



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

Estudo das condições de transição de um fogo para as copas das árvores

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

Autor

Pedro Miguel Ribeiro Tomé Tavares Bondoso

Orientadores

**Professor Doutor Domingos Xavier Filomeno Carlos Viegas
Doutor Miguel Abrantes de Figueiredo Bernardo Almeida**

Júri

Presidente Professor Doutor António Rui de Almeida Figueiredo
da Universidade de Coimbra

Vogais Professor Doutor Jorge Campos da Silva André
da Universidade de Coimbra

Orientador Doutor Miguel Abrantes de Figueiredo Bernardo Almeida

Colaboração Institucional



Associação para o
Desenvolvimento da
Aerodinâmica Industrial

Coimbra, Setembro, 2014

A mente que se abre a uma nova ideia nunca mais volta ao seu tamanho

original

Albert Einstein

Aos meus pais, irmãos e amigos

Agradecimentos

O trabalho que aqui se apresenta não teria sido possível sem a colaboração e apoio de algumas pessoas, às quais não posso deixar de prestar o meu sincero reconhecimento e gratidão.

Ao Professor Domingos Xavier Viegas por ter aceitado ser meu orientador da tese de mestrado, pelo tema e pelas suas contribuições para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Doutor Miguel Almeida, meu coorientador, pela disponibilidade, orientação e apoio demonstrada durante o desenvolvimento de todo o trabalho, como também pelas suas contribuições para este trabalho.

Aos meus amigos e colegas de curso que, ao longo destes anos, contribuíram para a vivência de uma vasta gama de experiências, que melhoraram o meu percurso académico.

À Ana Lemos pelo apoio ao longo destes anos e ajuda na escrita da minha dissertação.

À minha família, Mãe, Pai, irmãos e avós pela paciência e apoio incondicional durante estes anos.

Resumo

Este estudo foi realizado no âmbito dos fenómenos de comportamento extremo de fogo, em que se pretendeu analisar as condições envolvidas na transição de fogo de superfície para fogo de copas e criar um guia de determinação de um potencial de ocorrência de focos secundários.

A análise da ocorrência de fogos de copas baseou-se na determinação da perda de massa média das árvores durante a queima e na medição das velocidades de escoamento convectivas, da temperatura e da velocidade de propagação. Os parâmetros calculados foram conclusivos, na medida que foi possível retirar informação sobre a sua evolução ao longo do ensaio, facilitando a leitura/análise dos dados, de modo a perceber de que forma as condições iniciais de cada ensaio influenciam estes parâmetros.

No que diz respeito aos focos secundários, o guia criado incide com maior importância no potencial de libertação de partículas incandescentes, no entanto a avaliação da fase de transporte de partículas incandescentes e a probabilidade de ignição também são incluídas no guia.

Foram atribuídas classes de formação de combustíveis para povoamento de herbáceas, matos, pinhais, eucaliptos, folhosas caducifólias e resíduos de exploração, resultando ainda a subdivisão de algumas classes em situações mais específicas de cada povoamento, verificando-se que estas mesmas classes são povoamentos característicos da zona centro de Portugal Continental.

O desenvolvimento deste guia, tendo-se baseado num guia de combustíveis já existente (Cruz, 2005), ainda se encontra em fase de exploração, pelo que os valores para o potencial de focos secundários apresentados deverão ser desenvolvidos posteriormente. Para cada classe de formação de combustíveis são apresentados diversos fatores, como as características do combustível com potencial de libertação de partículas incandescentes, as características dos povoamentos e o ambiente de fogo, sendo possível estimar a influência destes fatores no potencial de ocorrência de focos secundários nas fases de libertação e transporte de partículas incandescentes seguido de uma possível ignição.

Palavras-chave: Fogos de Copas, Focos Secundários, Comportamento extremo de fogo, Incêndios Florestais, Propagação de fogo, Liberação de partículas.

Abstract

This paper was carried in the context of extreme fire behavior and has the aim of analyzing the conditions involved in the transition from surface fire to crown fire and also to create a guide for determining the release potential of burning embers that can cause spotting.

The analysis of crown fire situations is based on the determination of the trees average mass loss when they are burning and the measurement of convective flow velocities, temperature and propagation velocity. The calculated parameters were conclusive since it was possible to take information about their variation throughout the trial and so the reading of data became easier, in order to understand how the initial conditions for each test influence these parameters.

Regarding spotting, the guide that was created in this paper as it focuses on the release potential of burning embers, however the phase of incandescent particles transport and the ignition probability are also included in the guide.

There was created in the guide, classes of fuel for populations containing herbaceous, shrubs, pine trees, eucalyptus trees, deciduous broadleaf and operational waste, resulting in more specific situations, characteristics of the central zone of Portugal.

The development of this guide was based on the fuels guide (Cruz, 2005), however is still in the exploration phase and so the values of release potential must be developed later. For each fuel class are presented several factors such as the characteristics of the fuel with release potential, the population's characteristics and the fire behavior, estimating the influence of these factors on potential spotting in release and transport of burning embers and consequently the ignition of fuel beds.

Keywords Crown fire, Spotting, Extreme fire behavior, wildfires, fire propagation, embers release.

Índice

Índice de Figuras	xi
Índice de Tabelas	xv
Simbologia e Siglas	xvii
Simbologia.....	xvii
Siglas	xvii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Revisão Bibliográfica	1
1.1.1. Fogos de copas	2
1.1.2. Fogos Secundários.....	3
1.2. Enquadramento e objetivos.....	7
2. análise das condições de transição de fogo	9
2.1. Ensaios de Queima de Árvores Isoladas.....	9
2.1.1. Metodologia.....	9
2.1.2. Análise da perda de massa durante o ensaio.....	11
2.1.3. Análise da Velocidade e Temperatura na Propagação de Fogo	15
2.2. Ensaios de Queima de Aglomerados de Árvores.....	21
2.2.1. Metodologia.....	21
2.2.2. Análise de perda de massa.....	22
2.2.3. Análise da Velocidade e Temperatura na Propagação de Fogo	24
3. Guia de avaliação do potencial de libertação de partículas incandescentes	29
3.1. Introdução	29
3.2. Motivação e utilização do guia	30
3.3. Desenvolvimento do guia	31
3.4. Descrição das formações de combustível	32
3.4.1. HER-01 - Herbáceas.....	32
3.4.2. MAT-01 - Arbustos com altura média inferior a 0,5 m.....	33
3.4.3. MAT-02 - Arbustos com altura média entre 0,5 e 1,3 m.....	33
3.4.4. MAT-03 - Arbustos com altura média superior a 1,3 m	33
3.4.5. PPIN-02 - Pinhal jovem não desbastado	33
3.4.6. PPIN-03 – Pinhal sem subcoberto arbustivo	34
3.4.7. PPIN-04 – Pinhal com subcoberto arbustivo.....	34
3.4.8. PPIN-05 – Pinhal adulto	34
3.4.9. EUC-011 - Eucaliptal novo com subcoberto arbustivo.....	35
3.4.10. EUC-012 - Eucaliptal novo sem subcoberto arbustivo.....	35
3.4.11. EUC-013 - Eucaliptal novo resultante da seleção de toiças	35
3.4.12. EUC-014 - Eucaliptal novo após incêndio	36
3.4.13. EUC-015 - Eucaliptal seminovo sem subcoberto arbustivo	36
3.4.14. EUC-016 - Eucaliptal seminovo com subcoberto arbustivo.....	36
3.4.15. EUC-021 - Eucaliptal adulto sem subcoberto arbustivo.....	37
3.4.16. EUC-022 - Eucaliptal adulto com subcoberto arbustivo	37

3.4.17.	EUC-023 - Eucaliptal adulto com subcoberto diversificado e denso	37
3.4.18.	EUC-04 - Eucaliptal/resíduos de seleção de toiças	38
3.4.19.	FOLC-01 – Folhosas caducifólias	38
3.4.20.	RESE-01 – Resíduos de exploração	38
3.5.	Caracterização do complexo de combustível	39
3.6.	Caracterização do potencial de libertação de partículas	40
3.6.1.	Interpretação das classes de potencial de libertação de partículas:	43
3.6.2.	Interpretação das classes de potencial de distância de projeção (curta, média e longa):	43
3.6.3.	Interpretação das classes de potencial de ignição na superfície:	43
3.6.4.	Interpretação das classes de potencial de ignição na copa:	44
3.6.5.	Interpretação das classes de potencial de ocorrência de FS durante o rescaldo:	44
3.7.	Modelos de combustível e classificação de incêndios florestais	44
3.8.	Estrutura do guia desenvolvido	46
4.	Conclusões	47
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
	ANEXO A	53
	ANEXO B	55
	Série Fotográfica	57
	HER-01	57
	MAT-01	58
	MAT-02	59
	MAT-03	60
	PPIN-02	61
	PPIN-03	62
	PPIN-04	63
	PPIN-05	64
	EUC-011	65
	EUC-012	66
	EUC-013	67
	EUC-014	68
	EUC-015	69
	EUC-016	70
	EUC-021	71
	EUC-022	72
	EUC-023	73
	EUC-04	74
	FOLC-01	75
	RESE-01	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Imagem ilustrativa de um fogo de copa passivo (esquerda) (Ruckstuhl <i>et al.</i> , 2008) e imagem ilustrativa de um fogo de copa ativo (direita) (USDA Forest Service).....	3
Figura 1.2. Exemplo da estrutura do guia de combustíveis Cruz (2005).	6
Figura 2.1. Imagem ilustrativa da plataforma de ensaio.....	9
Figura 2.2. Imagem ilustrativa da plataforma de ensaio com a respetiva colocação dos fios, células de carga (vermelho) e árvore (verde)	10
Figura 2.3. Imagem ilustrativa de propagação de fogo com ignição perimetral	10
Figura 2.4. Imagem ilustrativa de propagação de fogo com ignição em avanço	11
Figura 2.5. Curvas de perda de massa ao longo do tempo de ensaio (Ensaioes MQA_01 até MQA_06)	12
Figura 2.6. Curvas de perda de massa ao longo do tempo de ensaio (Ensaioes MQA_07 até MQA_11)	12
Figura 2.7. Curvas de perda de massa na queima de árvore isolada durante o ensaio (Ensaioes MQA_12 até MQA_16).....	13
Figura 2.8. Registo do momento de rotura dos fios na propagação de fogo em avanço com árvores isoladas	15
Figura 2.9. Evolução da Velocidade de Escoamento e Temperatura ao longo do tempo de ensaio, sem “vento” (ensaio MQA5).....	16
Figura 2.10. Evolução da Velocidade de Escoamento convectiva ao longo do tempo de ensaio (ensaioes MQA_01, 02, 03, 04).....	17
Figura 2.11. Evolução da Velocidade de Escoamento convectiva ao longo do tempo de ensaio (ensaioes MQA_05, 06, 07, 10 e 11)	18
Figura 2.12. Evolução da Velocidade de Escoamento convectiva ao longo do tempo de ensaio (ensaioes MQA16, 15, 14, 12).....	18
Figura 2.13. Evolução da temperatura ao longo do tempo de ensaio (ensaioes MQA_01, 02, 03, 04 e 05).....	19
Figura 2.14. Evolução da temperatura ao longo do tempo de ensaio (ensaioes MQA_07, 08, 09, 10 e 11).....	19
Figura 2.15. Evolução da temperatura ao longo do tempo de ensaio (ensaioes MQA16, 15, 14, 12).....	20
Figura 2.16. Imagem ilustrativa da localização das árvores (círculos com designação de A a J) e dos fios (Linhas amarelas) no túnel de vento.....	22

Figura 2.17. Imagem ilustrativa da plataforma de ensaio com um conjunto de árvores no túnel de vento	22
Figura 2.18. Gráfico da perda de massa média relativa de um conjunto de árvores nos ensaios FC3QA (árvores com designação de A a J de acordo com a Figura 2.16)	23
Figura 2.19. Evolução Registo do momento de rotura dos fios nos ensaios de conjunto de árvores (fios de superfície com linha descontinua e fios de copa linha continua) 24	24
Figura 2.20. Gráfico que demonstra a evolução da temperatura (termopar 1) ao longo dos ensaios	26
Figura 2.21. Gráfico que demonstra a evolução da temperatura (termopar 2) ao longo dos ensaios	26
Figura 2.22. Gráfico que demonstra a evolução da velocidade de escoamento convectiva (pitot 2) ao longo dos ensaios	27
Figura 2.23. Gráfico que demonstra a evolução da velocidade de escoamento convectiva (pitot 3) ao longo dos ensaios	27
Figura 3.1. Esquema representativo das diferentes metodologias para a obtenção de um modelo de combustível	30
Figura 3.2. Gráfico representativo da relação do declive do terreno com a velocidade de escoamento convectiva (Viegas, 2011).....	41
Figura 3.3. Imagens ilustrativas do interior de um povoamento (esquerda) e da orla (direita).....	42
Figura 3.4. Imagens ilustrativas de uma ficha existente no guia de FS	46
Figura 0.1. Classificação dos incêndios florestais proposto por DGF (2001).....	55
Figura 0.2. Classificação dos modelos estandardizados NFFL descrito no guia de combustíveis Cruz (2005)	56
Figura 0.3. Imagens ilustrativa da classe HER-01	57
Figura 0.4. Imagens ilustrativa da classe MAT-01	58
Figura 0.5. Imagens ilustrativa da classe MAT-02	59
Figura 0.6. Imagens ilustrativa da classe MAT-03	60
Figura 0.7. Imagens ilustrativa da classe PPIN-02.....	61
Figura 0.8. Imagens ilustrativa da classe PPIN-03.....	62
Figura 0.9. Imagens ilustrativa da classe PPIN-04.....	63
Figura 0.10. Imagens ilustrativa da classe PPIN-05.....	64
Figura 0.11. Imagens ilustrativa da classe EUC-011	65
Figura 0.12. Imagens ilustrativa da classe EUC-012	66
Figura 0.13. Imagens ilustrativa da classe EUC-013	67
Figura 0.14. Imagens ilustrativa da classe EUC-014	68

Figura 0.15. Imagens ilustrativa da classe EUC-015.....	69
Figura 0.16. Imagens ilustrativa da classe EUC-016.....	70
Figura 0.17. Imagens ilustrativa da classe EUC-021.....	71
Figura 0.18. Imagens ilustrativa da classe EUC-022.....	72
Figura 0.19. Imagens ilustrativa da classe EUC-023.....	73
Figura 0.20. Imagens ilustrativa da classe EUC-04.....	74
Figura 0.21. Imagens ilustrativa da classe FOLC-01	75
Figura 0.22. Imagens ilustrativa da classe RESE-01	76

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1. Valores de K e R^2 segundo a lei exponencial nos ensaios com árvores isoladas, de acordo com a ignição e velocidade induzida	14
Tabela 2.2. Valores da massa inicial total para cada ensaio.....	23
Tabela 2.3. Valores de “vento” e carga no leito de combustível em cada ensaio de conjunto de árvores	25
Tabela 2.4. Valores para o declive (aproximação linear) das rectas correspondentes à Figura 2.19.....	25
Tabela 3.1. Características dos ambientes de fogo descritos no guia Cruz, 2005	40
Tabela 3.2. Tabela descritiva da correspondência entre os modelos de combustível (Anderson, 1982) e a classificação de incêndios florestais (DGF, 2001)	45
Tabela 0.1. Características iniciais dos ensaios de árvores isoladas	53
Tabela 0.2. Características iniciais dos ensaios de conjunto de árvores.....	54

SIMBOLOGIA E SIGLAS

Simbologia

m – Massa da partícula no instante t [kg]

m_i – Massa inicial [kg]

t – Tempo [s]

K – Taxa de decaimento de massa

R^2 - Correlação

U_i – Velocidade de escoamento induzida [$m.s^{-1}$]

U – Velocidade de escoamento convectiva [$m.s^{-1}$]

W – Carga do leito de combustível [$kg.m^{-2}$]

T – Temperatura [$^{\circ}C$]

α – Declive [$^{\circ}$]

Siglas

ADAI – Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial

DEM – Departamento de Engenharia Mecânica

FCTUC – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

LEIF – Laboratório para o Estudo dos Incêndios Florestais

DGF – Direção Geral das Florestas

CFS – Canadian Forestry Service

CEF – Comportamento Extremo de Fogo

FS – Focos Secundários

FC – Fogos de Copas

MQA – Mesa de Queima de Árvores

FC3QA - Fogos de Copas 3 de Queima de árvores

1. INTRODUÇÃO

1.1. Revisão Bibliográfica

O estudo dos impactes dos incêndios florestais na sociedade é bastante antigo, no entanto com a evolução da tecnologia , foram criados meios que permitiram o aprofundamento do conhecimento nesta matéria. Segundo Ferreira-Leite *et al.* (2013), em Portugal Continental registou-se um aumento da área ardida desde a década de 80. Este fato, aliado a um acompanhamento mais próximo e atento por parte da comunicação social, serviu como meio de sensibilização da sociedade para os cuidados e os perigos que podem representar os incêndios florestais, assim como uma necessidade de aumentar o conhecimento deste fenómeno.

De acordo com Byram (1959), é necessário verificar-se a existência de três fatores imprescindíveis para que ocorra uma combustão sustentada, ou seja, combustível, oxigénio e temperatura de ignição. Por outro lado a ausência de qualquer destes fatores não se verifica a ocorrência de combustão. O comportamento na propagação dos incêndios florestais está dependente do tipo de combustível, da topografia e de fatores meteorológicos, apresentando uma variação no tempo (Viegas, 2006). Com a influência destas variáveis, verifica-se que em locais diferentes e com diferentes condições, existem diferentes modos de propagação de incêndios.

A existência de diferentes modos de propagação pode dar origem a diferentes tipos de incêndios, pelo que existe consenso entre vários autores em dividir os incêndios florestais em três tipos, os subterrâneos, os de superfície e os de copas. Este estudo está associado à temática dos focos de copas, abordando também os focos secundários, como uma possível consequência dos fogos de copas, sendo que é necessário recorrer a uma classificação mais detalhada. De acordo com Viegas (2006), os incêndios florestais podem apresentar um comportamento de fogo de normal, que engloba os fogos subterrâneos e os fogos de superfície, e um comportamento extremo de fogo em que estão presentes, fogos de copas, fogos eruptivos, propagação por focos secundários e frentes convergentes.

1.1.1. Fogos de copas

O tema principal abordado neste estudo está relacionado com a ocorrência de fogos de copas, assunto que foi alvo de várias tentativas para a obtenção de um modelo que representasse a sua propagação (FC). Os modelos capazes de prever e quantificar o potencial de perigo dos incêndios, utilizados nos Estados Unidos, baseiam-se maioritariamente nos estudos desenvolvidos por Rothermel (1972). No entanto, segundo o próprio autor, estes estudos não apresentam uma aplicação para os fogos de copas (Stocks *et al.*, 2006). Após várias tentativas, surgiu um desenvolvimento obtido pela *Canadian Forestry Service* (CFS), que se baseou na realização de vários ensaios de fogos de copas, fornecendo assim, uma base de dados para o teste e desenvolvimento dos modelos experimentais, como por exemplo Albini (1985). O aumento significativo dos incêndios florestais ao longo dos anos revelou uma maior necessidade de entender este fenómeno dos fogos de copas, pelo que Rothermel (1991) desenvolveu um modelo capaz de quantificar a propagação nos fogos de copas. Este modelo teve como objetivo dar respostas às seguintes questões:

- Condições necessárias para que ocorram fogo de copas
- Previsão do tamanho e intensidade dos fogos de copas

A dificuldade em obter este tipo de modelos concentra-se no fato de existir uma grande variedade de condições, fato que, em diferentes situações pode levar à ocorrência de fogos de copas diferentes. Segundo *Scott et al.* (2001), foi atribuída uma classificação que divide os fogos de copas em “passivos”, ou seja, situações de árvores isoladas ou pequenos grupos de árvores, em que não existe uma propagação continuada do fogo nas copas das árvores, “ativos” onde se verifica uma propagação e ignição contínua desde a superfície até ao topo das copas, mas estando condicionada pela presença de combustível de superfície suficiente para que a propagação para as copas continue (Figura 1.1), e por último, fogos de copas “independentes”, que representam situações em que não existe influência do combustível de superfície nos FC, verificando-se uma transição de fogo de copa para copa. Relativamente aos fogos independentes, verifica-se que são mais raros devido à necessidade de condições muito específicas de topografia, vento e humidade relativa, assim como a altura, a concentração das copas e a distância entre essas copas.



Figura 1.1. Imagem ilustrativa de um fogo de copa passivo (esquerda) (Ruckstuhl *et al.*, 2008) e imagem ilustrativa de um fogo de copa ativo (direita) (USDA Forest Service)

A classificação de fogos de copas como um fenómeno de comportamento extremo de fogo (CEF) enquadra-se na definição descrita por Paul Werth *et al.* (2011), onde CEF corresponde às situações em que se verifique “*propagação de fogo especialmente quando envolve um aumento instantâneo da intensidade de fogo, com exceção das situações de propagação constante ao nível da superfície*”. Os fatores que explicam esse aumento instantâneo correspondem por exemplo à velocidade de propagação, colunas de fogo e à ocorrência de focos secundários. Nos fogos de copas, com origem na transição de fogo de superfície para a copa, existe um aumento da intensidade de fogo que culmina numa ignição desde a superfície até à copa, em questão de segundos. Quando no decorrer de um incêndio se verifica a transição de fogo de superfície para fogo de copas, um dos grandes problemas associados é o fato de poder originar focos secundários (Rothermel, 1983). Paul Werth *et al.* (2011) afirma que o processo de formação de focos secundários tem origem em partículas como folhas, sementes e pinhas situadas ao nível da superfície, do sub-bosque e da copa da árvore, que através de condições atmosféricas favoráveis podem ser libertadas e transportadas podendo resultar na ignição de árvores, quer ao nível da copa como do sub-bosque, afastadas do local de origem.

1.1.2. Fogos Secundários

Existindo uma clara relação entre os fogos de copas e a ocorrência de focos secundários (FS), e sendo dois tipos de comportamento extremo de fogo, explica-se o

porquê da abordagem da temática dos FS neste estudo. Os FS estão normalmente associados a situações de risco, quer para as populações quer para as entidades responsáveis pelo combate dos incêndios, tornando a necessidade de aprofundar o conhecimento nesta área bastante evidente. Foi com esse objetivo que houve várias tentativas de obter modelos de simulação, que representassem uma previsão para a distância percorrida pelas partículas incandescentes. No entanto, os modelos encontrados até à presente data são pouco consistentes. A dificuldade em obter estes modelos deve-se ao fato dos FS serem condicionados por uma grande gama de fatores, assim como também pela dificuldade em reproduzir situações de FS de média/grande escala nos ensaios experimentais e no conjunto de condições que podem ser simuladas (Viegas *et al.*, (2012a). Segundo Viegas *et al.*, (2012a) os modelos obtidos, com o objetivo de prever quando e onde irá ocorrer FS, baseiam-se no estudo dos seguintes parâmetros:

- Caracterização das partículas incandescentes;
- Elevação das partículas incandescentes;
- Análise das forças aerodinâmicas durante o transporte;
- Análise da combustão das partículas durante o transporte;
- Probabilidade de ignição do leito de combustível;
- Propagação inicial dos FS.

Geralmente os estudos realizados por Tarifa *et al.* (1965) servem de base para a criação dos mais variados modelos de simulação que incluem a componente FS, no entanto verifica-se uma limitação destes modelos na previsão para projeções a longas distâncias, como também a curtas distâncias, associado a um grande grau de incerteza. Segundo Rothermel (1983), a discussão em torno deste assunto baseia-se em três fatores:

- Tipo de combustível;
- Distância atingida pelas partículas incandescentes;
- Probabilidade de ignição após queda da partícula;

Com o objetivo de simplificar o estudo dos FS pode-se dividir o seu processo de aparecimento em: (1) libertação de partículas, (2) elevação e transporte das partículas incandescentes pelo vento e (3) aterragem das partículas. (E. Koo *et al.*, 2012)

O estudo dos FS nas últimas cinco décadas incidiu, maioritariamente, na fase de transporte de partículas (2), uma vez que esta fase desempenha um papel muito importante quando se realiza uma previsão de aparecimento de FS. Esta importância deve-

se ao fato de existirem fatores como o vento, tamanho e forma das partículas, que condicionam a trajetória das partículas, o que gerou um grande interesse em volta deste assunto, resultando na criação de vários modelos simuladores para o transporte de partículas (E. Koo *et al.*, 2012). No estudo efetuado por E. Koo *et al.* (2012), é feita uma referência à inconsistência das abordagens utilizadas na criação dos modelos, onde por exemplo é referida a existência de modelos que consideram ambas as fases de elevação e transporte de partículas incandescentes, no entanto separadamente (Tarifa *et al.*, 1965a; Muraszew *et al.*, 1976; Albini, 1979; Woycheese *et al.*, 1999), assim como a existência de modelos que apenas consideram a fase de elevação ou a fase de transporte (Lee & Hellman, 1969; Himoto & Tanaka, 2005). Os fenômenos envolvidos no transporte das partículas incandescentes são bastantes complexos, dificultando ainda mais a previsão dos potenciais locais de queda dessas partículas, seguida de uma possível ignição.

No aparecimento de um foco secundário, ou seja, quando acontece a queda das partículas incandescentes existem fatores que irão condicionar a ignição do leito de combustível, como o tamanho da partícula, a estrutura do leito de combustível e o estado em que se encontrem as partículas incandescentes, a carga de combustível, assim como a presença de vento e a humidade relativa da atmosfera (Viegas *et al.*, 2012b).

Segundo Manzello (2007), um dos maiores problemas associados à propagação de fogo é a formação de partículas incandescentes com potencial de libertação, que com a interação do vento podem ser transportadas até longas distâncias podendo, originar a ocorrência de FS. Fatores como o tamanho e a massa das partículas incandescentes assim como as condições atmosféricas e a humidade da combustível, condicionam a ignição e a consequente formação de partículas incandescentes passíveis de serem libertadas.

O fato de ainda existir inconsistência no estudo deste comportamento de fogo durante a fase de transporte de partículas incandescentes, aliado a uma incerteza devido à complexidade dos fatores, leva-nos neste estudo a optar por uma abordagem diferente.

Segundo uma metodologia adotada por Cruz (2005), foi criado um guia de combustíveis da ADAI (Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial) que tem como objetivo fornecer, às entidades competentes, informação sobre o comportamento de fogo previsto de uma forma qualitativa (Figura 1.2), de forma a servir como ferramenta de formação.



Figura 1.2. Exemplo da estrutura do guia de combustíveis Cruz (2005).

Este guia de combustíveis é constituído pela atribuição de classes (herbáceas, matos, pinhais, eucaliptais, folhosas caducifólias e resíduos de exploração) estando divididas em subclasses conforme vários tipos de situações que se podem encontrar no terreno. A Figura 1.2 é representativa da subclasse “eucaliptal com subcoberto”, em que se pretende atribuir uma pontuação, numa escala de I a IV, à velocidade de propagação, intensidade do fogo, ignição nas copas e dificuldade de rescaldo para cada ambiente de fogo. Este tipo de classificação é feita de uma forma qualitativa, no entanto é resultado de uma observação das fotografias descritivas de cada classe, e de uma atribuição da classificação, de uma forma quantitativa, do perfil do complexo de combustível. Como resultado, este guia pretende possibilitar a comparação de uma situação real com as imagens apresentadas e com o perfil do complexo de combustível, podendo prever qual será o potencial de comportamento de fogo.

A abordagem pretendida neste estudo consiste em utilizar a metodologia de base proposta por Cruz (2005), para a criação de um guia que avalie o potencial de libertação de partículas incandescentes. Para o desenvolvimento deste guia, pretende-se aumentar o número de subclasses para a classe de eucaliptais, mantendo as restantes classes propostas por Cruz (2005). Estando este guia relacionado com os FS, irá conter uma pontuação, de forma qualitativa (I a IV), para um potencial de libertação de partículas num determinado ambiente de fogo. O potencial de ocorrência de FS será dividido em libertação de partículas, distância de projecção (curta, média e longa), ignição por partículas incandescentes e no rescaldo. A atribuição do potencial de ocorrência de FS para cada

classe resulta de uma observação das fotografias referentes a cada classe e de uma análise ao complexo combustível identificando numa determinada situação quais são as partículas que apresentam potencial de libertação associado ao perigo de libertação que essas partículas representam ao nível da superfície, transição e copa.

Resumindo, pretende-se com o presente estudo alargar esta classificação, acrescentando informação sobre o potencial de libertação de partículas (PLP), ou seja, recorrendo à mesma metodologia que Cruz (2005) utilizou, pretende-se associar determinados cenários florestais ao seu potencial de formação de focos secundários.

1.2. Enquadramento e objetivos

Os temas presentes neste estudo estão associados a situações de comportamento extremo de fogo, mais concretamente aos FC e aos FS. Inicialmente, o tema abordado tem como foco os fogos de copas, quer ao nível da transição de fogo de superfície, quer também na transição de fogo de copa para copa.

O elevado custo e a necessidade de existirem condições atmosféricas favoráveis à validação dos ensaios realizados no LEIF (laboratório de estudo dos incêndios florestais), faz com que os ensaios associados a incêndios florestais ocorram em alturas específicas do ano (época verão). Posto isto, para a elaboração deste capítulo, recorreu-se aos dados de ensaios realizados anteriormente, onde o autor não esteve presente, resultando como objetivo desse capítulo, o tratamento e a análise desses mesmos resultados laboratoriais.

Com a elaboração do terceiro capítulo, relativo aos FS, pretende-se criar um guia que permita avaliar a probabilidade de libertação de partículas incandescentes, tornando possível estimar qualitativamente a ocorrência de FS para povoamentos semelhantes aos descritos no guia. O desenvolvimento do guia ainda se encontra em fase de exploração, uma vez que a obtenção de valores foi feita por licitação de especialista recorrendo a uma amostra muito pouco vasta.

O tratamento dos dados relativos aos ensaios experimentais permite perceber as condições atmosféricas e de combustível que permitem que se verifiquem velocidades convectivas suficientes para uma transição de fogo de superfície para fogo de copa,

podendo então relacionar essas situações a um possível potencial de ocorrência de FS através da libertação, nesse local, de partículas incandescentes.

Resumindo, este documento será dividido em quatro partes, uma parte introdutória às temáticas discutidas, capítulo um, análise experimental relacionada com os fogos de copas, capítulo dois, elaboração do guia de avaliação do potencial de libertação de partículas incandescentes, capítulo três e por último nas respectivas conclusões. Assim, os objetivos pretendidos com este documento são:

- Análise da transição de fogo de superfície para fogo de copas:
 - o Decaimento de massa da árvore em combustão;
 - o Velocidade de escoamento convectiva e temperatura;
 - o Velocidade de propagação de fogo;
 - o Tipo de ignição;
- Análise da transição de fogo entre copas:
 - o Velocidade de escoamento convectivo e temperatura;
 - o Velocidade de propagação de fogo;
- Elaboração de um guia para avaliação do potencial de libertação de partículas incandescentes.

2. ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE TRANSIÇÃO DE FOGO

2.1. Ensaios de Queima de Árvores Isoladas

2.1.1. Metodologia

Neste estudo recorreu-se aos valores de ensaios realizados anteriormente, pelo fato do autor deste estudo não ter estado presente nos ensaios nem ter participado no desenvolvimento da metodologia de cálculo, pelo que apenas será incluída a metodologia sobre a qual o autor teve conhecimento.

Nesta sequência de ensaios, num total de 16, realizou-se um estudo relacionado com a propagação de fogo durante a queima de uma árvore de *Pinus pinaster* isolada, rodeada por um leito de combustível constituído por urze e carqueja. Para tal, foi utilizada uma mesa de queima de árvores (MQA) existente no LEIF (Laboratório de Estudos sobre Incêndios Florestais), com as determinadas características, 1,45 x 1,45 m (Figura 2.1).



Figura 2.1. Imagem ilustrativa da plataforma de ensaio

Na Figura 2.1, encontra-se a plataforma usada nos ensaios de queima de árvores isoladas, em que a árvore foi colocada no centro da mesa. A análise da perda de massa das árvores em combustão será feita com recurso a três células de carga posicionadas na parte inferior da mesa e para a análise da velocidade de propagação ao nível da superfície foram colocados sete fios paralelos entre si e entre a frente de chama inicial, distribuídos uniformemente pela mesa (espaçamento de 20 cm). Refere-se que este método apenas foi utilizado para uma ignição em avanço (Figura 2.2).

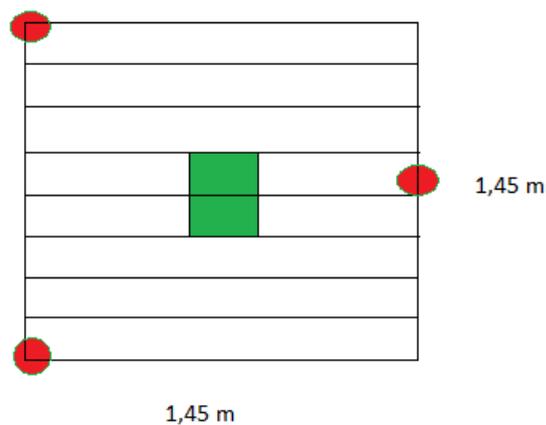


Figura 2.2. Imagem ilustrativa da plataforma de ensaio com a respetiva colocação dos fios, células de carga (vermelho) e árvore (verde)

Na realização dos ensaios utilizaram-se dois tipos de ignição, perimetral onde a ignição é feita através de um círculo à volta da árvore (Figura 2.3) e ignição em avanço, onde é feita através de uma linha coincidente com uma aresta da mesa (Figura 2.4).



Figura 2.3. Imagem ilustrativa de propagação de fogo com ignição perimetral



Figura 2.4. Imagem ilustrativa de propagação de fogo com ignição em avanço

O cálculo da velocidade de escoamento convectiva e o registo da temperatura ao longo do ensaio foram obtidos através da colocação de um tubo de *pitot* do tipo S e de um termopar do tipo K, suspensos a cerca de um metro do solo. A velocidade de escoamento convectiva resulta da diferença de pressão entre os dois terminais registada no tubo de *pitot*, que, com auxílio de uma ferramenta informática, cria uma diferença de voltagem, dado necessário para o cálculo desta velocidade convectiva.

De modo a simular o fator “vento” (velocidade de escoamento induzida) a MQA foi colocada no túnel de vento existente no LEIF para os ensaios MQA_13 a MQA_16. A designação dos ensaios de árvores isoladas será MQA seguido do número do respetivo ensaio.

2.1.2. Análise da perda de massa durante o ensaio

Um dos aspetos importantes neste estudo é verificar a influência de determinadas variáveis, na perda de massa, durante a propagação do fogo. O recurso a células de carga, permitiu o registo da evolução da massa durante o ensaio. Na Figura 2.5, Figura 2.6 e Figura 2.7, estão exemplificadas as curvas de perda de massa para os ensaios de queima de árvores isoladas.

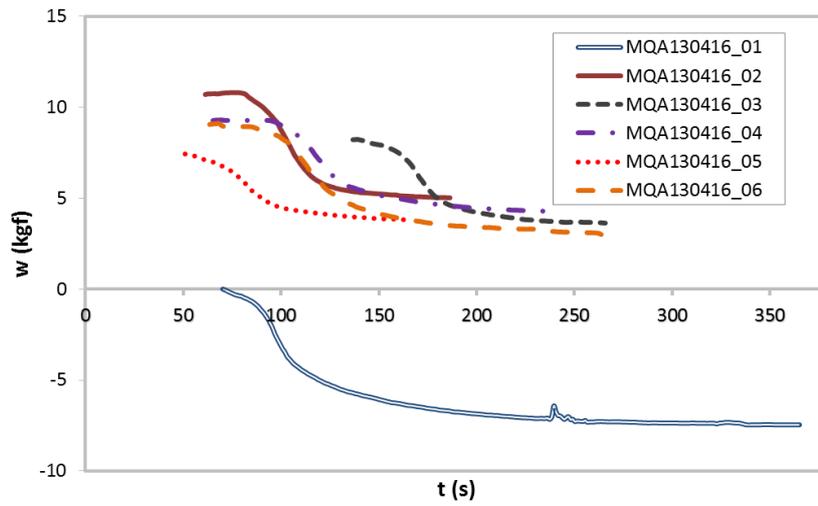


Figura 2.5. Curvas de perda de massa ao longo do tempo de ensaio (Ensaio MQA_01 até MQA_06)

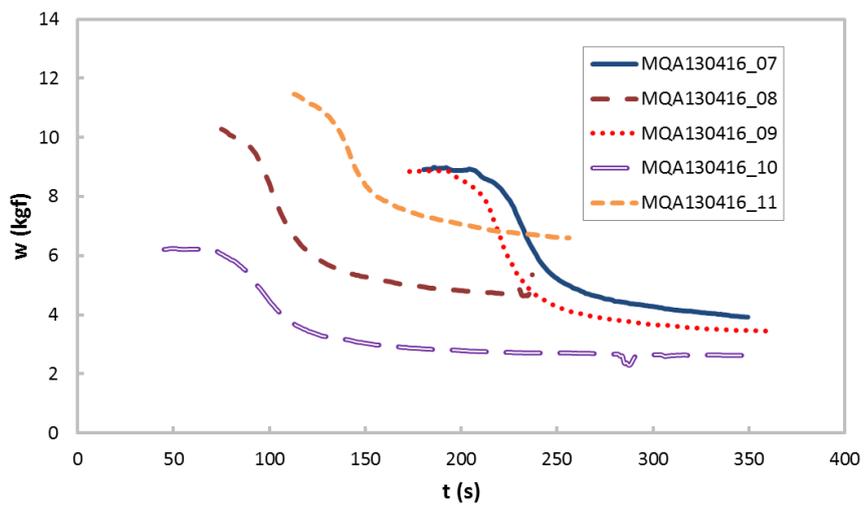


Figura 2.6. Curvas de perda de massa ao longo do tempo de ensaio (Ensaio MQA_07 até MQA_11)

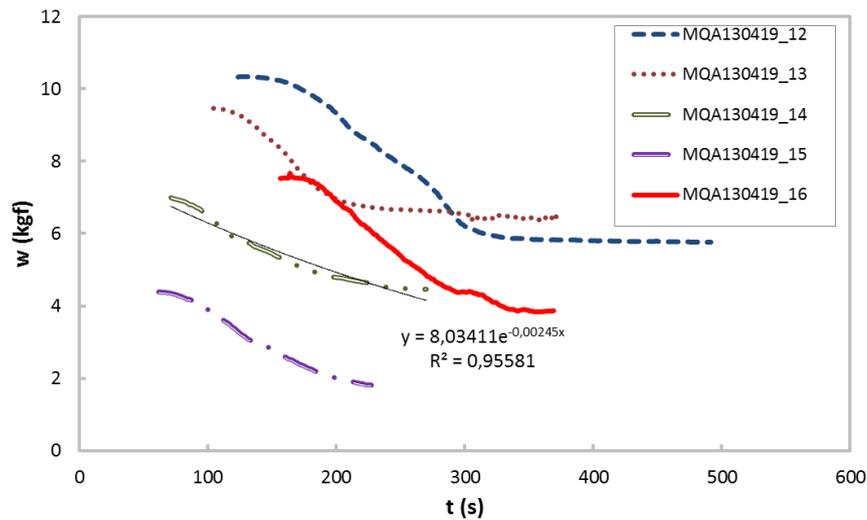


Figura 2.7. Curvas de perda de massa na queima de árvore isolada durante o ensaio (Ensaio MQA_12 até MQA_16)

Verifica-se que cada ensaio apresenta uma curva específica de perda de massa que segue uma lei exponencial. De acordo com Almeida *et al.* (2011) as curvas de perda de massa, na maior parte dos casos, podem ser representadas pela seguinte lei exponencial:

$$m = m_i * \exp(-Kt).$$

Em que, m representa a massa da partícula no instante t , e m_i representa a sua massa inicial. O coeficiente K representa a taxa de decaimento da massa da árvore durante a sua queima. Na Figura 2.7, aparece um exemplo da função de decaimento de massa obtida para os ensaios MQA_12 a MQA_16. (na Tabela 2.1 é feito um resumo dos valores de K obtidos para a generalidade dos ensaios).

Tabela 2.1. Valores de K e R^2 segundo a lei exponencial nos ensaios com árvores isoladas, de acordo com a ignição e velocidade induzida

	K	R^2	Ignição	U_i (m/s)
MQA130416_2	0,0078	0,873	Perimetral	0
MQA130416_3	0,00741	0,864	Perimetral	0
MQA130416_4	0,00566	0,895	Perimetral	0
MQA130417_5	0,00647	0,878	Perimetral	0
MQA130417_6	0,0063	0,876	Perimetral	0
MQA130417_7	0,00605	0,893	Perimetral	0
MQA130417_8	0,00471	0,779	Perimetral	0
MQA130417_9	0,0059	0,832	Perimetral	0
MQA130417_10	0,00285	0,71	Perimetral	0
MQA130419_11	0,00388	0,834	Perimetral	0
MQA130419_12	0,00197	0,866	Avanço	0
MQA130419_13	0,00147	0,789	Avanço	1
MQA130419_14	0,00245	0,956	Avanço	1
MQA130419_15	0,00611	0,993	Avanço	1
MQA130419_16	0,00385	0,976	Avanço	1,5

De acordo com a Tabela 2.1, existe um aumento evidente do coeficiente K nos ensaios realizados com ignição perimetral comparativamente aos realizados em avanço. Tal deve-se principalmente ao fato de, no momento inicial, o comprimento da frente da chama de ignição ser superior, sendo que os efeitos convectivos devido a este tipo de ignição também são superiores, resultando numa propagação mais rápida, à exceção dos ensaios MQA130417_10 e MQA130419_11, que devido à utilização de pinheiros com uma base de copa relativamente alta, dificultando a propagação de fogo para a copa. Nos

últimos cinco ensaios verificam-se valores inferiores de K, consequência de uma ignição em avanço. No entanto, em condições de velocidade de escoamento máximas ($U_i=1,5m.s^{-1}$), verifica-se um aumento no coeficiente K. É de notar que no ensaio MQA130419_15 existe uma grande diferença, comparando com ensaios realizados com o mesmo tipo de ignição (avanço). Isto deve-se à massa inicial do pinheiro ser muito inferior aos restantes ensaios (as condições iniciais dos ensaios serão apresentados na Tabela 0.1 do ANEXO A). O primeiro ensaio foi excluído deste estudo, pelo fato dos valores obtidos não permitirem encontrar uma aproximação exponencial satisfatória.

2.1.3. Análise da Velocidade e Temperatura na Propagação de Fogo

2.1.3.1. Análise da velocidade de propagação do fogo de superfície

Um dos aspetos de interesse neste estudo é analisar o comportamento da propagação de fogo ao nível da superfície. Para tal, foram colocados sete fios conforme descrito na metodologia, registando o momento da quebra desses fios (Figura 2.8). Este tipo de análise foi limitado aos ensaios com ignição em avanço.

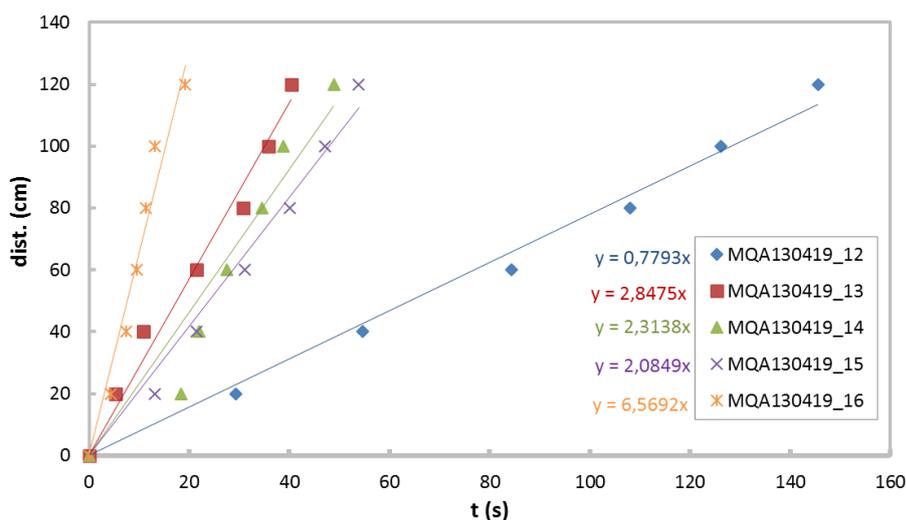


Figura 2.8. Registo do momento de rotura dos fios na propagação de fogo em avanço com árvores isoladas

Na Figura 2.8, estão representados os momentos em que se registou a quebra dos fios. A análise da velocidade de propagação será feita recorrendo a uma aproximação linear característica de cada ensaio. Foi considerado que todas as curvas têm origem no ponto (0,0) do referencial cartesiano.

De acordo com a Tabela 0.1, do ANEXO A, onde estão apresentadas as condições iniciais dos ensaios, verifica-se que os ensaios com ignição perimetral apresentam a mesma carga no leito de combustível pelo que na análise da Figura 2.8, verificando-se ausência do fator “vento” (ensaio MQA130419_12), é necessário um maior tempo para que ocorra a quebra dos fios, ou seja, neste ensaio a velocidade é consideravelmente inferior aos ensaios com “vento”. Em relação aos restantes ensaios na presença de “vento”, as velocidades de propagação são semelhantes, pelo que se conclui que, à medida que se aumenta o fator “vento”, aumenta também a velocidade de propagação ao nível da superfície.

2.1.3.2. Análise da Velocidade de escoamento convectivo e temperatura

O recurso a um tubo de *pitot* do tipo S e a um termopar do tipo K permite perceber de que forma os parâmetros U (velocidade de escoamento convectiva) e T (temperatura) evoluem ao longo do tempo de ensaio. Na Figura 2.9, está representado um exemplo dos resultados obtidos para a evolução de T e U.

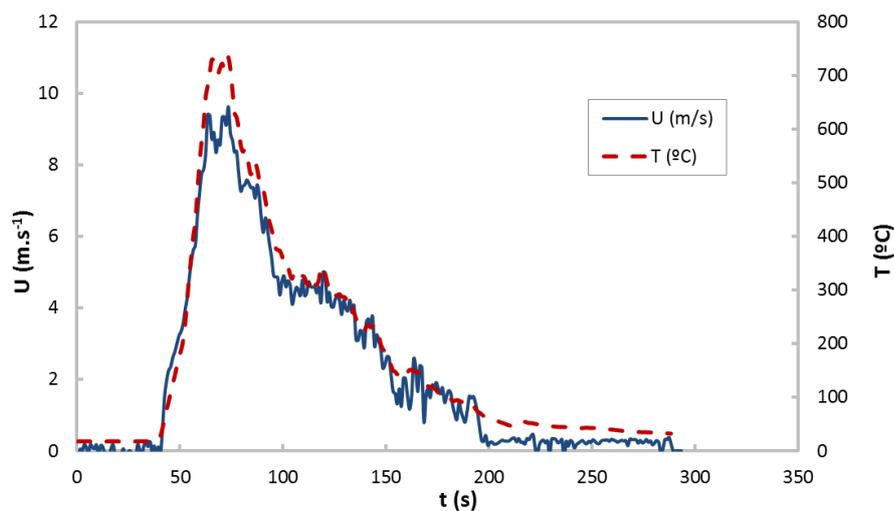


Figura 2.9. Evolução da Velocidade de Escoamento e Temperatura ao longo do tempo de ensaio, sem “vento” (ensaio MQA5)

Após ter sido efetuado o tratamento de dados para a maioria dos ensaios e para efeitos de comparação de resultados serão apresentados os resultados obtidos para o parâmetro U . Na Figura 2.10 (MQA_01, 02, 03 e 04) e Figura 2.11 (MQA_05, 06, 07, 10 e 11), constam os ensaios sem “vento” com ignição perimetral. Na Figura 2.12, estão representados os ensaios realizados em ignição de avanço (MQA_12, 14, 15 e 16). De notar que para os ensaios MQA_8, 9 e 13 não foi possível obter resultados para o parâmetro U devido a não apresentarem dados satisfatórios. Os registos da evolução da temperatura estão representados nas Figura 2.13, Figura 2.14 e Figura 2.15. Para o ensaio MQA_13 não foi possível obter o registo da temperatura.

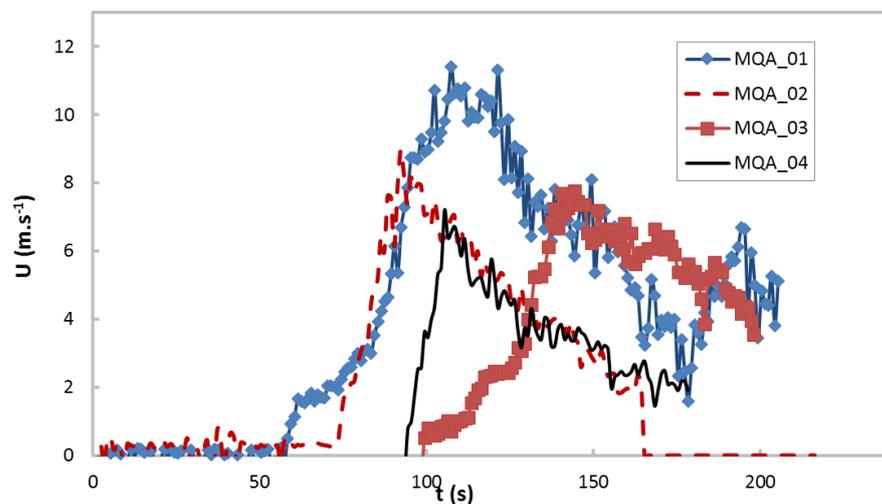


Figura 2.10. Evolução da Velocidade de Escoamento convectiva ao longo do tempo de ensaio (ensaios MQA_01, 02, 03, 04)

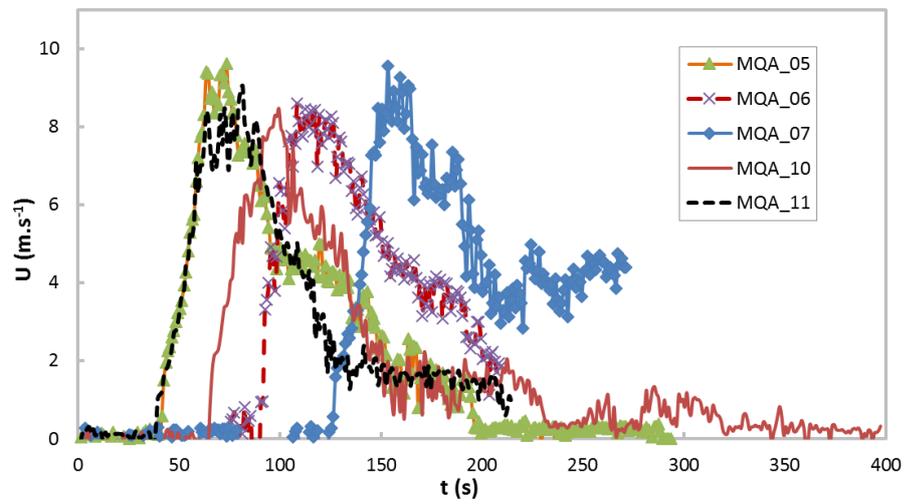


Figura 2.11. Evolução da Velocidade de Escoamento convectiva ao longo do tempo de ensaio (ensaios MQA_05, 06, 07, 10 e 11)

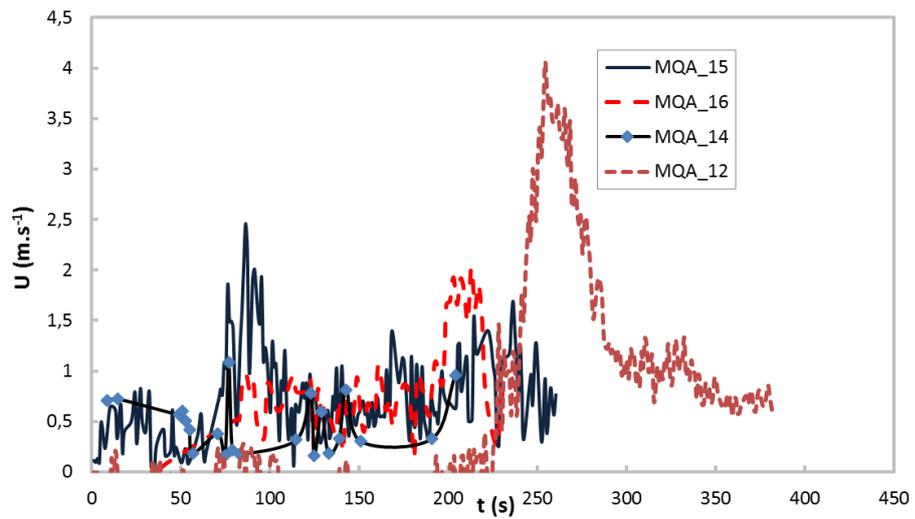


Figura 2.12. Evolução da Velocidade de Escoamento convectiva ao longo do tempo de ensaio (ensaios MQA16, 15, 14, 12)

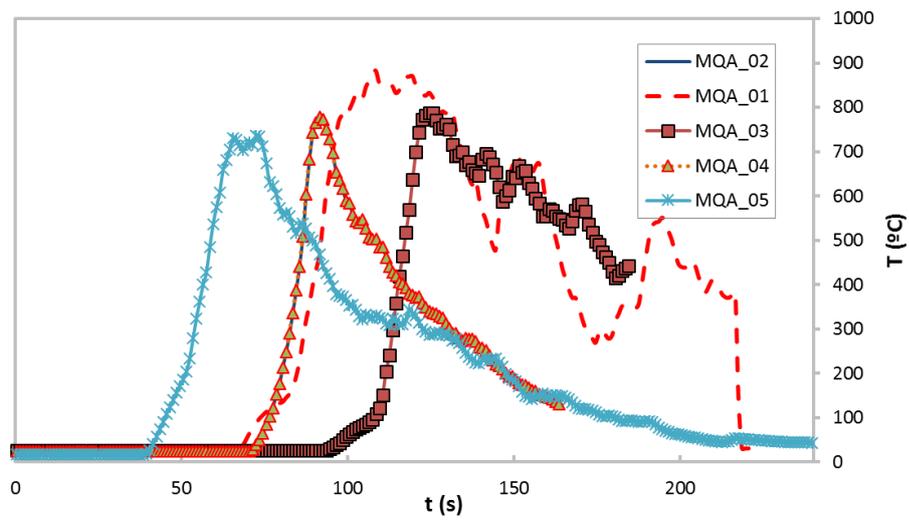


Figura 2.13. Evolução da temperatura ao longo do tempo de ensaio (ensaios MQA_01, 02, 03, 04 e 05)

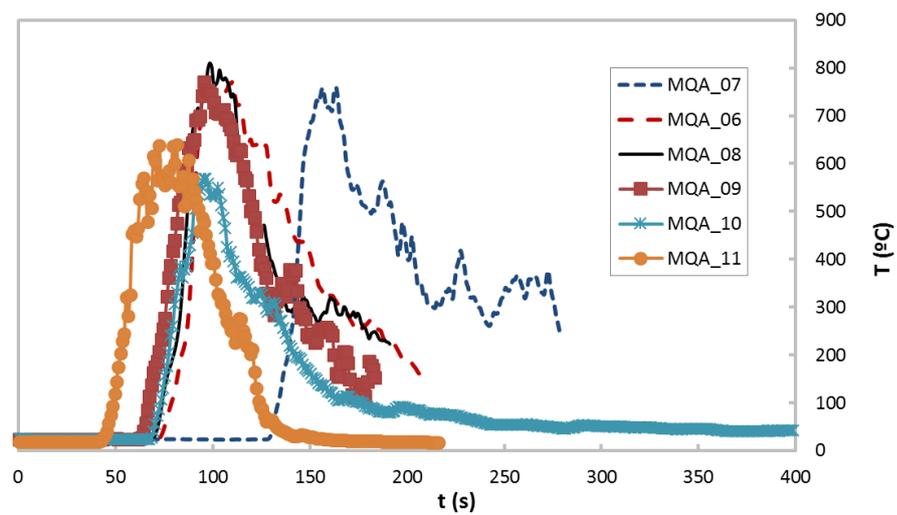


Figura 2.14. Evolução da temperatura ao longo do tempo de ensaio (ensaios MQA_07, 08, 09, 10 e 11)

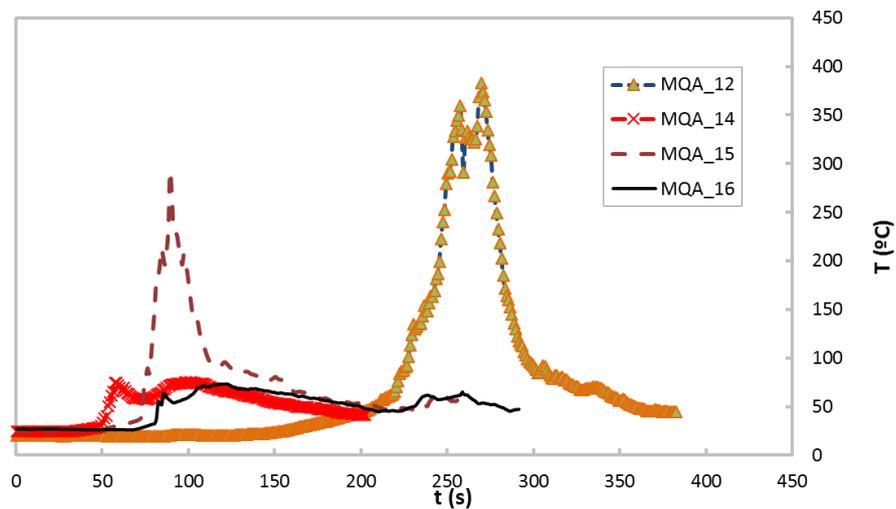


Figura 2.15. Evolução da temperatura ao longo do tempo de ensaio (ensaios MQA16, 15, 14, 12)

Os resultados obtidos permitem concluir que, de um modo geral, na queima de uma árvore isolada, o tipo de ignição utilizada condiciona fortemente os valores máximos tanto para o parâmetro U como para T. Verifica-se que, quando é utilizada uma ignição perimetral, obtêm-se valores superiores para estes parâmetros quando comparada com a ignição em avanço. De acordo com as condições iniciais dos ensaios apresentadas na Tabela 0.1, do ANEXO A, o ensaio MQA_01 foi o único em que se variou significativamente a carga do leito de combustível, concluindo-se que, para ensaios com o mesmo tipo de ignição e as mesmas condições de “vento” existe um ligeiro aumento dos valores máximos dos parâmetros (U e T) analisados, o que explica que um aumento da carga de combustível no leito conduz a um aumento destes parâmetros. Nos ensaios MQA_05 e 06 registou-se um aumento significativo da humidade relativa para valores próximos de 60%, no entanto, os resultados obtidos não permitem identificar uma evidente relação com os parâmetros analisados.

Nos ensaios MQA_14, 15 e 16 foi introduzido a variável “vento”, o que aliado a uma ignição em avanço, resultou numa inclinação da frente de chama revelando uma propagação de fogo praticamente à superfície, o que reduzindo-se significativamente os valores máximos dos parâmetros analisados. O ensaio MQA_15, para as mesmas condições, apresenta valores ligeiramente superiores, devido à árvore utilizada no ensaio possuir uma altura inferior às árvores utilizadas nos restantes ensaios, fato que possibilitou a transição de fogo para a copa. Na ausência de vento, e com uma ignição em avanço, os parâmetros analisados revelam valores superiores aos ensaios que utilizam o mesmo tipo

de ignição, sendo que ainda consideravelmente inferiores aos ensaios de ignição perimetral.

2.2. Ensaios de Queima de Aglomerados de Árvores

2.2.1. Metodologia

Da mesma forma que nos ensaios de queima de árvores isoladas, o autor deste estudo também não esteve presente durante a realização dos ensaios de queima de aglomerados de árvores.

Foram realizados quatro ensaios com a designação FC3QA (fogo de copas 3 queima de árvores) seguido do número do respetivo ensaio. Os ensaios foram realizados no LEIF, mais concretamente no túnel de vento. Para cada ensaio recorreu-se a um conjunto de dez árvores *Pinus pinaster* (designação de A até J), com uma distribuição representada na Figura 2.16, onde também estão apresentadas as dimensões características do túnel de vento.

A velocidade de propagação nestes ensaios tem importância ao nível da superfície, mas também ao nível das copas pelo que, analogamente aos ensaios MQA, utilizou-se a metodologia dos fios, com três fios ao nível da superfície paralelos entre si e com a frente de chama inicial (ignição em avanço) e nove fios localizados ao nível das copas das árvores com a mesma orientação. Para a análise da perda de massa recorreu-se a um registo da diferença entre a massa inicial e final de cada árvore em cada ensaio. Recorreu-se a dois tubos de *Pitot* do tipo S e a dois termopares do tipo K, situados a uma altura de 1,75m, permitindo retirar informação sobre a velocidade de escoamento/temperatura durante a queima das árvores (Figura 2.17).

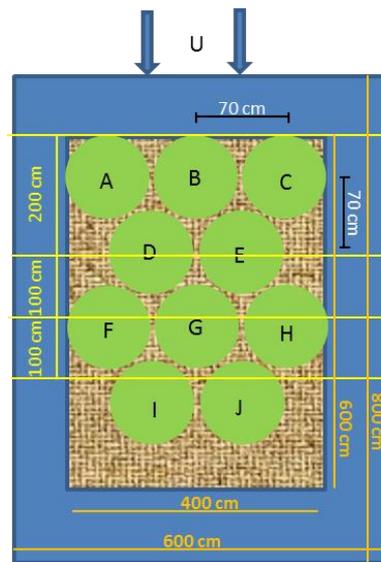


Figura 2.16. Imagem ilustrativa da localização das árvores (círculos com designação de A a J) e dos fios (Linhas amarelas) no túnel de vento



Figura 2.17. Imagem ilustrativa da plataforma de ensaio com um conjunto de árvores no túnel de vento

2.2.2. Análise de perda de massa

Esta análise baseou-se na medição da diferença entre a massa inicial e final de cada árvore após o ensaio de queima (Figura 2.18). A massa inicial do conjunto de árvores foi variada em cada ensaio, sofrendo um aumento consecutivo desde o ensaio FC3QA1 até FC3QA2 (Tabela 2.2). As condições presentes no laboratório, tanto de humidade relativa como de temperatura, mantiveram-se muito semelhantes nos quatro ensaios realizados,

pelos efeitos destes fatores nos ensaios será praticamente constante. As condições iniciais dos ensaios serão apresentadas na Tabela 0.2 do ANEXO A.

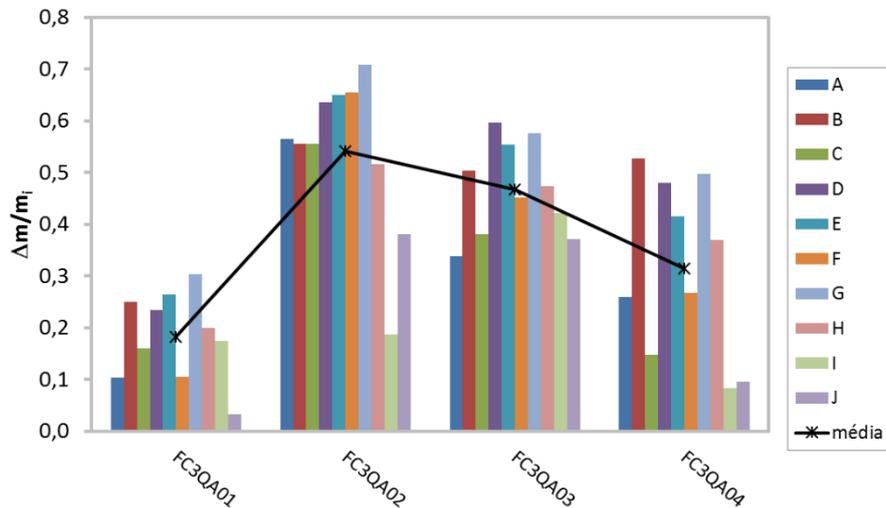


Figura 2.18. Gráfico da perda de massa média relativa de um conjunto de árvores nos ensaios FC3QA (árvores com designação de A a J de acordo com a Figura 2.16)

Tabela 2.2. Valores da massa inicial total para cada ensaio.

	Massa total conjunta
FC3QA1	28,10
FC3QA2	28,65
FC3QA3	35,59
FC3QA4	59,10

Na Figura 2.18, verifica-se uma perda de massa média inferior nos ensaios FC3QA1 e FC3QA4 relativamente aos restantes, principalmente pelo fato de terem sido realizados em condições de velocidade de escoamento induzido (“vento”) nula, embora no ensaio FC3QA4 seja ligeiramente superior, devido a uma maior carga no leito de combustível ($W=1,5 \text{ Kg.m}^{-2}$), favorecendo assim a propagação de fogo para as copas das árvores, contrariamente ao primeiro ensaio em que ocorreu um fogo de superfície predominante.

Após a análise da Figura 2.18, conclui-se que o fator “vento” aliado a uma maior carga no leito de combustível, representam as condições mais favoráveis para que ocorra a propagação de fogo para as copas, assim como a passagem de fogo de copa para copa, revelando uma perda de massa superior (ensaio FC3QA2).

2.2.3. Análise da Velocidade e Temperatura na Propagação de Fogo

2.2.3.1. Análise da velocidade de propagação do fogo de superfície e de copa

A propagação de fogo neste conjunto de ensaios assume um papel importante quer ao nível do solo, quer nas copas das árvores. Para tal, recorreu-se ao registo do momento em que ocorria a quebra desses fios (Figura 2.19). As condições iniciais de “vento” e carga no leito de combustível estão apresentados na Tabela 2.3. De modo a poder representar a rapidez de propagação, recorreu-se à utilização de uma aproximação linear com origem no ponto (0,0) do referencial cartesiano (Tabela 2.4).

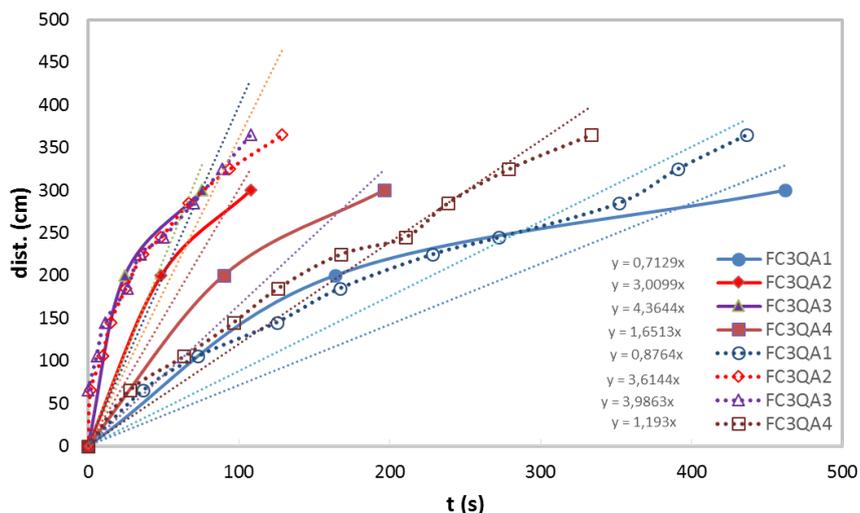


Figura 2.19. Evolução Registo do momento de rotura dos fios nos ensaios de conjunto de árvores (fios de superfície com linha descontinua e fios de copa linha contínua)

Tabela 2.3. Valores de “vento” e carga no leito de combustível em cada ensaio de conjunto de árvores

	U [m/s]	W [Kg/m ²]
FC3QA1	0	1
FC3QA2	1	2
FC3QA3	1	1,5
FC3QA4	0	1,5

Tabela 2.4. Valores para o declive (aproximação linear) das rectas correspondentes à **Figura 2.19**

	Declive (superfície)	Declive (copa)
FC3QA1	0,713	0,88
FC3QA2	3,01	3,61
FC3QA3	4,36	3,99
FC3QA4	1,65	1,19

Na análise da Figura 2.19 e da Tabela 2.4, verifica-se que nos ensaios FC3QA2 e FC3QA3, as curvas relativas à quebra dos fios, tanto na superfície como nas copas das árvores, apresentam um declive (velocidade de propagação) mais acentuado comparativamente aos restantes ensaios, fato que se deve às condições iniciais destes ensaios, os únicos que apresentam presença de “vento”. O aumento do declive quer ao nível da superfície, quer da copa do ensaio FC3QA2 para o ensaio FC3QA3, deve-se a um aumento considerável da massa inicial total (Tabela 2.2).

No primeiro ensaio a propagação de fogo ocorreu de uma forma lenta, com baixa velocidade de propagação, devido à inexistência de escoamento induzido, aumentando assim o tempo necessário para a quebra dos fios. No ensaio FC3QA4, apesar da inexistência de “vento”, um aumento da massa inicial aliado a uma maior carga possibilitou um declive mais acentuado, relativamente ao primeiro ensaio (Tabela 2.4).

2.2.3.2. Análise da Velocidade e Temperatura de escoamento

Dos dados recolhidos a partir dos dois tubos de *Pitot*, (Pitot2 e Pitot3) obtiveram-se os respetivos valores para a velocidade de escoamento (Figura 2.22 e Figura 2.23). Através dos dois termopares (termopar1 e termopar2) obtiveram-se os registos de temperatura ao longo dos ensaios. Nas Figura 2.20 e Figura 2.21 encontram-se registados os valores obtidos pelos termopares para os respetivos ensaios.

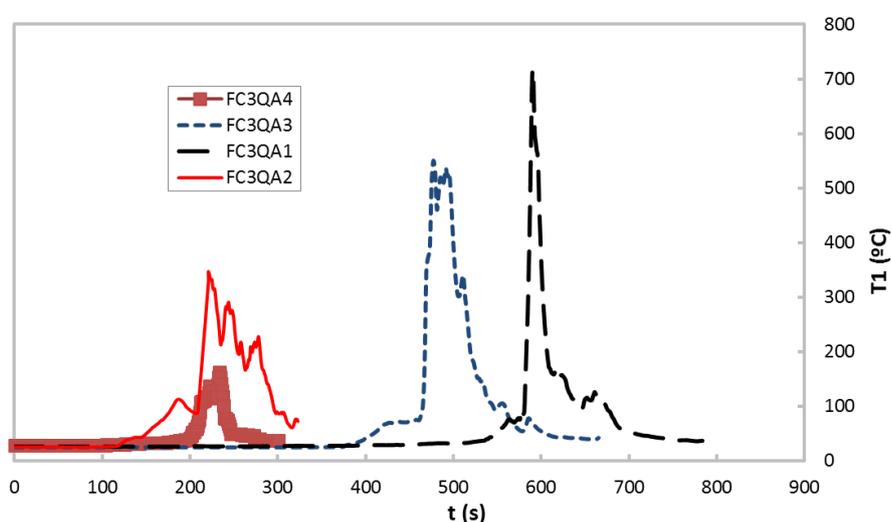


Figura 2.20. Gráfico que demonstra a evolução da temperatura (termopar 1) ao longo dos ensaios

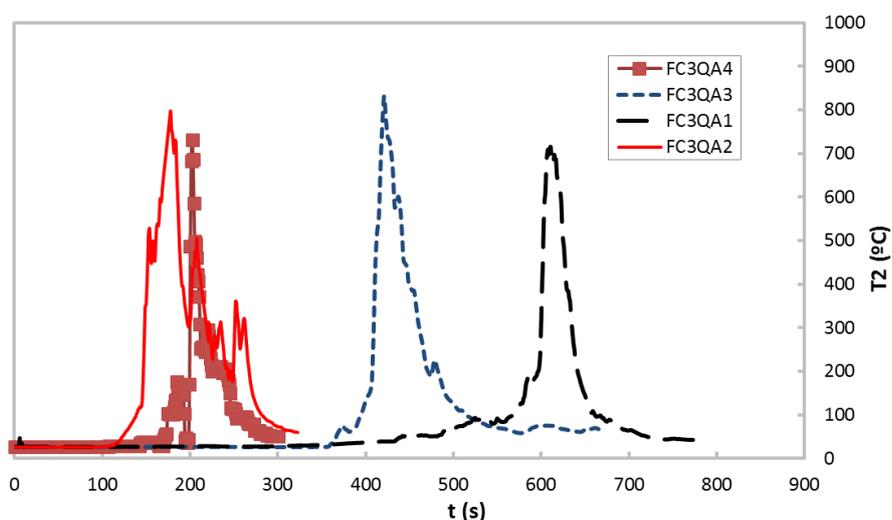


Figura 2.21. Gráfico que demonstra a evolução da temperatura (termopar 2) ao longo dos ensaios

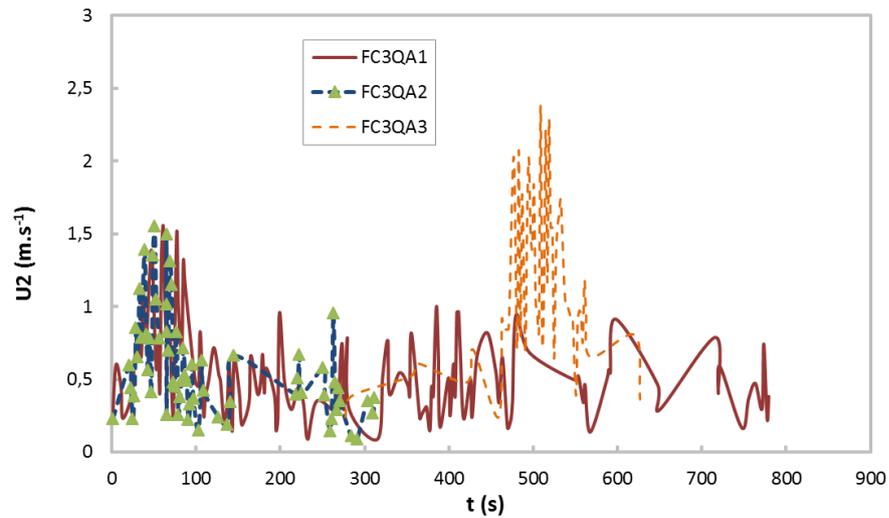


Figura 2.22. Gráfico que demonstra a evolução da velocidade de escoamento convectiva (pitot 2) ao longo dos ensaios

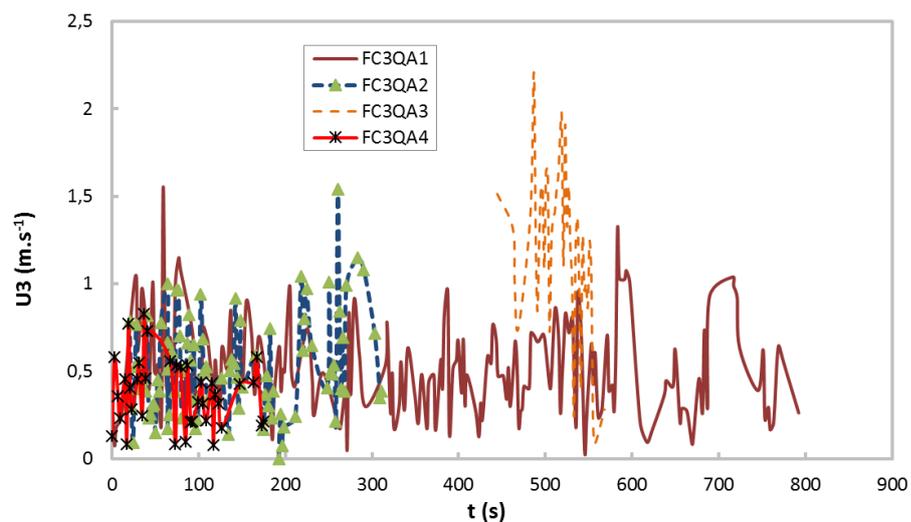


Figura 2.23. Gráfico que demonstra a evolução da velocidade de escoamento convectiva (pitot 3) ao longo dos ensaios

Da análise dos resultados obtidos para os parâmetros U e T, no ensaio FC3QA1, verifica-se que é necessário um maior tempo para que o primeiro *pitot* (pitot 2) registre um aumento da temperatura, o que reflete a forma lenta com que ocorreu a propagação de fogo, fato que se deve principalmente à ausência de “vento” e a uma carga no leito de combustível inferior aos restantes ensaios. Os resultados obtidos para a velocidade de escoamento, revelam que este parâmetro evoluiu de forma considerada

constante, apenas com o registo de alguns “picos” de velocidade na parte final do ensaio, que coincide com o “pico” registado pelos termopares, podendo ser explicada pela eventual transição momentânea para as copas das árvores.

No ensaio FC3QA2, no que diz respeito à evolução da temperatura ao longo do ensaio, registou-se um claro aumento do termopar 1 para o segundo termopar. Neste ensaio houve a introdução da variável “vento”, o que resultou numa forte inclinação da frente de chama, verificando-se um comportamento de fogo superficial predominante. Quando a frente de chama ganha consistência ocorre a transição de fogo de superfície para fogo de copa, fato que faz aumentar consideravelmente a temperatura no termopar 2. Da mesma forma, pode-se verificar nas figuras relativas à velocidade convectiva (Figura 2.22 e Figura 2.23) que os valores registados são mais constantes no *pitot* 2.

No ensaio FC3QA3, registou-se, analogamente ao FC3QA2, um aumento da temperatura do termopar 1 para o 2, embora de forma menos acentuada o que pode ser explicado pelo grande aumento da massa inicial total no terceiro ensaio, comparada aos dois primeiros ensaios, contribuindo para uma propagação mais consistente de fogo para as copas, desde o início do ensaio.

Em relação ao ensaio FC3QA4, por dificuldades na recolha dos dados, não foi possível obter o registo da evolução da velocidade de escoamento em todo o ensaio. No entanto, para o parâmetro T, registaram-se valores muito próximos, mas ligeiramente inferiores, aos valores obtidos para o ensaio FC3QA2, o que em condições de ausência de vento, nos leva a concluir que o fator predominante está relacionado com a massa inicial total, que neste caso é superior a todos os ensaios anteriores.

3. GUIA DE AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE LIBERTAÇÃO DE PARTÍCULAS INCANDESCENTES

3.1. Introdução

No seguimento do estudo desenvolvido pela ADAI (Cruz, 2005) foi criado um guia de combustíveis que tem como objetivo analisar o comportamento de fogo para determinadas formações de combustíveis, representando uma alternativa viável e de baixo custo (Figura 3.1) comparativamente aos modelos simuladores criados baseados em programas informáticos, para o mesmo efeito, como por exemplo Tarifa *et al.* (1965). O recurso a este tipo de programas torna necessário o conhecimento de uma forma quantitativa dos fatores que influenciam um determinado tema. Por exemplo, para a criação de um modelo simulador com o objetivo de estudar a probabilidade de ignição de um leito de combustível, é necessário conhecer fatores como a humidade do leito, tamanho das partículas, estado de combustão das partículas, condições atmosféricas (vento e humidade relativa) assim como a carga do combustível (Viegas, 2012), condições que dificultam e encarecem este tipo de metodologia.

A grande quantidade de informação necessária e os métodos utilizados para obter uma descrição do complexo de combustível, a incluir no respetivo programa informático, apresentam custos consideravelmente altos, pelo que, como alternativa surge esta diferente metodologia (guia de combustíveis) como uma forma de avaliar qualitativamente diferentes parâmetros, com a vantagem de, a baixo custo, fornecer a informação necessária para a descrição de um complexo de combustível, podendo ser utilizada como valores de entrada (input) para a criação dos programas informáticos de previsão de comportamento de fogo. Neste estudo pretende-se utilizar o guia de combustíveis de Cruz (2005), como metodologia de base, tornando possível a criação de uma metodologia que, mais tarde, deverá ser desenvolvida, recorrendo à realização de ensaios, a “expert elicitation”, ou a ambos, com o objetivo de direcionar a informação nele contida para a problemática do potencial de libertação de partículas capazes de originar focos secundários (FS).

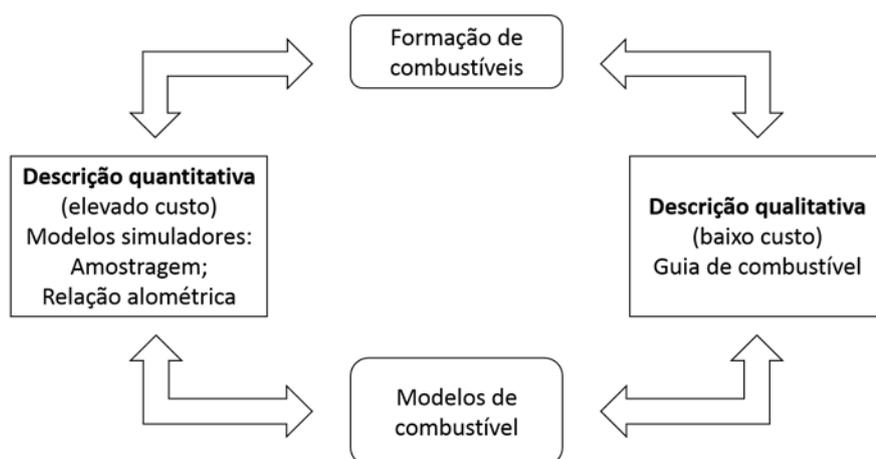


Figura 3.1. Esquema representativo das diferentes metodologias para a obtenção de um modelo de combustível

3.2. Motivação e utilização do guia

Para além do potencial uso em ferramentas informáticas, como fornecimento de dados que podem servir de “inputs” para a criação dos respetivos modelos de simulação, este tipo de guia pode também assumir um carácter formativo, direcionado à formação dos bombeiros envolvidos diretamente no combate dos incêndios, que se deparam com as mais variadas situações no terreno. Nesta perspetiva este guia apresenta-se como um meio de identificação dessas situações e tem como objetivo ser capaz de alertar para situações que possam apresentar um potencial elevado de risco para quem se encontre perante cenários idênticos. Para além disso, este guia irá também possibilitar um meio de comunicação entre os atores envolvidos no combate e as entidades responsáveis pela tomada de decisões. Uma leitura e comunicação correta da parte dos agentes operacionais, seguida da correta compreensão/leitura por parte dos comandos, pode realmente conferir a este guia a possibilidade de apoiar e influenciar decisões de organização e opções táticas no combate aos incêndios. O procedimento proposto para a leitura destes tipos de guias de combustíveis comporta as seguintes fases:

1. Identificação do complexo combustível existente no local, quer a nível das espécies de árvores existentes, como também do combustível de superfície;
2. Análise das fotografias existentes no guia, com o intuito de procurar semelhanças entre o cenário a avaliar e uma das fotografias do guia;

3. Conhecimento do potencial comportamento de fogo, na sequência da relação entre o cenário que se apresenta com uma das fotografias do guia, no que diz respeito à ocorrência de FS.

3.3. Desenvolvimento do guia

O guia desenvolvido por Cruz (2005) tinha como ponto de interesse, o estudo do potencial de comportamento de fogo, ou seja obter uma relação entre situações reais e as descritas no guia através de fotografias, podendo assim estimar os parâmetros como velocidade de propagação, intensidade de frente, ignição no copado e dificuldade de rescaldo focando-se na frente de fogo. A presente extensão do guia está direcionada para a temática dos FS. O desenvolvimento deste guia estará concentrado na região centro de Portugal Continental. Analogamente ao guia já existente, é necessário identificar os respetivos combustíveis presentes nesta região, tendo como objetivo complementar as formações de combustíveis já existentes no guia com outras situações. Para tal, foram identificadas situações de cenários florestais que não constavam no guia inicial resultando na introdução de novas subclasses relacionadas com os eucaliptais (Eucaliptal novo, jovem e adulto), com situações mais detalhadas dentro dessas subclasses. A inclusão de novos cenários prende-se com o fato das classes existentes no guia inicial não serem suficientemente detalhadas, ressaltando-se que, para além da classe dos eucaliptais, todas as outras classes permanecem iguais ao guia inicial, podendo mais tarde ser estudadas em detalhe. Fatores como a idade, tratamentos silviculturais, e estrutura do complexo do leito de combustível, foram importantes para a tomada de decisão de detalhar a classe dos eucaliptais. A classificação adotada será a seguinte:

- Herbáceas (HER-01)
- Arbustos
 - o Arbustos com altura média inferior a 0,5 m (MAT-01)
 - o Arbustos com altura média entre 0,5 e 1,5 m (MAT-02)
 - o Arbustos com altura média superior a 1,5 m (MAT-03)
- Pinhal
 - o Pinhal jovem, denso, não sujeito a tratamentos silviculturais (PPIN-02)

- o Pinhal sem subcoberto arbustivo (PPIN-03)
 - o Pinhal com subcoberto arbustivo (PPIN-04)
 - o Pinhal adulto (PPIN-05)
- Eucaliptal
 - o Eucaliptal jovem (EUC-01)
 - Eucaliptal novo com subcoberto arbustivo (EUC-011)
 - Eucaliptal novo sem subcoberto arbustivo (EUC-012)
 - Eucaliptal novo resultante da seleção de toiças (EUC-013)
 - Eucaliptal novo após incêndio (EUC-014)
 - Eucaliptal seminovo sem subcoberto arbustivo (EUC-015)
 - Eucaliptal seminovo com subcoberto arbustivo (EUC-016)
 - o Eucaliptal Adulto (EUC-02)
 - Eucaliptal adulto sem subcoberto arbustivo (EUC-021)
 - Eucaliptal adulto com subcoberto arbustivo (EUC-022)
 - Eucaliptal adulto com subcoberto diversificado e denso (EUC-023)
 - o Eucaliptal/resíduos de seleção de toiças (EUC-04)
- Folhosas caducifólias (FOLC-01)
- Resíduos de exploração (RESE-01)

3.4. Descrição das formações de combustível

Neste guia para FS, no sentido da descrição dos combustíveis presentes em cada situação, é necessário obter informação sobre qual o tipo e a idade das árvores existentes no local, e os diferentes tipos e a concentração dos combustíveis que ocupam a estratificação vertical, desde a superfície até à copa. Foram adotadas 6 classes de formação de combustíveis: herbáceas, arbustos, pinhal, eucaliptal, folhosas caducifólias e resíduos de exploração tal como no guia Cruz (2005), resultando em algumas delas as respetivas subclasses.

3.4.1. HER-01 - Herbáceas

As características deste tipo de combustível baseiam-se na presença de finos mortos. Por norma, verificam-se velocidades de propagação altas e grande probabilidade

de ignição, quando a humidade do combustível é relativamente baixa, traduzindo uma possível ocorrência de FS por aumento da velocidade de propagação (mecanismo de foco secundário). No entanto, quando se verificam velocidades de escoamento convectivo muito altas (condições extremas), existe um aumento do potencial de libertação de partículas com a possibilidade de as projeções atingirem maiores distâncias.

3.4.2. MAT-01 - Arbustos com altura média inferior a 0,5 m

Nesta formação de combustíveis verifica-se a presença, em maiores quantidades, de arbustos com altura inferior a 0,5 m podendo-se observar a presença, com uma carga reduzida, de finos mortos. É de esperar neste tipo de combustíveis uma fácil ignição através de projeções de partículas, assim como também a libertação das mesmas devido a representar uma zona aberta com poucos obstáculos fazendo-se sentir, em pleno, a velocidade de escoamento.

3.4.3. MAT-02 - Arbustos com altura média entre 0,5 e 1,3 m

Formação de combustíveis com o mesmo tipo de combustível que a classe MAT-01, verificando-se, como principal diferença, a presença de um mato (arbustos/finos mortos) com uma altura superior, influenciando as velocidades de escoamento convectivo sentidas nesses locais, resultando num maior potencial de libertação de partículas incandescentes capazes de originar FS.

3.4.4. MAT-03 - Arbustos com altura média superior a 1,3 m

Das três categorias relativas à presença de mato, esta é a que apresenta arbustos com a altura superior. Normalmente verifica-se nestas zonas um combate ineficaz por parte dos bombeiros (Cruz, 2005), uma vez que associado a uma elevada carga de combustíveis é a categoria que apresenta uma maior concentração de partículas que apresentem potencial de libertação.

3.4.5. PPIN-02 - Pinhal jovem não desbastado

Nesta formação de combustíveis verifica-se uma deposição de combustível ao longo da estratificação da árvore, desde a superfície até à copa. Este fato revela uma forte possibilidade de uma propagação contínua para as copas, aumentando assim o potencial de

libertação de partículas incandescentes a partir dessas copas. Para além disso existe uma grande deposição de combustíveis (caruma e camada arbustiva) no solo, situação que após passagem de uma frente de fogo nessa zona, pode representar condição suficiente para que partículas continuem incandescentes, aumentando assim o potencial para que ocorram reacendimentos por projeções dessas partículas.

3.4.6. PPIN-03 – Pinhal sem subcoberto arbustivo

Apresenta um potencial de ocorrência de reacendimentos por FS muito inferior à PPIN-02, devido ao fato de no solo existir uma reduzida/moderada carga de combustível, mais concretamente caruma. São situações que revelam um potencial reduzido de ignição no copado, com exceção de situações de comportamento extremo de fogo. Normalmente quando se verifica uma grande densidade de árvores, estas funcionam como obstáculos, dificultando o transporte, para uma zona afastada, de partículas incandescentes reduzindo o potencial de ocorrência de FS, moderado quando existe um comportamento extremo de fogo.

3.4.7. PPIN-04 – Pinhal com subcoberto arbustivo

Situação que apresenta um potencial de comportamento de fogo entre as classes PPIN-02 e 03, no que diz respeito à projeção de partículas, devido à presença de combustível arbustivo no solo, tornando possível uma deposição de folhado sobre a camada arbustiva, representando um grande potencial de libertação dessas partículas, assim como em condições extremas de fogo existir uma libertação a partir da própria camada arbustiva, podendo originar fogos de copas seguido de um possível foco secundário.

3.4.8. PPIN-05 – Pinhal adulto

Formação de combustível que apresenta uma carga de combustível de superfície muito reduzida, dificultando a transição de fogo para as copas. No entanto, em condições extremas de fogo, existe um potencial de transição para a copa, embora moderado, quando associado a velocidades convectivas fracas/moderadas revela um potencial de libertação de partículas reduzido.

3.4.9. EUC-011 - Eucaliptal novo com subcoberto arbustivo

Esta formação de combustível enquadra-se na classe de eucaliptal jovem, sendo que se considera como novo tendo uma idade entre 1 e 3 anos. Devido à idade do eucaliptal, é de esperar que a folhada depositada no solo ainda não tenha uma carga considerável, pelo que se verifica ao nível da superfície uma presença dominante, mas com uma carga moderada, de outras espécies (pinheiros novos), assim como uma camada arbustiva, funcionando como filtro à pouca folhada existente no solo. Este combustível de superfície pode dar origem a forças convectivas moderadas, resultando num potencial reduzido de libertação de partículas, moderado em situações extremas de fogo, ou seja, um potencial muito reduzido de ocorrência de FS a longas distâncias.

3.4.10. EUC-012 - Eucaliptal novo sem subcoberto arbustivo

Esta situação é semelhante à descrita na subclasse EUC-011, no que diz respeito à idade, humidade da folhada e das cascas, assim como à sua deposição no solo. A principal diferença consiste na inexistência de um subcoberto arbustivo, o que reduz significativamente as forças convectivas sentidas durante um incêndio, dificultando a transição de fogo para as copas, mas facilitando a libertação da pouca folhada existente na superfície, verificando-se uma possibilidade de ocorrência de FS por salto de poucos metros, aumentando a velocidade de propagação.

3.4.11. EUC-013 - Eucaliptal novo resultante da seleção de toijas

Uma das práticas recorrentes nos eucaliptais é o corte. Por norma são estabelecidas idades para esses cortes. Após o corte existe a formação de rebentos na base do eucalipto dando origem ao crescimento de varas. Num eucaliptal novo (inferior a 3 anos), já se verifica um grande crescimento dessas varas, assim como da folhada em cada vara, originando uma elevada concentração de combustível próxima da superfície. Se existir uma limpeza dos resíduos resultantes do corte, verifica-se uma redução muito significativa das partículas passíveis de serem libertadas. No entanto, este cenário é caracterizado por um espaçamento considerável entre os eucaliptos, que associado a velocidades convectivas moderadas/altas, facilita a libertação de partículas originando um potencial de FS moderado a médias/longas distâncias.

3.4.12. EUC-014 - Eucaliptal novo após incêndio

Esta situação provém da formação de varas após o crescimento dos rebentos resultantes da passagem de um incêndio no eucaliptal. É uma zona que apresenta um crescimento mais lento ao verificado na subclasse EUC-013, pelo que existe a formação de um subcoberto constituído por finos vivos, a acompanhar o crescimento do eucalipto. A passagem do fogo por aquela zona eliminou praticamente todas as partículas existentes no solo com potencial de libertação, pelo que é uma zona que irá apresentar um potencial de FS inferior ao verificado na subclasse EUC-013.

3.4.13. EUC-015 - Eucaliptal seminovo sem subcoberto arbustivo

A subclasse de um eucaliptal seminovo está enquadrada na classe de eucaliptal jovem, variando a idade varia entre os 3 e os 6 anos. Uma das características desta classe é a fraca existência de uma camada arbustiva ao nível da superfície, pelo que é de esperar que em eucaliptais com esta gama de idades já se verifique uma deposição considerável de cascas e folhado na superfície. Estas partículas podem contribuir para a formação de FS, mais concretamente através do aumento da velocidade de propagação (FS por salto de poucos metros) e da projeção a curtas distâncias, devido a estar associado a estas zonas, velocidades convectivas moderadas.

3.4.14. EUC-016 - Eucaliptal seminovo com subcoberto arbustivo

Esta formação de combustível apresenta características semelhantes à subclasse EUC-015, no entanto com presença de subcoberto arbustivo. Nestas situações, a presença da camada arbustiva irá funcionar como filtro às partículas depositadas na parte inferior dessa camada, pelo que o maior perigo para a ocorrência de FS encontra-se situado nas copas dos eucaliptos. Deve ter-se em atenção que em situações extremas, a própria camada arbustiva pode libertar partículas incandescentes. Assim, é de esperar que em situações de ambiente de fogo extremas, onde se verificam velocidades convectivas altas e dependendo das condições meteorológicas nesse instante, exista uma transição de fogo para as copas podendo provocar focos secundários a curtas/médias distâncias.

3.4.15. EUC-021 - Eucaliptal adulto sem subcoberto arbustivo

Esta classe apresenta eucaliptos com uma idade superior a 6 anos, em que não apresentam uma camada arbustiva. Todavia, a grande deposição de material seco (cascas, folhas e ramos) no leito de combustível, ao longo do tronco e na copa da árvore, revela um grande potencial de transição de fogo para as copas, com um grande potencial de libertação de partículas incandescentes, no entanto inferior a situações em que se verifique presença de subcoberto. As partículas com potencial de libertação localizadas no solo podem dar origem a FS preferencial sobre a direção horizontal.

3.4.16. EUC-022 - Eucaliptal adulto com subcoberto arbustivo

Esta classe é caracterizada por apresentar uma idade avançada, normalmente superior a 6 anos, estando enquadrada na classe de eucaliptal adulto. Ao contrário das subclasses anteriores, verifica-se uma grande carga de combustível ao nível da superfície, transição e copa. Geralmente, são zonas que apresentam na superfície um conjunto de folhado, cascas e camada arbustiva capaz de provocar velocidades convectivas muito altas. Desta forma a presença de uma grande carga de combustível na transição aumenta significativamente quer a transição de fogo de superfície para fogo de copas, como também o potencial de ignição na copa através das projeções de partículas. Caso o fogo se propague às copas dos eucaliptos, é certo que a elevada carga de combustível, proporciona um elevado potencial de ocorrência de FS, que em condições meteorológicas favoráveis, podem atingir longas distâncias. Resumindo, são situações com um elevado potencial de FS porque as projeções tanto podem ter origem nos combustíveis de superfície, de transição, como nas copas.

3.4.17. EUC-023 - Eucaliptal adulto com subcoberto diversificado e denso

Nesta formação de combustíveis a estratificação vertical do eucalipto é bastante semelhante à situação descrita na subclasse EUC-022, ainda que, na subclasse anterior exista um domínio de uma subcamada arbustiva na superfície. Neste caso, verificamos que não existe um claro domínio de uma espécie resultando numa enorme diversidade de combustível com diferentes alturas. Esta grande concentração faz com que o único modo de propagação por FS seja através das partículas incandescentes

provenientes das copas, mas com um aumento de potencial de ignição ao nível da superfície.

3.4.18. EUC-04 - Eucaliptal/resíduos de seleção de toiças

Este tipo de formações de combustível tem como origem as operações de seleção de toiças. Na verdade, após o corte, regra geral, não se verifica uma limpeza da zona, resultando uma acentuada acumulação de resíduos ao nível da superfície. Assim a grande carga de combustível de superfície contribui para um aumento das velocidades convectivas, ainda que esses resíduos por serem geralmente constituídos por ramos cortados, dificulta a libertação de partículas. Verificando-se que apenas a folhada e as cascas presentes irão representar potencial de libertação. Esta zona assume assim um moderado/elevado potencial de libertação de partículas do solo, com uma grande probabilidade de ocorrência de fogos de copas devido às forças convectivas, dando origem a um potencial elevado de FS até longas distâncias.

3.4.19. FOLC-01 – Folhosas caducifólias

Tipicamente, este tipo de formação de combustíveis é constituída por exemplo de carvalhos, pelo que a presença de combustível no solo normalmente resume-se a uma camada de deposição de folhada compacta, conferindo a estas zonas uma intensidade de fogo reduzida, dificultando assim a libertação de partículas.

3.4.20. RESE-01 – Resíduos de exploração

Este tipo de situações deve-se aos efeitos das operações silviculturais, caracterizada por uma grande carga de combustíveis de superfície, fato que confere velocidades convectivas e de propagação elevadas. No entanto, face à altura no solo dos resíduos não se verifica uma elevação considerável das partículas incandescentes, pelo que a propagação de fogo por FS ocorre preferencialmente sobre a direção horizontal.

3.5. Caracterização do complexo de combustível

Para cada classe, o tipo e a quantidade de combustível ao longo de cada estrato vertical será diferente. Isto faz com que a cada classe corresponda um potencial de libertação de partículas específico.

Pediu-se que os inquiridos (“expert elicitation”) atribuíssem um valor, numa escala de 0 a 10, para a carga de combustível na superfície, transição e copa, como também ao nível do potencial de risco de libertação de partículas, que cada situação representa.

$$\textit{resultado (superfície, transição e copa)} = \textit{carga de comb. (0 a 10)} * \textit{potencial de risco de libertação.}$$

Após ter sido obtido o valor para o resultado, é possível estimar, de forma qualitativa, a capacidade de provocar FS na continuidade vertical, assim como distinguir cada classe com um determinado nível de potencial de ocorrência de FS (exemplo no ANEXO B). Para esta caracterização, são propostos os seguintes níveis para a probabilidade de libertação de partículas em cada estrato:

- Inexistente (resultado igual a 0);
- Baixa (resultado entre 1 e 20);
- Moderada (resultado entre 21 e 40);
- Elevada (resultado entre 41 e 60);
- Muito elevada (resultado entre 61 e 100);

3.6. Caracterização do potencial de libertação de partículas

Com esta caracterização pretende-se obter uma representação de várias situações que se podem verificar no decorrer de um incêndio florestal, mais concretamente quando existe a possibilidade de ocorrer libertação, transporte e ignição de partículas. Irão ser consideradas três situações de ambiente de fogo descritas no guia de combustíveis (Cruz, 2005), ambiente de fogo baixo, médio e alto, estando representadas as condições que os definem na Tabela 3.1. Segundo E. Koo *et al* (2010) em situações de velocidades de escoamento elevadas e em condições de humidade relativa baixa, verifica-se um aumento da probabilidade de ocorrência de focos secundários (FS), estando estas variáveis diretamente ligadas, quer à possibilidade das partículas incandescentes atingirem maiores distâncias de transporte, quer devido aos combustíveis se encontrarem mais secos devido a uma baixa humidade relativa, aumentando assim o potencial de ignição nesses locais. No entanto, foi descrito em várias publicações de Viegas (2005 e 2013), a existência de um fator declive, que mesmo na ausência de velocidade de escoamento (“vento”) e de condições atmosféricas favoráveis, é condição suficiente para que se verifique um aumento repentino na intensidade de fogo. A relação entre o declive do terreno e o ambiente de fogo é descrito por Viegas (2011) no livro intitulado Incêndios Florestais (Figura 3.2).

Tabela 3.1. Características dos ambientes de fogo descritos no guia Cruz, 2005

Ambiente de fogo	Teor de humidade dos combustíveis (%)				Velocidade de escoamento (Km/h)	Declive (°)
	Finos mortos	Médios mortos	Grossos mortos	Finos vivos		
Baixo	12	13	14	130	0	0
Médio	6	7	8	100	5	Até 30
Alto	3	4	5	85	10	>30

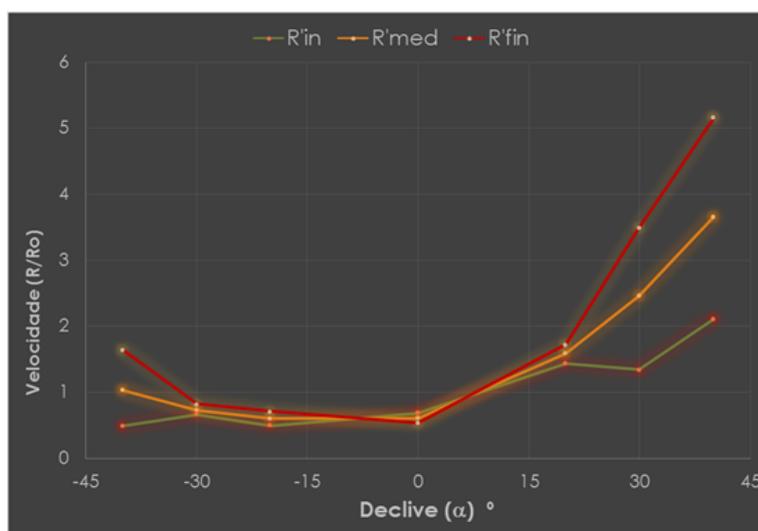


Figura 3.2. Gráfico representativo da relação do declive do terreno com a velocidade de escoamento convectiva (Viegas, 2011)

A classificação obtida para a avaliação do potencial de libertação de partículas baseou-se na metodologia de opinião de especialista (“expert elicitation”). O número de inquéritos realizados é bastante diminuto, visto que apenas foram inquiridas duas pessoas, nomeadamente os orientadores desta dissertação de mestrado. Pretende-se que, no futuro, esta avaliação seja estendida a mais especialistas e que haja suporte dos valores atribuídos, quer através de ensaios laboratoriais ou de campo, quer por observação de casos reais. Portanto, foi proposto a atribuição a cada classe um nível qualitativo para um potencial de libertação de partículas, em diferentes situações ambientais. De acordo com Cruz (2005) citando Salazar (1985), Alexander (2000), Fernandes (2003) a respetiva classificação qualitativa pode ser compreendida em quatro níveis: (I) baixo, (II) moderado, (III) alto, (IV) extremo, sendo acrescentada no presente guia o nível (-) inexistente para situações em que os níveis acima referidos não se apliquem. Assim, recorreu-se a esta metodologia para analisar os seguintes parâmetros de potencial de libertação de partículas presentes neste guia de combustíveis:

- Libertação de partículas;
- Distância de projeção (curta, média, longa);
- Potencial de ignição por partículas incandescentes (superfície e copa);
- Potencial de ocorrência de FS durante o rescaldo;

No que diz respeito ao parâmetro relacionado com a libertação de partículas, a análise qualitativa para cada ambiente de fogo será feita de acordo com a caracterização do

complexo combustível, onde é estimada uma probabilidade de libertação de partículas. Relativamente à distância de projeção, foi tida em conta a exposição de um povoamento à volta do seu perímetro, assim como a capacidade das situações descritas apresentar uma carga de combustíveis suficientes para provocar tanto fogos de copas como fogos secundários.

Para o potencial de ignição, o ponto mais importante é o combustível presente, ou seja, o tipo e o estado do combustível assim como a constituição do leito de combustível (Viegas, 2012). Para a análise do último parâmetro, ou seja, potencial de ocorrência de FS durante o rescaldo, é de esperar que esse potencial seja superior para situações de grande relação superfície/volume do leito de combustível.

Um dos aspetos que se pode observar nas zonas descritas no guia, tem a ver com o fato de, na maior parte dos casos, num determinado povoamento, existir uma parte mais central, correspondendo ao interior do povoamento, e uma zona que delimita esse povoamento (orla). O potencial de libertação de partículas nessas duas zonas irá ser diferente, visto que na orla de um povoamento, verifica-se uma turbulência do escoamento que facilita a libertação de partículas e o seu transporte imediato após a libertação. Então, para cada parâmetro considerado será feita uma análise de potencial de libertação de partículas no centro e orla de um povoamento (Figura 3.3). Nas classes HER-01, MAT-01, MAT-02, MAT-03 E RESE-01 esta distinção não se aplica pelo fato de serem zonas exclusivamente de combustível de superfície, dando origem a que o comportamento de fogo, no interior e na orla, seja semelhante.



Figura 3.3. Imagens ilustrativas do interior de um povoamento (esquerda) e da orla (direita)

3.6.1. Interpretação das classes de potencial de libertação de partículas:

I. Probabilidade baixa de libertação de partículas, característica de velocidades convectivas reduzidas;

II. Probabilidade moderada de libertação de partículas, situação caracterizada por velocidades convectivas moderadas;

III. Probabilidade de libertação de partículas com potencial de ocorrência de focos secundários a curtas/médias distâncias, caracterizada por ocorrência de velocidades convectivas elevadas;

IV. Situações com um potencial elevado de perigo, caracterizadas por uma probabilidade muito elevada de libertação de partículas capazes de originar focos secundários até longas distâncias, verificando-se velocidades convectivas extremas;

3.6.2. Interpretação das classes de potencial de distância de projeção (curta, média e longa):

I. Probabilidade baixa de projeção de partículas incandescentes;

II. Probabilidade moderada de projeção de partículas incandescentes;

III. Probabilidade elevada de projeção de partículas incandescentes;

IV. Probabilidade extrema de projeção de partículas incandescentes;

3.6.3. Interpretação das classes de potencial de ignição na superfície:

I. Probabilidade reduzida de potencial de ignição devido a uma presença incipiente de combustível no solo;

II. Probabilidade moderada de potencial de ignição, uma vez que, embora exista presença de combustível, a ignição no solo é dificultada por uma grande estratificação vertical de combustíveis no conjunto de árvores;

III. Elevada probabilidade da ocorrência de ignição por projeções de partículas, quando se encontram reunidas condições de fraca densidade na estratificação e uma grande carga de combustível de superfície;

IV. Zona com grande potencial de perigo em situações de focos secundários, caracterizada por uma exposição total ou com uma densidade na estratificação praticamente inexistente, aliado à presença de combustíveis de superfície;

3.6.4. Interpretação das classes de potencial de ignição na copa:

I. Probabilidade reduzida devido a uma fraca densidade do copado das árvores.

II. Probabilidade moderada de ignição, caracterizada por uma densidade da copa moderada.

III. Probabilidade elevada de ignição devido a uma forte densidade do copado, mas sem apresentar estratificação na direção vertical ao longo das árvores.

IV. Probabilidade muito elevada de ignição no copado das árvores, situação que se deve à presença de uma grande densidade da estratificação das árvores, funcionando como filtros às partículas incandescentes, retendo-as.

3.6.5. Interpretação das classes de potencial de ocorrência de FS durante o rescaldo:

I. Probabilidade muito reduzida de FS no perímetro da área ardida, devido a uma concentração incipiente de partículas incandescentes com potencial de libertação após a passagem;

II. Possibilidade de ocorrência de FS, devido à presença de uma concentração moderada de partículas incandescentes, após a passagem de fogo;

III. Grande probabilidade de FS para situações, com grande concentração de partículas incandescentes após a passagem do fogo;

IV. Máxima probabilidade de ocorrência de FS durante o rescaldo, quando se verificam condições meteorológicas e concentração de partículas incandescentes favoráveis à projeção de partículas em zonas com grande exposição da superfície;

3.7. Modelos de combustível e classificação de incêndios florestais

No presente guia foi considerado um leque variado de situações, com diferentes espécies presentes, portanto à semelhança de Cruz (2005), recorreu-se aos modelos estandardizados NFFL descritos por Anderson (1982) e à classificação de incêndios florestais (DGF, 2001) para obter a respetiva correspondência com as classes presentes neste guia e os respetivos modelos. Posto isto a correspondência proposta está

descrita na Tabela 3.2, sendo que não foi obtida correspondência para as classes que não estejam referidas nessa tabela.

Tabela 3.2. Tabela descritiva da correspondência entre os modelos de combustível (Anderson, 1982) e a classificação de incêndios florestais (DGF, 2001)

Modelos de combustíveis estandardizados	1	4	5	6	8	9	12
Modelos de combustível do guia de FS	HER-01	MAT-03	PPIN-02	PPIN-03	FOLC-01; EUC-011; EUC-012	PPIN-05; EUC-015; EUC-016	RESE-01; EUC-04
Classificação de incêndios florestais	1131	1131	1111	1111	1118; 1114	1111; 1114	1114

3.8. Estrutura do guia desenvolvido

No guia fotográfico apresentado no ANEXO B estão descritas, numa série de 20 fichas, informações relativas à descrição visual do complexo de combustível (fotografias) e à caracterização do complexo de combustível e do potencial de ocorrência de FS em forma de tabelas (Figura 3.4). A designação das fichas apresenta-se da seguinte forma:

NOME DA ESPÉCIE – 0 (número relativo à classe) (número relativo à subclasse)

Neste caso EUC-011, corresponde à subclasse 1 (eucaliptal novo) enquadrada na classe 01 (eucaliptal jovem)



Descrição visual

	Probabilidade de libertação de partículas	Partículas com potencial para provocar FS
Superfície	Moderada	Herbáceas; outras espécies (pinheiros novos); folhas
Transição	Inexistente	-
Copa	Baixa	Folhas

Caracterização do complexo de combustível

Potencial para ocorrência de FS							
Ambiente de fogo	Libertação de partículas	Distância de projeção			Ignição por partículas		Durante o rescaldo
		Curta	Média	Longa	Superfície	Copa	
Baixo	I	II	I	I	I	I	I
Médio	I / II	II	II	I	II	I	I
Alto	II / III	III	II	I	II	II	II

Potencial de ocorrência de FS

Figura 3.4. Imagens ilustrativas de uma ficha existente no guia de FS

4. CONCLUSÕES

A realização deste estudo permitiu um aprofundar conhecimento sobre determinados fenómenos de comportamento extremo de fogo, mais concretamente os fogos de copas e os focos secundários. A existência de instalações devidamente equipadas para a realização de ensaios (LEIF), permitiu a realização dos ensaios apresentados, ainda que fortemente condicionados pelas condições atmosféricas, não tendo sido possível realizar um maior número de ensaios.

Apesar disso, através dos ensaios realizados foi possível dar resposta aos objetivos previamente estabelecidos neste estudo, relacionados com a temática dos fogos de copas. Foram realizados 16 ensaios, com a queima de uma árvore isolada. Devido à evidente dificuldade em encontrar árvores, com uma massa semelhante a análise e comparação de resultados, torna-se mais difícil obter uma reprodutibilidade dos ensaios. Para cada ensaio, variou-se a velocidade de escoamento, carga de combustível e o tipo de ignição. Verificou-se que a utilização de uma ignição perimetral permite a obtenção de valores de velocidades convectivas e temperaturas superiores às obtidas com uma ignição de avanço, assim como um aumento da taxa de perda de massa. A presença de escoamento induzido nos ensaios condicionou a velocidade de propagação, revelando uma proporcionalidade direta entre os dois fatores.

No que diz respeito aos quatro ensaios com um conjunto de árvores, variou-se a velocidade de escoamento induzido, a carga de combustível e a massa inicial do conjunto de árvores. Estes ensaios permitiram verificar que a velocidade de escoamento induzida assume uma grande relevância no que diz respeito à velocidade de propagação. Na ausência de escoamento induzido, o fator mais importante no aumento da velocidade propagação é a carga de combustível presente no leito. Foram registados valores máximos de velocidade convectiva, temperatura e perda de massa média relativa em situações de presença de vento em conjunto com uma maior carga de combustível.

Com este estudo, no que diz respeito aos focos secundários pretendeu-se a criação de um guia com o objetivo de atribuir a diferentes cenários florestais da zona centro de Portugal Continental um potencial para a ocorrência de FS. A espécie, a carga do

leito de combustível, o tipo de combustível presente, a idade e a exposição verificadas em cada cenário condicionam fortemente o potencial de ocorrência de FS. A análise destes parâmetros, em conjunto com o ambiente de fogo, tornou possível estimar o potencial de FS que cada situação apresenta. Sugere-se para a continuidade deste estudo, a análise das partículas libertadas nas situações descritas no guia, aumentando a abrangência deste guia com a criação de novas classes de combustível, assim como alargando o número de inquéritos da “expert elicitation”. Sendo os fenómenos de comportamento extremo de fogo complexos, seria interessante o alargamento deste tipo de guia aos outros comportamentos de fogo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albini, F. A. (1985). Wildland fire spread by radiation—a model including fuel cooling by natural convection. *Combustion Science and Technology* 45,101.
- Albini F (1979) ‘Spot Fire Distances From Burning Trees – A Predictive Model.’ USDA Forest Service General Technical Report INT-56. (Missoula, MT).
- Alexander, M.E. (2000). Fire behaviour as a factor in forest and rural fire suppression. *For. Res., Rotorua in association with New Zealand Fire Serv. Comm. and Natl. Rural Fire Authority, Wellington, NZ. For.Res. Bull. No. 197, For. Rural Fire Sci. Technol. Ser. Rep. No. 5. 28 p.*
- Almeida M, Viegas DX, Miranda AI, Reva V (2011) Effect of particle orientation and flow velocity on the combustibility of *Pinus pinaster* and *Eucalyptus globulus* firebrand material. *International Journal of Wildland Fire* 20, 946–962.
- Anderson, H.E. (1982). Aids to determining fuel models for estimating fire behaviour. USDA For. Serv. Res. Pap. INT-122, Intermountain For. and Range Exp. Stn., Ogden Utah, 22 p
- Byram, G. M. (1959). Combustion of forest fuels. Pages 61-89 In: Davis, K. P., editor. *Forest fire: control and use*. New York, NY: McGraw-Hill
- Carvalho, Josefa Buxo e Lopes, José Pedro (2001)– *Classificação de incêndios florestais. Manual do utilizador. Direção-Geral das Florestas, Lisboa, 2001.*
- Cruz, M.G. (2005). *Guia fotográfico para identificação de combustíveis florestais – Região Centro de Portugal. Centro de Estudos sobre Incêndios Florestais - ADAI, Coimbra. 38 p..*
- Eunmo Koo, Rodman R. Linn, Patrick J. Pagni and Carleton B. Edminster (2012). Modelling firebrand transport in wildfires using HIGRAD/FIRETEC in *International Journal of Wildland Fire* 2012, 21, 396–417.
- Fernandes, P.M. (2003). A avaliação do comportamento do fogo no combate a incêndios florestais. *Revista da Escola Nacional de Bombeiros, 27:18-25.*
- Ferreira-Leite, Flora; Bento-Gonçalves, António J; Lourenço, Luciano; Úbeda, Xavier; Vieira, António. (2013). " Grandes Incêndios Florestais em Portugal Continental como Resultado das Perturbações nos Regimes de Fogo no Mundo Mediterrâneo", *Silva Lusitana* 21, Especial: 127 - 142.
- Himoto, K. and Tanaka, T. (2005). Transport Of Disk-shaped Firebrands In A Turbulent Boundary Layer. *Fire Safety Science* 8: 433-444.
- Koo E, Pagni PJ, Weise DR, Woycheese JP (2010) Firebrands and spotting ignitions in large-scale fires. *International Journal of Wildland Fire* 19, 818–843.
- K. E. Ruckstuhl, E. A. Johnson and K. Miyanishi - The boreal forest and global change [consult.2 Setembro. 2014] Disponível na

- WWW:URL:<http://rstb.royalsocietypublishing.org/content/363/1501.cover-expansion>
- Lee, S.L. and J.M. Hellman (1969). Study of firebrand trajectories in a turbulent swirling natural convection plume. *J. Combustion Flame*, 13: 645-655.
- Manzello SL, Maranghides A, Mell WE (2007) Firebrand Generation from Burning Vegetation. *International Journal of Wildland Fire*, 16, 458-462.
- Muraszew A, Fedele JB, Kuby WC (1976) Investigation of fire whirls and firebrands. The Aerospace Corporation, Aerospace Report ATR-76(7509)-1. (El Segundo, CA)
- Rothermel, R.C. (1991). Predicting behavior and size of crown fires in the Northern Rocky Mountains. *USDA For. Servo Res. Pap. INT -4 38*.
- Rothermel, R.C. (1972). A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. *USDA For. Servo Res. Pap. INT -1 15..*
- Rothermel, Richard C. (1983). How to predict the spread and intensity of forest and range fires. *Gen. Tech. Rep. INT-143*. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 161 p.
- Salazar, L.A. (1985). Sensitivity of fire behavior simulations to fuel model variations. *USDA Forest Service Research Pap. PSW-178*, Pacific Southwest For. and Range Exp. Station, Berkeley, CA. 11 p.
- Scott, Joe H.; Reinhardt, Elizabeth D. (2001). Assessing crown fire potential by linking models of surface and crown fire behavior. *Res. Pap. RMRS-RP-29*. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 59 p.
- Stocks, Brian J.; Alexander, Martin E.; Wotton, B. Mike; Stefner, C. N.; Flannigan, Michael D.; Taylor, Stephen W.; Lavoie, N.; Mason, J. A.; Hartley, G. R.; Maffey, M. E.; Dalrymple, George N.; Blake, T. W.; Cruz, Miguel G.; Lanoville, Rick A. (2006). Erratum: crown fire behaviour in a northern jack pine-black spruce forest. *Canadian Journal of Forest Research* 36(8):2063-2063
- Tarifa CS, Del Notario PP, Moreno FG (1965) On the flight paths and lifetimes of burning particles of wood. In 'Tenth Symposium (International) on Combustion', 17-21 August 1964, Cambridge, UK. pp. 1021-1037 (The Combustion Institute)
- USDA Forest Service - Northwest Crown Fire Experiment [consult. 2 Setembro. 2014] Disponível na
- WWW:URL:http://en.wikipedia.org/wiki/Wildfire#mediaviewer/File:Northwest_Crown_Fire_Experiment.png
- Viegas DX (2005) A Mathematical Model for Forest Fires Blowup. *Combustion Science and Technology* 177:1-25
- Viegas, D.X. (2006), "Modelação do Comportamento do Fogo", Em: Pereira, J.S., Pereira, J.M.N, Rego, F.C., Silva, J.M.N. & Silva, T.P (eds.), *Incêndios florestais em Portugal*, Lisboa, Tipografia Lousanense, 14, 287-325.
- Viegas, D. X; Ribeiro, Luis M; Rossa, C.. (2011). *Incêndios Florestais*. ed. 1, ISBN: 978-989-642-139-7. Lisboa, Portugal: Verlag Dashofer.
- Viegas, Domingos X; Raposo, Jorge R. N; Almeida, M.. (2012a). "Experimental Forest

- Fire Research", Trabalho apresentado em ICEM 15. 15th Int. Conf. on Experimental Mechanics, In Proceedings of 15th Int. Conf. on Experimental Mechanics, Porto.
- Viegas, D. X; Almeida, M.; Raposo, J.; Oliveira, R.; Viegas, C. X. (2012b). "Ignition of Mediterranean Fuel Beds by Several Types of Firebrands", *Fire Technology*, 47: 303 - 320.
- Viegas, Domingos; Raposo, Jorge; Figueiredo, António. (2013). "Preliminary Analysis of Slope and Fuel Bed Effect on Jump Behavior in Forest Fires", *Procedia Engineering* 62, 1: 1032 - 1039.
- Werth, Paul A.; Potter, Brian E.; Clements, Craig B.; Finney, Mark A.; Goodrick, Scott L.; Alexander, Martin E.; Cruz, Miguel G.; Forthofer, Jason A.; McAllister, Sara S., Synthesis of knowledge of extreme fire behavior: volume I for fire managers. . Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-854. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 144 p.
- Woycheese JP, Pagni PJ, Liepmann D (1999) Brand propagation from large-scale fires. *Journal of Fire Protection Engineering* 10, 32–44.

ANEXO A

CARACTERÍSTICAS GERAIS														
Refer.	Hora	Condições				Leito de urze e carqueja			Árvores pinheiro					
		T (°C)	HR (%)	U (m/s)	Ignição	W (kg/m ²)	FMC (%)	β (kg/m ³)	m _i (kg)	H _T (cm)	H _{BC} (cm)	Ø (cm)	FMC _N (%)	FMC _{SB} (%)
MQA130416_1	13:45	26,7	40	0	perimetral	2,0	13,3	8,0	6,00	320	70	80	37,4	27,0
MQA130416_2	14:45	26	40	0	perimetral	1,3	11,7	10,0	7,50	320	110	80	41,1	26,9
MQA130416_3	15:45	26,2	42	0	perimetral	1,3	11,7	9,3	5,30	300	68	75	44,5	26,5
MQA130416_4	16:40	26,4	41	0	perimetral	1,3	11,8	9,4	5,74	308	95	70	49,6	24,4
MQA130417_5	10:50	17,2	66	0	perimetral	1,4	15,9	9,7	4,80	340	85	75		29,8
MQA130417_6	11:38	18,6	61	0	perimetral	1,3	15,1	5,2	4,96	320	80	80	46,8	23,7
MQA130417_7	12:21	22,8	48	0	perimetral	1,3	14,4	5,2	5,40	290	85	75	45,0	28,6
MQA130417_8	14:12	26,8	37	0	perimetral	1,3	12,5	8,2	6,20	270	85	90	46,2	21,9
MQA130417_9	14:53	26,9	39	0	perimetral	1,3	11,8	8,2	5,70	310	90	75	47,2	26,6
MQA130417_10	15:50	26	40	0	perimetral	1,3	10,9	9,4	3,65	275	140	60	45,9	16,5
MQA130419_11	10:20	19,4	49	0	perimetral	1,3	13,3	8,3	9,30	360	270	80	46,7	19,8
MQA130419_12	11:10	23,1	47	0	avanço	1,3	13,3	9,4	6,40	300	70	95	42,2	15,6
MQA130419_13	13:30	27,2	29	1	avanço	1,3	13,3	10,1	4,00	280	70	80	47,2	27,7
MQA130419_14	14:15	28	28	1	avanço	1,3	10,2	9,4	4,61	259	50	81	50,7	19,4
MQA130419_15	15:20	28	28	1	avanço	1,3	10,2	9,4	1,60	200	30	75	47,3	22,5
MQA130419_16	16:30	27,6	28	1,5	avanço	1,3	10,2	8,7	4,25	250	33	66	43,0	18,5

Tabela 0.1. Características iniciais dos ensaios de árvores isoladas

Tabela 0.2. Características iniciais dos ensaios de conjunto de árvores

CARACTERÍSTICAS GERAIS										
Refer.	Condições ambiente			Leito de urze e carqueja			Árvores pinheiro			
	T (°C)	HR (%)	U (m/s)	W (kg/m ²)	FMC (%)	β (kg/m ³)	H _T (cm)	H _{BC} (cm)	FMC _N (%)	FMC _{SB} (%)
FC3QA01	27,0	30	0	1	11	6,6	220	70	41,1	11,3
FC3QA02	26,9	25	1	2	8,5	6,1	220	70	43,9	2,8
FC3QA03	25	35	1	1,5	10,8	12,0	220	70	50,4	26,4
FC3QA04	28	33	0	1,5	10,3	10,5	220	70	43,7	26,8

ANEXO B

5

TIPOLOGIA DA CLASSIFICAÇÃO - A tabela de classificação dos incêndios rurais, das queimadas e dos falsos alarmes rurais passa a ser:

Tabela 1 - Classificação de Ocorrências

FAMÍLIA	ESPÉCIE	TIPO	SUBTIPO	CLASSIFICAÇÃO					
1	INCÊNDIO	1	RURAL	1 Florestal	1 Pinheiro-bravo (Pb)	1111			
					2 Pinheiro-manso (Pm)	1112			
					3 Sobreiro (Sb)	1113			
					4 Eucalipto (Ec)	1114			
					5 Azinheira (Az)	1115			
					6 Outros carvalhos (Qc)	1116			
					7 Outras resinosas (Rd)	1117			
					8 Outras folhosas (Fd)	1118			
					9 Povoamento misto	1119			
				2 Agrícola	1 Silvado	1121			
					2 Restolho	1122			
					3 Pousio	1123			
					4 Pastagem	1124			
				9 Outras	1129				
				3 Inculto	1 Mato	1131			
				7	QUEIMADA	1 RURAL	1 Intensiva	Queimada (intensiva)	7110
							2 Extensiva	Queimada (extensiva)	7120
				9	FALSO ALARME	1 INCÊNDIO	1 Rural	1 Florestal	9111
								2 Agrícola	9112
3 Inculto	9113								

Figura 0.1. Classificação dos incêndios florestais proposto por DGF (2001)

Modelo	Carga (kg/m ²)					Relação S/V (cm ² /cm ³)	Profundidade (m)	Poder calorífico (kJ/kg)	Humidade extinção (%)
	Combustíveis mortos			Herbáceos vivos (Ø<6 mm)	Arbustivos vivos (Ø<6 mm)				
	1-hr.	10-hr.	100-hr.						
1	0.166	0	0	0	0	115	0.3	18622	12
2	0.449	0.225	0.12	0.121	0	98	0.3	18622	15
3	0.674	0	0	0	0	49	0.76	18622	25
4	1.123	0.898	0.449	0	1.123	66	1.83	18622	20
5	0.225	0.112	0	0	0.449	66	0.61	18622	20
6	0.337	0.561	0.449	0	0	57	0.76	18622	25
7	0.254	0.420	0.337	0	0.083	57	0.76	18622	40
8	0.337	0.225	0.561	0	0	66	0.06	18622	30
9	0.655	0.093	0.034	0	0	82	0.06	18622	25
10	0.674	0.449	1.123	0	0.449	66	0.3	18622	25
11	0.337	1.011	1.235	0	0	49	0.3	18622	15
12	0.898	3.144	3.706	0	0	49	0.7	18622	20
13	1.572	5.166	6.289	0	0	49	0.91	18622	25

Figura 0.2. Classificação dos modelos standardizados NFFL descrito no guia de combustíveis Cruz (2005)

Exemplo da aplicação da metodologia para o Cálculo do potencial de ocorrência de FS.

Classe PPIN-02

	Carga de combustível (2+4+4=10)	Potencial de libertação	Resultado
Superfície	2	8	16
Transição	4		32
Copa	4		32
Resultado final			14+32+32 = 80

Nesta situação teríamos:

	Probabilidade de libertação de par	Partículas com potencial para provocar FS
Superfície	Baixa	Caruma; Ramos depositados
Transição	Moderada	Casca do pinheiro; Caruma
Copa	Moderada	Ramos; Folhas

Série Fotográfica

HER-01



Figura 0.3. Imagens ilustrativa da classe HER-01

	Probabilidade de libertação de partículas	Partículas com potencial para provocar FS
Superfície	Moderada	Herbáceas
Transição	Inexistente	-
Copa	Inexistente	-

Potencial para ocorrência de FS (interior/orla do povoamento)							
Ambiente de fogo	Libertação de partículas	Distância de projeção			Ignição por partículas incandescentes		Durante o rescaldo
		Curta (<50m)	Média (<500m)	Longa (>500m)	Superfície	Copa	
Baixo	I	II	I	0	III	-	I
Médio	II	III	II	0	III	-	I
Alto	III	IV	II	0	IV	-	I

Legenda: - Inexistente; I Baixo; II Moderado; III Elevado; IV Extremo

MAT-01



Figura 0.4. Imagens ilustrativa da classe MAT-01

	Probabilidade de libertação de partículas	Partículas com potencial para provocar FS
Superfície	Elevada	Arbustos; Herbáceas
Transição	Inexistente	-
Copa	Inexistente	-

Potencial para ocorrência de FS (interior/orla do povoamento)							
Ambiente de fogo	Libertação de partículas	Distância de projeção			Ignição por partículas incandescentes		Durante o rescaldo
		Curta (<50m)	Média (<500m)	Longa (>500m)	Superfície	Copa	
Baixo	II	II	I	I	II	-	I
Médio	III	III	II	I	II	-	II
Alto	III	III	III	II	III	-	II

Legenda: - Inexistente; I Baixo; II Moderado; III Elevado; IV Extremo

MAT-02

Figura 0.5. Imagens ilustrativa da classe MAT-02

	Probabilidade de libertação de partículas	Partículas com potencial para provocar FS
Superfície	Elevada	Arbustos; herbáceas; Ramos
Transição	Inexistente	-
Copa	Inexistente	-

Potencial para ocorrência de FS (interior/orla do povoamento)							
Ambiente de fogo	Libertação de partículas	Distância de projeção			Ignição por partículas incandescentes		Durante o rescaldo
		Curta (<50m)	Média (<500m)	Longa (>500m)	Superfície	Copa	
Baixo	II	II	II	I	II	-	II
Médio	III	III	II	II	II	-	II
Alto	III	III	III	II	III	-	II

Legenda: - Inexistente; I Baixo; II Moderado; III Elevado; IV Extremo

MAT-03



Figura 0.6. Imagens ilustrativa da classe MAT-03

	Probabilidade de libertação de partículas	Partículas com potencial para provocar FS
Superfície	Muito elevada	Arbustos; herbáceas; Ramos
Transição	Inexistente	-
Copa	Inexistente	-

Potencial para ocorrência de FS (interior/orla do povoamento)							
Ambiente de fogo	Libertação de partículas	Distância de projeção			Ignicão por partículas incandescentes		Durante o rescaldo
		Curta (<50m)	Média (<500m)	Longa (>500m)	Superfície	Copa	
Baixo	III	II	III	I	II	-	II
Médio	IV	III	III	II	II	-	II
Alto	IV	III	IV	III	III	-	III

Legenda: - Inexistente; I Baixo; II Moderado; III Elevado; IV Extremo

PPIN-02



Figura 0.7. Imagens ilustrativa da classe PPIN-02

	Probabilidade de libertação de partículas	Partículas com potencial para provocar FS
Superfície	Baixa	Caruma, arbustos
Transição	Moderada	Corcódoa; Caruma
Copa	Elevada	Folhas; ramos; pinhas

Potencial para ocorrência de FS (interior/orla do povoamento)							
Ambiente de fogo	Libertação de partículas	Distância de projeção			Ignição por partículas incandescentes		Durante o rescaldo
		Curta (<50m)	Média (<500m)	Longa (>500m)	Superfície	Copa	
Baixo	II	III/IV	II / III	II	III	II	III
Médio	III	III/IV	III	III	IV	III	IV
Alto	III	IV	III/IV	III	IV	III	IV

Legenda: - Inexistente; I Baixo; II Moderado; III Elevado; IV Extremo

PPIN-03

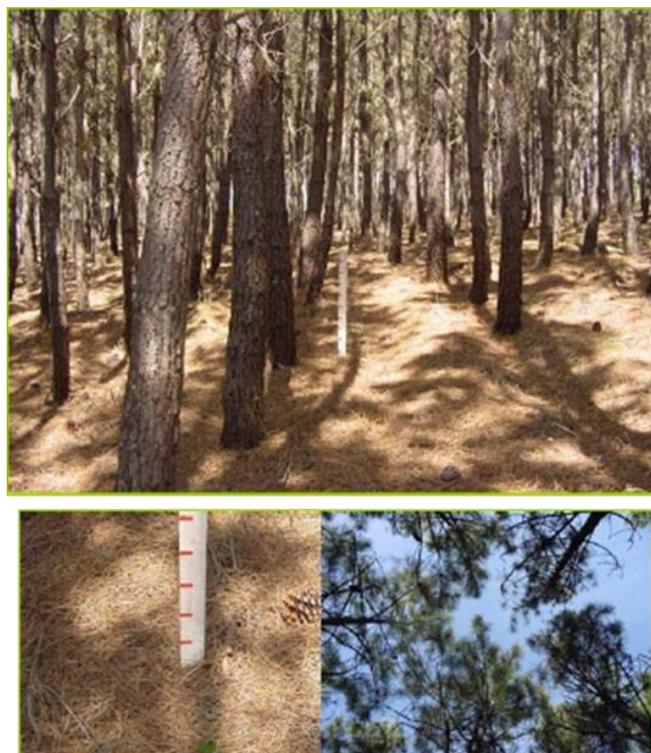


Figura 0.8. Imagens ilustrativa da classe PPIN-03

	Probabilidade de libertação de partículas	Partículas com potencial para provocar FS
Superfície	Baixa	Caruma
Transição	Baixa	Corcódoa
Copa	Elevada	Folhas; ramos; pinhas

Potencial para ocorrência de FS (interior/orla do povoamento)							
Ambiente de fogo	Libertação de partículas	Distância de projeção			Ignição por partículas incandescentes		Durante o rescaldo
		Curta (<50m)	Média (<500m)	Longa (>500m)	Superfície	Copa	
Baixo	II	II	II	II	II	II	II
Médio	III	II	II / III	II	III	II	III
Alto	III	III	II / III	III	III	III	III

Legenda: - Inexistente; I Baixo; II Moderado; III Elevado; IV Extremo

PPIN-04



Figura 0.9. Imagens ilustrativa da classe PPIN-04

	Probabilidade de libertação de partículas	Partículas com potencial para provocar FS
Superfície	Baixa	Herbáceas;
Transição	Baixa	Corcódoa
Copa	Elevada	Folhas; ramos; pinhas

Potencial para ocorrência de FS (interior/orla do povoamento)							
Ambiente de fogo	Libertação de partículas	Distância de projeção			Ignição por partículas incandescentes		Durante o rescaldo
		Curta (<50m)	Média (<500m)	Longa (>500m)	Superfície	Copa	
Baixo	II	II / III	II	II	II	II	II
Médio	III	II / III	II / III	II	III	II	III
Alto	III	III	II / III	III	III	III	III

Legenda: - Inexistente; I Baixo; II Moderado; III Elevado; IV Extremo

PPIN-05



Figura 0.10. Imagens ilustrativa da classe PPIN-05

	Probabilidade de libertação de partículas	Partículas com potencial para provocar FS
Superfície	Baixa	Herbáceas; Caruma
Transição	Baixa	Corcódoa
Copa	Elevada	Folhas; ramos; pinhas

Potencial para ocorrência de FS (interior/orla do povoamento)							
Ambiente de fogo	Libertação de partículas	Distância de projeção			Ignicão por partículas incandescentes		Durante o rescaldo
		Curta (<50m)	Média (<500m)	Longa (>500m)	Superfície	Copa	
Baixo	II	II	II	I	I	I	I
Médio	III	II / III	II	III	II	II	II
Alto	III	III	II / III	III	II	II	III

Legenda: - Inexistente; I Baixo; II Moderado; III Elevado; IV Extremo

EUC-011

Figura 0.11. Imagens ilustrativa da classe EUC-011

	Probabilidade de libertação de partículas	Partículas com potencial para provocar FS
Superfície	Baixa	Tufos de herbáceas e de plantas de baixo porte
Transição	Baixa	-
Copa	Moderada	Folhas, ramos

Potencial para ocorrência de FS (interior/orla do povoamento)							
Ambiente de fogo	Libertação de partículas	Distância de projeção			Ignição por partículas incandescentes		Durante o rescaldo
		Curta (<50m)	Média (<500m)	Longa (>500m)	Superfície	Copa	
Baixo	II	II	I	I	I	I	I
Médio	II	III	II	II	II	I	II
Alto	III	IV	III	II	III	II	III

Legenda: - Inexistente; I Baixo; II Moderado; III Elevado; IV Extremo

EUC-012



Figura 0.12. Imagens ilustrativa da classe EUC-012

	Probabilidade de liberação de partículas	Partículas com potencial para provocar FS
Superfície	Baixa	Folhas; cascas de eucalipto
Transição	Baixa	Cascas de eucalipto
Copa	Moderada	Folhas

Potencial para ocorrência de FS (interior/orla do povoamento)							
Ambiente de fogo	Libertação de partículas	Distância de projeção			Ignição por partículas incandescentes		Durante o rescaldo
		Curta (<50m)	Média (<500m)	Longa (>500m)	Superfície	Copa	
Baixo	I	I	I	I	I	I	I
Médio	I / II	II	I	I	I	I	I
Alto	II	II	II	I	I	II	I

Legenda: - Inexistente; I Baixo; II Moderado; III Elevado; IV Extremo

EUC-013

Figura 0.13. Imagens ilustrativa da classe EUC-013

	Probabilidade de libertação de partículas	Partículas com potencial para provocar FS
Superfície	Baixa	Cascas de eucalipto; herbáceas
Transição	Inexistente	
Copa	Elevada	Folhas

Potencial para ocorrência de FS (interior/orla do povoamento)							
Ambiente de fogo	Libertação de partículas	Distância de projeção			Ignição por partículas incandescentes		Durante o rescaldo
		Curta (<50m)	Média (<500m)	Longa (>500m)	Superfície	Copa	
Baixo	II	II	I	I	I	II	I
Médio	III	III	II	II	II	III	II
Alto	III	IV	III	III	III	IV	III

Legenda: - Inexistente; I Baixo; II Moderado; III Elevado; IV Extremo

EUC-014



Figura 0.14. Imagens ilustrativa da classe EUC-014

	Probabilidade de libertação de partículas	Partículas com potencial para provocar FS
Superfície	Baixa	Herbáceas
Transição	Inexistente	
Copa	Elevada	Folhas

Potencial para ocorrência de FS (interior/orla do povoamento)							
Ambiente de fogo	Libertação de partículas	Distância de projeção			Ignição por partículas incandescentes		Durante o rescaldo
		Curta (<50m)	Média (<500m)	Longa (>500m)	Superfície	Copa	
Baixo	II	II	I	I	I	II	I
Médio	III	III	II	II	II	III	II
Alto	III	IV	III	III	III	IV	III

Legenda: - Inexistente; I Baixo; II Moderado; III Elevado; IV Extremo

EUC-015

Figura 0.15. Imagens ilustrativa da classe EUC-015

	Probabilidade de libertação de partículas	Partículas com potencial para provocar FS
Superfície	Baixa	Herbáceas; cascas de eucalipto; folhas
Transição	Baixa	Cascas de eucalipto
Copa	Elevada	Folhas

Potencial para ocorrência de FS (interior/orla do povoamento)							
Ambiente de fogo	Libertação de partículas	Distância de projeção			Ignição por partículas incandescentes		Durante o rescaldo
		Curta (<50m)	Média (<500m)	Longa (>500m)	Superfície	Copa	
Baixo	II	III	II	II	I	II	II
Médio	III	IV	III	III	II	III	III
Alto	IV	IV	IV	III	III	IV	IV

Legenda: - Inexistente; I Baixo; II Moderado; III Elevado; IV Extremo

EUC-016



Figura 0.16. Imagens ilustrativa da classe EUC-016

	Probabilidade de libertação de partículas	Partículas com potencial para provocar FS
Superfície	Baixa	Herbáceas; cascas de eucalipto; folhas
Transição	Baixa	Cascas de eucalipto
Copa	Elevada	Folhas

Potencial para ocorrência de FS (interior/orla do povoamento)							
Ambiente de fogo	Libertação de partículas	Distância de projeção			Ignição por partículas incandescentes		Durante o rescaldo
		Curta (<50m)	Média (<500m)	Longa (>500m)	Superfície	Copa	
Baixo	III	III	III	II	III	II	III
Médio	III	IV	III	III	III	III	III
Alto	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV

Legenda: - Inexistente; I Baixo; II Moderado; III Elevado; IV Extremo

EUC-021

Figura 0.17. Imagens ilustrativa da classe EUC-021

	Probabilidade de libertação de partículas	Partículas com potencial para provocar FS
Superfície	Baixa	Cascas de eucalipto; folhas
Transição	Baixa	Cascas de eucalipto
Copa	Elevada	Folhas

Potencial para ocorrência de FS (interior/orla do povoamento)							
Ambiente de fogo	Libertação de partículas	Distância de projeção			Ignição por partículas incandescentes		Durante o rescaldo
		Curta (<50m)	Média (<500m)	Longa (>500m)	Superfície	Copa	
Baixo	II	II	II	II	II	II	II
Médio	III / IV	III	III / IV	II	III	III	II
Alto	IV	IV	IV	III	III	IV	III

Legenda: - Inexistente; I Baixo; II Moderado; III Elevado; IV Extremo

EUC-022



Figura 0.18. Imagens ilustrativa da classe EUC-022

	Probabilidade de libertação de partículas	Partículas com potencial para provocar FS
Superfície	Baixa	Herbáceas; cascas de eucalipto; folhas
Transição	Moderada	Cascas de eucalipto
Copa	Muito elevada	Folhas

Potencial para ocorrência de FS (interior/orla do povoamento)							
Ambiente de fogo	Libertação de partículas	Distância de projeção			Igneição por partículas incandescentes		Durante o rescaldo
		Curta (<50m)	Média (<500m)	Longa (>500m)	Superfície	Copa	
Baixo	III	III	III	II	III	II	III
Médio	III / IV	IV	IV	III	IV	III	IV
Alto	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV

Legenda: - Inexistente; I Baixo; II Moderado; III Elevado; IV Extremo

EUC-023



Figura 0.19. Imagens ilustrativa da classe EUC-023

	Probabilidade de libertação de partículas	Partículas com potencial para provocar FS
Superfície	Baixa	Herbáceas; cascas de eucalipto; folhas; outras espécies
Transição	Baixa	Cascas de eucalipto; ramos
Copa	Muito elevada	Folhas

Potencial para ocorrência de FS (interior/orla do povoamento)							
Ambiente de fogo	Libertação de partículas	Distância de projeção			Ignição por partículas incandescentes		Durante o rescaldo
		Curta (<50m)	Média (<500m)	Longa (>500m)	Superfície	Copa	
Baixo	III	III	III	II	III	II	III
Médio	III / IV	IV	IV	III	IV	III	IV
Alto	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV

Legenda: - Inexistente; I Baixo; II Moderado; III Elevado; IV Extremo

EUC-04



Figura 0.20. Imagens ilustrativa da classe EUC-04

	Probabilidade de libertação de partículas	Partículas com potencial para provocar FS
Superfície	Baixa	Herbáceas; resíduos de abate de eucalipto (cascas, folhas, ramos)
Transição	Baixa	Cascas de eucalipto
Copa	Elevada	Folhas

Potencial para ocorrência de FS (interior/orla do povoamento)							
Ambiente de fogo	Libertação de partículas	Distância de projeção			Ignicão por partículas incandescentes		Durante o rescaldo
		Curta (<50m)	Média (<500m)	Longa (>500m)	Superfície	Copa	
Baixo	II / III	II / III	II	I	II / III	II	II
Médio	III / IV	III / IV	III	II	III / IV	III	III
Alto	IV	IV	IV	III	IV	III	III

Legenda: - Inexistente; I Baixo; II Moderado; III Elevado; IV Extremo

FOLC-01



Figura 0.21. Imagens ilustrativa da classe FOLC-01

	Probabilidade de libertação de partículas	Partículas com potencial para provocar FS
Superfície	Baixa	Folhas
Transição	Baixa	Cascas
Copa	Moderada	Folhas; ramos

Potencial para ocorrência de FS (interior/orla do povoamento)							
Ambiente de fogo	Libertação de partículas	Distância de projeção			Ignição por partículas incandescentes		Durante o rescaldo
		Curta (<50m)	Média (<500m)	Longa (>500m)	Superfície	Copa	
Baixo	I	II	I	I	II	I	I
Médio	I / II	III	II / III	I	II / III	II	I
Alto	II / III	III / IV	III	II	III / IV	II	II

Legenda: - Inexistente; I Baixo; II Moderado; III Elevado; IV Extremo

RESE-01



Figura 0.22. Imagens ilustrativa da classe RESE-01

	Probabilidade de libertação de partículas	Partículas com potencial para provocar FS
Superfície	Moderada	Herbáceas; resíduos de abate de eucalipto (cascas, folhas, ramos)
Transição	Inexistente	-
Copa	Inexistente	-

Potencial para ocorrência de FS (interior/orla do povoamento)							
Ambiente de fogo	Libertação de partículas	Distância de projeção			Ignicão por partículas incandescentes		Durante o rescaldo
		Curta (<50m)	Média (<500m)	Longa (>500m)	Superfície	Copa	
Baixo	III	III	II	I	III	-	II
Médio	IV	IV	III	III	IV	-	III
Alto	IV	IV	IV	IV	IV	-	IV

Legenda: - Inexistente; I Baixo; II Moderado; III Elevado; IV Extremo

