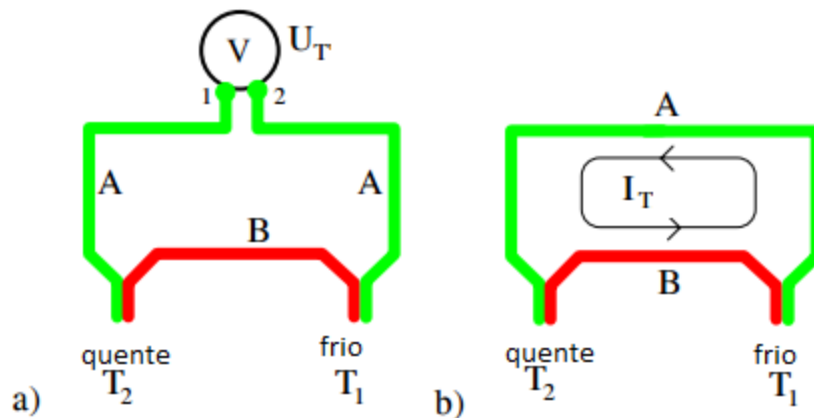


Figura 11 –  $T_2 > T_1$ ; a) V – volímetro; b) I – corrente de circuito estacionária.

Fonte: Rolf Pelster *et al.*, (2005).

O aumento da diferença de potencial entre os pontos de ligação  $U_{\text{termo}}$  é linear quando a diferença de temperatura é baixa. Para diferenças de temperaturas de 100K, mede-se a voltagem de alguns mV, para semicondutores essa diferença de potencial pode ser de até em torno de 100mV (ROLF *et al.*, 2005).

O efeito Seebeck tem diversas aplicações práticas: a diferença de temperatura determina a medida da tensão térmica, assim o elemento térmico calibrado é determinado como medidor de temperatura. Assim ele pode ser empregado como acionador de alarmes de incêndio ou como detector de chamas (ROLF, Pelster *et al.*, 2005).

Pode-se determinar o potencial calorífico de um metal através do esquema da figura 4 a seguir. O desempenho de um semicondutor desconhecido é determinado (tipo n ou p) a partir da falta ou sobra de elétrons para completar o retículo cristalino (ROLF, Pelster *et al.*, 2005).

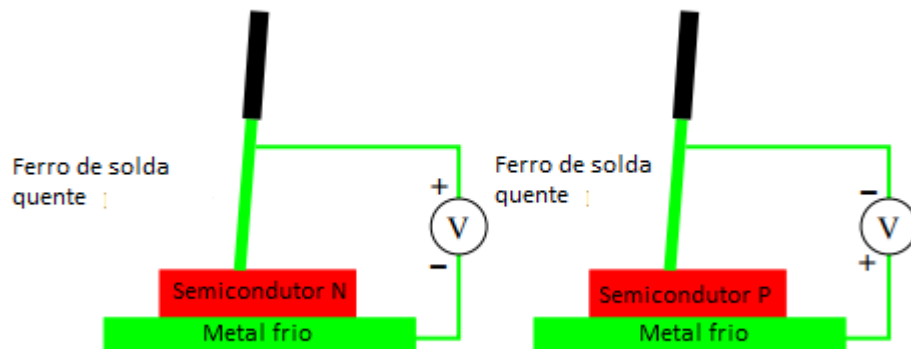


Figura 12 - A polarização em V determina o tipo de semicondutor.

Fonte: Rolf Pelster et al., (2005).

### 2.5.2 Efeito *Peltier*

Introduzindo pequenas correntes elétricas em um termopar de bismuto-antimônio, *Peltier* descobriu efeitos termoelétricos. Ele mostrou que quando uma corrente elétrica atravessa a junção de dois metais, a junção se resfria, absorvendo calor do meio que ela se encontra. E quando se inverte a corrente, a junta se aquece, aquecendo o meio em que se encontra (SOUZA, 2014).

O efeito *Peltier* a emissão ou absorção de calor presente em uma junção de dois metais diferentes quando há a presença de uma corrente elétrica. O calor gerado é proporcional à corrente elétrica, como descrito a seguir:

$$dQ_p = \pi i dt \quad (1)$$

Onde  $\pi$  é conhecido como coeficiente *Peltier* ou tensão *Peltier*. Ele representa o calor absorvido ou emitido pela junção. A temperatura e os materiais da junção dos metais definem a polaridade e a magnitude da tensão *Peltier*. O efeito *Peltier* está diretamente ligada ao efeito *Seebeck*, visto que o coeficiente *Seebeck*,  $\alpha$ , define a taxa de absorção ou liberação de calor de uma junção termoelétrica (SOUZA, 2014).

### 2.5.3 Efeito Thomson

*Thomson* provou que o efeito *Seebeck* e o efeito *Peltier* estão correlacionados. *Thomson* concluiu que, se uma corrente elétrica produz somente os efeitos *Peltier* de aquecimento, então a

tensão *Peltier* na malha seria igual à tensão *Seebeck* e seria proporcional à diferença de temperatura das junções do termopar (SOUZA, 2014).

O efeito *Thomson* se refere à emissão ou absorção reversível de calor que ocorre quando uma corrente elétrica atravessa um material condutor homogêneo no qual um gradiente de temperatura é mantido, não importando se a corrente está sendo introduzida externamente ou induzida pelo próprio termopar (SOUZA, 2014).

## 2.6 Termopares

O circuito de ligação da termopilha é denominado termopar. De acordo com a figura abaixo, observa-se que a força eletromotriz  $E$  (tensão) é gerada mantendo-se a junta  $p$  a temperatura  $T_1$  e a junta  $q$  a temperatura  $T_2$ . Portanto os pontos  $P_1$  e  $P_2$  são os terminais de um gerador de força eletromotriz que pode ser medida com aparelhos eletrônicos (GÓMES, 2014).

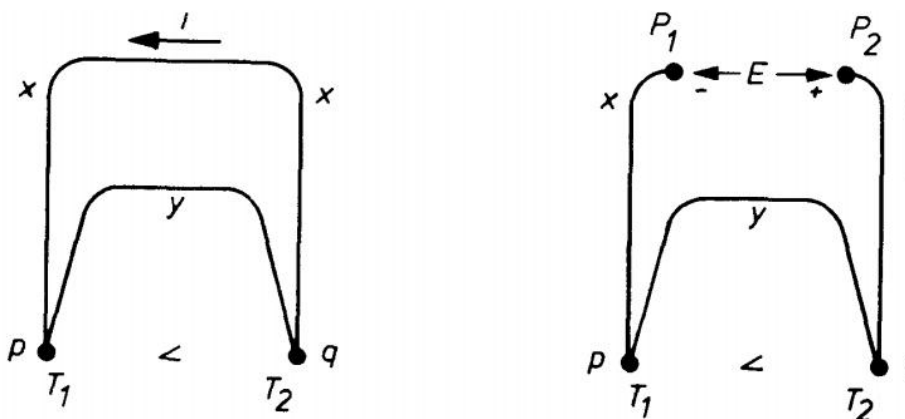


Figura 13 - Corrente  $i$  e força eletromotriz  $E$  gerada pela diferença de temperatura das juntas  $p$  e  $q$ .

Fonte: Gómes (2014).

O princípio geral de funcionamento do termopar é deduzido por meio das leis da termodinâmica, resultando em: “A força eletromotriz *F.E.M.* de um termopar depende somente da natureza dos condutores e das temperaturas  $T_1$  e  $T_2$  dos dois contatos.” (GÓMES, 2014). Portanto, a *F.E.M.* não é afetada por temperaturas intermediárias que submetem os condutores, desde que as temperaturas  $T_1$  e  $T_2$  sejam constantes.

Com isso constatam-se três consequências:

1. Se uma das temperaturas  $T_1$ , por exemplo, for constante, o valor de  $E$  é exclusivamente dependente de uma função  $f(T_2)$ .  $T_2$  pode ser levantado experimentalmente de acordo com os valores de  $E$  e de  $T_1$ .

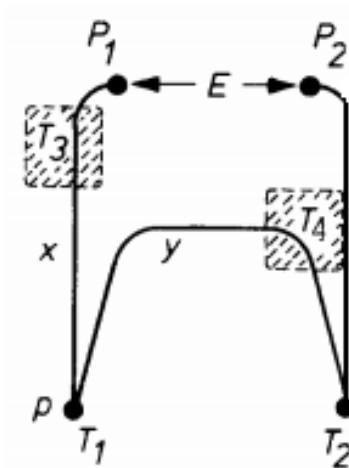


Figura 14 – A força eletromotriz  $E$  não é afetada pelas temperaturas  $T_3$  e  $T_4$ , pois  $T_1$  e  $T_2$  são constantes.

Fonte: Gómes (2014).

2. Se  $T_1=T_2$ ,  $E$  tem valor zero. Ou seja, a força eletromotriz tem valor nulo. Portanto a F.E.M não será afetada caso seja inserido um metal genérico desde que as junções estejam na mesma temperatura.

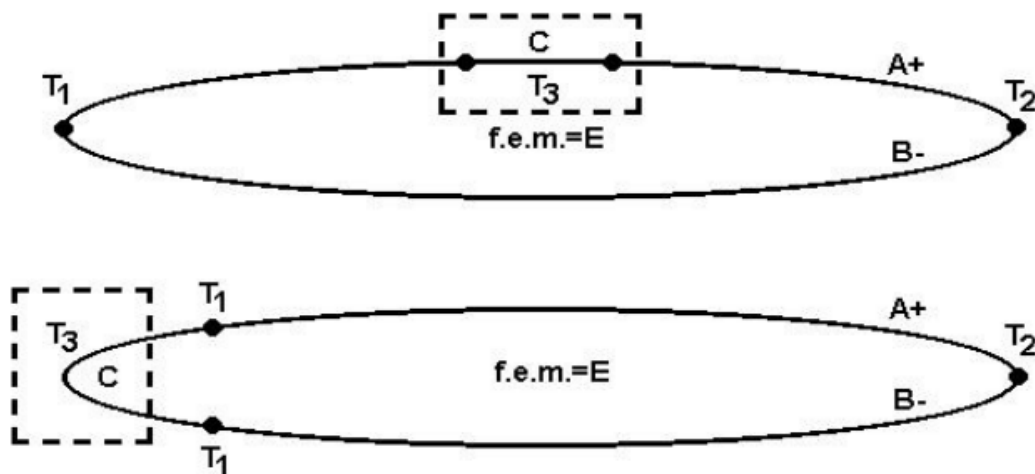


Figura 15 – A F.E.M não sofre alteração com adição do metal C.

Fonte: Monteiro (2002).

3. A d.d.p.(diferença de potencial) lida nos terminais de um termopar independe do ponto escolhido para se abrir o circuito do par.

A adição do metal genérico reduz custos do termopar já que os supercondutores possuem preços elevados. Desde que se mantenha a temperatura das junções do metal genérico, a força eletromotriz não se altera (GÓMES, 2014).



A lei de temperaturas sucessivas define-se por: “Se dois metais homogêneos diferentes produzem uma *F.E.M.* térmica  $E_1$ , quando suas junções estão em temperaturas  $T_1$  e  $T_2$ , e uma *F.E.M.* térmica  $E_2$ , quando suas junções estão em temperaturas  $T_2$  e  $T_3$ , a *F.E.M.* gerada quando as junções estiverem em  $T_1$  e  $T_3$ , será  $E_1+E_2$ .” (MONTEIRO, 2002). Essa lei permite que os termopares sejam utilizados com qualquer outra referência de temperatura aplicando-se a correlação adequada.

Caso as juntas de um termopar estiverem à temperatura  $T_1$  e  $T_2$  e uma *F.E.M.*  $E_1$  e esse mesmo termopar estiverem submetidos em suas juntas as temperaturas  $T_3$  e  $T_4$  e uma *f.e.m.*  $E_2$ , então esse termopar irá apresentar uma *F.E.M.*  $E_3 = E_1+E_2$ , ou seja, a soma das duas forças eletromotrizes (MONTEIRO, 2002).

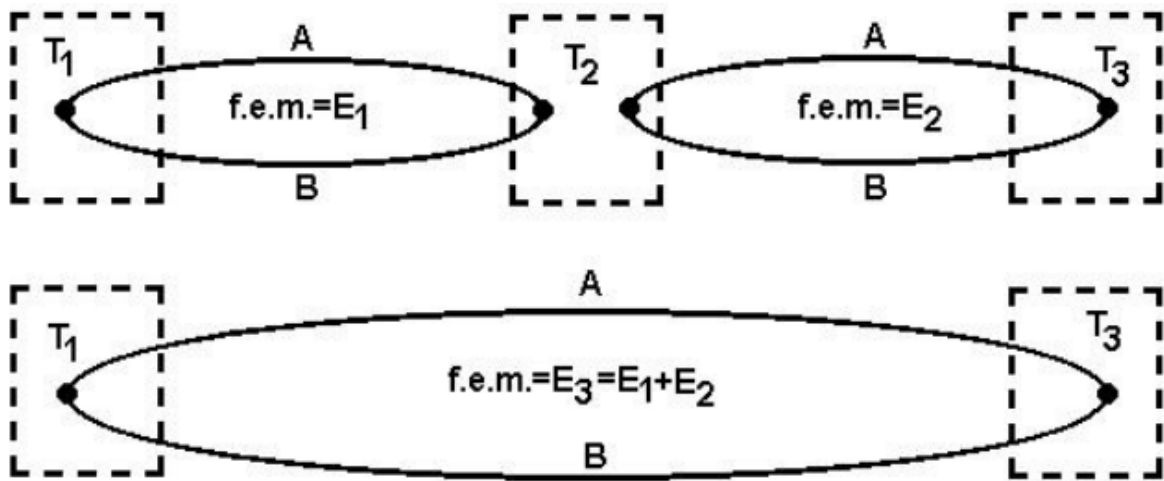


Figura 16 – Temperaturas sucessivas.

Fonte: Monteiro (2002).

### 2.6.1 Tipos usuais de termopares

Os tipos mais usuais de termopares usam letras para identificação (T, J, K, E, N, R, S, B), atribuídas pela *Instrument Society of America* (ISA). Diferem-se na aplicação de acordo com fatores como atmosfera e temperatura (MONTEIRO, 2002).

- Tipo T (Cu/Cu45%Ni) – Resistente à corrosão e excelente para aplicações de temperatura abaixo de  $0^{\circ}\text{C}$ . Pode ser usado em atmosfera oxidante e seu limite de temperatura é de  $400^{\circ}\text{C}$ .
- Tipo J (Fe/Cu45%Ni) – Adequado para atmosferas oxidantes, redutoras ou no vácuo com até  $760^{\circ}\text{C}$ . Não devem ser usados em ambientes sulfurosos acima de  $530^{\circ}\text{C}$ .

- Tipo K (Ni10%Cr/Ni5%Al,Si) – Atmosferas de até 1372°C com uso contínuo são recomendadas. Possui maior resistência à oxidação em relação aos outros termopares básicos. Pode também ser empregado em temperaturas negativas de até -270°C.
- Tipo E (Ni10%Cr/Cu45%Ni) – Indicado para atmosferas oxidantes e inertes na faixa de -250°C a 870°C.
- Tipo N (Ni14%Cr1,5%Si/Ni4,5%Si0,1%Mg) – Faixa ótima de operação entre -270°C e 1300°C. Possui menor potencia termoelétrica que o tipo K, coeficiente de *Seebeck* similar, porém maior estabilidade ao longo do seu uso no tempo.
- Tipo R (Pt13%Rh/Pt) e o tipo S (Pt10%Rh/Pt) – Aplicação em ambiente oxidante e inerte em uma faixa de temperatura de -50°C a 1768°C. Podem ser utilizados no vácuo em um curto período de tempo. Seu uso contínuo em alta temperatura ocasiona o crescimento de grão, podendo ocorrer a quebra do elemento platina.
- O tipo B (Pt30%Rh/Pt6%Rh) – Recomendado para uso contínuo em atmosfera oxidante e inerte com temperaturas de no máximo 1820°C. Apresenta menor crescimento de grão que os tipos R e S quando submetido a altas temperaturas

Os termopares que contem platina são chamados termopares nobres e os demais são denominados termopares comuns (MONTEIRO, 2002).

Tabela 2 – Tipos de Termopares.

Tipo	Ambiente	Comentário	Temperatura máxima (°C)
B	Oxidante, inerte, vácuo por períodos curtos	Evitar contato com metal. Mais adequado para alta temperatura. Possui tensão baixa à temperatura ambiente.	1700
E	Oxidante, inerte	Bom para temperatura abaixo de zero. Maior tensão dos termopares comuns	870
J	Oxidante, inerte, redutor em vácuo parcial	O ferro oxida rapidamente	760
K	Oxidante, inerte	Sujeito à “green rot” em algumas atmosferas	1260
N	Oxidante, inerte	Mais estável que o tipo K, em altas temperaturas	1260
R & S	Oxidante, inerte	Evitar contato com metal	1400
T	Oxidante, inerte, redutor em vácuo parcial	Temperaturas abaixo de zero. Tolerância umidade	370

Fonte: Monteiro (2002).

## 2.6.2 Cicuitos de Termopares

De acordo com a figura 17, observa-se um circuito termelétrico que consiste em uma junta de medida p e uma junta de referencia q. Um voltímetro poderá ler a diferença de potencial entre p e q. Pode-se determinar a temperatura no ponto p de acordo com a lei de temperaturas intermediárias.

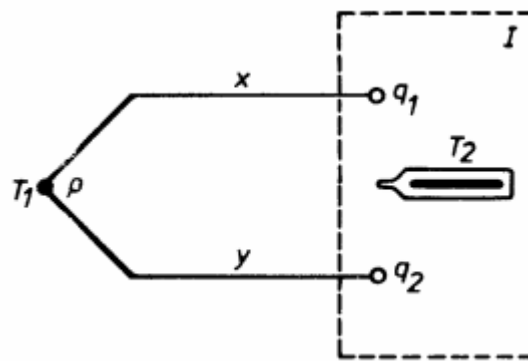


Figura 17 – O Termômetro mede a temperatura de T2 podendo assim determinar T1.

Fonte: Gómes (2014).

Os supercondutores que compõe o termopar trazem um alto custo para medições, portanto pode-se de acordo com a segunda lei apresentada neste trabalho, acrescentar um outro metal genérico no caso abaixo o cobre (GÓMES, 2014).

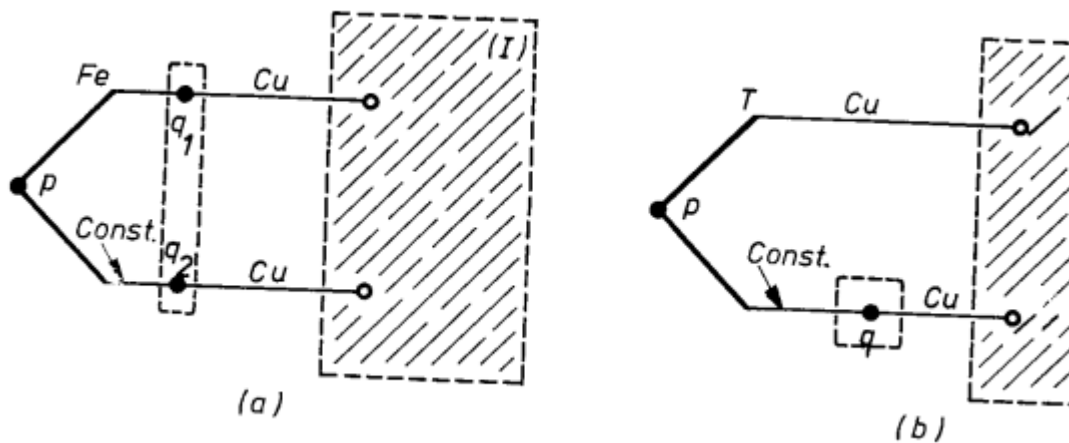


Figura 18 – Adição de fios de cobre no circuito do termopar. A temperatura de  $q_1$  e  $q_2$  devem ser a mesma.

Fonte: Gómes (2014).

É comum utilizar água gelada para manter a temperatura das juntas  $q_1$  e  $q_2$  à mesma temperatura. O objetivo é manter as juntas frias de modo controlado para não alterar o resultado na medição (GÓMES, 2014)

### 2.6.3 Circuitos em associação em série e paralelo

Termopares em série são também denominados termopilhas como mostra a figura 19. Cada um dos três termopares gera uma força eletromotriz (E), todos constituídos de mesmo material X e Y. Com isso a f.e.m. final será a soma de todos E gerados pelos termopares.

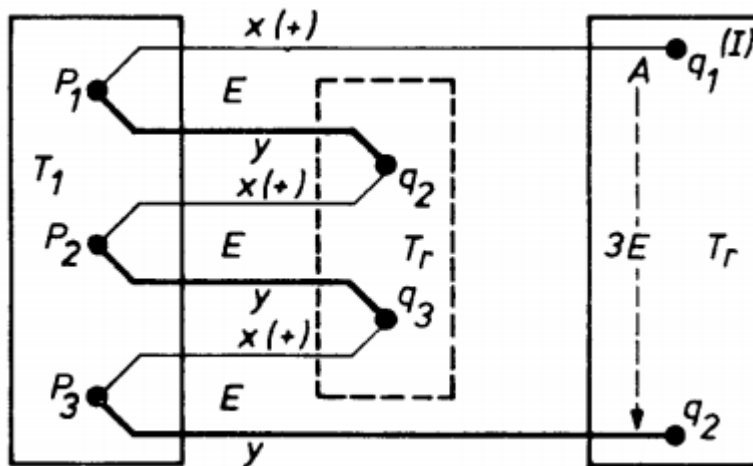


Figura 19 – Associação em série de termopares ou termopilha, a soma das forças eletromotrizes é de  $3E$ .

Fonte: Gómes, L. A. (2014).

Os termopares em paralelo possuem uma distribuição em que sua F.E.M final é a média aritmética das f.e.m. dos respectivos termopares. Essa configuração é utilizada em casos onde o objetivo é a medição da temperatura média de uma superfície. Os termopares são empregados em vários pontos de uma superfície de modo a obter a média de temperatura (GÓMES, 2014).

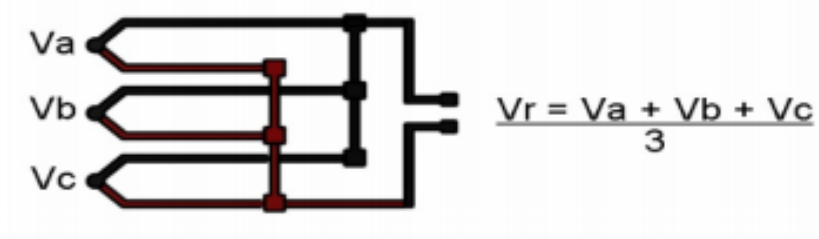


Figura 20 – Associação em paralelo de termopares.

Fonte: Analógica (2013).

### 3 METODOLOGIA

Segundo Tartuce (2006), metodologia trata de método e ciência. Metodologia representa o estudo de um método, os procedimentos realizados em uma pesquisa. É o estudo sistemático e lógico dos métodos empregados nas ciências. A atividade que define a metodologia é a pesquisa.

Segundo Gil (2007, p.117) pesquisa define-se por:

“(...) procedimento racional e sistemático que tem como objetivo proporcionar respostas aos problemas que são propostos. A pesquisa desenvolve-se por um processo constituído de várias fases, desde a formulação do problema até a apresentação e discussão dos resultados.”

Para Fonseca (2002), metodologia significa o estudo da organização, ou seja, os meios utilizados para realização de uma pesquisa ou estudo.

#### 3.1 Tipos de pesquisa

As pesquisas podem ser determinadas de acordo com sua abordagem:

A Pesquisa qualitativa responde a questões muito particulares. Ela preocupa-se com um nível de realidade que não pode ser quantificado. Em outras palavras ela trabalha com parâmetros como motivos, aspirações, crenças, valores e atitudes. Esses tais parâmetros não podem ser quantificados através do objetivismo matemático, ele se traduz em uma abordagem subjetiva (MINAYO, 2001).

Neste tipo de pesquisa, o cientista é o sujeito e o objeto da pesquisa ao mesmo tempo. O conhecimento do pesquisador é limitado e parcial. A amostra tem por objetivo a produção de novas informações aprofundadas e ilustrativas (DESLAURIERS *apud* GERHARDT; SILVEIRA, 2009).

A pesquisa quantitativa geram resultados que podem ser quantificados, diferenciando-a da pesquisa qualitativa. Ela centra-se na objetividade, considera que a realidade só pode ser entendida na análise de dados numéricos recolhidos com o auxílio de instrumentos neutros e padronizados. Recorre à linguagem matemática para descrever certo fenômeno envolvendo sua causa, relações, etc.

A tabela 13 ilustra as diferenças entre alguns aspectos da pesquisa quantitativa e a pesquisa qualitativa.

Tabela 3 – Diferenças entre a pesquisa quantitativa e qualitativa.

<b>Aspecto</b>	<b>Pesquisa Quantitativa</b>	<b>Pesquisa Qualitativa</b>
Enfoque na interpretação do objeto	menor	maior
Importância do contexto do objeto pesquisado	menor	maior
Proximidade do pesquisador em relação aos fenômenos estudados	menor	maior
Alcance do estudo no tempo	instantâneo	intervalo maior
Quantidade de fontes de dados	uma	várias
Ponto de vista do pesquisador	externo à organização	interno à organização
Quadro teórico e hipóteses	definidas rigorosamente	menos estruturadas

Fonte: Fonseca (2002).

Tendo em vista a definição apresentada, pode-se julgar que o presente trabalho é uma pesquisa quantitativa, visto que engloba valores reais de parâmetros da queima da madeira.

Quanto ao objetivo, as pesquisas podem ser divididas segundo Gil (2007) em três tipos, sendo eles explicados nos subtítulos a seguir.

A pesquisa exploratória tem por objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema. Ela aprimora as ideias ou descobertas de uma instituição. Na maioria dos casos, envolvem (GIL, 2007):

- Levantamento bibliográfico;
- Entrevista com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado;
- Análise de exemplos que estimulem a compreensão.

Apesar de se tratar de uma pesquisa bastante flexível, na maioria dos casos assume a forma de uma pesquisa bibliográfica ou de estudo de caso.

A pesquisa descritiva exige informações específicas sobre o que se deseja pesquisar. Ela descreve fatos e fenômenos de um determinado fenômeno. Por Exemplo, têm-se estudos de casos, análises documentais, pesquisas ex-post-facto como pesquisas descritivas (TRIVIÑOS *apud* GERHARDT; SILVEIRA, 2009).

Este tipo de pesquisa pode ser criticado por gerar imprecisões, pois descrevem os valores obtidos por coletas realizadas pelo pesquisador, como questionários, escalas, entrevistas (TRIVIÑOS *apud* GERHARDT; SILVEIRA, 2009).

A pesquisa explicativa tem como objetivo identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência de um fenômeno. Ela é a pesquisa mais fiel à realidade, porque explica a

razão das coisas. O risco de cometer erros aumenta consideravelmente, pois aborda uma maior complexidade (GIL, 2002).

Segundo Gil (2002), as pesquisas explicativas nas ciências naturais baseiam-se quase exclusivamente no método experimental. Nas ciências sociais, o pesquisador encontra dificuldades de empregar este método, visto que existe nem sempre se torna possível a realização de pesquisas explicativas nesse tipo de ciência.

Fonseca (2002), as pesquisas podem se dividir quanto aos procedimentos científicos adotados.

A pesquisa experimental representa o melhor exemplo de pesquisa científica, ela consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que o influenciam, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que as variáveis influem no objeto estudado (GIL, 2002).

O pesquisador testa hipóteses que podem ou não explicar a relação de causa e efeito entre as variáveis. Com a vantagem de possibilidade de controle, os experimentos oferecem garantia maior que qualquer outro delineamento de que a variável independente causa efeitos nas variáveis (GIL, 2002).

A pesquisa bibliográfica é desenvolvida com base em material já elaborado, no geral livros e artigos científicos. Ela está presente em todos tipos de estudos, porem há pesquisas que são desenvolvidas exclusivamente a partir de fontes bibliográficas.

Elas podem ser classificadas de acordo com a figura 21.

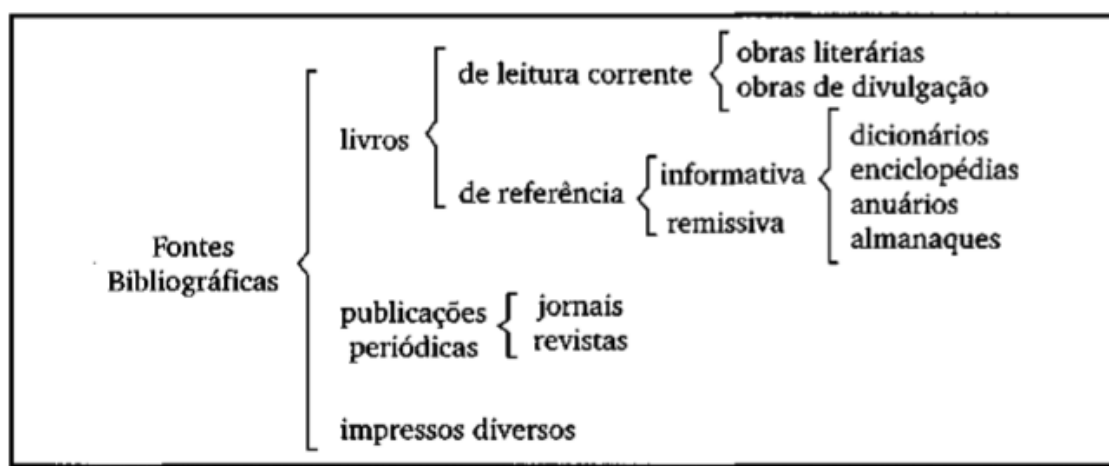


Figura 21 – Classificação da pesquisa bibliográfica.

Fonte: Gil (2002).

A pesquisa documental se assemelha muito com a pesquisa bibliográfica. Seu procedimento é realizado de forma muito similar, porem difere-se nas fontes bibliográficas utilizadas na sua construção. Enquanto pesquisa bibliográfica baseia-se em material que já receberam um tratamento

analítico, a pesquisa documental utiliza de materiais mais diversificados que ainda não sofreram esse tratamento (GIL, 2002).

Como exemplo a pesquisa documental pode ser realizada utilizando cartas pessoais, registros de órgãos públicos e privados, fotografias, gravações, entre outros, como material de referência para sua elaboração (GIL, 2002).

O estudo de caso é amplamente utilizado nas ciências biomédicas e sociais. É o estudo detalhado de um ou poucos objetos, detalhando o seu conhecimento. Segundo Gil (2002) este estudo é utilizado nessas áreas com diferentes propósitos:

- a) explorar situações da vida real cujos limites não estão claramente definidos;
- b) preservar o caráter unitário do objeto estudado;
- c) descrever a situação do contexto em que está sendo feita determinada investigação;
- d) formular hipóteses ou desenvolver teorias;
- e) explicar as variáveis causais de determinado fenômeno em situações muito complexas que não possibilitam a utilização de levantamentos e experimentos.

Segundo Thiollent (1985, p. 14) pesquisa-ação define-se:

“(...) um tipo de pesquisa com base empírica que é concebida e realizada em estreita associação com uma ação ou com a resolução de um problema coletivo e no qual os pesquisadores e participantes representativos da situação ou do problema estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo.”

Enquanto a pesquisa-ação geralmente supõe uma forma de ação planejada, de caráter social, educacional, técnico ou outro, a pesquisa participante envolve a distinção entre ciência popular e ciência dominante (GIL, 2002).

Bronislaw Malinowski criou a pesquisa-participante para conhecer os nativos das ilhas Trobriand, ele tornou-se um deles. Rompendo com a sociedade ocidental, montava sua tenda nas aldeias que desejava estudar, aprendia suas línguas e observava sua vida cotidiana (FONSECA *apud* Gerhardt; Silveira, 2009).

O estudo de caso será adotado neste presente trabalho. Pois o estudo é baseado em dados experimentais já existentes.

### **3.2 Materiais e métodos**

Foi utilizado um CCPM de orientação vertical com os seguintes componentes listados, conforme Rocha (2014):



- (i) Aquecedor radiante cônico elétrico de 5000 W e 240V.
- (ii) Controladores de temperatura, para manter a temperatura constante numa faixa de 0-1000°C.
- (iii) Suporte de amostra de orientação horizontal.
- (iv) Sistema de exaustão para escape de gases, com monitoramento de oxigênio e de medição do fluxo de instrumentação.
- (v) Escudo removível no aquecedor com o intuito de isolar a amostra do fluxo de calor.
- (vi) Vela de ignição elétrica, com descarga de 50 a 60Hz.
- (vii) Reguladores de saída de gás Metano (com 99,5% de pureza).
- (viii) Medidor de fluxo de calor, com uma faixa de cerca de 100kW/m<sup>2</sup>. Com arrefecimento com água.
- (ix) Queimador, para calibrar a taxa de liberação de calor do equipamento. Ele é construído a partir de um tubo de latão de seção quadrada, ligado a uma alimentação controlada de metano, coberto com gaze de arame através do qual se difunde o gás.
- (x) Sistema de coleta de dados e análise do sistema.
- (xi) Célula de carga para medição de perda de massa da amostra, com uma precisão de 0,1g, disponível para o monitoramento durante qualquer teste.

### 3.3 Corpos de prova

Trata-se da investigação de 12 espécies de madeiras naturais do Brasil, sendo sete (7) dicotiledôneas e cinco (5) coníferas e dois (2) subprodutos da madeira, o MDF<sup>1</sup> e o OSB. Essas amostras serão submetidas ao processo da queima no CCPM. (ROCHA, 2014).

Os corpos de prova foram cedidos pela Embrapa – Setor Florestas, todas com 10 anos de idade, com dimensões de 100 x 100 mm com as fibras da madeira apresentando orientação num plano perpendicular ao fluxo de incidência. Para obtenção de umidade relativa de 0%, as amostras foram colocadas em um forno a 100°C durante o período de 24h. Para evitar perda de calor durante os ensaios, as amostras foram envoltas em papel alumínio conforme Figura 22 (ROCHA, 2014).

---

<sup>1</sup>MDF é “*Medium density fiber board*” e OSB é “*Oriented Strand Board*”.

Com o valor de fluxo de calor de  $50kW/m^2$ , foram realizados 42 experimentos (três ensaios para cada espécie de madeira).



Figura 22 – Amostras preparadas e enroladas em papel alumínio.

Fonte: ROCHA (2014).

### 3.4 Condução do teste

O teste foi conduzido seguindo o procedimento a seguir:

- (i) A célula de carga é calibrada para medição da perda de massa. O controlador de unidade de célula pode ser dimensionado para ajustar o intervalo de saída de acordo com a massa da amostra a ser testada. Assim, pode ser configurado para dar um sinal de 10 V para 50 g ou 300 g.
- (ii) O cone calorímetro é aquecido a uma taxa de  $10^{\circ}C/min$  e três termopares mediam sua temperatura. O fluxo de calor foi definido para  $50kW/m^2$  e a distancia entre a amostra e a fonte de radiação foi de 25 mm.
- (iii) O fluxo de calor foi estabilizado após chegar à temperatura de  $783^{\circ}C$ , aguardando-se o tempo de 10 minutos.
- (iv) Depois de estabilizada a temperatura, figura 23, os testes eram iniciados. O cone era fechado e o programa iniciado para obtenção dos dados. Os valores de entrada como número da amostra, teor de umidade, espessura, área, massa inicial e observações, eram inseridos no programa. Então o suporte era fechado e colocava-se o corpo de prova

sobre a célula de carga para os ensaios. As leituras de perda de massa e HRR eram feitas logo após a reabertura do aquecedor.

- (v) O tempo de ignição foi tomado por marcação manual. Para temperatura de ignição, foi utilizado um termômetro infravermelho acionado sobre a superfície da amostra no momento da queima. Todos dados obtidos foram aplicados simultaneamente a um gráfico em função ao tempo.

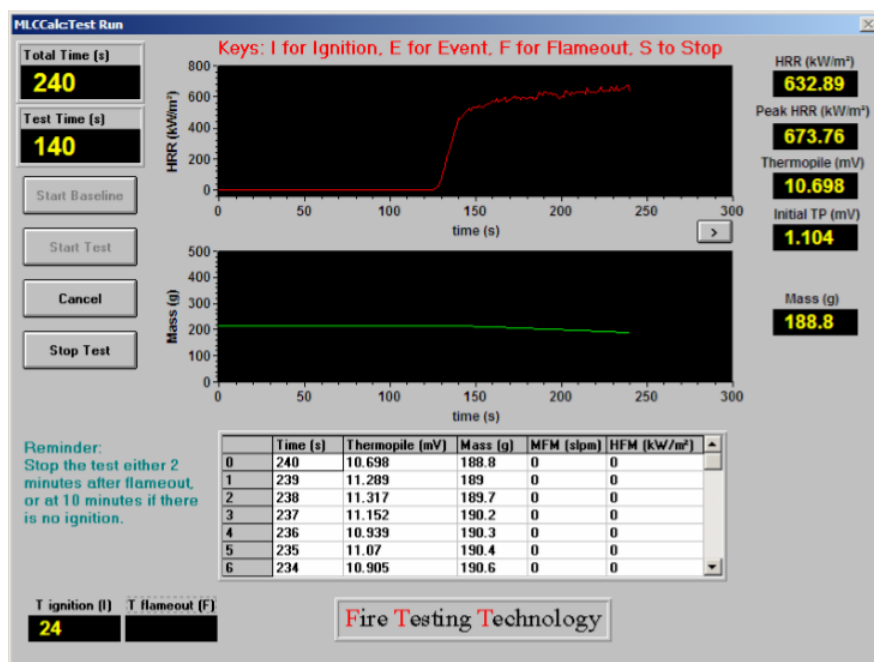


Figura 23 – Programa de testes – MLCCalcTest Run.

Fonte: ROCHA (2014).

- (vi) Os testes eram encerrados após sinais de fim de combustão ou consumo de 70% da massa inicial dos corpos de prova.



Figura 24 – Condução do teste.

Fonte: ROCHA (2014).

Tabela 4 – Espécies de madeira selecionadas para o teste.

<b>Cp</b>	<b>Nome Popular</b>	<b>Nome científico</b>	<b>Família</b>	<b>Classe</b>
BO	Boleira	<i>Joannesia princeps</i>	<i>Euphorbiaceae</i>	Dicotiledôneas
CA	Canafistula	<i>Peltophorum dubium</i>	<i>Fabaceae</i>	Coníferas
CB	Cabreúva	<i>Myrocarpus frondosus</i>	<i>Fabaceae</i>	Dicotiledôneas
CC	Cera Cozida	<i>Zanthoxylum chiloperone</i>	<i>Rutaceae</i>	Coníferas
CE	Cedrilho	<i>Cedrela lilloi</i>	<i>Meliaceae</i>	Dicotiledôneas
CP	Cipreste Português	<i>Cupressus lusitanica</i>	<i>Cupressaceae</i>	Coníferas
GP	Guapuruvú	<i>Schizolobium parahyba</i>	<i>Fabaceae</i>	Dicotiledôneas
GV	Guaviróva	<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	<i>Myrtaceae</i>	Dicotiledôneas
IM	Imbuia	<i>Ocotea porosa</i>	<i>Lauraceae</i>	Dicotiledôneas
PC	Pinus Caribaea	<i>Pinus caribaea</i>	<i>Pinaceae</i>	Coníferas
PH	Pinus Hondurensis	<i>Pinus caribaea var. hondurensis</i>	<i>Pinaceae</i>	Coníferas
PI	Pimenteira	<i>Capsicodendron dinisii</i>	<i>Canellaceae</i>	Dicotiledôneas

Fonte: ROCHA, (2014).



Figura 25 – Amostras das espécies de madeira.

Fonte: ROCHA (2014).

### 3.5 Variáveis e indicadores

A tabela 4 mostra as variáveis e os indicadores que demonstrarão se o projeto foi desenvolvido a contento.

Tabela 5 – Variáveis e indicadores.

Variáveis	Indicadores
Introdução	Revisão bibliográfica
	Análise dos resultados
Estudo do caso	Material que sofreu a queima (madeira)

	A taxa de liberação da fumaça
	O tempo de ignição
	A taxa de propagação das chamas

Fonte: Direta.

### 3.6 Instrumentos para coletas de dados

Foi utilizado uma central de coleta de dados referentes ao processo da queima da madeira com auxílio do programa *MLCCalc Software* cuja tela principal para entrada de dados é mostrada na figura 26.

Figura 26 – Tela principal da coleta de dados dos ensaios.

Fonte: *Users' Guide for the MLCCalc Software*.

### 3.7 Tabulação dos dados

Foram usados programas como Microsoft Excel, Microsoft Word e Microsoft Power Point para a tabulação dos dados obtidos.

### 3.8 Considerações finais

Seguindo a metodologia adotada, o presente trabalho alcança o objetivo de responder a pergunta proposta vista no capítulo 1. Os parâmetros e as informações são de extrema importância para a devida realização do trabalho.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Parâmetros analisados

Foram determinados durante os testes os parâmetros de combustão como: taxa de liberação de calor (HRR), pico - HRR (PHRR), calor total liberado (THR), HRR nos tempos 180 e 300 segundos após a ignição (conforme recomendação encontrada na ISO 5660-1 (2002)), HRR médio (MHRR), massa total perdida (TML), taxa de perda de massa (MLR), calor efetivo de combustão (EHC), tempo de ignição (TTI), tempo de pirólise (TOP) e temperatura de ignição (TIG).

Os valores de HRR são expressos em função do tempo. Os valores de MHRR representam informações para comparações entre as amostras.  $HRR_{180}$  e  $HRR_{300}$  são parâmetros analisados em um intervalo de tempo menor, para análise do pico e da descida dos valores de HRR. O THR representa a soma do calor total liberado na queima e é medido diretamente pelo CCPM. A TML foi obtida por pesagem antes e depois dos testes. O EHC foi obtido dividindo-se o THR pelo TML. O TTI/TIG e TOP representam os tempos e as temperaturas de iniciação de chama em cada amostragem. O tempo de pirólise e tempo de ignição foram medidos de forma manual de acordo com o início e fim dos testes. A temperatura de ignição foi medida com um termômetro infravermelho. (ROCHA, 2014.)

A tabela 5 apresenta todos os parâmetros envolvidos nos testes. Nele podem-se observar os valores para cada tipo de amostra e para cada grupo de uma determinada espécie de madeira, apresentando as quatro amostras de cada grupo. É observado também a espessura correspondente  $e$  e a densidade  $\rho$  de cada amostra.

Tabela 6 – Tabela da análise experimental.

Id's	cpo's	e [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	PHRR [kW/m <sup>2</sup> ]	HRR <sub>100</sub> [kW/m <sup>2</sup> ]	HRR <sub>500</sub> [kW/m <sup>2</sup> ]	MHRR [kW/m <sup>2</sup> ]	THR [MJ/m <sup>2</sup> ]	TML [%]	MLR [%]	TOP [s]	TTI [s]	EHC [MJ/kg]	TIG [°C]
BO	1	22.1	340.1	17.4	-	-	7.1	6.8	-	-	-	-	-	-
	2	22.3	355	22.6	15.15	15.4	16.5	12.1	-	-	-	-	-	-
	3	23.3	352.0	115.6	84.87	76.9	58.98	48.4	74%	0.09%	821	23	8.00	347
	4	23.0	354.7	115.9	84.61	76.87	61.47	56.6	67%	0.07%	921	18	10.54	350
CA	1	22.6	627.2	115.1	85.2	73.77	43.15	66.2	68%	0.04%	1536	33	6.91	326
	2	22.9	573.9	18.2	8.8	10.22	11.9	15.2	-	-	-	-	-	-
	3	23.1	633.0	84.0	71.26	64.88	50.66	60.8	62%	0.05%	1185	148	6.91	378
	4	22.0	567.8	29.4	16.24	17.83	20.5	24.6	-	-	-	-	-	-
CB	1	22.1	677.2	117.9	101.35	-	86.7	40.5	-	-	-	-	-	-
	2	22.1	650.2	138.7	111.2	104.61	88.9	80.5	71%	0.07%	901	70	8.15	300
	3	22.1	697.3	143.1	119.45	111.93	95.48	93.1	70%	0.05%	974	44	13.29	331
CC	1	22.1	739.0	156.9	119.12	110.19	79.1	100.4	75%	0.06%	1266	50	8.36	312
	2	23.0	773.2	148.4	114.33	101.38	76.75	98.7	75%	0.05%	1288	51	8.18	287
	3	22.1	747.2	143.2	112.9	105.58	94.29	106.1	75%	0.07%	1127	72	8.28	303
CE	1	21.3	411.6	106.3	78.67	71.27	58.87	66.1	64%	0.06%	1122	25	11.95	348
	2	22.3	445.4	62.8	48.87	43.71	30.9	30.2	66%	0.06%	978	82	4.65	372
	3	22.3	449.3	85.6	70.52	65.45	50.67	50.6	64%	0.06%	990	77	7.94	374
	4	22	415.9	38.7	20.77	21.87	22.5	23.3	-	-	-	-	-	-
CP	1	23.5	395.8	39.6	12.47	16.07	28.1	40.3	-	-	-	-	-	-
	2	23.5	399.2	15.7	4.2	5.21	8.1	9.3	-	-	-	-	-	-
	3	23.5	477.3	21.7	16.65	-	16.5	13.3	-	-	-	-	-	-
GP	1	24.4	347.1	138.1	97.51	84.89	63.8	56.5	73%	0.08%	886	16	9.29	302
	2	23.4	366.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	22	310.5	11.3	4	4.72	5	3.7	-	-	-	-	-	-
	4	22.6	345.2	101.7	84.21	78.2	65.56	51.3	67%	0.08%	776	44	9.98	327
GV	1	22.3	791.6	133.2	97.39	87	73.55	76.9	64%	0.06%	1045	73	7.07	358
	2	21.3	768.5	118.4	95	91.75	91.16	76.4	63%	0.07%	830	115	7.66	369
	3	22.3	763	161.1	88.94	96.29	99.9	65.3	64%	0.07%	633	301	6	398
	4	19	680.5	26.8	13.75	15.78	16.9	17.7	-	-	-	-	-	-
IM	1	22.6	584.6	140.0	107.28	97.95	83.73	120.6	71%	0.05%	1440	43	12.95	314
	2	22.3	611.3	129.9	96.07	87.46	64.11	78.8	67%	0.05%	1229	33	8.66	360
	3	22.3	623.0	123.8	101.67	94.35	76.4	97.9	66%	0.05%	1273	58	10.78	375
PC	1	24.1	344.4	154.5	123.06	114.72	96.2	73.2	76%	0.10%	757	39	11.84	385
	2	24.1	346.9	138.9	121.03	116.04	100.36	74.5	76%	0.10%	734	64	11.84	370
	3	23	354.1	39.1	24.78	25.62	29	18.9	-	-	-	-	-	-
	4	22.0	349.7	126.4	99.88	92.62	75.17	57.8	69%	0.09%	766	21	11.01	322
PH	1	23.3	484.8	165.9	132.95	119.85	94.9	88.9	77%	0.08%	935	31	10.42	328
	2	23.2	479.6	126.4	108.76	104.44	89.57	73.6	75%	0.08%	821	61	8.93	380
	3	23.3	504.8	137.0	116.29	110.2	91.26	88.4	75%	0.07%	968	52	10.11	366
PI	1	21.2	471.2	115.1	102.04	102.54	93.33	52.1	73%	0.11%	548	114	7.29	370
	2	21.3	657.8	117	102.86	106.35	87.7	56	74%	0.11%	574	389	5.6	393
	3	20.8	477.5	158.7	125.83	118.5	102.63	63.0	73%	0.11%	614	20	8.94	306
	4	23.3	550.4	119.5	100.7	96.1	82.9	73.3	-	-	-	-	-	-
OSB	1	11	634.5	156	126.23	123.3	112.1	46.5	69%	0.16%	407	75	9.59	316
	2	11	634.5	146.8	120.68	123.85	115.8	42.5	70%	0.17%	353	105	8.66	388
	3	11	716.4	163.7	134.97	135.12	125.1	49.3	70%	0.16%	391	71	8.93	331
MDF	1	18.5	678.9	165.8	115.92	99.37	83.6	59.8	66%	0.09%	717	38	7.33	363
	2	18.5	685.7	121.4	89.37	82.35	71.4	50.3	67%	0.08%	702	90	6.00	396
	3	18.5	689.5	9.2	0.59	2.41	1.2	2.5	-	-	-	-	-	-
	4	18.5	606.7	157.9	121.23	109.9	98.6	77.8	73%	0.09%	778	70	9.38	390



#### 4.2 HRR, PHRR, MHR, THR, $HRR_{180}$ e $HRR_{300}$

A figura 27 abaixo apresentam gráficos de HRR x tempo das amostras de cada tipo de madeira. Observa-se que após a ignição, há uma taxa alta de liberação de calor representando o parâmetro PHRR seguida de uma redução no HRR. Esse efeito pode ser explicado pelo resultado do efeito de isolamento causado pela camada de carvão que surge após o PHRR retardando a pirólise e a quantidade de combustível. Ao final da queima, perto do final do ensaio, há um aumento do HRR que pode ser explicado pelo efeito de volta, a qual representa o calor refletido da parte de trás da amostra.

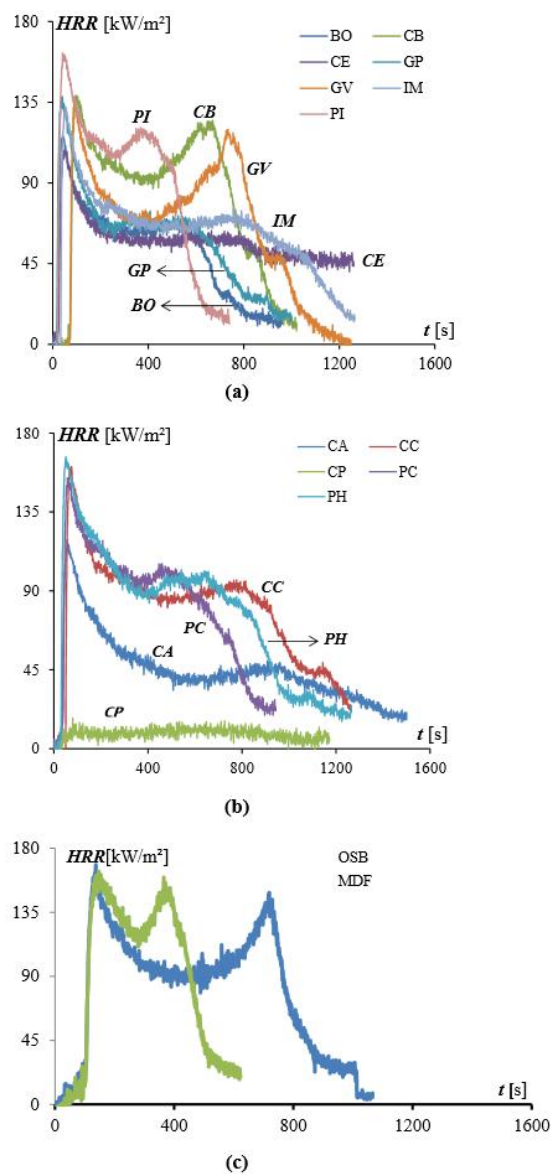


Figura 27 – Gráfico de HRR (dividido por amostra) x tempo.

Fonte: ROCHA, (2014).

As coníferas apresentam um comportamento de segundo pico no HRR (menor que o PHRR) como apresentado também pelas amostras de OSF e MDF. Estas que apresentam esse comportamento com valor em torno de  $160\text{kW/m}^2$ , bem próximos aos resultados das dicotiledôneas. As amostras de CP foram as únicas que não apresentaram ignição. Os restantes das espécies reagiram de forma esperada. (ROCHA, 2014.)

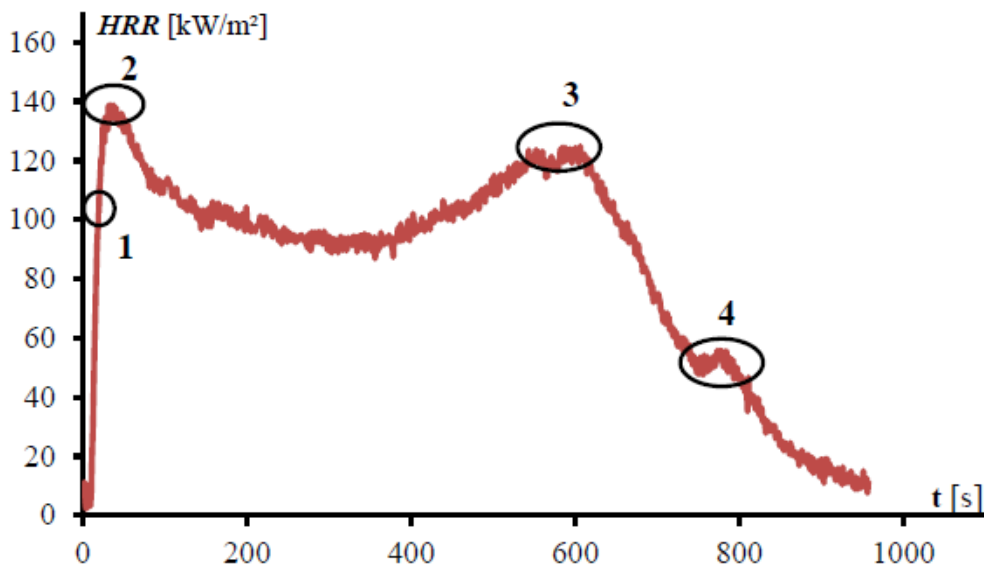


Figura 28 – Gráfico de HRR x tempo. Pontos onde ocorreram as mudanças dos regimes de queima. 1 - início da pirólise, 2 - Pico HRR, 3 - combustão na parte inferior da madeira, 4 - incandescência.

Fonte: Rocha, (2014).

Segundo Rocha (2014), a figura 30 representa o PHRR em função da densidade fornecendo assim uma avaliação gráfica da influência da classe de madeira (pontos brancos e quadrados para madeiras coníferas e dicotiledôneas, respectivamente e pontos quadrados vermelhos para MDF e losangos azuis para OSB) e densidade.

Os valores máximos de PHRR foram observados nas amostras de MDF e PH,  $165.8\text{ kW/m}^2$  e  $165.9\text{ kW/m}^2$  em 75 s e 51 s, respectivamente, a tendência é que o PHRR seja diretamente proporcional ao aumento da densidade da amostra.

O PHRR ocorre aproximadamente no primeiro minuto do teste:

- valores médios de 60 s e 59.8 s para madeiras dicotiledôneas e coníferas;
- valores de 40-98s para madeiras dicotiledôneas;
- valores de 51-75s para coníferas;

- valores de 75-115s para MDF;
- valores de 115-150s para OSB. (ROCHA, 2014.)

Segundo Kubler (1980) existe uma relação direta entre o teor de carbono e a quantidade de calor produzido, isso sugere que as coníferas possuem valores elevados de carbono em comparação com as demais espécies de acordo com THR medido (Figura 29) pelo CCPM.

As Figuras 31, 32 e 33 demonstram os resultados de MHRR, HRR<sub>180</sub> e HRR<sub>300</sub> em função da densidade. Nota-se que os maiores valores médios encontram-se nas amostras de OSB – 125.1 kW/m<sup>2</sup>, seguidos pelo PI e PC com 102.63 e 100.36 kW/m<sup>2</sup>. Como no PHRR, o MHRR tende a subir de acordo com o aumento de densidade da madeira.

Os gráficos do HRR de 180 e 300 segundos após a ignição são muito semelhantes. Esses valores demonstram que esse intervalo de tempo de 2 minutos pouca coisa foi alterada, observando-se apenas uma pequena redução de HRR devido à descida da curva pós-pico-HRR.

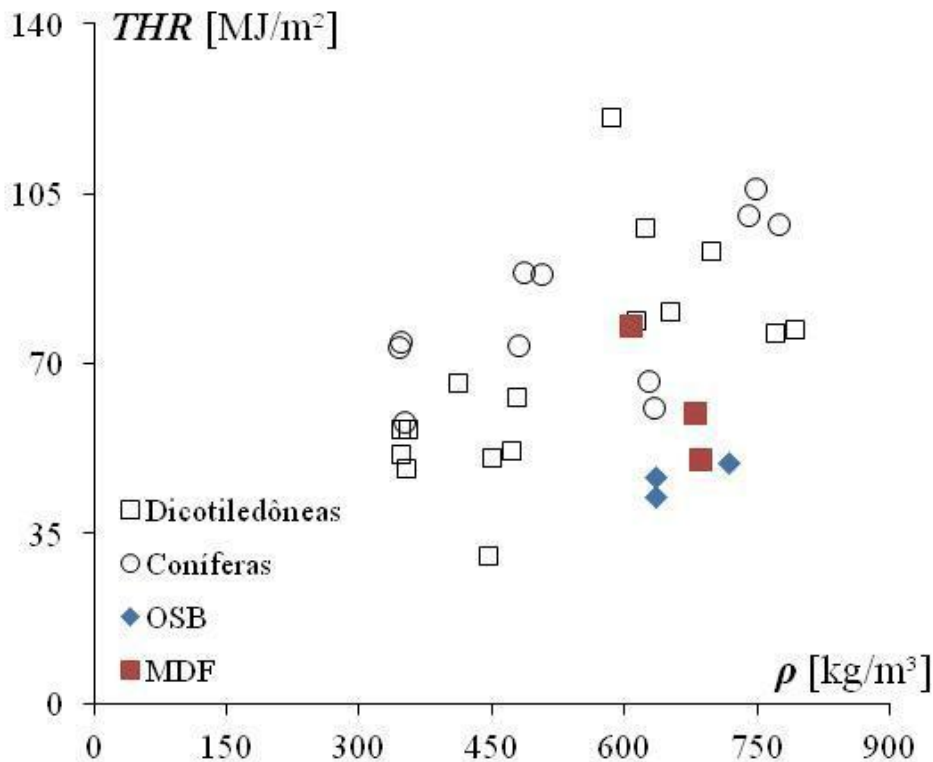


Figura 29 – Gráfico de THR x Densidade

Fonte: ROCHA, (2014).

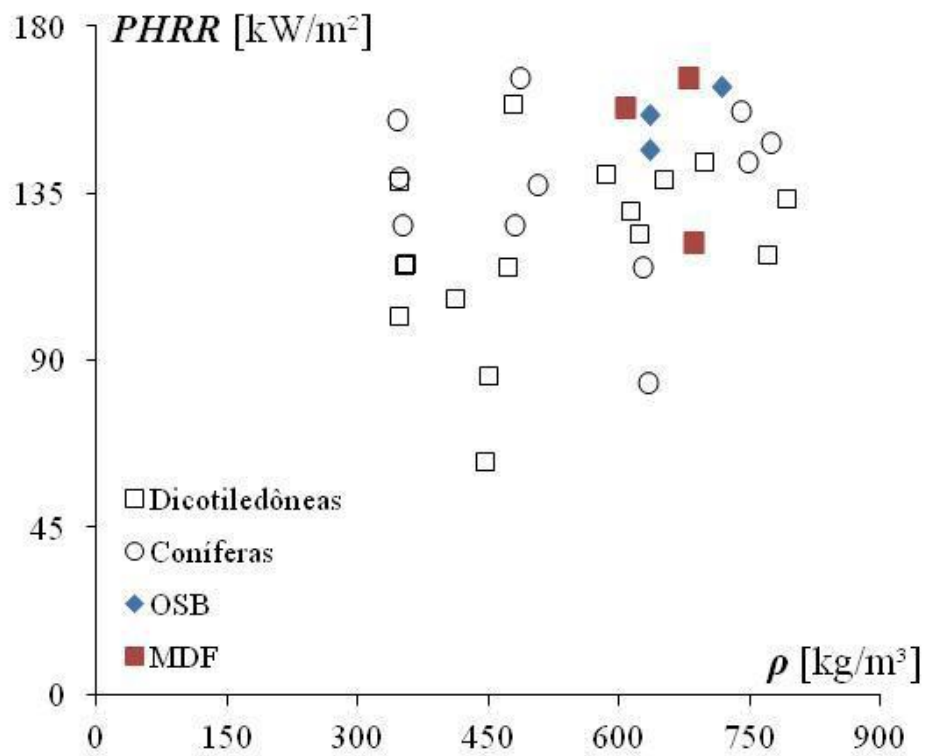


Figura 30 Gráfico de PHRR x Densidade

Fonte: ROCHA, (2014).

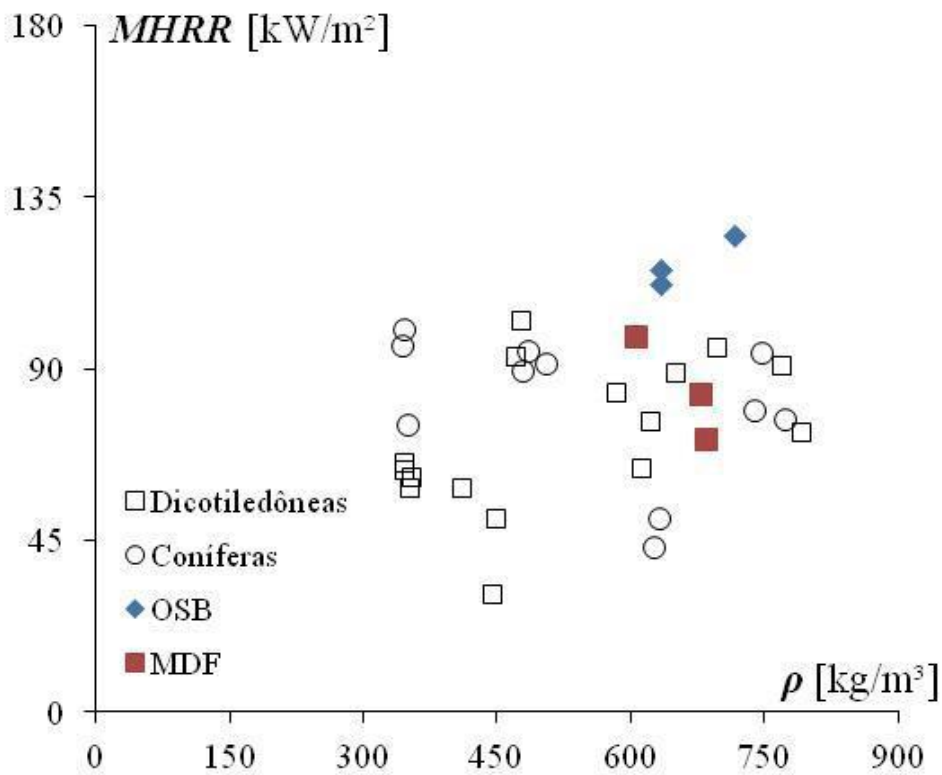


Figura 31 – Gráfico de MHRR x Densidade

Fonte: ROCHA, (2014).

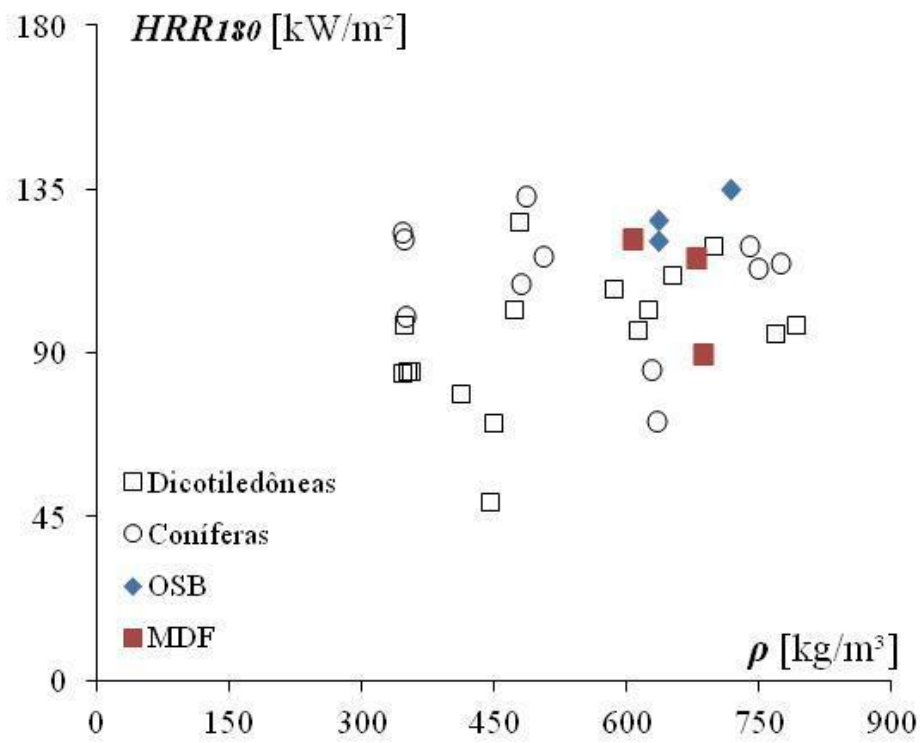


Figura 32 – Gráfico de  $HRR_{180}$  x Densidade.

Fonte: ROCHA, (2014).

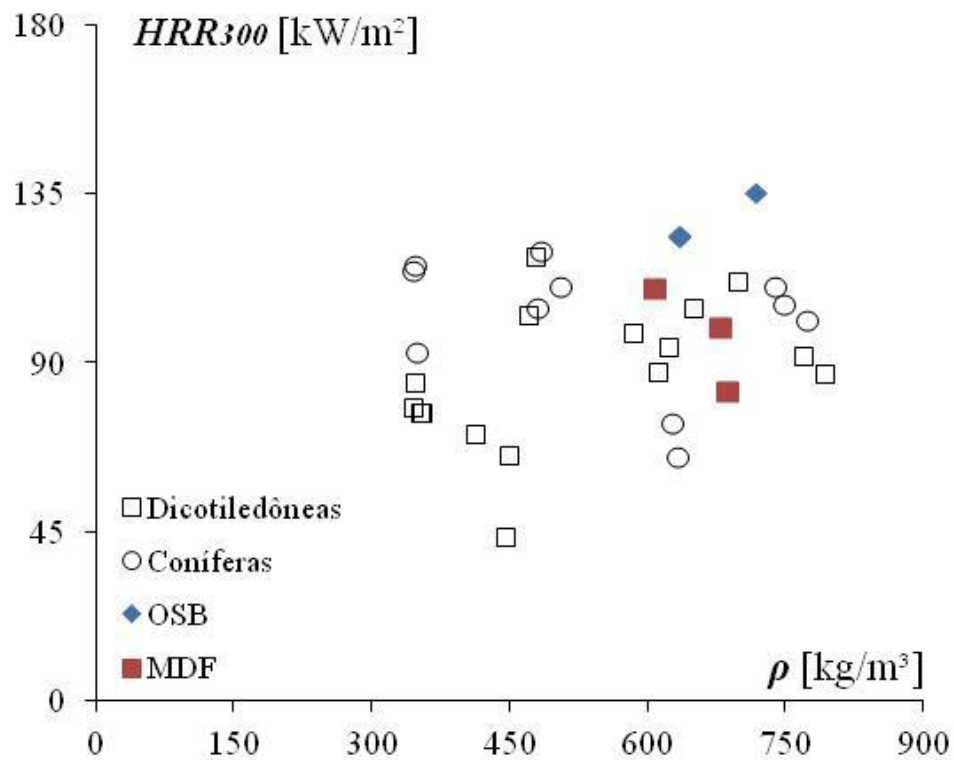


Figura 33 – Gráfico de  $HRR_{300}$  x Densidade.

Fonte: ROCHA, (2014).

### 4.3 EHC

O calor efetivo de combustão médio foi encontrado para cada espécie através da divisão do calor total liberado pela perda de massa total ao longo do período de duração do teste. Observando os resultados assume-se que não havia nenhuma clara correlação com a densidade ou com os tipos de madeira. Para madeiras coníferas e dicotiledôneas os valores variam de 6.9-11.8 MJ/kg para 4.7-13.3 MJ/kg. No caso do OSB e MDF, os valores estão bem próximos aos encontrados para as demais espécies (ROCHA, 2014.).

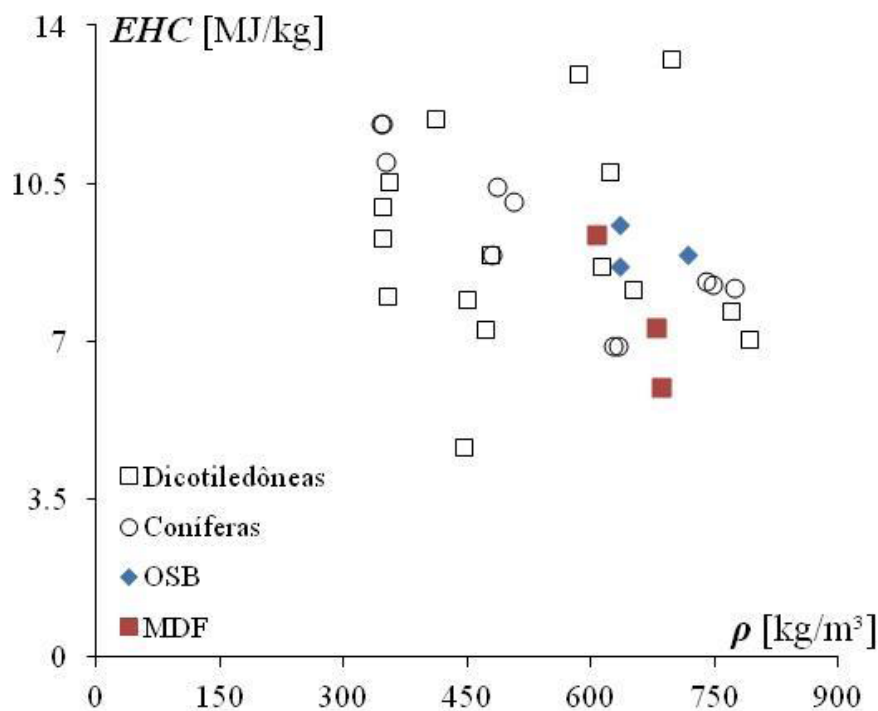


Figura 34 – Gráfico de EHC x Densidade.

Fonte: ROCHA, (2014).

### 4.4 TML e MLR

A massa total perdida foi calculada a partir da variação de massa inicial e final dividido pela massa inicial. Os valores de TML foram bem próximos em todas as classes de madeira e independe da densidade. As amostras em cada caso estavam completamente carbonizadas (exceção da amostra CP), os resíduos da CA-CB-CC-CE-GP-GV-PI-PC consistiram em apenas cinzas de cor branca. Os resíduos da BO-CP-IM-PH-MDF que apresentaram as mesmas características aos observados nas fases iniciais das experiências, com pequenos pedaços de cor preta de material duro com fracas propriedades mecânicas. As amostras de OSB resultaram em resíduos deteriorados, deformando forma inicial.

$$TML = \frac{Mf - Mi}{Mi} \quad (2)$$

O equipamento apresenta valores em  $\frac{g}{s}$ , porem foi avaliada uma taxa de carbonização média em  $s^{-1}$  e em %. O gráfico 35 apresenta os valores da perda de massa em relação à densidade da amostra, observa-se que a MLR diminui de acordo que a densidade aumenta para um valor médio de 0,07% em todos os casos. Valores variando entre 0,6-1,4mm/min foram observados na redução da espessura das madeiras coníferas e dicotiledôneas. Entretanto, as amostras de OSF altos valores de perda de massa (em torno de 0,16%), devido ao fato de possuírem baixa massa inicial (ROCHA, 2014.)

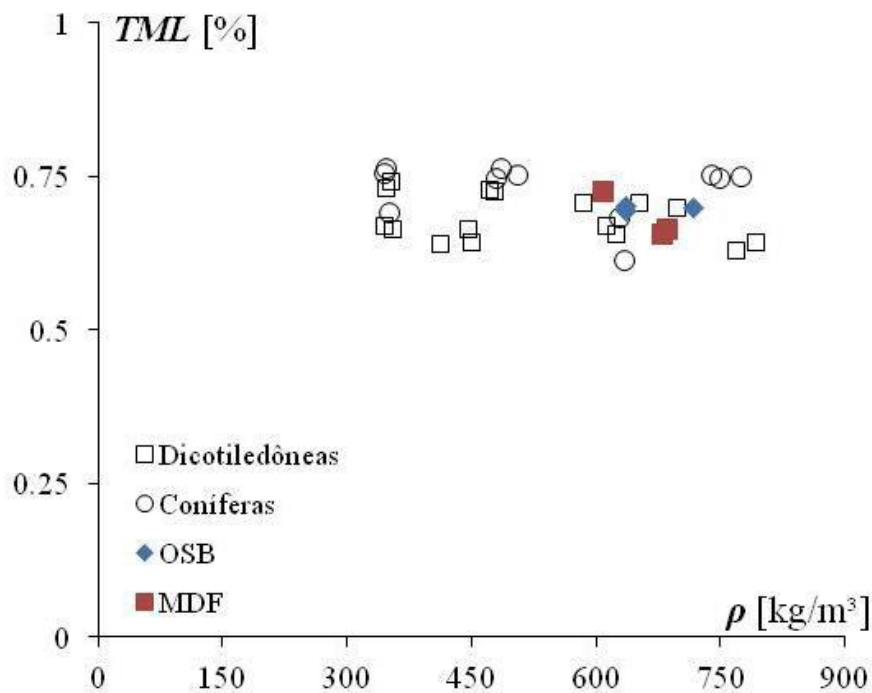


Figura 35 – Gráfico de TML x Densidade.

Fonte: ROCHA, (2014).

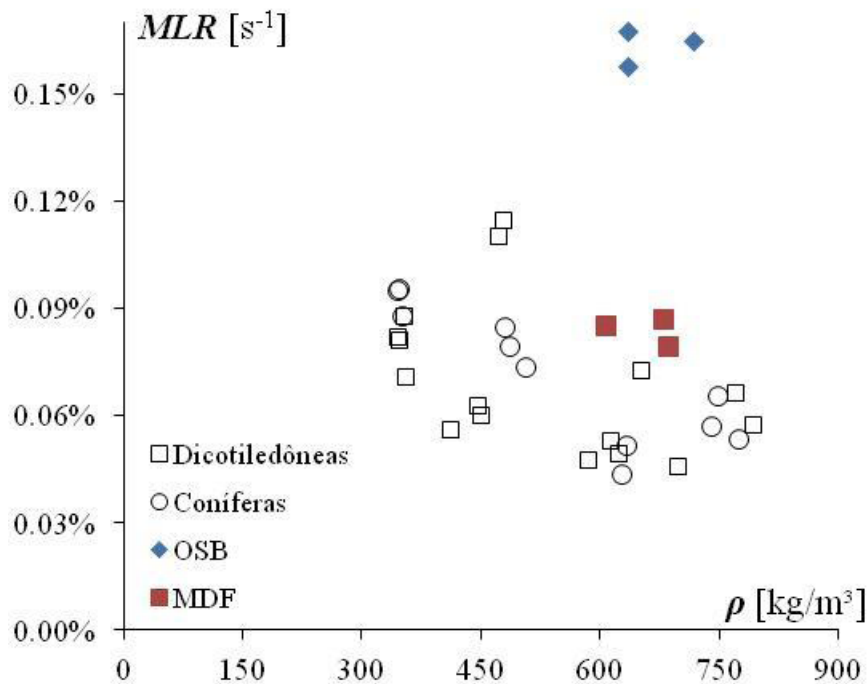


Figura 36 – Gráfico de MLR x Densidade.

Fonte: ROCHA, (2014).

#### 4.5 TTI, TOPE TIG

Em todas as classes de madeiras, os tempos de ignição das amostras foram de cerca de ~ 6% dos valores de TOP. Para madeira coníferas a parte superior variou de 734-1536s e de 548-1440s para as dicotiledôneas. Observa-se de acordo com a figura X que os valores de TTI e TOP são, em sua maioria maiores para aquelas com altas taxas de densidade. De acordo com os resultados analisados neste presente trabalho, não se notou uma relação entre a classe da madeira e TTI e TOP (ROCHA, 2014.).

A figura 37 representa a relação entre a densidade e a temperatura de superfície imediatamente antes da ignição. Conclui-se que as discrepâncias de TIG em amostras da mesma espécie foram causadas pelo método de medição que no caso não foi eficaz (termômetro a laser). Não houve correlação entre a densidade e a temperatura, o TIG é constante (ROCHA, 2014.).



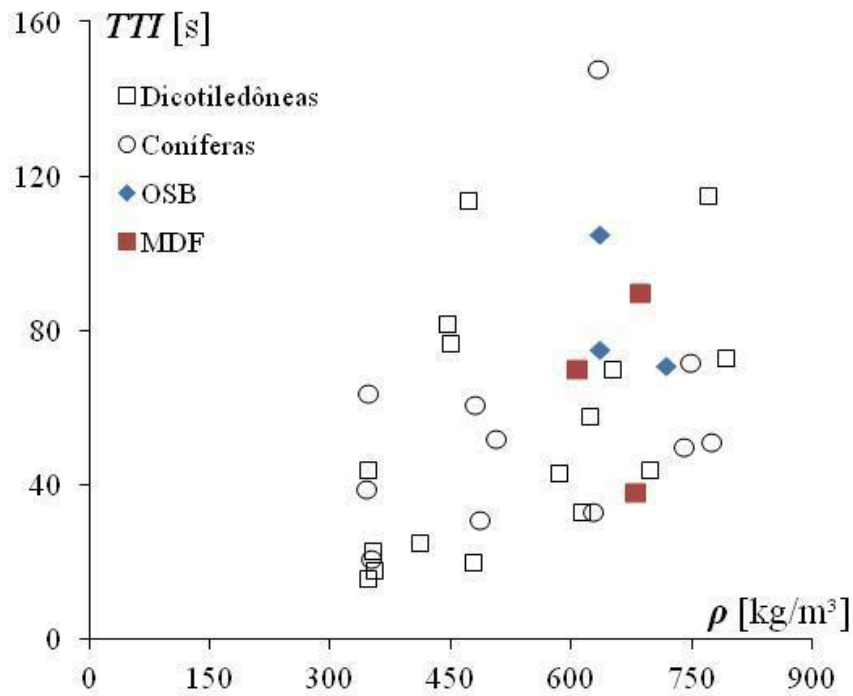


Figura 37 – Gráfico de TTI x Densidade.

Fonte: ROCHA, (2014).

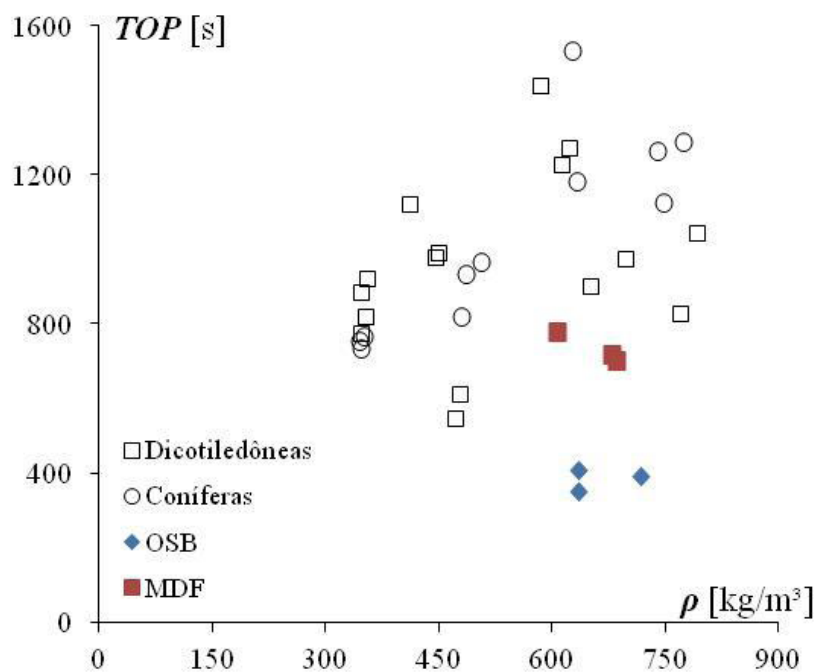


Figura 38 – Gráfico de TOP x Densidade.

Fonte: ROCHA, (2014).

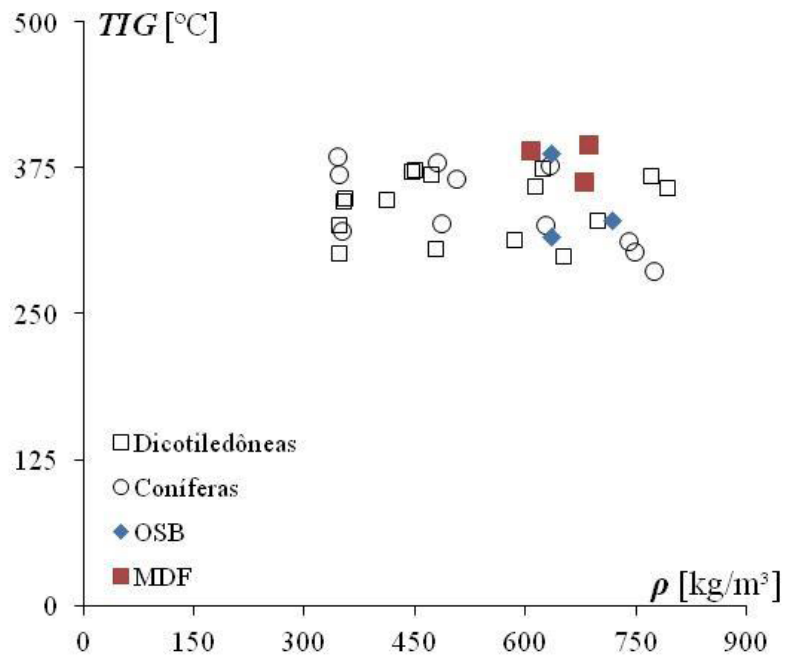


Figura 39 – Gráfico de TIG x Densidade.

Fonte: ROCHA, (2014).

## 5 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo pesquisar a metodologia experimental de obtenção das propriedades de queima da madeira com o emprego do CCPM de acordo com os dados obtidos na dissertação de mestrado: “*Determinação experimental de propriedades de combustão de madeiras maciças brasileiras*” de Monique Amaro de Freitas Rocha (2014) elaborada e defendida no Programa de Engenharia Civil da COPPE/UFRJ.

As amostras utilizadas no trabalho foram: (i) preparadas de acordo com a norma ISO 5660-1 (2002), (ii) secas em estufa, (iii) irradiadas com um fluxo de calor constante de 50 kW/m<sup>2</sup> e (iv) apresentam as fibras orientadas em um plano perpendicular ao fluxo de incidência. Foram obtidos resultados relacionados: (i) à taxa de liberação de calor (HRR), ao pico - HRR (PHRR), ao calor total liberado (THR), ao HRR nos tempos 180 e 300 segundos após a ignição (conforme recomendação encontrada na norma ISO 5660-1) e ao HRR médio (MHRR), (ii) à massa total perdida (TML) e à taxa de perda de massa (MLR), (iii) ao calor efetivo de combustão (EHC) e (iv) ao tempo de ignição (TTI), tempo de pirólise (TOP) e temperatura de ignição (TIG) (ROCHA, 2014).

Com obtenção dos parâmetros pesquisados com o auxílio do CCPM, foi possível conhecer melhor a influencia dos parâmetros como densidade, classe e espécie de madeiras na combustão.

Além dos comentários no capítulo 4 deste trabalho, é importante realçar alguns pontos específicos: 1) Valores semelhantes para HRR foram encontrados por TRAN *et al.* (1992) em amostras de pinho branco e pinho do sul. As madeiras apresentaram taxas de liberação de calor em torno de 100 à 200 kW/m<sup>2</sup> para um fluxo de 50kW/m<sup>2</sup>, semelhantes aos pinhos ensaiados. BYOUNG *et al.* (2011) apresentaram resultados similares com amostras de MDF. 2) O PHRR ocorre nos primeiros instantes da combustão. Para madeiras dicotiledôneas e coníferas, os valores variaram de 40-98s e 51-75s respectivamente. O valor de PHRR sobe de acordo com a densidade da madeira. 3) Os valores de THR também possuem uma relação direta com a densidade das amostras. Os resultados obtidos pelas amostras de coníferas assemelham-se aos de NAGAOKA *et al.* (1988) em relação à tendência de aumento de THR, mas diferencia-se na escala. Os resultados obtidos nos ensaios são muito maiores que as apresentadas por NAGAOKA *et al.* 4) Os valores de TML eram praticamente constantes e aproximadamente iguais a 70%, com uma dispersão vertical de  $\pm 5\%$ . 5) A TOP variou de 734-1536 s para 548-1440 s para madeiras coníferas e dicotiledôneas, respectivamente. Notou-se que o TOP e TTI

de madeiras mais densas, eram superiores. 6) As madeiras brasileiras apresentaram uma temperatura superficial entre 300-500°C.

URBAS *et al.* (1993) e HOPKINS (1995) encontraram que o Pinheiro Douglas alcançou temperaturas de 400° à 800°C e *Redwood* de 600°C. Entretanto, SPEARPOINT (1999) apresentou valores próximos das madeiras nativas, em torno de 375°C. 7) As amostras de CP não apresentam ignição. Elas representam uma boa opção para o uso em sistemas portantes/estruturais bem como em fechamentos e vedações, visando a segurança diante deste desempenho em situações de incêndio (ROCHA, 2014).

### **5.1 Sugestões para trabalhos futuros**

São apresentadas abaixo sugestões para trabalhos futuros relacionados ao tema abordado no presente trabalho:

- Construção e instrumentação de um CCPM para análise e comparação de resultados;
- Aplicar a metodologia para análise de outras espécies de madeiras;
- Viabilizar a combustão das espécies de madeira no âmbito de aproveitamento energético.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MALHOTRA, H. L. *Proposed code for fire safety in buildings for the State of Sao Paulo*. Technical Report. Agniconsult. Radlett. UK, 1993.

ISO 5660-1. *Reaction-to-fire tests—heat release, smoke production and mass loss rate—part 1: heat release rate (cone calorimeter method)*, 2002.

IBGE-PEVS/2014 – **Produção da extração vegetal e da silvicultura**, 2014.

DEL CARLO U. et al - **A segurança contra incêndio no Brasil**, 2008.

GÓMES, L. A., **Instrumentação de Ensaios**, 2014.

GIL, A. C., **Metodologia do Ensino Superior**, 1997.

FONSECA, J. J. S., **Metodologia da pesquisa científica**, 2002.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M., **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. 4ª ed. Florianópolis: UFSC, 2005.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de Pesquisa**. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2009.

GIL, A. C., **Como elaborar projetos de pesquisas**. 3ª edição. São Paulo: Atlas, 1991.

MINAYO, M. C. S. (Org.). **Pesquisa social: teoria, método e criatividade**. Petrópolis: Vozes, 2001.

THIOLENT, M. **Metodologia da pesquisa-ação**. São Paulo: Cortez, 1992.

TRIVIÑOS, A. N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação**. São Paulo: Atlas, 1987.

VOLPE, P. L. O., **Construção de um calorímetro isotérmico diferencial de alta sensibilidade e baixo custo**, 2009.

DE SOUZA, C. L., **Avaliação Metrológica da Estabilidade Termoelétrica do Termopar Tipo K**, 2013.

FIGUEROA, M. J. M.- **Comportamento da madeira em temperaturas elevadas**, 2009.

ROCHA, M. A. F. , **Determinação experimental de propriedades de combustão de madeiras maciças brasileiras**, 2014.

ASTM E 1354-11b, *Standard test method for heat and visible smoke release rates for materials and products using an oxygen consumption calorimeter*. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013.

BYOUNG H.L., HEE S.K., SUMIN K., HYUNG J.K., BONGWOO L., YUHE D., QIAN F., JIAYAN L. “Evaluating the flammability of wood-based panels and gypsum particleboard using a cone calorimeter”. In: **Construction and Building Materials**, v. 25, 2011.

TRAN H.C. “Experimental Data on Wood Materials”. In: **Elsevier Applied Science**, Chapter 11, part b, 1992.

TRAN H.C., WHITE R.H. “Burning rate of solid wood measured in a heat release rate calorimeters”. **Fire and Materials**. 16(3):197-206, 1992.

ISO 5660-1. *Reaction-to-fire tests – Heat release, smoke production and mass loss rate – Part 1: Heat release rate (Cone calorimeter method)*. International Standards Organization, 2002.

PELSTER, R., **Thermospannungen - vielgenutzt und fast immer falsch erklärt**, 2005.

MONTEIRO, M. S., **Avaliação metrológica da estabilidade termoelétrica de termopar AuPt**, 2002.

KUBLER H. “Wood as building and hobby material”. **John Wiley & Sons, Inc.**, USA, 1980.

BYOUNG H.L., HEE S.K., SUMIN K., HYUNG J.K., BONGWOO L., YUHE D., QIAN F., JIAYAN L. “Evaluating the flammability of wood-based panels and gypsum particleboard using a cone calorimeter”. In: **Construction and Building Materials**, v. 25, 2011.

HOPKINS D. “Predicting the ignition time and burning rate of thermoplastics in the cone calorimeter”. **National Institute of Standards and Technology (NIST-GCR-95-677)**, 1995.

SPEARPOINT M.J. “Predicting the ignition and burning rate of wood in the cone calorimeter using an integral model”. **National Institute of Standards and Technology**, Gaithersburg, USA, 1999.

URBAS J., PARKER W.J. “Surface temperature measurements on burning wood specimens in the cone calorimeter and the effect of grain orientation”. **Fire and Materials**. 17:205-208, 1993.