



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS  
E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE  
ENGENHARIA MECÂNICA

# **Estudo da inflamabilidade de diversos tipos de madeiras e de cortiça usados na estrutura e na envolvente de edifícios**

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica na Especialidade de Energia e Ambiente

**Autor**

**Tiago Emanuel Ferreira Nunes**

**Orientadores**

**Professor Doutor José Joaquim da Costa**

**Doutora Valeria Reva**

**Júri**

**Presidente** Professor Doutor António Manuel Lopes Gameiro  
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

**Vogais** Professor Doutor Miguel Rosa Oliveira Panão  
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Professor Doutor José Joaquim da Costa  
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

**Colaboração Institucional**

---



Associação para o  
Desenvolvimento da  
Aerodinâmica  
Industrial



Universidade de Trás-  
os-Montes e Alto  
Douro

Coimbra, Setembro, 2015

Aos meus pais.

## Agradecimentos

A dissertação aqui apresentada não seria concretizável sem o precioso contributo de várias pessoas e instituições, às quais não posso deixar de prestar um profundo reconhecimento:

À Doutora Valeria Reva, orientadora da dissertação, não só pela enorme disponibilidade que demonstrou no esclarecimento de dúvidas e pela partilha de conhecimentos como também pelas valiosas indicações, constante acompanhamento e apoio durante todo o trabalho, sem os quais esta dissertação não seria possível.

Ao Prof. Doutor José Costa, orientador da dissertação, por todo o acompanhamento e apoio, pelas opiniões e críticas valiosas e por se ter demonstrado sempre disponível.

À Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro por ter gentilmente disponibilizado as amostras de madeira utilizadas nos ensaios experimentais efetuados.

Ao Doutor Vítor Silva, pela grande disponibilidade que mostrou em partilhar conhecimentos referentes à preparação dos termopares.

A todos os meus amigos pelo companheirismo, amizade, e por todos os momentos partilhados ao longo destes últimos anos.

Por fim, dirijo um agradecimento especial à minha família. Aos meus avós, tios e irmãos pelo amor e apoio incondicional durante toda a minha vida e aos meus pais, a quem dedico este trabalho, por toda a confiança e compreensão que depositaram em mim e por todo o apoio e incentivos prestados.

## Resumo

Na presente tese é feito um estudo da inflamabilidade de três espécies diferentes de madeira (*Pinus pinaster*, *Pinus sylvestris* e *Apuleia leiocarpa*), utilizadas na estrutura de edifícios, e de aglomerado de cortiça expandida, utilizada habitualmente nas construções como isolante térmico, acústico e, mais recentemente, como revestimento exterior. Para este efeito foram conduzidos testes experimentais em calorímetro cónico, o que permitiu analisar os seguintes parâmetros: tempo de ignição, tempo de extinção de chama, perda de massa, taxa de perda de massa, taxa de libertação de calor, energia total libertada e a evolução da temperatura. A evolução da temperatura obtida experimentalmente foi, posteriormente, comparada com a evolução da temperatura obtida através de um modelo teórico analítico.

Verificou-se que o aglomerado de cortiça expandida representa um risco de inflamabilidade muito maior do que as espécies de madeira estudadas. A espécie com um risco de inflamabilidade menor é a garapa (*Apuleia leiocarpa*). No entanto, durante a combustão com chama, a espécie que apresentou um comportamento mais favorável foi o pinheiro nórdico (*Pinus sylvestris*).

Foi confirmada uma relação aproximadamente linear entre a densidade das amostras utilizadas e os tempos de ignição obtidos.

**Palavras-chave:** Construção em madeira, Calorímetro Cónico, Taxa de libertação de calor, Testes de inflamabilidade, Inflamabilidade da madeira, Inflamabilidade da cortiça.

## Abstract

This thesis is dedicated to the study of the flammability of three species of wood (*Pinus pinaster*, *Pinus sylvestris* and *Apuleia leiocarpa*), used in the structure of buildings, and agglomerate of expanded cork, commonly used in construction as an acoustic and thermal insulator. For this purpose, experimental procedures using the cone calorimeter were conducted, which allowed to obtain the following parameters: time to ignition, flame extinguishing time, mass loss, mass loss rate, heat release rate, total energy released and the evolution of the temperature. The experimentally obtained evolution of the temperature was then compared with the theoretical evolution of the temperature obtained through an analytical model.

It was found that the agglomerate of expanded cork presents a much higher flammability risk than the species of wood studied. *Apuleia leiocarpa* is the species of wood with the lowest flammability risk. However, during the phase of combustion with flame, *Pinus Sylvestris* was the specie with the most favorable behavior.

A linear relation was confirmed between the density of the samples used in the experimental tests and the obtained times to ignition.

**Keywords** Wood Construction, Cone Calorimeter, Heat Release Rate, Fire tests, wood flammability, cork flammability.

## Índice

Índice de Figuras .....	vi
Índice de Tabelas .....	vii
Nomenclatura.....	viii
Símbolos Gregos .....	ix
Siglas .....	ix
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Enquadramento e motivação do estudo .....	1
1.2. Objetivos e organização da tese .....	2
2. Estado de arte.....	4
2.1. Construções em madeira no mundo.....	4
2.2. Utilização de cortiça como revestimento na construção de edifícios .....	6
2.3. Utilização da madeira como material de construção .....	7
2.4. Construções em madeira em Portugal .....	9
2.5. Classificação da reação ao fogo de produtos e materiais utilizados em construções .....	10
2.6. Conceitos fundamentais .....	15
2.6.1. Poder calorífico.....	15
2.6.2. Taxa de libertação de calor .....	15
2.6.3. Pirólise da madeira .....	16
2.6.4. Tempo de ignição .....	18
2.6.5. Condução de Calor .....	18
2.7. Propriedades térmicas .....	19
2.7.1. Condutividade Térmica .....	19
2.7.2. Calor Específico .....	20
2.7.3. Difusividade térmica.....	21
2.8. Modelos teóricos de propagação de calor.....	21
3. Materiais e métodos.....	23
3.1. Descrição e preparação das amostras.....	23
3.2. Testes em calorímetro cónico .....	27
4. Resultados e discussão .....	30
4.1. Tempo de ignição.....	30
4.2. Tempo de extinção da chama.....	32
4.3. Perda de massa.....	33
4.4. Taxa de perda de massa .....	36
4.5. Poder calorífico.....	39
4.6. Taxa de libertação de calor (HRR) .....	42
4.7. Energia libertada.....	43
4.8. Evolução da temperatura .....	44

---

4.9. Comparação dos resultados com o modelo teórico de propagação de calor .....	49
5. Conclusões e sugestões de trabalhos futuros .....	51
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	53
ANEXO A .....	57

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. Representação esquemática dos furos numa amostra.....	25
Figura 3.2. Amostras das espécies de madeira (garapa à esquerda, pinheiro bravo ao centro e pinheiro nórdico à direita) e de aglomerado de cortiça expandida.....	25
Figura 3.3. Instalação experimental.....	27
Figura 3.4. Procedimentos experimentais: (a) introdução dos termopares no interior de uma amostra de cortiça ; (b) revestimento da amostra com película de alumínio.....	28
Figura 3.5. Amostra de garapa no final de um ensaio.....	29
Figura 4.1. Tempos de ignição para cada espécie de amostras estudada.....	31
Figura 4.2. Tempos de ignição em função da densidade para cada espécie.....	31
Figura 4.3. Tempos de extinção da chama, para cada espécie de amostras estudada.....	32
Figura 4.4. Tempos de extinção da chama, para cada espécie de amostras estudada em função da densidade.....	33
Figura 4.5. Curvas de perda de massa médias para cada uma das espécies.....	34
Figura 4.6. Curvas de perda de massa para as amostras de cortiça (a); pinheiro nórdico (b); pinheiro bravo (c); garapa (d);.....	35
Figura 4.7. Aspeto das amostras após um ensaio em calorímetro cónico: (a) cortiça; e (b) garapa.....	36
Figura 4.8. Taxas de perda de massa médias para as espécies de (a) cortiça ; (b) pinheiro nórdico; (c) pinheiro bravo e (d) garapa.....	37
Figura 4.9. Taxas de perda de massa para cada uma das espécies.....	38
Figura 4.10. Taxa de libertação de calor para cada uma das espécies.....	43
Figura 4.11. Evolução da temperatura na superfície das amostras.....	45
Figura 4.12. Evolução da temperatura a 5 mm da superfície das amostras.....	46
Figura 4.13. Evolução da temperatura a 15 mm da superfície das amostras.....	47
Figura 4.14. Evolução da temperatura a 25 mm da superfície das amostras.....	48
Figura 4.15. Comparação entre as curvas de temperatura obtidas analiticamente e experimentalmente.....	50



---

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1. Classificação de materiais de construção, exceto revestimentos de piso, de acordo com a sua reação ao fogo segundo a norma europeia EN 13501-1.....	13
Tabela 2.2. Classificação adicional de acordo com a produção de fumo e quanto à libertação de partículas/gotas inflamadas.....	14
Tabela 2.3. Fases de degradação da madeira (Figuerola et al., 2009).....	17
Tabela 3.1. Caracterização das amostras.....	24
Tabela 3.2. Humidade das amostras.....	26
Tabela 4.1. Poder calorífico superior calculado experimentalmente (Gomes, 2014; Al-Kassir et al., 2010).....	39
Tabela 4.2. Percentagem mássica de C,H,O e N nas amostras do pinheiro bravo (Telmo et al., 2010), do pinheiro nórdico e garapa (Tillman et al.,1981) e da cortiça (Al-Kassir et al., 2009).....	40
Tabela 4.3. Poder calorífico das espécies estudadas.....	41
Tabela 4.4. Energia total libertada pelas espécies analisadas.....	44

## NOMENCLATURA

$A$  – Área perpendicular à direção de transmissão de calor [m]

$c$  – Calor específico [ $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ]

$c_p$  – Calor específico a pressão constante [ $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ]

$c_v$  – Calor específico a volume constante [ $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ]

$E$  – Energia libertada sob a forma de calor [kJ]

$I$  – Irradiância [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ]

$k$  – Condutividade térmica do material [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ]

$L$  – Espessura [m]

$M$  – Teor de humidade [%]

$M_{bh}$  – Humidade de base húmida [%]

$M_{bs}$  – Humidade em base seca [%]

$\dot{m}$  – Taxa de perda de massa do material em combustão por unidade de superfície do combustível [ $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ]

$m_{\text{água}}$  – Massa de água [kg]

$m_{ms}$  – Massa de matéria seca [kg]

$Q$  – Quantidade de calor transmitido por unidade de tempo [W]

$q_s$  – Fluxo de calor [W]

$T$  – Temperatura num dado instante [K]

$T_0$  – Temperatura ambiente [K]

$T_i$  – Temperatura no instante inicial [K]

$T_s$  – Temperatura da superfície durante a ignição [K]

$t$  – Tempo [s]

$t_{ig}$  – Tempo de ignição [s]

$w(\text{H})_s$  – Concentração de hidrogénio [wt% b.s.]

$w(\text{N})_s$  – Concentração de azoto [wt% b.s.]

$w(\text{O})_s$  – Concentração de oxigénio [wt% b.s.]

---

$x$  – Distância do ponto à superfície [m]

## Símbolos Gregos

$\rho$  – Densidade [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]

$\Delta T$  – Variação da temperatura [K]

$\Delta q$  – Variação da energia sob a forma de calor [ $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ ]

$\alpha$  – Difusividade térmica [ $\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ ]

$\varepsilon$  – Emissividade

## Siglas

APCOR – Associação Portuguesa de Cortiça

EN – Norma Europeia

HRR – *Heat Release Rate* [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ]

ISO – Organização Internacional de Normalização

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

PCI – Poder calorífico inferior [ $\text{J}\cdot\text{g}^{-1}$ ]

PCS – Poder calorífico superior [ $\text{J}\cdot\text{g}^{-1}$ ]

$\text{PCS}_{\text{bs}}$  – Poder calorífico superior a volume constante e base seca [ $\text{J}\cdot\text{g}^{-1}$ ]

$\text{PCS}_{\text{exp}}$  – Poder calorífico superior determinado experimentalmente [ $\text{J}\cdot\text{g}^{-1}$ ]

SBI – *Single Burning Item*

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Enquadramento e motivação do estudo

A escolha do material utilizado na construção ou reabilitação de edifícios pode ter um enorme impacto ambiental. Atualmente existe cada vez maior preocupação com o meio-ambiente por parte do Homem e, como tal, a tendência é que se comece a optar cada vez mais por soluções que causem o menor impacto ambiental possível, contribuindo assim para um desenvolvimento sustentável. Faz, portanto, todo o sentido que se opte por materiais que contribuam para um menor consumo de energia e de água durante a construção de um edifício. A madeira é considerada uma excelente escolha do ponto de vista ambiental, uma vez que é um material renovável, que existe com abundância na natureza e de fácil obtenção.

Os edifícios em madeira são bastante populares em vários países do mundo, sendo mesmo os principais tipos de construção das residências nas zonas rurais em países como os Estados Unidos, Canadá, Austrália, Finlândia, Alemanha, Noruega e Suíça. No entanto, em Portugal e nos países mediterrânicos, o uso intensivo de madeira na construção de casas de madeira maciça é condicionado pelo problema dos incêndios florestais. Como tal, apesar de existirem várias empresas a atuar em Portugal que se dedicam à construção deste tipo de edifícios, as construções em madeira são vistas com uma certa desconfiança pela população em geral.

Assim sendo, perceber como é que os diferentes tipos de madeira utilizados na construção reagem ao fogo revela-se extremamente importante. Neste contexto torna-se necessário fazer um estudo da inflamabilidade deste tipo de materiais. Da mesma forma, sendo a cortiça um material que pode ser também utilizado em construções e considerando que Portugal é o maior produtor mundial de cortiça, é também oportuno conduzir este tipo de estudos para este material. Conhecer a forma como um material utilizado na construção de um edifício reage ao fogo permite determinar com maior facilidade a possibilidade de ocorrência de incêndio. Possibilita também uma melhor compreensão dos riscos em caso de

ocorrência de incêndio, sendo este aspeto crucial na elaboração de estratégias de combate de incêndios e de evacuação da população.

Este aspeto ganha ainda mais importância tendo em conta que Portugal é um país que todos os anos é afetado por bastantes incêndios florestais, o que contribui para aumentar o risco deste tipo de construções neste país. Com os resultados obtidos pretende-se contribuir com mais dados experimentais para a criação de uma base de dados científica, que poderá ser utilizada na elaboração de normas, particularmente em zonas com elevado risco de incêndios florestais, que cobrem uma parcela significativa da área de Portugal.

## **1.2. Objetivos e organização da tese**

Este trabalho tem como principal objetivo fazer um estudo da inflamabilidade de três espécies diferentes de madeira (*Apuleia leiocarpa*, *Pinus Sylvestris*, *Pinus pinaster*) e de placas de aglomerado de cortiça expandida utilizadas no revestimento de edifícios.

Determinaram-se experimentalmente os seguintes parâmetros: taxa de libertação de calor (HRR), taxa de perda de massa, tempo de ignição, tempo de extinção e energia total libertada. Relacionaram-se os resultados obtidos com os valores de densidade das amostras em estudo (visto que estas apresentavam densidades distintas), a fim de determinar a relação entre os parâmetros que tipicamente definem a reação de um material ao fogo e a sua densidade. Os valores da propagação da temperatura no interior da amostra foram relacionados com os valores obtidos a partir de um modelo teórico existente.

Os resultados deste estudo poderão contribuir tanto para a criação de uma base de dados científica para a elaboração de normativas de construção em madeira em zonas urbano-florestais com elevado risco de incêndios florestais e da sua proteção no caso de incêndio, como para o desenvolvimento de modalidades de seguro multirriscos de habitação.

A presente dissertação encontra-se estruturada da forma descrita de seguida:

O capítulo dois faz uma descrição do estado de arte, explicando de forma sucinta algumas noções fundamentais relacionadas com a utilização de madeira e de aglomerados de cortiça na construção de edifícios e alguns conceitos relacionados com a combustão dos materiais em questão.

O capítulo três refere os materiais utilizados e faz uma descrição dos procedimentos experimentais utilizados.

No capítulo quatro é feita uma análise e discussão detalhada dos resultados obtidos experimentalmente.

O capítulo cinco refere as conclusões finais retiradas deste trabalho e apresenta uma sugestão de trabalhos futuros relacionados com o tema.

## 2. ESTADO DE ARTE

### 2.1. Construções em madeira no mundo

O uso de madeira como material de construção em cada país depende de vários fatores, tais como (Cruz, 2013): (i) a disponibilidade deste tipo de matéria-prima em relação a outros materiais alternativos; (ii) o clima, que pode afetar o ritmo da construção, condicionar as necessidades de proteção e de conforto térmico e ainda definir diferentes ações e riscos de degradação; e (iii) questões sociais e culturais. Cruz (2013) refere também que devido à necessidade de serem construídas em pouco tempo e terem grande eficiência energética, as casas de madeira são bastante populares em regiões mais frias. No entanto, aponta que este tipo de construções tem vindo a ser utilizado de forma eficaz também em regiões com climas quentes e húmidos, como é o caso da Malásia ou em certas zonas da Austrália.

A eficácia com que se consegue utilizar a madeira na construção de edifícios nas diferentes partes do mundo reforça a qualidade deste material e a eficiência deste tipo de estruturas.

Em alguns países, a maior parte dos edifícios residenciais são construídos em madeira. A utilização de madeira neste tipo de construções ocupava, em meados da década passada, uma percentagem significativa em países como os Estados Unidos da América (90% a 94%), países nórdicos (80% a 85%), Canadá (76% a 85%) e Escócia (60%). Destaca-se ainda o Reino Unido (20%), a Alemanha (10%), Holanda (6% a 7%) e a França (4%) (Gustavsson *et al.*, 2006).

O setor da construção representa uma indústria bastante ativa a uma escala global, tanto nos países desenvolvidos como nos países em desenvolvimento. Como tal tem atraído bastantes atenções relativamente a alguns indicadores sociais, económicos e ambientais de desenvolvimento sustentável (Ortiz *et al.*, 2009). A Comissão Europeia refere num comunicado (European Commission, 2011) que a construção e o uso de edifícios tem grande influência no consumo total de energia final pela União Europeia, sendo responsável

---

por 42% do consumo total. É mencionado que é responsável pelo consumo de mais de metade dos recursos extraídos e por 30% da utilização de água, contribuindo ainda com uma parcela significativa da emissão de gases com efeito de estufa (35%). Este documento explica também que os resíduos gerados continuam a aumentar. Assim, é bastante claro que o setor tem uma contribuição significativa em termos de impactos ambientais negativos. Ortiz *et al.* (2009) consideram muito importante fazer uma avaliação do ciclo de vida, que deverá contribuir para que as decisões tomadas sejam mais eficientes, com a finalidade de melhorar a sustentabilidade do setor da construção.

Um relatório elaborado por uma equipa formada a pedido do ministro dos negócios estrangeiros finlandês (Working Group, 2010) estima que um aumento na Europa de 10% da sua cota de construção em madeira seria responsável por 25% das metas de redução de emissões de gases que agravam o efeito de estufa fixadas pelo Protocolo de Quioto para a União Europeia. Este relatório refere ainda que um aumento anual de utilização de madeira em 4% na Europa contribuiria para uma redução de cerca de 150 milhões de toneladas de emissões de dióxido de carbono. Como tal, existe por parte da União Europeia uma tentativa de incentivar as construções em madeira. Em França foi criada legislação que impõe um volume mínimo de madeira que deverá integrar os novos edifícios e em países como o Reino Unido, Suécia e Alemanha têm vindo a promover a construção de edifícios residenciais com vários andares em madeira. No entanto, o relatório considera as medidas tomadas pela União Europeia como sendo extremamente modestas, apesar de diversos estudos apoiarem as vantagens deste tipo de construções.

O interesse da madeira como material de construção tem sido crescente. A madeira assume-se como uma alternativa viável relativamente a outros materiais por ser um material renovável e por proporcionar formas de construção mais vantajosas e ecológicas do que as geralmente utilizadas (Morgado *et al.*, 2012).



---

## 2.2. Utilização de cortiça como revestimento na construção de edifícios

Portugal é o maior produtor mundial de cortiça, detendo mais de metade da produção mundial, com uma área que representa um terço da área mundial de montados. Esta matéria-prima sustenta uma indústria muito significativa para a economia nacional, transformando um valor próximo dos 75% da cortiça mundial (Costa, 2011).

A cortiça é um material produzido pelo sobreiro (*Quercus suber L.*) e compõe o revestimento exterior do seu tronco e ramos. Os montados ocupam mais de 730.000 hectares em Portugal, o que corresponde a aproximadamente 23% do total do território florestal nacional, podendo encontrar-se as maiores concentrações de sobreiros nos distritos de Setúbal, Beja, Évora, Santarém e Portalegre, representando cerca de 87% da produção (Costa, 2011).

De acordo com a Associação Portuguesa de Cortiça (APCOR, 2015), o sector da produção de cortiça gerou 846 milhões de euros em exportações em 2014, o que equivale a 182 milhares de toneladas exportadas. A cortiça como material de construção gerou no último ano 222,6 milhões de euros em exportações, o que equivale a 26,3% do total da exportação de cortiça. Em 2007 foram exportadas por Portugal 94,7 mil toneladas de cortiça destinadas à construção (Gil, 2015).

A cortiça é aplicada como material flutuante e como vedante devido às suas características. É um material leve (densidade média de cerca de  $200 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) com elevados níveis de elasticidade e de impermeabilidade a líquidos e gases. É um excelente isolante térmico e elétrico, com boa capacidade de absorção acústica e de vibrações e que pode ser comprimido sem expansão lateral. Estas propriedades devem-se às suas células que se encontram organizadas numa estrutura alveolar característica, em que cada célula tem a forma de um prisma pentagonal ou hexagonal, com uma altura que não ultrapassa os 40 a 50  $\mu\text{m}$ . As células mais pequenas têm apenas cerca de 20  $\mu\text{m}$  podendo até mesmo apresentar valores tão baixos como 10  $\mu\text{m}$ . Estas encontram-se ocupadas por uma mistura de gases semelhante ao ar. Uma prancha de cortiça é constituída por cerca de 60% de elementos gasosos, o que ajuda a explicar a sua baixa densidade. Devido à impermeabilidade que a suberina (que representa cerca de 45% da composição da cortiça) concede às paredes da

---

célula, o gás nela contido não consegue sair, contribuindo para a elasticidade e para a baixa condutividade térmica do material (APCOR, 2015; Gil, 1998).

As aplicações mais comuns dos produtos derivados da cortiça na construção civil são como isolante acústico, térmico e anti-vibrático (aplicado nas paredes, tetos e pavimentos), em tetos falsos e no revestimento de paredes, tetos e pavimentos (Gil, 2015).

Gil (2015) considera ainda que do ponto de vista ecológico, a vantagem de utilizar produtos de cortiça é evidente, uma vez que se trata de uma matéria-prima renovável e que contribui para a captura do dióxido de carbono.

### **2.3. Utilização da madeira como material de construção**

A madeira é um recurso renovável que existe em abundância na natureza e que pode ser reutilizado e reciclado. Isto faz com que a utilização da madeira, enquanto material de construção, seja bastante ecológica. Vaz (2008) refere que a expansão da construção de casas com madeira originária de África na Europa setentrional, na China, no Japão e na América do Norte segue o padrão de migração das populações, adaptando-se ao clima, à localização, ao tipo de madeira disponível e a outros fatores políticos e sociais.

Vaz (2008) considera ainda que o nível de desenvolvimento atingido em algumas partes do mundo é tão elevado que os avanços tecnológicos recentes dificilmente terão algo a acrescentar. O templo Horyu-ji, localizado na província de Nara, no Japão, considerado património mundial pela UNESCO, é um excelente exemplo da viabilidade deste tipo de construções. A *World Heritage List* publicada pela UNESCO (Advisory Body Evaluation, 1993) explica que alguns dos monumentos que constituem o templo foram construídos no final do século VII ou no início do século VIII, sendo, por isso, este considerado a construção em madeira que, no mundo, mais tempo perdurou conservada, tendo conseguido sobreviver a inúmeros sismos que atingiram a região onde o templo se encontra.

Devido ao aparecimento de sistemas industrializados verificou-se um crescimento acentuado da construção de casas de madeira nos anos 60 e 70. (Cruz, 2013).

Segundo um inquérito feito pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) em 2011 às empresas de projeto, fabrico, construção e comercialização de casas de

---

madeira a atuar em Portugal, mais de metade das empresas (60%) consideram que a vida útil das casas de madeira é superior a 100 anos, caso seja feita uma manutenção regular e adequada. Segundo o relatório deste inquérito, as empresas consideram que os argumentos mais importantes a favor da construção de casas em madeira relacionados com a ecologia são o facto de a madeira ser reciclável e reutilizável, fixar o CO<sub>2</sub> e de o uso da madeira incentivar a gestão de florestas sustentáveis e reduzir os resíduos de construção em obra. Ao nível da funcionalidade e do conforto, as empresas consideram ser importante o facto de a madeira proporcionar bom comportamento higrotérmico, as casas de madeira terem baixa inércia térmica e ainda um bom conforto acústico. Em termos de economia e de eficácia, destaca-se o facto de a construção em madeira facilitar processos otimizados de pré-fabricação e construção seca, de a construção em madeira ser mais rápida, o reduzido consumo de energia no fabrico dos elementos de madeira e os custos de operação serem inferiores aos da construção corrente. Realça-se, ainda, o facto de as construções de madeira apresentarem bom comportamento aos sismos (LNEC, 2011). A empresa LogDomus refere no seu *website* ([www.logdomus.pt](http://www.logdomus.pt)) que se consegue economizar bastante em energia gasta no aquecimento da habitação quando se opta por uma construção de madeira.

Quanto à temática dos incêndios, a empresa Rusticasa indica no seu *website* ([www.rusticasa.pt](http://www.rusticasa.pt)) que a madeira maciça resiste aos incêndios melhor do que as estruturas de cimento armado ou que as estruturas metálicas, apesar de arder a temperaturas relativamente baixas. Tal dever-se-á ao facto de a carbonização superficial da madeira não só complicar a libertação dos gases mas também dificultar a penetração do calor por apresentar uma condutividade térmica inferior à da própria madeira. Desta forma, acaba por atuar com um efeito de autoextinção. Observa-se, por isso, uma propagação em profundidade do fogo bastante lenta no caso da madeira, ao contrário do que acontece com as estruturas metálicas em caso de incêndio, em que estas se dilatam e retorcem, verificando-se uma degradação acelerada da sua resistência mecânica com o aumento da temperatura, estando sujeitas a desabar rapidamente. White e Dietenberger (2010) apoiam este argumento ao indicar que a resistência de um elemento ou estrutura de madeira ao fogo depende da existência de uma camada protetora, ou da espessura da camada carbonizada da madeira, e das dimensões da secção residual, as quais dependem da taxa de carbonização da espécie de madeira usada.

---

No entanto, Aseeva *et al.* (2013) consideram que os danos e as perdas de vidas humanas e materiais são significativamente maiores em edifícios com estruturas em madeira. Referem ainda que anualmente são registados entre 6,5 a 7,5 milhões de incêndios no planeta, provocando a morte de 70.000-75.000 pessoas e cerca de 1 milhão de feridos. Aproximadamente 35% destes incêndios ocorrem em edifícios (na sua maior parte residenciais).

É importante encontrar soluções que aumentem a segurança deste tipo de construções, sendo imprescindível o conhecimento dos principais fatores e fundamentos da combustão deste tipo de materiais.

## 2.4. Construções em madeira em Portugal

Segundo Negrão (2011), em Portugal instalou-se na sociedade e na comunidade técnica a opinião de que a madeira é um material com pouca qualidade, tendo isso levado à sua substituição em várias construções antigas. Em alguns casos as perdas de património arquitetónico que se verificaram foram enormes. Por outro lado, Cruz (2013) considera que o mercado nacional da construção em madeira tem sido impulsionado pela importância que se tem vindo a dar ao ambiente e à utilização de recursos de forma sustentável. Refere ainda que este mercado tem vindo a crescer e a ganhar visibilidade, não só devido à construção de habitações unifamiliares mas também por causa da construção de edifícios em madeira destinados ao comércio e ao turismo. Morgado *et al.* (2012) consideram que a procura por materiais e métodos mais ecológicos terá incentivado a criação de novas empresas. Referem que o contexto de crise económica atual poderá ter sido encarado como uma oportunidade de lançar no mercado soluções alternativas e potencialmente menos dispendiosas do ponto de vista económico. Consideram ainda que apesar da generalidade dos consumidores mostrarem desconhecimento e desconfiança em relação a este tipo de construções, as empresas deste setor têm evidenciado espírito de iniciativa e capacidade para enfrentar os desafios do mercado.

O relatório do inquérito do LNEC (2011) apresenta que, em Portugal, o setor é constituído principalmente por microempresas e empresas de pequena dimensão situadas no

---

Centro e no Norte do País. Este estudo refere que a maioria das empresas é relativamente recente, só tendo iniciado atividade no sector após 2006, em média. Refere também que, para a maioria das empresas, o preço de construção das casas de madeira se encontra entre os 500 € e os 750 € por metro quadrado e salienta ainda que cerca de um terço da produção nacional de casas de madeira se destina à exportação.

Mais de metade das empresas de construção de casas em madeira recorre a madeiras de espécies resinosas provenientes da Europa, sendo as madeiras de outras espécies e proveniências menos frequentes. As madeiras de origem nacional são usadas por mais de um terço das empresas (LNEC, 2011).

Após uma pesquisa efetuada nos *websites* de várias empresas a atuar no sector em Portugal, verificou-se que o pinho nórdico (*Pinus Sylvestris*) e o abeto nórdico (*Picea abies*) são madeiras bastante populares entre os construtores de casas de madeira. A empresa Canto Certo ([www.cantocerto.pt](http://www.cantocerto.pt)) refere também a utilização de pinho bravo (*Pinus Pinaster*) na estrutura das construções. A Exotic House ([www.exotic-house.pt](http://www.exotic-house.pt)) indica que utiliza, entre outras espécies de madeira exótica brasileira, a garapa (*Apuleia leiocarpa*) e a empresa Rusticasa ([www.rusticasa.pt](http://www.rusticasa.pt)) faz referência à utilização de cedro do Japão (*Cryptomeria japonica*), também conhecida por criptoméria, proveniente da ilha de São Miguel nos Açores. A Rusticasa refere ainda que, por cada árvore cortada de criptoméria, são plantadas duas, de acordo com a legislação em vigor.

Considera-se que Portugal tem potencial para produzir espécies de madeira que podem ser utilizadas na construção de casas. No entanto, a problemática dos incêndios florestais afeta de forma negativa a credibilidade deste tipo de estruturas no país.

## **2.5. Classificação da reação ao fogo de produtos e materiais utilizados em construções**

Durante um incêndio, se existirem materiais suficientemente inflamáveis, este irá rapidamente intensificar e expandir-se. Utilizando materiais pouco inflamáveis na construção de edifícios consegue-se reduzir significativamente a velocidade de propagação das chamas ao longo de uma determinada área durante um incêndio, bem como minimizar a

---

sua contribuição para o fogo. Torna-se portanto essencial classificar os materiais de acordo com a sua combustibilidade.

Os requisitos de segurança contra incêndios encontram-se regulamentados nas respectivas normas de construção. Esta legislação classifica o uso de materiais de construção de um edifício, bem como de todos os materiais utilizados no revestimento de paredes, pisos ou tetos. A legislação atual tem como finalidade permitir uma evacuação segura de todos os ocupantes de um espaço fechado em caso de incêndio. Os países da União Europeia utilizavam testes diferentes para avaliar a reação dos materiais de construção ao fogo. Desta forma tornava-se extremamente difícil comparar o desempenho de um determinado material quando este era avaliado utilizando métodos diferentes, o que acabava por gerar confusão e criar algumas barreiras comerciais entre países diferentes. Para pôr fim a estes inconvenientes, foi implementada uma norma para substituir os diferentes sistemas de classificação adotados por cada um dos países europeus.

As normas europeias de classificação de materiais em relação ao risco de incêndio correspondem a um conjunto de padrões de teste que foram aceites pelos países europeus e que permitem aos fabricantes produzir ou importar produtos que foram testados seguindo um padrão comum. Com isto evita-se que para o mesmo material ou produto seja necessário efetuar testes diferentes para cada um dos países onde este seja comercializado. Como tal, cada país da União Europeia deverá incorporar a norma europeia EN 13501-1 de classificação de materiais e produtos de construção em relação ao fogo.

Para classificar os materiais e produtos de construção em relação ao fogo torna-se necessário determinar duas características importantes: a resistência do material ao fogo e a sua reação ao fogo. A primeira característica determina a capacidade de um determinado produto ou material resistir ao fogo. A segunda determina o comportamento de um dado material durante um incêndio, a sua contribuição para a evolução do incêndio e a influência que o material terá na sua propagação. Estes parâmetros são determinados através da condução de testes que se encontram normalizados. A norma EN 13501-1 engloba 5 tipos de ensaios normalizados:

- O teste para avaliar o comportamento de parâmetros em relação ao fogo através de uma fonte de calor radiante (ISO 9239-1), que apenas é utilizado para pavimentos e revestimentos;

- 
- O teste de incombustibilidade (ISO 1182), que serve para identificar os materiais e produtos que não contribuem significativamente para um incêndio;
  - O teste de calor de combustão (ISO 1716), que determina o poder calorífico superior (PCS) e o poder calorífico inferior (PCI) de um material, através de uma bomba calorimétrica, tornando possível a determinação do máximo de calor que poderá ser libertado durante um incêndio;
  - O teste de inflamabilidade (ISO 11925-2), que determina a inflamabilidade de um material sob a influência de uma chama piloto.
  - O teste do elemento isolado (EN 13823), frequentemente designado por *single burning item* (SBI), que é um método desenvolvido para determinar a reação dos produtos de construção ao fogo, quando expostos a um ataque térmico provocado por um objeto isolado em combustão. Este teste determina as taxas de libertação de calor e de fumo, fazendo ainda uma avaliação das características físicas do incêndio através da observação da amostra durante o ensaio.

A norma europeia EN 13501-1 define duas categorias diferentes de classificação, sendo uma delas destinada a todos os produtos de construção, à exceção dos produtos destinados a revestimento de piso, e a outra para os destinados a revestimento de pisos. Definem-se 7 classes (A1, A2, B, C, D, E, F) em ambos os casos, adicionando-se o índice FL (*floor*) à letra da classe correspondente para o caso dos produtos destinados a revestimentos de pisos. Esta norma classifica ainda os materiais quanto à libertação de fumo (s1, s2, s3) e quanto à libertação de partículas/gotas inflamadas (d0, d1, d2). Na Tabela 2.1 apresenta-se a descrição de cada uma das classes de reação ao fogo de materiais de construção, à exceção dos produtos para revestimento de pisos.

**Tabela 2.1** Classificação de materiais de construção, exceto revestimentos de piso, de acordo com a sua reação ao fogo segundo a norma europeia EN 13501-1

<b>Classe</b>	<b>Descrição</b>
<b>A1</b>	Materiais que não contribuem para nenhuma fase do incêndio, incluindo a fase em que este se encontra totalmente desenvolvido. Cumprem todos os requisitos das classes inferiores.
<b>A2</b>	Materiais que satisfazem todos os requisitos da classe <b>B</b> que não contribuem significativamente para a carga de incêndio nem para o desenvolvimento do incêndio.
<b>B</b>	Materiais que contribuem de forma muito limitada para o incêndio, tal como a classe <b>C</b> , mas que satisfazem requisitos ainda mais rigorosos.
<b>C</b>	Materiais com contribuição relativamente limitada para o incêndio, satisfazendo os critérios da classe <b>D</b> , embora com requisitos mais rigorosos. Adicionalmente, sob ataque térmico de um elemento isolado em combustão, apresentam uma propagação lateral da chama limitada.
<b>D</b>	Materiais com uma contribuição relativamente significativa para o incêndio. Cumprem os requisitos da classe <b>E</b> e têm capacidade de resistir por um período de tempo superior ao ataque por uma chama de pequenas dimensões sem que ocorra uma propagação substancial da chama. Conseguem ainda suportar o ataque térmico de um elemento isolado em combustão, com uma libertação de calor suficientemente retardada e limitada.
<b>E</b>	Materiais com uma contribuição significativa para o incêndio. Devem ser capazes de resistir durante um curto período de tempo ao ataque por uma chama de pequenas dimensões sem que ocorra uma propagação substancial da chama.
<b>F</b>	Materiais cujo desempenho não foi determinado ou que não se enquadram em nenhuma das classes anteriores.

A Tabela 2.2 resume a classificação adicional de um material de acordo com a sua produção de fumo e com a libertação de partículas/gotas inflamadas.



**Tabela 2.2** Classificação adicional de acordo com a produção de fumo e quanto à libertação de partículas/gotas inflamadas

<b>Classificação adicional de acordo com a produção de fumo</b>	
<b>s1</b>	Critérios impostos a esta classe são mais rígidos do que os impostos na classe <b>s2</b> .
<b>s2</b>	Limites quanto à produção total de fumo e quanto à taxa de produção de fumo.
<b>s3</b>	Sem restrições quanto à produção de fumo.
<b>Classificação adicional de acordo com a libertação de partículas/gotas</b>	
<b>d0</b>	Não ocorre a produção de partículas/gotas.
<b>d1</b>	Não há produção de partículas/gotas por um período maior do que um determinado tempo.
<b>d2</b>	Sem restrições quanto á produção de partículas/gotas.

Em alternativa, o método definido pela norma ISO 5560 apresenta outra forma de avaliar a reação ao fogo dos materiais. Esta norma divide-se em três partes, sendo elas:

- Parte 1: Taxa de libertação de calor (HRR – *Heat Release Rate*), utilizando o método experimental do calorímetro cónico;
- Parte 2: Taxa de produção de fumo;
- Parte 3: Orientações sobre as taxas de libertação de calor e de libertação de fumo;

A primeira parte (ISO 5560-1) especifica um método para avaliar a taxa de libertação de calor de uma amostra exposta na horizontal a um fluxo radiante controlado com um dispositivo de ignição externo. Neste teste mede-se também o tempo de ignição. O método definido pela norma ISO 5560-1 determina a taxa de libertação de calor através da medição do consumo de oxigénio durante a combustão.

---

## 2.6. Conceitos fundamentais

### 2.6.1. Poder calorífico

Define-se poder calorífico superior (PCS) a volume constante como sendo a energia libertada sob a forma de calor durante a combustão, por unidade de massa do combustível (CEN/TS 14918:2005).

O poder calorífico inferior (PCI) a volume constante é definido como o calor libertado durante a combustão, por unidade de massa do combustível, sob a condição de que toda a água resultante dos produtos da reação permanece como vapor de água (CEN/TS 14918:2005).

Assim, consegue-se determinar o poder calorífico inferior (PCI) através do poder calorífico superior (PCS), fazendo uma dedução das perdas com a evaporação da água.

### 2.6.2. Taxa de libertação de calor

A taxa de libertação de calor (HRR) é um parâmetro de extrema importância no estudo de incêndios. Babrauskas e Peacock (1992) consideram mesmo que esta é a variável mais importante na caracterização da inflamabilidade de um material. Existem vários métodos para estimar este parâmetro e as técnicas mais comuns baseiam-se em balanços mássicos (Babrauskas e Grayson., 1992). Este parâmetro é um indicador da dimensão e da taxa de crescimento de um fogo, da libertação de fumo e de gases tóxicos e pode, ainda, ser usado para estimar uma potencial fuga de pessoas numa situação de incêndio (Babrauskas e Grayson, 1992). A capacidade de medir com precisão a libertação de calor de certos objetos, tais como móveis a arder e o revestimento das paredes, por exemplo, é visto como essencial no estudo da proteção contra incêndios (Babrauskas e Grayson., 1992).

A taxa de libertação de calor depende das propriedades do combustível e das condições de combustão (entrada de ar). Pode ser calculada a partir da equação seguinte:

---

$$\text{HRR} = \text{PCI} \cdot \dot{m} \quad (1)$$

onde HRR ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ) é a taxa de libertação de calor por unidade de superfície do combustível, PCI ( $\text{J} \cdot \text{g}^{-1}$ ) é o poder calorífico inferior do combustível e  $\dot{m}$  ( $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) é a taxa de perda de massa do material em combustão por unidade de superfície do material combustível (Babrauskas e Grayson., 1992).

### 2.6.3. Pirólise da madeira

A pirólise da madeira envolve uma interação complexa entre a química e a transferência de calor e de massa. Considere-se uma amostra espessa de madeira com a sua superfície uniformemente exposta a um fluxo de calor externo constante incidente e uma fonte de ignição (chama piloto) de tal forma perto que a transferência de calor e de massa através da amostra possa ser considerada unidimensional. O fluxo incidente provoca pirólise na madeira, libertando gases combustíveis voláteis com uma taxa de fluxo de massa que depende da intensidade da energia incidente e da orientação dos elementos celulares. O fluxo de massa dos produtos voláteis deve exceder o limite inferior mínimo de inflamabilidade da mistura do combustível-ar para que ocorra ignição pilotada. A ignição poderá ocorrer quando se verificar uma temperatura à superfície entre os 200°C e os 400°C. No instante da ignição, o fluxo de calor para a superfície da madeira é uma combinação do fluxo externo e do fluxo da chama. A taxa de libertação de calor sobe rapidamente, atingindo um valor máximo, até que uma camada de carvão se acumula gradualmente à medida que a frente de pirólise se desloca para o interior da amostra. Esta camada de carvão forma uma resistência térmica crescente entre a superfície exposta e a frente de pirólise, conduzindo a uma diminuição contínua da taxa de libertação de calor após se ter atingido o primeiro pico. Caso a amostra seja suficientemente espessa, resultados experimentais realizados anteriormente demonstram que a taxa de libertação de calor eventualmente irá atingir um valor

aproximadamente constante. De notar que durante a fase da combustão com chama, apenas é libertada cerca de 60% da energia da madeira (Spearpoint e Quintiere, 2000).

A Tabela 2.3 sintetiza as fases de degradação da madeira em função da temperatura.

**Tabela 2.3** Fases de degradação da madeira (Figueroa *et al.*, 2009)

<b>Fase</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Fenómenos</b>
I	Até 200°C.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Libertação de gases, entre os quais vapor de água.</li> <li>- Não ocorre ignição da madeira.</li> <li>- Ocorrência de algumas reações exotérmicas de oxidação.</li> <li>- Mudança de cor.</li> </ul>
II	De 200°C até 280°C.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumento de reações químicas e eliminação de gases.</li> <li>- Ocorrência de reações exotérmicas primárias sem inflamação.</li> <li>- Temperatura considerada como a temperatura de ignição.</li> </ul>
III	De 280°C a 380°C.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Produção de grandes quantidades de destilados, principalmente de ácidos acéticos e de metanol.</li> <li>- Nesta fase, o resíduo final é já carvão vegetal, mas ainda apresenta compostos volatizáveis na sua estrutura.</li> <li>- Fase exotérmica.</li> </ul>
IV	De 380°C 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>- Termina a carbonização e verifica-se o 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>

#### 2.6.4. Tempo de ignição

Harada (2001) concluiu que o tempo de ignição aumenta linearmente com o aumento da densidade da amostra quando o tipo da superfície aquecida é o mesmo. No entanto, refere que a condutividade térmica da madeira é afetada pela orientação dos elementos celulares e pela densidade. Segundo este, a forma mais simples de calcular teoricamente o tempo de ignição,  $t_{ig}$  (s), é expressa através da seguinte equação:

$$t_{ig} = \pi \cdot k \cdot \rho \cdot c \cdot \left( \frac{T_s - T_0}{2\varepsilon I} \right)^2 \quad (2)$$

onde  $k$  ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ) é a condutividade térmica,  $\rho$  ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) é a densidade,  $c$  ( $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ) é o calor específico,  $T_s$  (K) é a temperatura da superfície durante a ignição,  $T_0$  (K) é a temperatura ambiente,  $\varepsilon$  é a emissividade e  $I$  ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ) é a irradiância.

#### 2.6.5. Condução de Calor

Sempre que existe uma diferença de temperatura num meio ou entre diferentes meios de contacto, ocorre transferência de calor. É possível ocorrer transferência de calor pelos mecanismos de condução, convecção e radiação. O fenómeno de transferência de calor que irá ocorrer entre uma superfície e um fluido em movimento quando estes se encontram a temperaturas diferentes designa-se de convecção. Por outro lado, todas as superfícies de temperatura finita emitem energia na forma de ondas eletromagnéticas, designando-se este fenómeno por radiação térmica. Assim, mesmo na ausência de um meio interveniente, existe uma transferência de calor por radiação entre duas superfícies a diferentes temperaturas. Por fim, quando existe um gradiente de temperatura num meio estacionário, que pode ser sólido, líquido ou gasoso, utiliza-se a designação de condução de calor para se referir à transferência de calor que irá ocorrer em todo o meio (Incropera *et al.*, 2007). É o fenómeno de condução

---

de calor que explicará a evolução da temperatura no interior das amostras de madeira durante os testes experimentais efetuados.

A condução pode ser vista como a transferência de energia que ocorre das partículas mais energéticas para as partículas com menos energia de uma substância devido às interações entre as partículas (Incropera *et al.*, 2007). A lei que descreve o fenómeno de condução é a lei de Fourier que pode ser expressa através da forma finita:

$$Q = k \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{L} \quad (3)$$

sendo  $Q$  (W) a quantidade de calor transmitido por unidade de tempo,  $k$  ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ) a condutividade térmica do material,  $A$  [ $\text{m}^2$ ] a área perpendicular à direção de transmissão de calor,  $L$  [m] a espessura e  $\Delta T$  [K] a diferença de temperatura entre uma superfície e a outra.

## 2.7. Propriedades térmicas

### 2.7.1. Condutividade Térmica

A condutividade térmica,  $k$ , é definida como a taxa de transferência de calor através de uma espessura unitária com uma área de superfície unitária devido a uma variação de temperatura unitária (Çengel, 2006).

A condutividade térmica da madeira depende de vários fatores, sendo os mais importantes a densidade, o teor de humidade e a direção do fluxo de calor em relação às fibras da madeira (MacLean e Madison., 1941). Ragland e Aerts (1991) afirmam que esta propriedade aumenta com a densidade, com o teor de humidade e com a temperatura da madeira. Referem ainda que a condutividade térmica é aproximadamente 1,8 vezes maior quando o fluxo de calor percorre uma direção paralela à fibra do que numa direção radial ou tangencial. A condutividade térmica da madeira, para temperaturas acima da temperatura

---

ambiente, aumenta cerca de 0,2% por cada grau de aumento de temperatura (Ragland e Aerts, 1991).

### 2.7.2. Calor Específico

O calor específico é uma propriedade importante quando se pretende estudar a reação de um material ao fogo (Beall, 1968) e define-se como a quantidade de calor que um quilograma de uma determinada substância necessita de absorver para que a sua temperatura aumente um grau (Radmonović *et al.*, 2014).

É feita uma distinção entre calor específico a uma pressão constante,  $c_p$ , e calor específico a um volume constante,  $c_v$  (Radmonović *et al.*, 2014). Beall (1968) indica que o calor específico,  $c$  ( $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ), é calculado através da razão entre a variação da energia sob a forma de calor,  $\Delta q$  ( $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), e a variação da temperatura,  $\Delta T$  (K), conforme representado na seguinte fórmula:

$$c = \frac{\Delta q}{\Delta T} \quad (4)$$

Radmonović *et al.* (2014) conclui que o calor específico da madeira depende da temperatura e do teor de humidade. No entanto, refere que para espécies diferentes de madeira se obtêm variações muito pequenas deste valor.

### 2.7.3. Difusividade térmica

A difusividade térmica,  $\alpha$  ( $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ), é uma propriedade de um material que representa a velocidade com que o calor se difunde através de um material e pode ser determinada através da seguinte equação (Çengel, 2006):

$$\alpha = \frac{k}{\rho \cdot c} \quad (5)$$

## 2.8. Modelos teóricos de propagação de calor

Bamford *et al.* (1946) consideram que a combustão de madeira apresenta um problema interessante de transferência de calor, uma vez que, quando a madeira é aquecida, a distribuição da temperatura num dado instante pode ser calculada através das equações de condução de calor conhecidas, considerando as condições de fronteira relevantes. No entanto, isto só é verdade quando a temperatura não é suficientemente alta para provocar uma decomposição térmica apreciável. Quando esta condição não se aplica, o problema consiste então em calcular as temperaturas e taxas de decomposição no interior de uma determinada massa de material com a superfície exposta a um fluxo de calor constante conhecido, dado um conjunto inicial de condições. Para esta situação o problema torna-se muito mais complexo, uma vez que esta decomposição que ocorre é exotérmica e a sua solução não será aqui abordada.

Numa tentativa de simplificar o problema, decide-se adotar o modelo de condução de calor em regime transiente para sólidos semi-infinitos sob a condição de fluxo de calor superficial constante (Çengel, 2006) também sugerido por Han (2012), que tem como solução analítica a seguinte equação:



$$T - T_i = \frac{q_s}{k} \left[ \sqrt{\frac{4\alpha t}{\pi}} e^{-\frac{x^2}{4\alpha t}} - x \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{\sqrt{4\alpha t}}\right) \right] \quad (6)$$

em que  $T$  (K) é a temperatura num determinado instante,  $T_i$  (K) é a temperatura no instante inicial,  $q_s$  (W) é o fluxo de calor (constante) ao qual a superfície se encontra exposta,  $k$  ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ) é a condutividade térmica,  $\alpha$  ( $\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ ) é a difusividade térmica,  $t$  (s) é o tempo e  $x$  (m) é a distância do ponto à superfície.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. Descrição e preparação das amostras

O presente estudo baseou-se em amostras de três espécies de madeira diferentes, sendo elas a garapa (*Apuleia leiocarpa*), o pinheiro nórdico (*Pinus Sylvestris*) e o pinheiro bravo (*Pinus pinaster*). Fez-se também um estudo do comportamento da cortiça em relação ao fogo, recorrendo para o efeito a amostras de cortiça obtidas a partir de placas de aglomerado de cortiça expandida.

A garapa (*Apuleia leiocarpa*) é uma madeira exótica originária da América do Sul, principalmente do Brasil. É considerada uma madeira pesada e, segundo a empresa Exotic-House, é uma madeira fácil de se trabalhar, sendo utilizada principalmente em pavimentos, em escadas e na caixilharia de portas e de janelas.

O pinheiro nórdico (*Pinus Sylvestris*) é uma espécie originária do Norte da Europa muito utilizada na construção de habitações, devido às suas características. Das três espécies de madeira em análise é a que apresenta uma densidade menor.

O pinheiro bravo (*Pinus pinaster*) é uma espécie proveniente do Sudoeste da Europa e do Norte de África. Em Portugal esta espécie representa cerca de 62,5% da área total ocupada por pinheiros. Apesar de apresentar pouca flexibilidade, acabando por não ser muito utilizada para fins de construção, a empresa Canto-Certo refere a utilização deste tipo de madeira nas suas construções. Apresenta uma densidade pouco superior à do pinheiro nórdico (*Pinus Sylvestris*).

O aglomerado de cortiça expandida é um material com elevado desempenho no isolamento térmico, acústico e antivibrático. Possui uma vasta gama de aplicações possíveis, sendo especialmente indicada para aplicação em paredes exteriores, interiores e duplas, lajes, coberturas planas e inclinadas e piso radiante. No anexo A encontra-se uma declaração de desempenho para este material da autoria da empresa Amorim Isolamentos, S.A..

Para os ensaios em calorímetro cónico foram cortadas 9 amostras de pinheiro bravo, 11 amostras de pinheiro nórdico, 10 amostras de garapa e 8 amostras de cortiça, a partir de uma placa de revestimento, de forma a estudar a influência da densidade na reação ao fogo. Posteriormente foram pesadas utilizando uma balança com a resolução de 0,01 g e medidas utilizando um paquímetro digital com uma resolução de 0,03mm, tendo sido registadas as características de cada amostra. Na Tabela 3.1 são apresentados os valores médios das dimensões, peso e densidade (a 12% de humidade, aproximadamente) de cada espécie.

**Tabela 3.1** Caracterização das amostras

<b>Espécie</b>	<b>Largura (mm)</b>	<b>Comprimento (mm)</b>	<b>Espessura (mm)</b>	<b>Massa (g)</b>	<b>Densidade (kg/m<sup>3</sup>)</b>
Garapa ( <i>Apuleia leiocarpa</i> )	57,10±0,32	57,10±0,32	31,43±0,39	103,43±1,79	1009,49±13,38
Pinheiro nórdico ( <i>Pinus Sylvestris</i> )	56,91±0,30	56,91±0,30	31,36±0,47	59,67±3,40	587,48±32,82
Pinheiro bravo ( <i>Pinus pinaster</i> )	57,00±0,00	57,00±0	32,00±0	77,07±2,68	741,30±25,79
Cortiça (aglomerado)	57±1,31	57,63±1,30	47,09±0,48	20,78±1,58	134,26±8,34

Nas amostras foram efetuados furos com um diâmetro de 1,2 mm, de forma a permitir a colocação de termopares tipo K no seu interior. Em algumas das amostras foram também feitos furos na diagonal, de forma a tornar-se possível a colocação de termopares junto à superfície da amostra. A Figura 3.1 consiste numa representação esquemática de uma amostra com furos na diagonal. Com recurso aos termopares, conseguiu-se obter o registo das temperaturas durante os ensaios em calorímetro cónico à distância pretendida. A Figura 3.2 mostra uma amostra de pinho nórdico, de garapa e de pinho bravo, após terem sido feitos os furos.

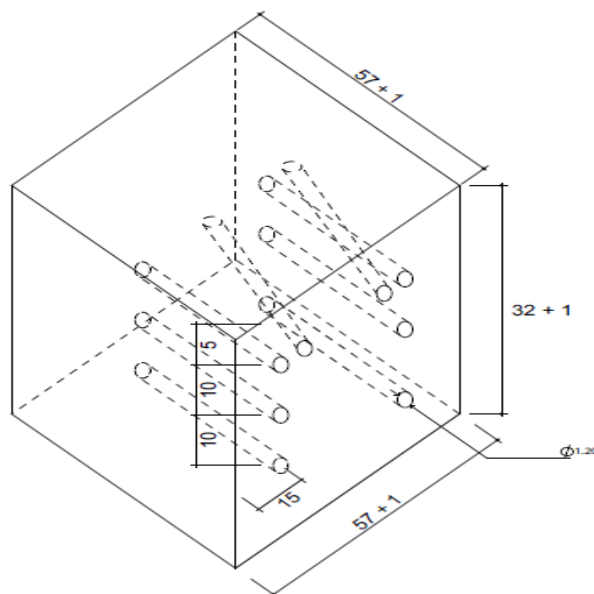


Figura 3.1 Representação esquemática dos furos numa amostra.



Figura 3.2 Amostras das espécies de madeira (garapa à esquerda, pinheiro bravo ao centro e pinheiro nórdico à direita) e de aglomerado de cortiça expandida.

Para se determinar o teor de humidade foi efetuada uma secagem em estufa. Foi medida a massa inicial de uma amostra de madeira em estilha de cada espécie, antes de esta ser colocada numa estufa, que se encontrava a uma temperatura de  $100^{\circ}\text{C}$ . Após a secagem

durante 48 horas, foi novamente efetuada uma medição da massa da amostra. A determinação do teor de humidade das amostras foi feita através das seguintes equações:

$$M_{bs} = \frac{m_{\text{água}}}{m_{ms}} \cdot 100\% \quad (7)$$

$$M_{bh} = \frac{m_{\text{água}}}{m_{ms} + m_{\text{água}}} \cdot 100\% \quad (8)$$

onde  $M_{bs}$  [%] é o teor de humidade em base seca (razão entre a massa de água,  $m_{\text{água}}$  [kg], e a massa de matéria seca da amostra,  $m_{ms}$  [kg]), e  $M_{bh}$  [%] é o teor de humidade em base húmida, que representa a razão entre a massa de água e a massa total da amostra. A Tabela 3.2 contém os valores de humidade obtidos experimentalmente.

**Tabela 3.2** Humidade das amostras

<b>Espécie</b>	<b>Humidade base seca (%)</b>	<b>Humidade base húmida (%)</b>
Garapa ( <i>Apuleia leiocarpa</i> )	10,89	9,82
Pinheiro nórdico ( <i>Pinus Sylvestris</i> )	12,52	11,13
Pinheiro bravo ( <i>Pinus pinaster</i> )	11,51	10,32
Cortiça	4,28	4,10

### 3.2. Testes em calorímetro cónico

Os testes experimentais foram realizados seguindo os procedimentos indicados pela norma ISO 5660-1 para ensaios em calorímetros cónicos no modelo básico do calorímetro cónico (Figura 3.3) Este tipo de ensaio experimental tem como finalidade a obtenção dos parâmetros de reação ao fogo de um determinado tipo de material. Foram registados, para cada amostra, os tempos de ignição e de extinção de chama, a perda de massa e a evolução da temperatura em vários pontos da amostra. Posteriormente, com recurso à curva da perda de massa obtida e ao poder calorífico do material, determinou-se a taxa de libertação de calor (HRR) e a energia total libertada. A Figura 3.3 mostra a instalação experimental enquanto decorre um ensaio em calorímetro cónico.



Figura 3.3 Instalação experimental.

O conjunto de procedimentos adotados para os testes em calorímetro cónico são abordados a seguir. As superfícies laterais das amostras são revestidas com película de alumínio, de forma a evitar perdas de calor laterais, que não se verificam em situações de incêndios reais de edifícios. De seguida introduzem-se os termopares nos furos e envolve-se com folha de alumínio a zona dos termopares que será colocada a uma distância mais próxima do calorímetro, com o objetivo de os proteger. A Figura 3.4 ilustra estes procedimentos. No início do ensaio, a amostra é colocada num suporte sobre uma balança, registando-se os valores de massa da amostra com uma frequência de 2,63 Hz através de uma ligação USB com um computador. Sobre a amostra irá incidir um fluxo de calor constante de cerca de  $1,6 \text{ W/cm}^2$  e utiliza-se uma chama piloto até se obter ignição da amostra, de forma a facilitar a mesma.

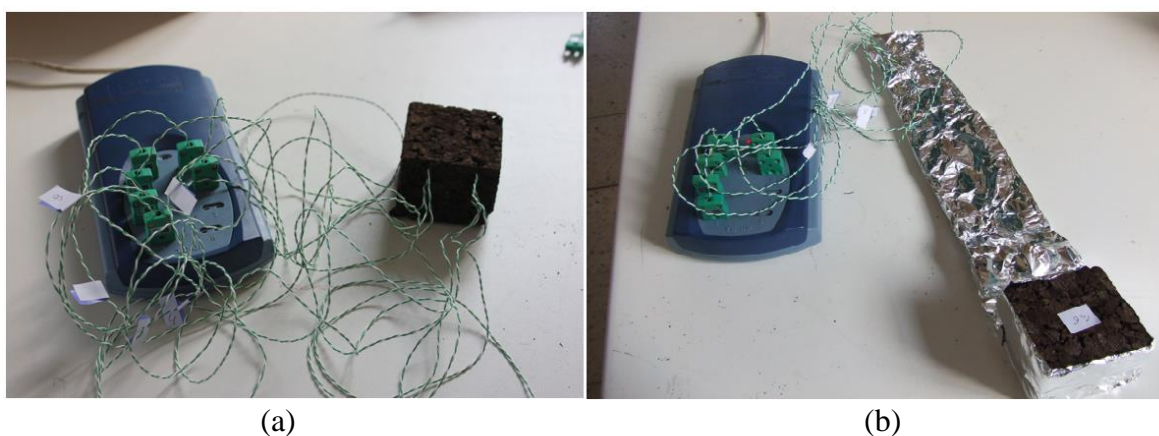


Figura 3.4 Procedimentos experimentais: (a) introdução dos termopares no interior de uma amostra de cortiça; (b) revestimento da amostra com película de alumínio.

Com recurso a um cronómetro mede-se o tempo até à ignição da amostra. Através da ligação dos termopares a um sistema de aquisição de dados PICO-TC08 consegue-se registar a evolução da temperatura da amostra à sua superfície e no seu interior: a 5 mm, 15 mm e 25 mm de distância da superfície. Por fim, quando ocorre a extinção de chama, com recurso ao cronómetro, regista-se o tempo de extinção de chama e dá-se por concluído o teste. A Figura 3.5 mostra o estado de uma amostra de garapa no final do teste. Com este ensaio consegue obter-se o tempo de ignição da amostra, a evolução da temperatura nos pontos da amostra pretendidos, a perda de massa e o tempo de extinção de chama.



Figura 3.5 Amostra de garapa no final de um ensaio



---

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Tempo de ignição

A Figura 4.1 mostra os tempos de ignição obtidos para as amostras estudadas. Obteve-se para a cortiça um tempo de ignição médio de 4,75 segundos, com um desvio-padrão de 1,04 segundos. Estes resultados indicam que este material é facilmente inflamável, uma vez que em poucos segundos ele entra em combustão com chama. Das espécies de madeira, aquela que apresentou um tempo de ignição mais baixo foi o pinheiro nórdico que é a espécie menos densa das três. Obteve-se para esta um tempo de ignição médio de 24,14 segundos, com um desvio-padrão de 2,62 segundos. O pinheiro bravo, com uma densidade apenas um pouco superior à do pinheiro nórdico, apresentou tempos de ignição semelhantes aos do pinho nórdico, ainda que superiores. Esta espécie apresentou um tempo de ignição médio de 29,50 segundos e um desvio-padrão de 4,46 segundos. A garapa, sendo uma espécie mais densa que as restantes, apresentou também tempos de ignição mais elevados. O tempo de ignição médio para esta foi de 47,54 segundos, o que mostra que esta espécie resiste muito mais do que as restantes à ignição. O desvio-padrão para esta espécie foi de 4,54 segundos.

Das espécies estudadas, a garapa apresenta-se como a espécie mais segura em relação a este parâmetro, seguida do pinheiro bravo e do pinheiro nórdico (estas duas espécies apresentaram os valores de tempo de ignição muito próximos). Dos materiais analisados, o aglomerado de cortiça expandida foi o que apresentou o pior comportamento, entrando rapidamente em ignição.

A Figura 4.2 mostra a dispersão dos tempos de ignição de cada amostra em função da sua densidade. Observa-se uma relação óbvia entre o tempo de ignição e a densidade, verificando-se que as amostras com menor tempo de ignição são aquelas que apresentam uma densidade menor. O tempo de ignição aparenta aumentar de forma linear (aproximadamente) com o aumento da densidade, o que vem confirmar a teoria de Harada (2001) exposta no subcapítulo 2.6.4.. Conclui-se que a densidade da amostra tem influência

na sua inflamabilidade, visto que espécies mais densas demoram mais tempo a entrar em ignição.

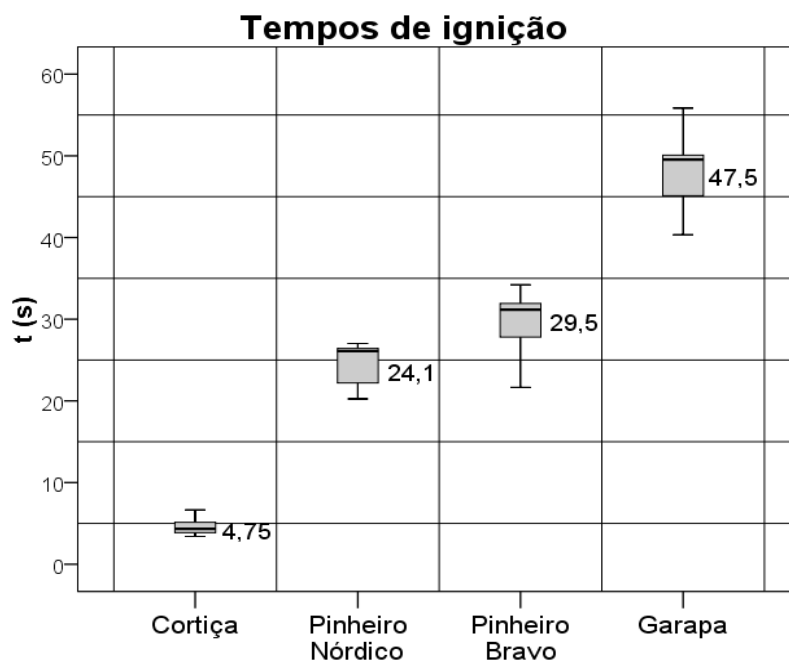


Figura 4.1 Tempos de ignição para cada espécie de amostras estudada.

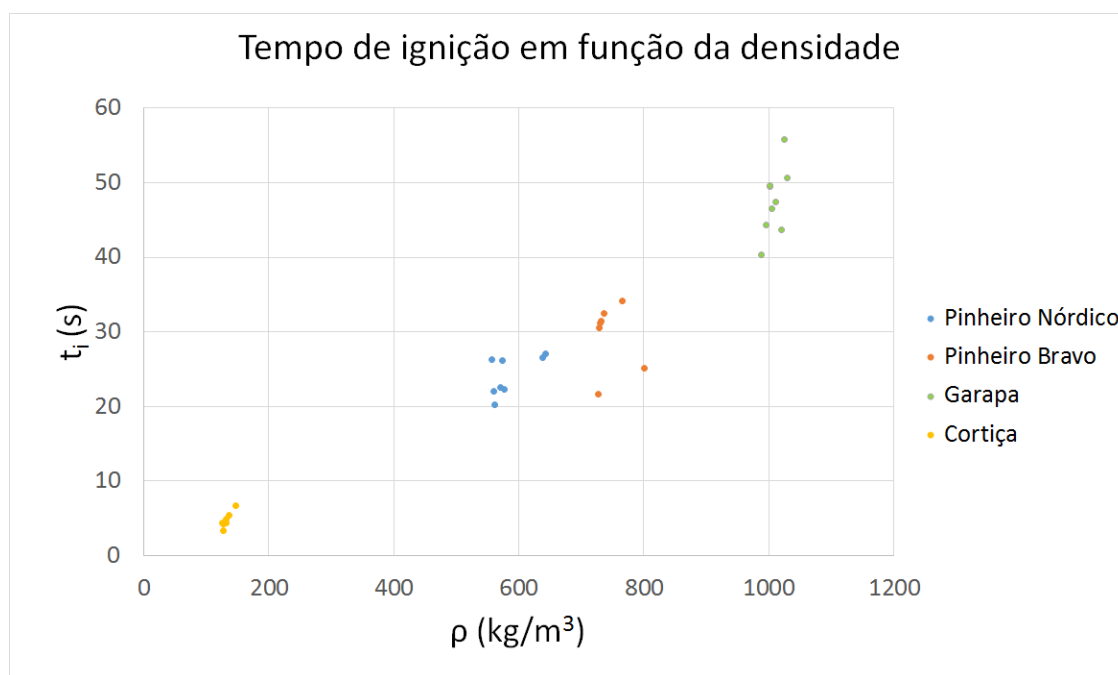


Figura 4.2 Tempos de ignição em função da densidade para cada espécie.

## 4.2. Tempo de extinção da chama

A Figura 4.3 apresenta os tempos médios de extinção da chama para cada uma das quatro espécies. A cortiça mostrou ser um material que demora menos tempo a arder comparativamente com as espécies de madeira estudadas. Quando às três espécies de madeira, a diferença entre os tempos de extinção de chama obtidos não foi muito assinalável.

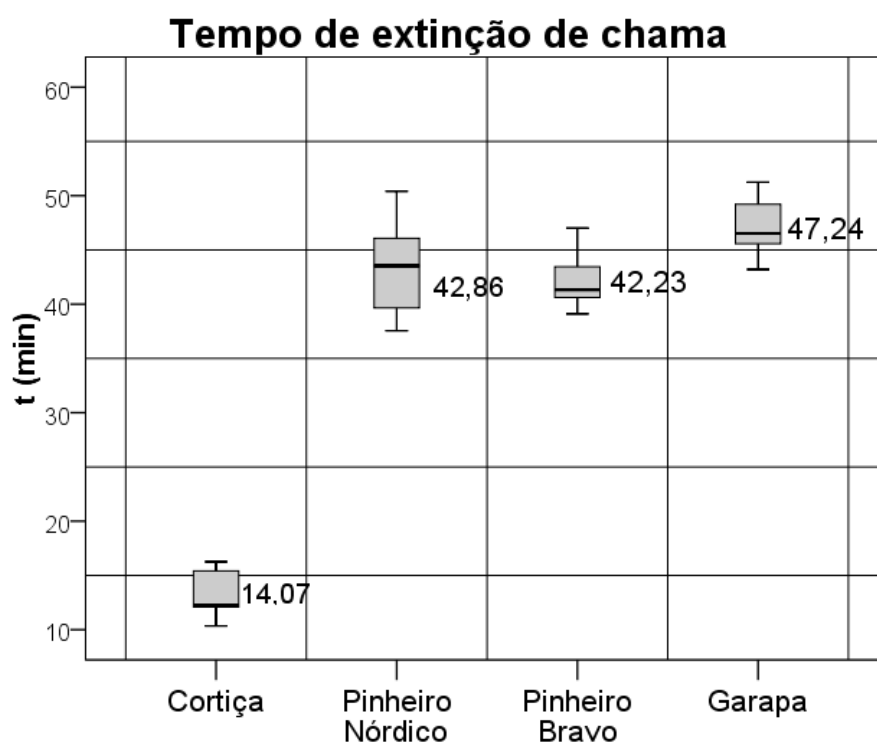


Figura 4.3 Tempos de extinção da chama, para cada espécie de amostras estudada.

A Figura 4.4 mostra a relação entre os tempos de extinção de chama de cada amostra e a sua densidade. Observa-se que, apesar de existirem diferenças bastante significativas nas densidades das amostras de espécies diferentes, se obtêm tempos de extinção de chama semelhantes, exceto no caso da cortiça. Para esta espécie, obtiveram-se tempos de extinção de chama muito menores.

Conclui-se que a densidade não deverá ter uma influência muito importante no tempo de extinção de chama das amostras de madeira.

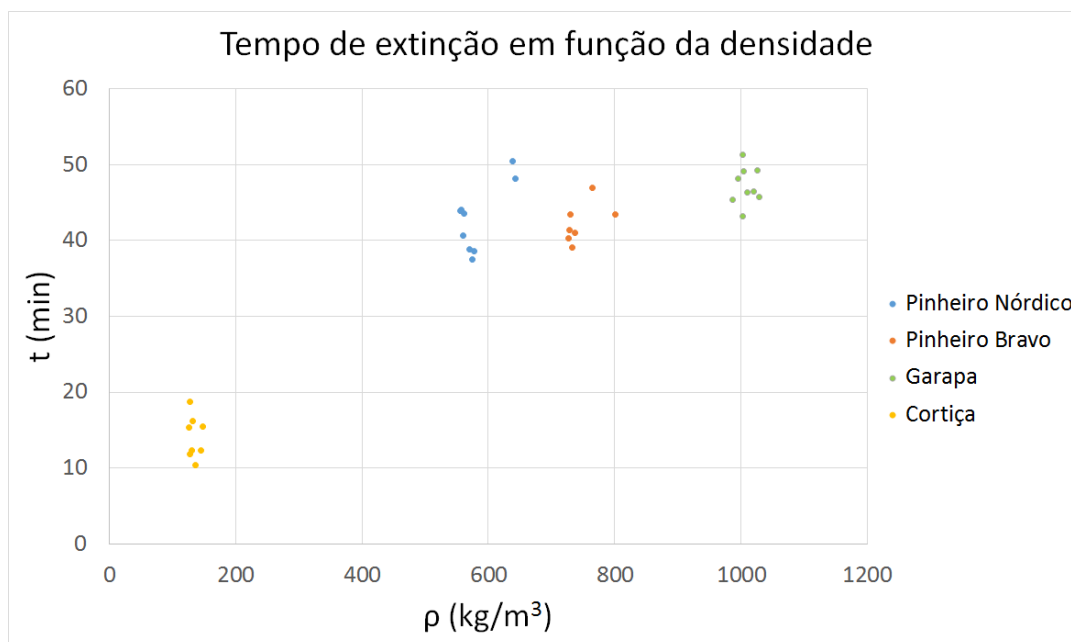


Figura 4.4 Tempos de extinção da chama, para cada espécie de amostras estudada em função da densidade.

### 4.3. Perda de massa

A Figura 4.5 representa as curvas médias de perda de massa para cada uma das espécies durante os primeiros 600 segundos de ensaio. Uma vez que os valores da massa inicial para amostras da mesma espécie diferem, os valores obtidos foram adimensionalizados, usando a razão entre o valor da massa registado num dado instante e o valor da massa inicial. Desta forma torna-se mais prático comparar os resultados obtidos para amostras diferentes. Nos instantes iniciais observa-se que, para as três espécies de madeira, o declive das curvas de perda de massa é pouco acentuado, o que corresponderá à fase de secagem que ocorre antes de haver ignição.

Verifica-se que a perda de massa da garapa decresce a um ritmo mais lento do que para restantes espécies. Após os primeiros 600 segundos de ensaio, verifica-se que ocorreu para esta espécie uma perda de massa de cerca de 21%. Para o pinheiro nórdico, durante o mesmo período de tempo, tem-se uma perda de massa de 24% e para o pinheiro bravo uma perda de massa de 29%. Para a cortiça ocorre uma perda de massa de cerca de 29% nos primeiros 600 segundos de ensaio. Uma vez que apresentam densidades relativamente semelhantes, seriam espectáveis resultados mais próximos entre as espécies de pinheiro nórdico e de pinheiro bravo.

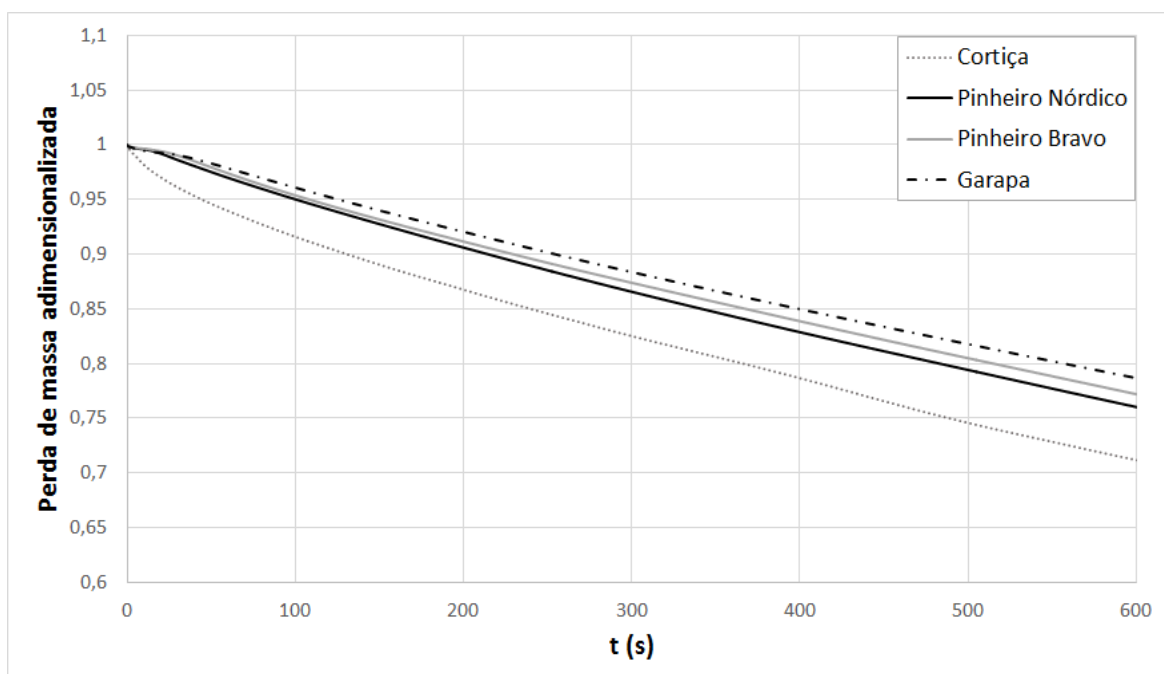


Figura 4.5 Curvas de perda de massa médias para cada uma das espécies

Na Figura 4.6 apresentam-se as curvas de perda de massa obtidas em cada um dos ensaios experimentais realizados. Foram obtidas perdas de massa totais entre os 23% e os 37% para as amostras de cortiça, entre os 60% e os 70% para as amostras de pinheiro nórdico, entre os 68% e os 73% para as amostras de pinheiro bravo e entre os 67% e os 70% para as amostras de garapa.

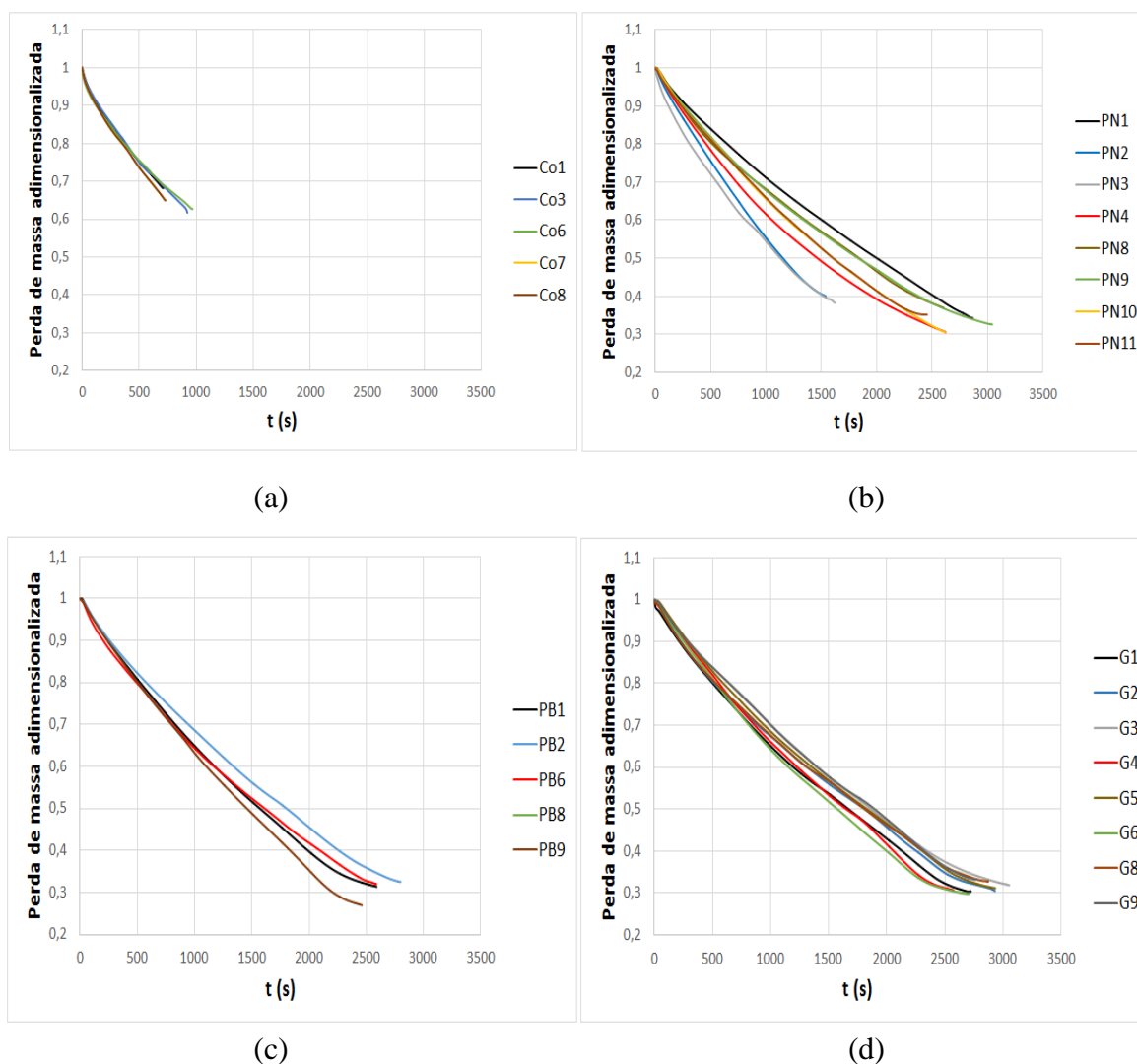


Figura 4.6 Curvas de perda de massa para as amostras de cortiça (a); pinheiro nórdico (b); pinheiro bravo (c); garapa (d);

Constata-se que apesar de se verificarem perdas de massa próximas dos 70% para as três espécies de madeira, o mesmo não se verifica para a cortiça.

A perda de massa total é, para este material, muito menor.

Enquanto que nas espécies de madeira se verifica uma perda de massa de mais de metade da massa inicial e de, após os ensaios as amostras ficarem totalmente carbonizadas, o mesmo não aconteceu com as amostras de cortiça. A Figura 4.7 mostra o estado final de duas amostras, uma de cortiça e a outra de garapa, após se dar por terminado o ensaio em calorímetro cónico.



Figura 4.7 Aspeto das amostras após um ensaio em calorímetro cónico: (a) cortiça; e (b) garapa.

Observando a Figura 4.7, verifica-se que ardeu apenas uma camada relativamente pequena da superfície da amostra de cortiça exposta ao fluxo de radiação térmica. O contrário aconteceu com a amostra de garapa, que ardeu na totalidade. Conclui-se que o fogo acaba por se extinguir sozinho no caso do aglomerado de cortiça expandida, sem que a totalidade deste material seja destruído. O mesmo não se verifica com a madeira.

#### 4.4. Taxa de perda de massa

A taxa de perda de massa indica a que velocidade ocorre a perda de massa da amostra ao longo do ensaio, sendo possível através dela calcular a taxa de libertação de calor. A Figura 4.8 mostra a taxa de perda de massa média para cada uma das espécies em estudo. No caso da cortiça, a taxa de perda de massa atinge um pico máximo de aproximadamente 0,055 g/s logo nos instantes iniciais do ensaio, decrescendo depois rapidamente, observando-se valores inferiores a 0,020 g/s a partir dos 162 segundos de ensaio.

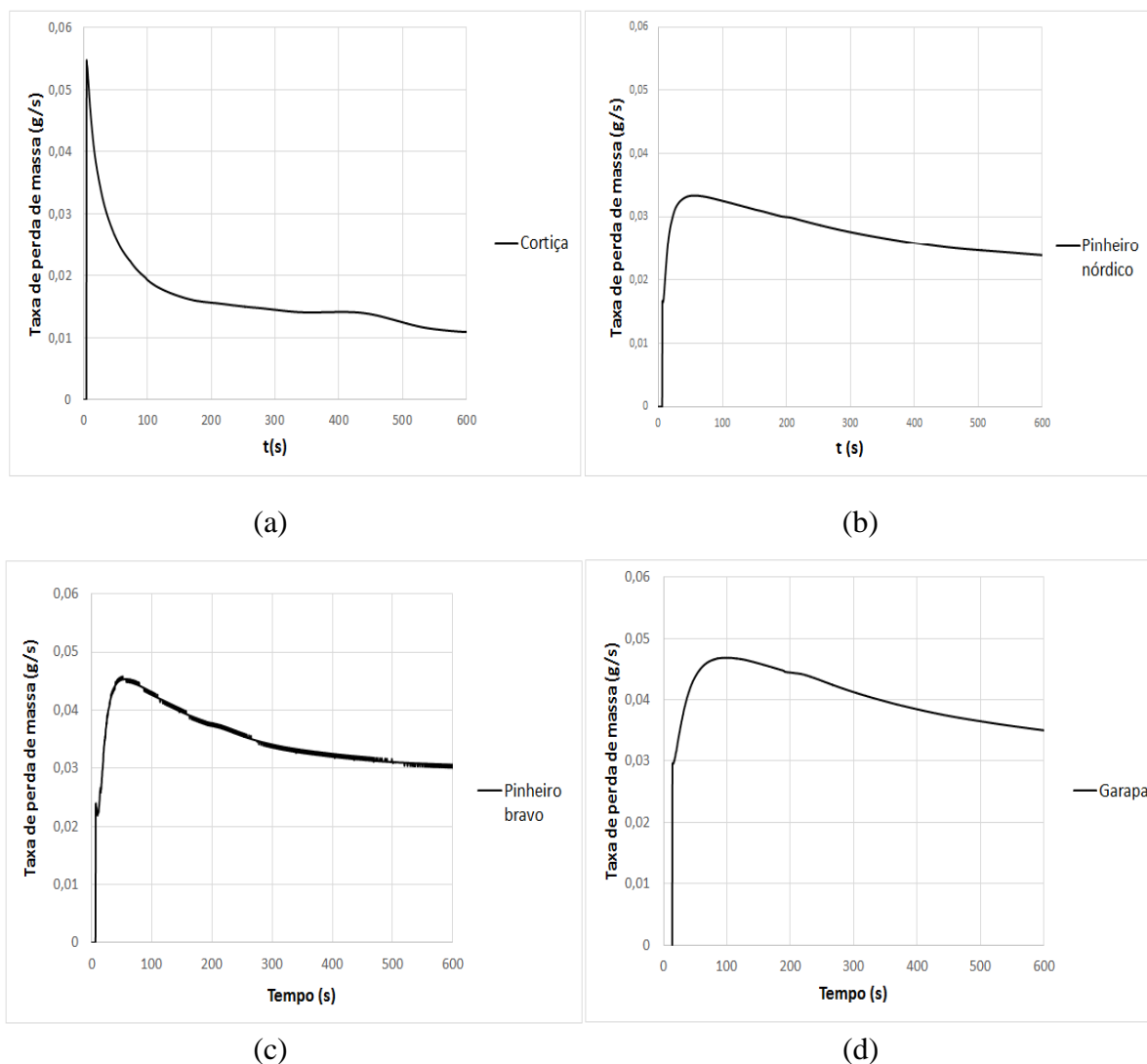


Figura 4.8 Taxas de perda de massa médias para as espécies de (a) cortiça ; (b) pinheiro nórdico; (c) pinheiro bravo e (d) garapa.

Para o pinheiro nórdico observa-se um máximo de cerca de 0,033 g/s e para o pinheiro bravo um máximo de 0,044 g/s. A taxa de perda de massa máxima da garapa é de aproximadamente de 0,046 g/s.

Estes picos máximos registam-se alguns instantes após o instante de ignição de cada uma das espécies. Após se ter atingido o pico, verifica-se uma queda da taxa de perda de massa a um ritmo mais ou menos constante para as três espécies de madeira, algo que não se verifica no caso da cortiça.



A Figura 4.9 representa a taxa de perda de massa média para cada uma das espécies durante os testes em calorímetro cónico. A garapa apresenta um pico superior ao do pinheiro bravo e verifica-se que estas duas espécies valores têm valores máximos bastante semelhantes. O pinheiro nórdico, por sua vez, apresenta uma taxa de perda de massa ligeiramente inferior. Para a cortiça observa-se um valor máximo logo nos instantes iniciais, após a ignição. Este valor máximo é ligeiramente superior aos máximos obtidos para o pinheiro bravo e para a garapa. No entanto, a curva da cortiça decresce vertiginosamente, atingindo rapidamente valores inferiores aos do pinheiro nórdico.

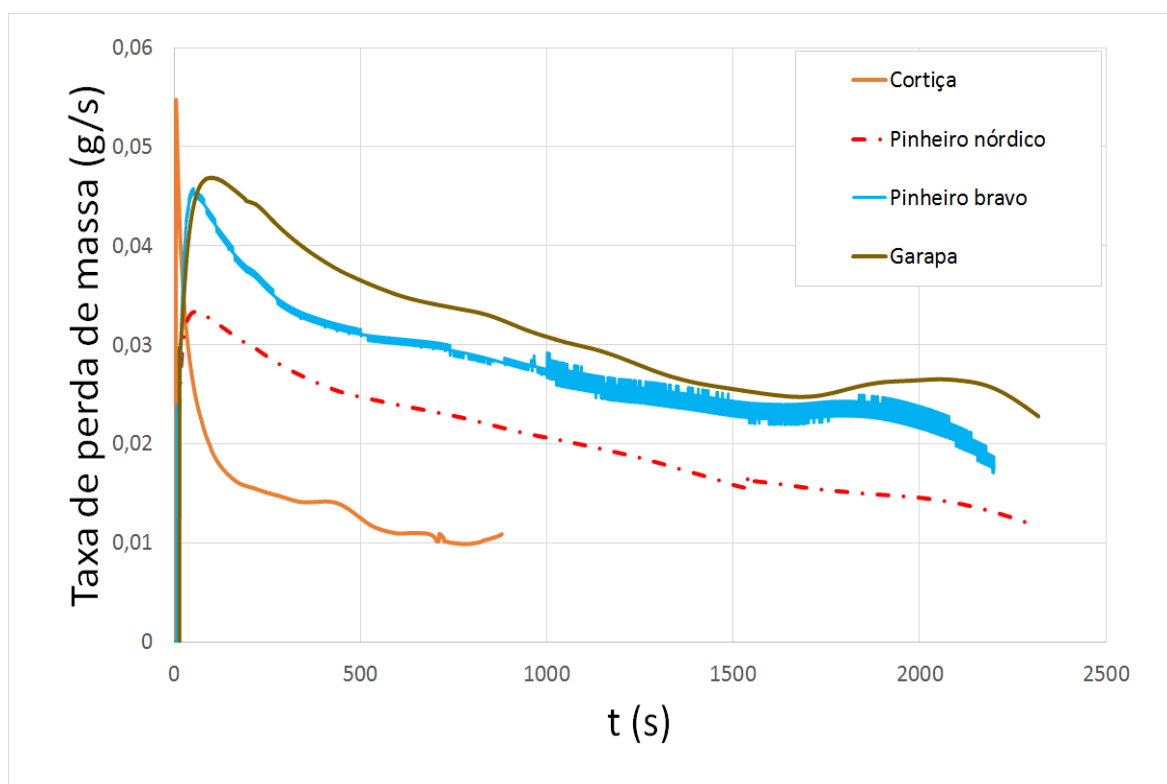


Figura 4.9 Taxas de perda de massa para cada uma das espécies.

## 4.5. Poder calorífico

O poder calorífico superior a volume constante em base seca ( $PCS_{bs}$ ) e o poder calorífico inferior (PCI) foram calculados a partir dos valores de poder calorífico superior,  $PCS_{exp}$ , determinados através de ensaios em bomba calorimétrica por Gomes (2014) e que se apresentam na Tabela 4.1.

**Tabela 4.1** Poder calorífico superior calculado experimentalmente (Gomes, 2014; Al-Kassir *et al.*, 2010)

Espécie	$PCS_{exp}$ (MJ/kg)
Pinheiro nórdico	19,054
Pinheiro bravo	19,512
Garapa	19,166
Aglomerado de cortiça	29,600

Al-Kassir *et al.* (2010) analisaram o poder calorífico de vários tipos de amostras obtidas através de diferentes fases do processo de fabrico de cortiça, tendo obtido para aglomerado de cortiça negro (média dos valores apresentados pelos autores para *low-grain* e *high-grain*) um valor de  $PCS_{exp}$  de 29,6 MJ/kg, que também se encontra representado na Tabela 4.1.

A equação para o cálculo do  $PCS_{bs}$ , segundo a norma EN14918 é a seguinte:

$$PCS_{bs} = PCS_{exp} \times \frac{100}{100 - M} \quad (9)$$

onde  $M$  é o teor de humidade do material (%). Para o cálculo do PCI a norma EN14918 fornece a seguinte equação:

$$PCI = \left[ PCS_{bs} - 212,2w(H)_s - 0,8w(O)_s + w(N)_s \right] \times (1 - 0,01M) - 24,43M \quad (10)$$

onde  $w(H)_s$ ,  $w(O)_s$  e  $w(N)_s$  representam as concentrações de hidrogénio, oxigénio e de azoto, respetivamente, que fazem parte da composição química do material.

Telmo *et al.* (2010) determinaram experimentalmente a composição química do pinheiro bravo. Para os valores da composição química do pinheiro nórdico e da garapa assumiram-se os valores médios de composição química para as espécies resinosas (*softwoods*) e para as espécies folhosas (*hardwoods*) apresentados por Ragland e Aerts, (1991) citando Tillman *et al.* (1981). A composição química de vários tipos de amostras de cortiça é apresentada por Al-Kassir *et al.* (2009). Os valores das percentagens de carbono, hidrogénio, oxigénio e azoto para as espécies estudadas são apresentados na Tabela 4.2. O valor da percentagem de carbono pode variar cerca de 3% entre as várias espécies de madeira, tanto para as espécies folhosas como para as resinosas, e o valor de oxigénio pode variar cerca de 4% (Ragland e Aerts, 1991). Todas as espécies de madeira contêm aproximadamente 6% de hidrogénio (Petura, 1979).

**Tabela 4.2** Percentagem mássica de C,H,O e N nas amostras do pinheiro bravo (Telmo *et al.*, 2010), do pinheiro nórdico e garapa (Tillman *et al.*,1981) e da cortiça (Al-Kassir *et al.*, 2009)

Espécie	% C	% H	% O	% N
Pinheiro bravo	48,4	6,0	45,3	0,1
Pinheiro nórdico	52,7	6,3	40,8	0,2
Garapa	50,2	6,2	43,5	0,1
Aglomerado de cortiça	63,45	6,55	0,7	0,01

A Tabela 4.3 apresenta, para cada uma das espécies de madeira, o teor de humidade ( $M_{bh}$ ) e o poder calorífico superior calculado experimentalmente ( $PCS_{exp}$ ). Apresenta também o poder calorífico superior em base seca ( $PCS_{bs}$ ) e o poder calorífico inferior (PCI), calculados recorrendo às equações e valores das tabelas apresentados anteriormente.

**Tabela 4.3** Poder calorífico das espécies estudadas

<b>Espécie</b>	<b><math>M_{bh}</math> (%)</b>	<b><math>PCS_{exp}</math> (MJ/kg)</b>	<b><math>PCS_{bs}</math> (MJ/kg)</b>	<b>PCI (MJ/kg)</b>
Pinheiro bravo	10,32	19,512	21,757	18,086
Pinheiro nórdico	11,13	19,054	21,440	17,565
Garapa	9,82	19,166	21,253	17,708
Aglomerado de cortiça	4,10	29,6	30,865	28,146

O pinheiro bravo apresenta um valor de PCI superior ao das restantes espécies de madeira, apesar destas apresentarem valores próximos uns dos outros. A cortiça, por sua vez, apresenta um valor bastante superior de PCI em relação às espécies de madeira.

Há que ter em consideração que, apesar de os valores de  $PCS_{exp}$  apresentados por Gomes (2014) e utilizados para calcular o PCI, serem bastante fiáveis, visto terem sido determinados a partir de amostras semelhantes às utilizadas no presente estudo, não se consegue relacionar com elevado grau de certeza o valor de  $PCS_{exp}$  apresentado por Al-Kassir et al. (2009) com as amostras de aglomerado de cortiça expandida utilizadas.

## 4.6. Taxa de libertação de calor (HRR)

A taxa de libertação de calor foi determinada através do produto entre o poder calorífico inferior de cada uma das espécies e das suas taxas de perda de massa. A Figura 4.10 representa as curvas da média da taxa de libertação de calor (HRR) para as espécies estudadas em função da área de superfície, conforme é habitualmente representada neste tipo de estudos.

Realça-se, em primeiro lugar, a semelhança entre as curvas de HRR e as curvas da taxa de perda de massa de cada uma das espécies, devido à influência destas no cálculo do HRR. Como tal, a taxa de libertação de calor atinge o seu máximo nos instantes iniciais do ensaio, pouco depois da ignição para todas as espécies em estudo.

O aglomerado de cortiça expandida apresenta um máximo de HRR muito superior ao dos restantes. No entanto, o HRR da cortiça rapidamente decresce, acabando por atingir valores de HRR inferiores aos das espécies de madeira.

A garapa é a espécie de madeira onde se verifica um maior HRR, de cerca de  $255 \text{ kWm}^{-2}$ , sendo também a espécie de madeira com maior valor de PCI. Segue-se o pinheiro bravo com um pico máximo de HRR de cerca de  $250 \text{ kWm}^{-2}$  e o pinheiro nórdico, com um máximo de cerca de  $180 \text{ kWm}^{-2}$ . Realça-se o facto de estes valores máximos se registarem poucos instantes a seguir à ignição, o que permite concluir que, do ponto de vista da libertação de calor durante um incêndio, a fase mais crítica ocorrerá a seguir à ignição, ou seja, na fase inicial do incêndio.

Conclui-se que o pinheiro nórdico, em comparação com o pinheiro bravo e com a garapa apresenta valores de HRR muito inferiores, o que poderá ajudar a explicar a preferência por este tipo de madeira em relação às restantes em construção de edifícios. Os resultados obtidos entre a garapa e o pinheiro bravo permitem concluir que relativamente a este parâmetro, as duas espécies apresentam comportamentos semelhantes. Reforça-se ainda que, sendo o HRR um parâmetro indicador da dimensão e da taxa de crescimento de um fogo, o pinheiro nórdico é, das espécies de madeira estudadas, aquela que apresentará melhor comportamento numa situação real de incêndio.

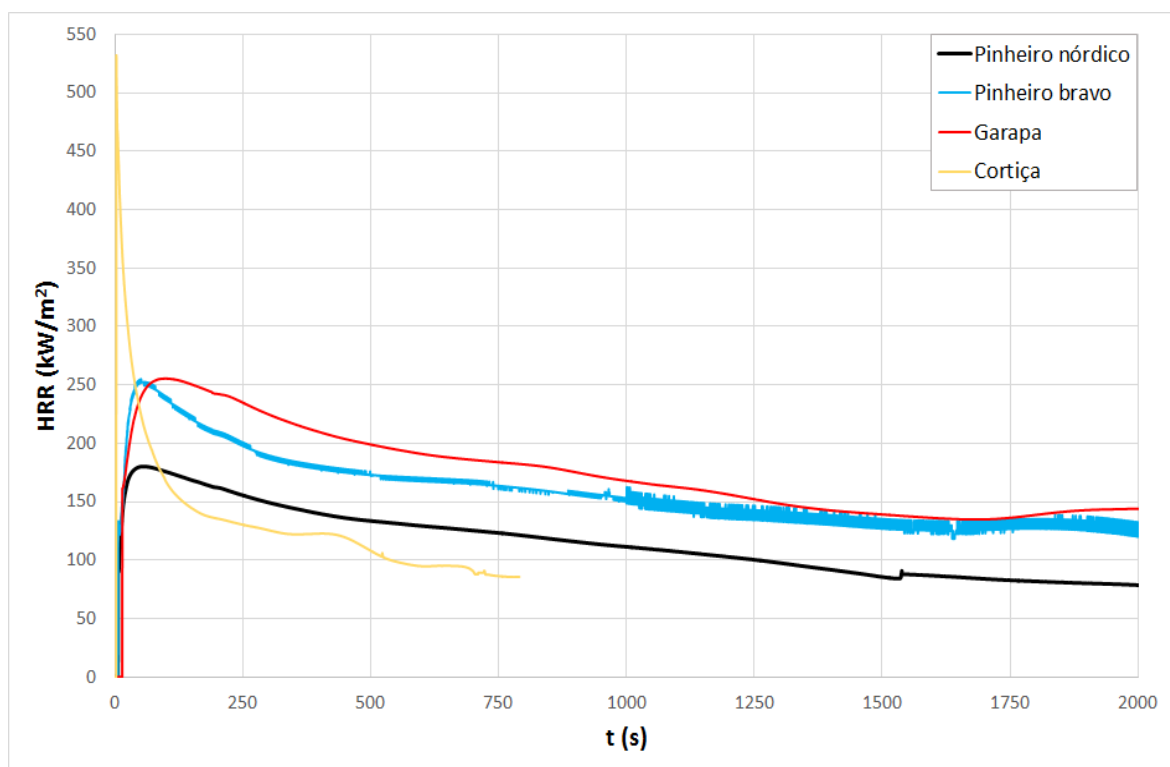


Figura 4.10 Taxa de libertação de calor para cada uma das espécies

## 4.7. Energia libertada

A energia total libertada durante os testes em calorímetro cónico pode ser calculada através da seguinte expressão:

$$E = \Delta m \cdot PCI \quad (11)$$

onde  $E$  representa a energia total libertada sob a forma de calor (kJ) e  $\Delta m$  representa a perda de massa total. A Tabela 4.4 representa a energia total libertada para cada uma das espécies, obtidas através da equação anterior. Visto que as amostras de espécies diferentes apresentam massas diferentes, os resultados são apresentados por unidade de massa.

**Tabela 4.4** Energia total libertada pelas espécies analisadas

<b>Espécie</b>	<b>E (kJ/kg)</b>
Aglomerado de cortiça	16693
Pinheiro nórdico	14154
Pinheiro bravo	15872
Garapa	13828

A cortiça foi a espécie que libertou mais energia sob a forma de calor por unidade de massa, seguindo-se o pinheiro bravo e o pinheiro nórdico. A garapa foi a espécie que libertou uma menor quantidade de energia.

#### **4.8. Evolução da temperatura**

Foi registada a evolução da temperatura durante os ensaios em calorímetro cónico para cada uma das amostras introduzindo termopares nos furos das amostras concebidos para esse fim. Nas amostras de pinheiro nórdico, garapa e pinheiro bravo fez-se o registo da temperatura à superfície da amostra e a 5mm, 15mm e 25mm de distância da superfície. Nas amostras de cortiça não se conseguiu medir a temperatura à superfície, uma vez que os furos na diagonal necessários para introduzir os termopares eram de execução muito difícil, tendo em conta o material em questão.

A Figura 4.11 apresenta os valores médios da temperatura à superfície para cada uma das espécies de madeira. A espécie onde ocorreu um aumento mais rápido da temperatura à superfície foi o pinheiro nórdico, sendo também a espécie de madeira que demorou, em média, menos tempo a entrar em ignição. Após 120 segundos de ensaio, esta espécie atingiu à superfície uma temperatura na ordem dos 450°C. Segue-se o pinheiro bravo, com uma média de tempo de ignição bastante próxima da do pinheiro nórdico. Dois

minutos após o início dos ensaios atingiu-se à superfície uma temperatura de cerca de 420°C. A garapa foi a espécie onde se verificou uma média de temperaturas menores à superfície, atingindo em 120 segundos cerca de 385 °C. A média dos tempos de ignição desta espécie foi significativamente maior do que a das restantes. Tendo em consideração a densidade de cada uma das espécies, verifica-se que a espécie menos densa (pinheiro nórdico) foi aquela onde se verificou um aumento mais rápido da temperatura à superfície e foi também a espécie que entrou mais rapidamente em ignição. A espécie mais densa (garapa), por outro lado, foi aquela onde se verificou um aumento mais lento da temperatura à superfície, entrando mais tarde que as restantes em ignição.

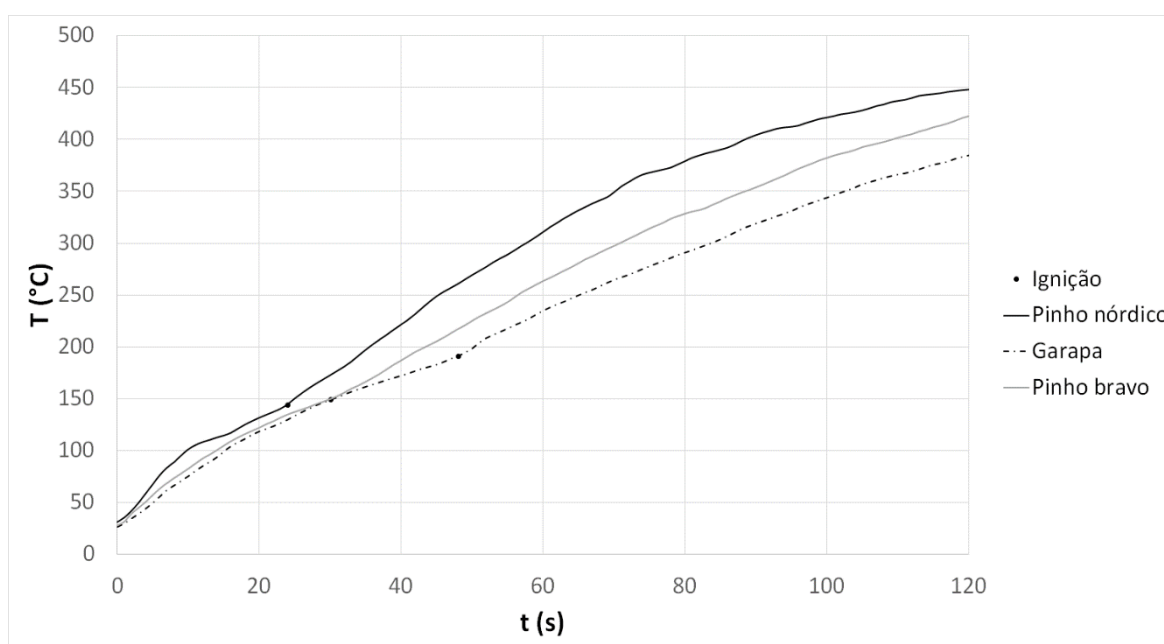


Figura 4.11 Evolução da temperatura na superfície das amostras.

A Figura 4.12 mostra a média das variações da temperatura a uma distância de 5 mm da superfície para cada uma das espécies. Observa-se que a cortiça rapidamente atinge temperaturas muito elevadas, atingindo cerca de 455°C após 120 segundos e cerca de 620°C após os primeiros 300 segundos. Conclui-se que este material apresenta uma evolução da temperatura muito diferente da das outras espécies. Das espécies de madeira, aquela que apresenta uma evolução da temperatura a 5 mm da superfície mais rápida é o pinho bravo,



atingindo cerca de 140°C após 120 segundos de ensaio e valores na ordem dos 356°C em 300 segundos. Após os primeiros 120 segundos de ensaio das amostras de pinho nórdico a média das temperaturas é de 135°C. Este valor anda na ordem dos 322°C após 300 segundos. A garapa atinge os 141°C depois dos primeiros 120 segundos de ensaio e passados 5 minutos obteve-se uma temperatura de cerca de 346°C. Verifica-se que foram obtidas temperaturas bastante semelhantes para as três espécies de madeira a 5 mm da superfície durante os primeiros 2 minutos de ensaio. Ao fim de 5 minutos a temperatura era superior nas amostras de pinho bravo, seguido da garapa e, por fim, do pinho nórdico.

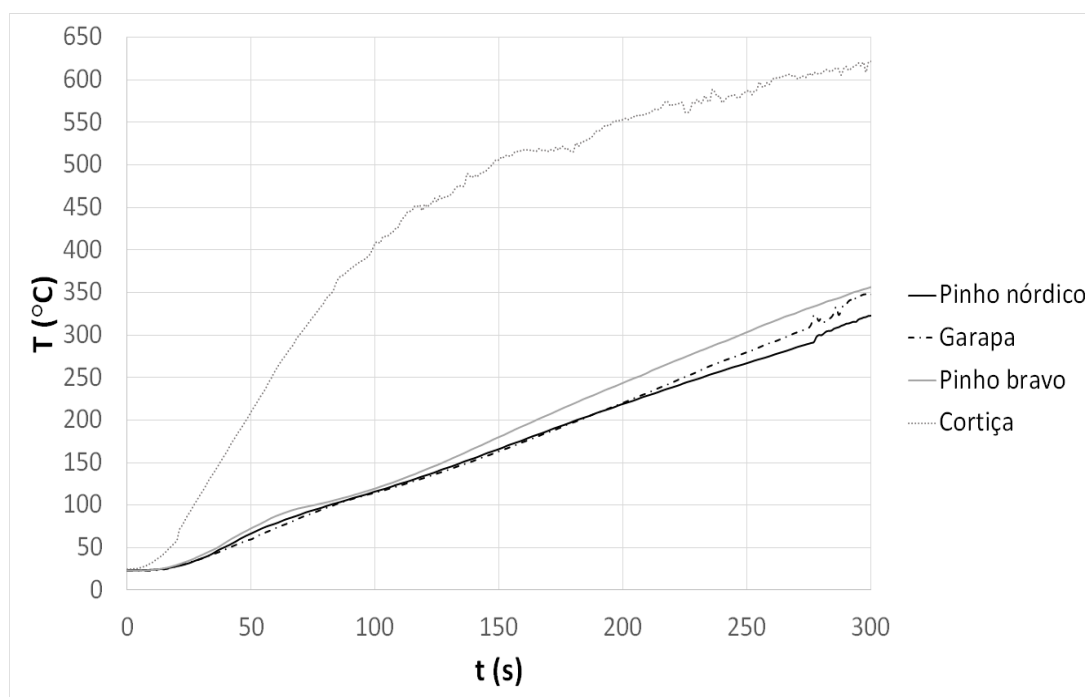


Figura 4.12 Evolução da temperatura a 5 mm da superfície das amostras.

A Figura 4.13 mostra a evolução da temperatura para cada uma das espécies a 15 mm da superfície. A cortiça apresenta uma temperatura de 78 °C após os primeiros 120 segundos de ensaio e uma temperatura de cerca de 300°C depois de 300 segundos. Quanto às espécies de madeira em estudo verifica-se que, numa fase inicial, durante os primeiros instantes, as temperaturas quase não se alteram. Após 120 segundos, registou-se uma temperatura de cerca de 30°C, para o pinho nórdico e também para o pinho bravo, e de 25°C

para a garapa. Tendo em conta que a temperatura das amostras no início do ensaio era de cerca de 22°C, este aumento de temperatura foi muito reduzido. Após 300 segundos, a temperatura era de 82°C para o pinho nórdico, de cerca de 66°C para a garapa e de 82°C para o pinheiro bravo. É curioso observar que, para este instante, se obteve a mesma temperatura para o pinheiro nórdico e para o pinheiro bravo. Observando a Figura 4.13 conclui-se que estas duas espécies apresentaram um comportamento muito semelhante em relação à evolução da temperatura a uma profundidade de 15 mm. Das espécies em análise, a garapa foi aquela onde se verificou um aumento mais lento da temperatura.

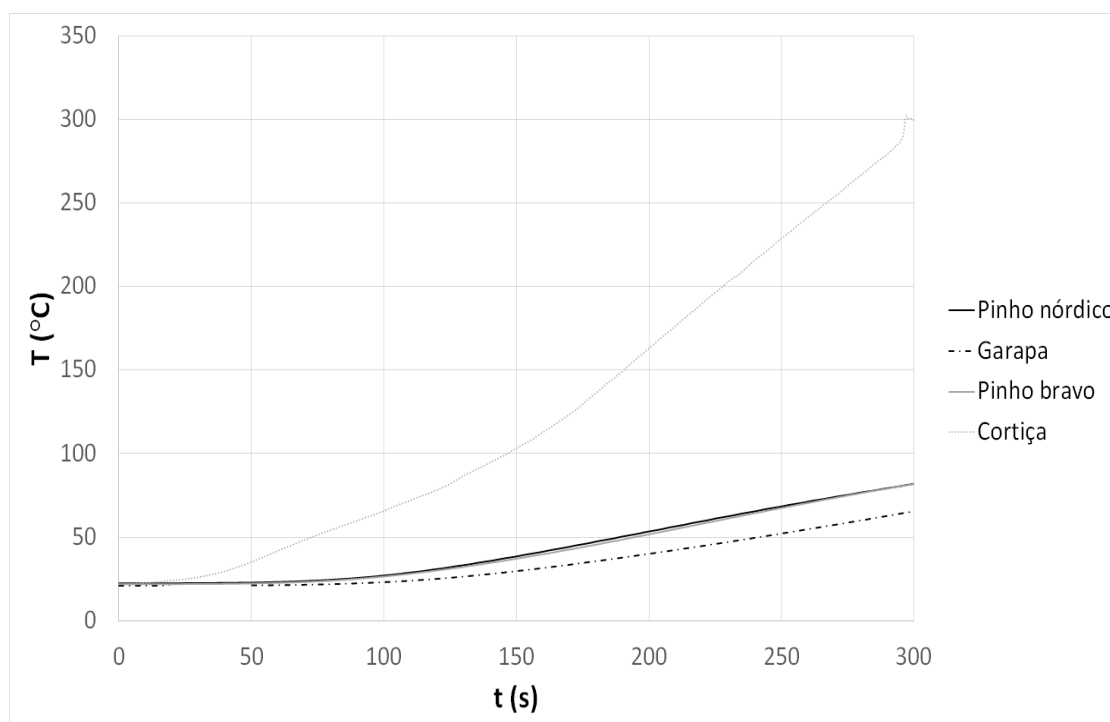


Figura 4.13 Evolução da temperatura a 15 mm da superfície das amostras.

A Figura 4.14 mostra a evolução da temperatura para cada uma das espécies a 25 mm da superfície. Durante os instantes iniciais do ensaio todas as espécies apresentam temperaturas muito próximas, havendo uma evolução muito lenta da temperatura para todas elas. Após os primeiros 120 segundos de ensaio, tem-se para a cortiça uma temperatura de 32°C, cerca de 27°C para o pinho nórdico, 25°C para o pinho bravo e cerca de 23°C para a

garapa. No entanto, à medida que o ensaio foi decorrendo, a diferença entre a evolução da temperatura das amostras de cortiça e das amostras de madeira foi-se acentuando. Ao fim de 300 segundos, obteve-se para a cortiça uma temperatura de 99°C. Durante o mesmo instante, para o pinho nórdico verificou-se uma temperatura de cerca de 53°C, 47°C para o pinho bravo e 42°C para a garapa.

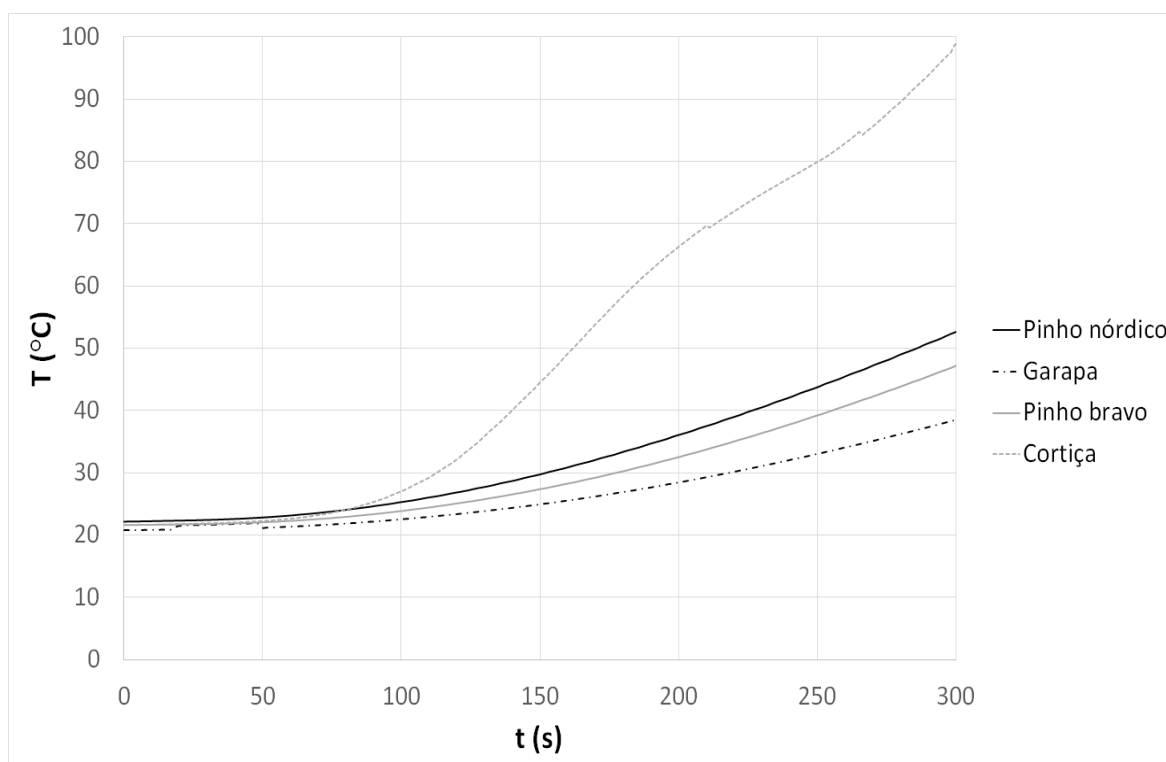


Figura 4.14 Evolução da temperatura a 25 mm da superfície das amostras.

As curvas de evolução da temperatura evidenciam a influência da densidade na condução de calor. Para a cortiça, que tem uma densidade muito inferior à das restantes espécies (cerca de 4,3 vezes inferior à densidade do pinho nórdico), verificou-se um crescimento muito mais acentuado em comparação com as curvas de evolução da temperatura das outras espécies para todas as situações analisadas. Quanto às espécies de madeira, verificou-se que ocorre uma evolução da temperatura mais rápida para o pinho nórdico, que é a espécie que apresenta menor densidade das três, com exceção de uma das situações em estudo, da evolução da temperatura a 5 mm da superfície das amostras.

---

## 4.9. Comparação dos resultados com o modelo teórico de propagação de calor

A Figura 4.15 compara as curvas de temperatura obtidas experimentalmente para as espécies de cortiça e de pinheiro nórdico com as curvas de temperatura obtidas desenvolvendo o modelo de condução de calor em regime transiente para sólidos semi-infinitos, dado pela equação 6 e também sugerido por Han (2012), apresentado no subcapítulo 2.8. Desta forma pretende-se testar a validade do modelo teórico em questão no caso da combustão deste tipo de materiais.

No desenvolvimento do modelo foram utilizadas as propriedades térmicas do aglomerado de cortiça expandido apresentadas por Simões *et al.* (2012) e recorreu-se às pesquisa de MacLean e Madison (1941) e de Incropera *et al.* (2012) para se obter as propriedades térmicas do pinheiro nórdico.

Analisando a figura destaca-se que para os instantes iniciais o modelo permite obter aproximações razoáveis da temperatura tanto para o aglomerado de cortiça expandida como para o pinheiro nórdico. No entanto, para a maioria dos casos, começa-se a nota uma grande discrepância entre as curvas obtidas experimentalmente e as curvas obtidas analiticamente a partir dos primeiros 50 segundos.

Este modelo aparenta ser capaz de fornecer uma estimativa admissível da temperatura mas apenas para os instantes iniciais. Após sensivelmente o primeiro minuto, os resultados encontrados mostram que o modelo não é adequado, muito provavelmente porque deixa de ser válida a condição de fluxo de calor constante na superfície.

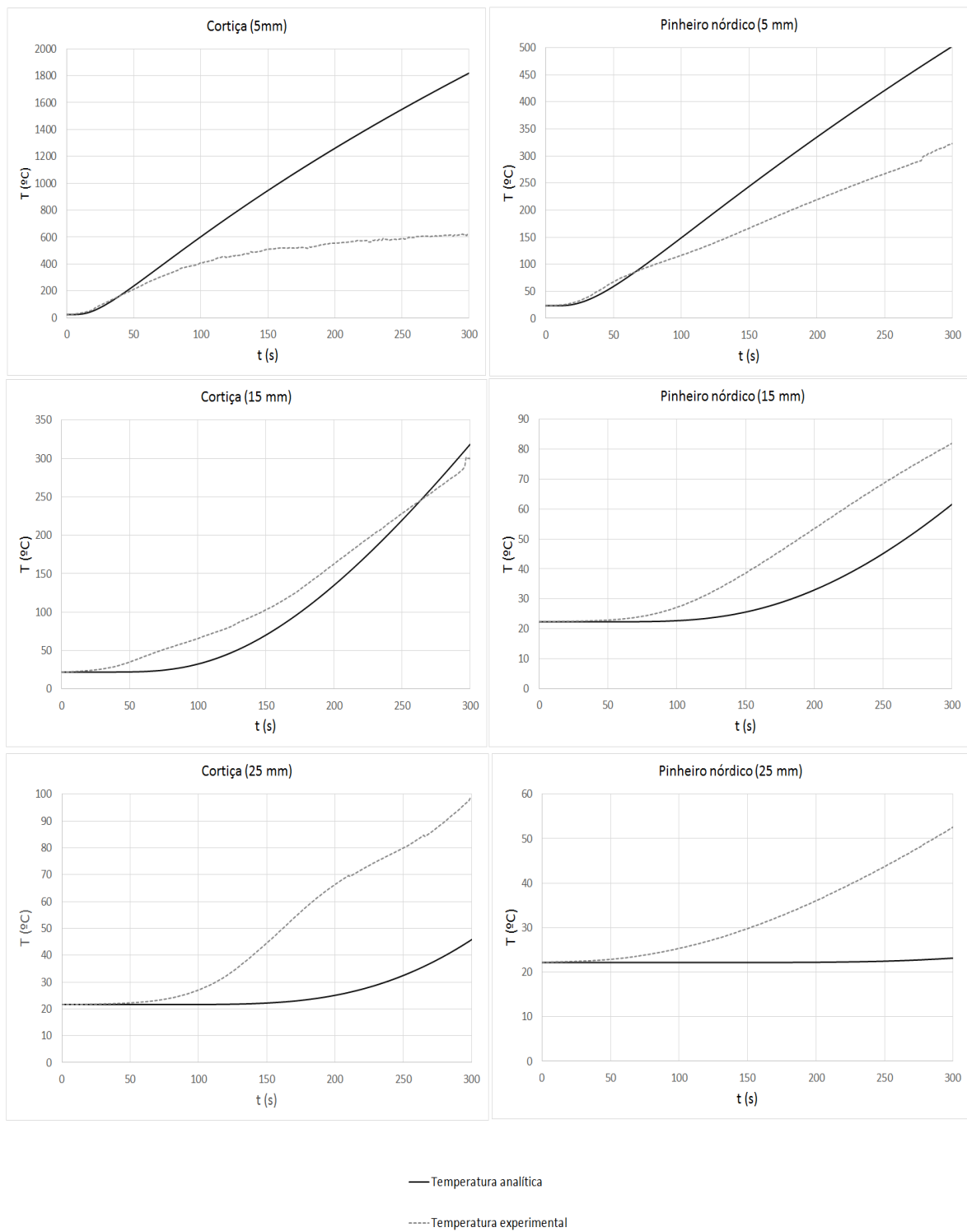


Figura 4.15 Comparação entre as curvas de temperatura obtidas analiticamente e experimentalmente.

---

## 5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Foi feito um estudo da inflamabilidade de três espécies diferentes de madeira utilizadas com frequência nas estruturas de edifícios. Estudou-se também a inflamabilidade do aglomerado de cortiça expandida, habitualmente utilizado como revestimento.

Verificou-se que o aglomerado de cortiça expandida é um material muito mais inflamável do que os restantes. Das três espécies de madeira, aquela que demonstrou ser a menos inflamável foi a garapa, levando aqui uma ligeira vantagem em relação às espécies de pinheiro estudadas. O pinheiro nórdico é a espécie de madeira mais inflamável. No entanto, os resultados experimentais não denotaram a existência de uma diferença muito assinalável entre a inflamabilidade do pinheiro nórdico e a do pinheiro bravo. Com isto, pode-se concluir que existe um risco muito maior de ocorrência de incêndios na presença de aglomerado de cortiça expandida do que na presença de madeiras, sendo este risco menor para a garapa do que para as restantes espécies.

No entanto, fazendo uma análise do comportamento dos materiais durante a combustão, observa-se um cenário oposto. Verifica-se um tempo de combustão com chama muito mais reduzido para o aglomerado de cortiça expandida do que para as espécies de madeira. Observa-se também que uma grande parte da amostra de cortiça, após os ensaios experimentais, se encontra totalmente conservada, pelo que só arde uma pequena camada próxima da superfície, acabando o fogo por se autoextinguir sem que mais danos sejam causados.

No caso da garapa, do pinheiro bravo e do pinheiro nórdico constata-se o oposto, uma vez que, após os testes, a totalidade das amostras se encontravam totalmente carbonizadas.

O aglomerado de cortiça expandida destaca-se pela negativa devido à emissão de fumo negro e potencialmente tóxico durante a combustão.

Quanto à taxa de libertação de calor durante a combustão (HRR), observa-se que a espécie de madeira onde se obteve um pico máximo mais elevado foi a garapa, seguindo-

---

se o pinheiro bravo. Considera-se por isso que são estas duas espécies que representam maior perigo durante um incêndio. O pinheiro nórdico, apesar de ser, das três espécies de madeira em estudo, aquela que mais facilmente entra em ignição, acaba por ser a que apresenta, neste caso, um comportamento mais favorável.

Uma análise da evolução da temperatura das amostras mostra que, apesar de se ter à superfície combustão com chama, a temperatura no interior da amostra (a uma distância relativamente pequena da superfície) praticamente não aumenta durante um período de tempo considerável. Esta verificação pode funcionar como argumento a favor da utilização da madeira na estrutura de edifícios.

Com base nos resultados obtidos considera-se que a densidade das espécies tem uma forte influência nos tempos de ignição. No entanto, a densidade das espécies não tem, aparentemente, grande influência nos tempos de extinção de chama.

Como proposta de trabalhos futuros sugere-se que sejam efetuados os mesmos tipos de testes para outras espécies de madeira também utilizadas na construção de edifícios, podendo os resultados obtidos ser posteriormente comparados com os resultados obtidos no presente estudo. Desta forma será possível compreender quais as espécies de madeira mais seguras em termos de inflamabilidade, podendo este conhecimento afetar a escolha de materiais utilizados na construção.

---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Advisory Body Evaluation (1993), “World Heritage List, Horyu- Ji, No 660”. Acedido a 7 de Maio de 2015, em: [http://whc.unesco.org/archive/advisory\\_body\\_evaluation/660.pdf](http://whc.unesco.org/archive/advisory_body_evaluation/660.pdf).
- Al-Kassir, A., Gañán-Gómez, J., Mohamad, A.A. e Cuerda-Correa, E.M. (2010), “A study of energy production from cork residues: Sawdust, sandpaper dust and triturated wood”, *Energy*, 35, 382-386.
- Aseeva, R., Serkov, B. e Sivenkov, A. (2013), “Fire Behaviour and Fire Protection in Timber Building”, Springer, 1-12.
- Associação Portuguesa de Cortiça (2015), “Exportações de cortiça crescem 1,5%”. Acedido a 4 de Maio de 2015, em <http://www.apcor.pt/artigo/exportacoes-de-cortica-crescem.htm>.
- Associação Portuguesa de Cortiça (2015), “Propriedades da Cortiça”, Acedido a 4 de Maio de 2015, em <http://www.apcor.pt/artigo/propriedades-cortica.htm>.
- Babrauskas, V. e Grayson, S. J. (1992), “Heat Release in Fires”, Elsevier Applied Science Publishers, London.
- Babrauskas, V. e Peacock, R. D. (1992), “Heat Release Rate: The Single Most Important Variable in Fire Hazard”, *Fire Safety Journal*, 18, 255-272.
- Bamford, C. H., Crank, J. e Malan, D. H., (1946), “The combustion of wood. Part I.”, *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 42, 166-182.
- Beall, F. C. (1968), “Specific Heat of Wood”, U.S. Forest Service Research Note, FPL-0184.
- Canto-Certo, “Sistema Construtivo”. Acedido a 8 de Maio de 2015, em: <http://www.cantocerto.pt/index-2.html>.
- Çengel, Y. A. (2006), “Heat Transfer: A Practical Approach”, McGraw-Hill, 3rd Edition.
- CEN/TS 14918 (2005), “Solid Biofuels – Method for the determination of calorific value”
- Costa, M. Da. (2011), “Caracterização Das Propriedades Físicas, Mecânicas E Térmicas De Betões Com Incorporação De Cortiça”. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil na especialidade de Construções, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Cruz, H. (2013), “Casas de madeira – Panorama nacional, certificação e homologação”, Seminário Casas de Madeira, 1–12.



- EN 13823 (2002), “Reaction to fire tests for building products. Building products excluding floorings exposed to the thermal attack by a single burning item”, European Committee for Standardization.
- EN 13501-1 (2007), “Fire test to building material” European Committee for Standardization.
- EN 14918 (2009), “Solid Biofuels – Determination of calorific value”, European Committee for Standardization.
- European Commission (2011), “Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions”, Roadmap to a Resource Efficient Europe, Brussels. Acedido a 14 de Agosto de 2015, em [http://ec.europa.eu/food/safety/food\\_waste/library/docs/com2011\\_571\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/food/safety/food_waste/library/docs/com2011_571_en.pdf).
- Exotic House, “Sistema Construtivo”. Acedido em 8 de Maio de 2015, em <http://www.exotic-house.pt/Index.html>.
- Figueroa, M. J. M. e Moraes, P. D. De. (2009), “Comportamento da madeira a temperaturas elevadas”, Ambiente Construído, Porto Alegre, 9, 157–174.
- Gil, L. (1998), “Cortiça – Produção, Tecnologia e Aplicação”, Ed. INETI, N° 3, Lisboa.
- Gil, L. (2015), “Cork”, Em: Gonçalves, M. Clara e Margarido, F. (eds.), Materials for Construction and Civil Engineering: Science, Processing, and Design, Springer, 585-628.
- Gomes, J. (2014), “Estudo da inflamabilidade de madeiras para construção usadas na envolvente de edifícios”. Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica na Especialidade de Produção e Projeto, Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Gustavsson, L., Madlener, R., Hoen, H. F., Jungmeier, G., Karjalainen, T., Klöhn, S., Mahapatra, K., Pohjola, J., Solberg, B. e Spelter, H. (2006), “The role of wood material for greenhouse gas mitigation”, Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 11, 1097-1127.
- Han, J. (2012), “Analytical Heat Transfer”, CRC Press, 69-104
- Harada, T. (2001), “Time to ignition, heat release rate and fire endurance time of wood in cone calorimeter test”, Fire and Materials, 25, 161–167.
- Incropera, F. P., DeWitt, D. P., Bergman, T. L. e Lavine, A. (2007), “Fundamentals of heat and mass transfer”, John Wiley & Sons, Inc, 6th Edition.
- ISO 5660-1 (2002), “Reaction to fire tests” International Organization for Standardization.
- ISO 9239-1 (2010), “Reaction to fire tests for floorings – Part 1: Determination of the burning behaviour using a radiant heat source”, International Organization for Standardization.
- ISO 1182 (2010), “Reaction to fire tests for products – Non-combustibility test”, International Organization for Standardization.

- ISO 1716 (2010), “Reaction to fire tests for products – Determination of the gross heat of combustion (calorific value)”, International Organization for Standardization.
- ISO 11925-2 (2010), “Reaction to fire tests – Ignitability of products subjected to direct impingement of flame – Part 2: Single-flame source test”, International Organization for Standardization.
- Working Group, (2010), “The international promotion of wood construction as a part of climate policy”, Working Group Report, Disponível em <http://formin.finland.fi/public/default.aspx?contentId=207638&nodeId=15445&contentlan=1&culture=fi-FI>.
- LogDomus, “Porquê em madeira?”, Acedido a 8 de Maio de 2015, em [http://www.logdomus.pt/index.php?option=com\\_k2&view=item&layout=item&id=92&Itemid=152](http://www.logdomus.pt/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=92&Itemid=152).
- Laboratório Nacional de Engenharia Civil (2011), “Caracterização da oferta de casas de madeira em Portugal - Inquérito às empresas de projecto, fabrico, construção e comercialização”, Relatório 118/2011.
- MacLean, J. D. e Madison, W. (1941), “Thermal Conductivity of Wood”, Heating, piping & air conditioning, 13, 380-391.
- Morgado, L., Pedro, J. B., Cruz, H. e Pontífice, P. (2012), ”Projeto e construção de casas de madeira em Portugal”, Jornadas LNEC, Lisboa, 1 – 12.
- Negrão, J. H. (2011), “Estruturas de madeira em Portugal - Presente e passado recente”, CIMAD 11 – 1º Congresso Ibero-LatinoAmericano da Madeira na Construção (7–9/06/2011), Coimbra, Portugal.
- Ortiz, O., Castells, F. e Sonnemann, G. (2009). “Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA”, Construction and Building Materials, 23, 28–39,
- Petura, R. C. (1979), “Thermodynamic Data for Waste Incineration”, American Society of Mechanical Engineers, New York, 107-115.
- Radmonović, K., Dukić, I. e Pervan, S. (2014), “Specific Heat Capacity of Wood”, Drvna Industrija, 65, 151-157.
- Ragland, K. W. e Aerts, D. J. (1991), “Properties of Wood for Combustion Analysis”, Bioresource Technology, 37, 161-168.
- Rusticasa, “Perguntas frequentes”. Acedido a 9 de Maio de 2015, em [http://www.rusticasa.pt/index.php?option=com\\_content&view=article&id=10&Itemid=29&lang=pt#faq12](http://www.rusticasa.pt/index.php?option=com_content&view=article&id=10&Itemid=29&lang=pt#faq12).
- Simões, I., Simões, N. e Tadeu, A. (2012), “Thermal delay simulation in multilayer systems using analytical solutions”, Energy and Buildings, 49, 631-639.
- Spearpoint, M. J. e Quintiere, J. G. (2000), “Predicting the burning of wood using an integral model”, Combustion and Flame, 123(3), 308–325.

- Telmo C., Lousada J. e Moreira N. (2010), “Proximate analysis, backwards stepwise regression between gross calorific value, ultimate and chemical analysis of wood”, *Bioresource Technology*, 101, 3808-3815.
- Vaz, S. M. (2008), “Avaliação técnica e económica de casas pré-fabricadas em madeira maciça”. Tese de Mestrado em Engenharia Civil na especialidade em Construções Cívicas, Departamento de Engenharia Civil - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- White, R. e Dietenberger, M. (2010), “Chapter 18: Fire Safety of Wood Construction”, Em *Wood Handbook: Wood as an Engineering Material*, Forest Products Laboratory, (18)1-22.

## ANEXO A



Amorim Isolamentos, S.A.

## DECLARAÇÃO DE DESEMPENHO

N.º DoP-AISOL-ICB-01-Rev1-14

- Código de identificação único do produto-tipo:  
**ICB - Aglomerado de Cortiça Expandida**
- Número do tipo, do lote ou da série, ou quaisquer outros elementos que permitam a identificação do produto de construção, nos termos do n.º 4 do artigo 11.º:  
**Ver a etiqueta na embalagem do produto**
- Utilização ou utilizações previstas do produto de construção, de acordo com a especificação técnica harmonizada aplicável, tal como previsto pelo fabricante:  
**Para utilização como isolamento térmico em edifícios (ver EN 13170) de acordo com as especificações do fabricante**
- Nome, designação comercial ou marca comercial registada e endereço de contacto do fabricante, nos termos do n.º 5 do artigo 11.º:  
**Amorim Isolamentos, S.A.  
Rua da Corticeira, nº 66  
4535-173 Mozelos - Portugal**
- Se aplicável, nome e endereço de contacto do mandatário cujo mandato abrange os actos especificados no n.º 2 do artigo 12.º:  
**não aplicável**
- Sistema ou sistemas de avaliação e verificação da regularidade do desempenho do produto de construção tal como previsto no anexo V:  
**Sistema 3**
- No caso de uma declaração de desempenho relativa a um produto de construção abrangido por uma norma harmonizada. Nome do organismo notificado responsável pela emissão do relatório de ensaio para o teste do tipo inicial com base na amostra cedida pelo fabricante:  
**CSTB - Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, organismo notificado nº 0679 (França), relatório nº HO04-005 e nº HO05-053**
- No caso de uma declaração de desempenho relativa a um produto de construção para o qual tenha sido emitida uma Avaliação Técnica Europeia:  
**não aplicável**
- Desempenho declarado: **ICB - EN 13170 - L2 - W2 - T2 - CS(10)100 - TR50 - WS - MU20 - CC(0,8/0,4/10)5**

Características essenciais	Desempenho		Especificações técnicas harmonizadas	
Reação ao fogo, características Euroclasse	Reação ao fogo	Euroclasse E	EN 13170:2012	
Libertação de substâncias nocivas no ambiente interior	Libertação de substâncias nocivas	NPD		
Índice de absorção acústica	Absorção sonora	NPD		
Índice de transmissão do ruído de percussão (para pisos)	Rigidez dinâmica	NPD		
	Espessura, $d_f$	NPD		
	Compressibilidade	NPD		
	Resistência ao escoamento de ar	NPD		
Índice de transmissão de ruídos aéreos	Resistência ao escoamento de ar	NPD		
Combustão de incandescência contínua	Combustão de incandescência contínua	NPD		
Resistência térmica	Resistência térmica	consultar Tabela A		
	Condutividade térmica	0,040 W/m.K		
	Espessura, $d_f$	T1 - T2 ( $d_f > 50$ mm)		
Permeabilidade à água	Absorção de água	WS		
Permeabilidade ao vapor de água	Transmissão de vapor de água	MU20		
Resistência à compressão	Resistência à compressão a 10% deformação	CS(10)100		
	Carga pontual	NPD		
Durabilidade da reacção ao fogo com o calor, agentes atmosféricos, envelhecimento/degradação	Características de durabilidade			satisfaz
	Resistência térmica e condutividade térmica			satisfaz
Durabilidade da resistência térmica com o calor, agentes atmosféricos, envelhecimento/degradação	Características de durabilidade			satisfaz
	Resistência à tração/flexão			TR50
Durabilidade da resistência à compressão com o envelhecimento/degradação	Fluência à compressão	CC(0,8/0,4/10)5		
NPD - No Performance Determined / Desempenho não determinado				

UNIDADE DE DISTRIBUIÇÃO:  
Rua da Corticeira, 66  
4535-173 MOZELOS VFR – PORTUGAL  
Telef: +351 22 741 9100  
Fax: +351 22 741 9101  
Email: geral.aisol@amorim.com

UNIDADE INDUSTRIAL DE SILVES:  
Vale de Lama – Apartado 27  
8300-999 SILVES – PORTUGAL  
Telef: +351 282 440 720  
Fax: +351 282 440 721

UNIDADE INDUSTRIAL DE VENDAS NOVAS - SEDE:  
Estrada de Lavre, Km 6 – Apartado 7  
7084-909 VENDAS NOVAS – PORTUGAL  
Telef: +351 265 809 220  
Fax: +351 265 809 221

Capital Social: EUR 100.000,00  
Registo na C.R.C.P. de Vendas Novas  
NIF N.º PT 502 863 145





Amorim Isolamentos, S.A.

10. O desempenho do produto identificado nos pontos 1 e 2 é conforme com o desempenho declarado no ponto 9.  
A presente declaração de desempenho é emitida sob a exclusiva responsabilidade do fabricante identificado no ponto 4.

Assinado por e em nome do fabricante por:

Carlos Manuel, Director Geral

Mozelos, Julho 2014

AMORIM ISOLAMENTOS, S.A.  
Administração

(assinatura)

Tabela A: Resistência térmica declarada (R) de acordo com a norma EN 13170:2012

Espessura, $d_f$ [mm]	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
Resistência térmica [m <sup>2</sup> .K/W]	0,50	0,60	0,75	0,85	1,00	1,10	1,25	1,35	1,50	1,60	1,75	1,85	2,00	2,10	2,25	2,35
Espessura, $d_f$ [mm]	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
Resistência térmica [m <sup>2</sup> .K/W]	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25	5,50	5,75	6,00	6,25

UNIDADE DE DISTRIBUIÇÃO:  
Rua da Corticeira, 66  
4535-173 MOZILOS VFR – PORTUGAL  
Telef: +351 22 741 9100  
Fax: +351 22 741 9101  
Email: geral.aisol@amorim.com

UNIDADE INDUSTRIAL DE SILVES:  
Valc de Lama – Apartado 27  
8300-999 SILVES – PORTUGAL  
Telef: +351 282 440 720  
Fax: +351 282 440 721

UNIDADE INDUSTRIAL DE VENDAS NOVAS - SEDE:  
Estrada de Lavre, Km 6 – Apartado 7  
7084-909 VENDAS NOVAS – PORTUGAL  
Telef: +351 265 809 220  
Fax: +351 265 809 221

Capital Social: EUR 100.000,00  
Registo na C.R.C.P. de Vendas Novas  
NIF N° PT 502 863 145

