



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

Estudo da eficácia de extintores de água e de cercas periféricas para contenção do avanço de uma frente de fogo

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente na Especialidade de Tecnologia e Gestão do Ambiente

Efficiency of water extinguishers and peripheric and water spraying barriers to contain a fire front

Autor

Daniela Sofia Antunes Alves

Orientador

Professor Doutor Domingos Xavier Filomeno Carlos Viegas

Coorientador

Mestre Ricardo Filipe Oliveira

Júri

Presidente	Professor Doutor António Rui de Almeida Figueiredo Professor Associado com Agregação da Universidade de Coimbra Professor Doutor Domingos Xavier Filomeno Carlos Viegas
Vogais	Professor Catedrático da Universidade de Coimbra Professor Doutor José Manuel Baranda Ribeiro Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Colaboração Institucional



**Associação para o
Desenvolvimento da
Aerodinâmica
Industrial**



**Centro de Estudos
sobre Incêndios
Florestais**

Coimbra, Julho, 2016

Tenho em mim todos os sonhos do Mundo

Álvaro de Campos, 1928

Aos meus Pais e Irmão.

Agradecimentos

As minhas primeiras palavras vão para o meu orientador, Professor Domingos Xavier Viegas, a quem exprimo a minha viva e cordial gratidão pelo modo empenhado e gentil como me acompanhou, pela transmissão de conhecimentos e por me ter dado a honra de trabalhar na sua equipa de investigação (CEIF/ADAI). Um reconhecimento especial e a minha grata admiração ao Professor António Rui Figueiredo, pela simpatia e pelas frequentes e enriquecedoras trocas de ideias com que me presenteou ao longo do trabalho e cujo contributo foi essencial para o resultado final da dissertação.

Pelo apoio competente, caloroso e inspirador, o meu sincero agradecimento ao Mestre Ricardo Filipe Oliveira, meu coorientador, pela sua disponibilidade, pela motivação e dedicação incansável com que me ajudou a superar os desafios.

Este trabalho apenas foi possível devido ao apoio institucional do CEIF/ADAI que me disponibilizaram todas as condições para realização dos ensaios laboratoriais. Gostaria de deixar uma palavra de agradecimento ao Doutor Jorge Raposo pela ajuda atenta e apoio prestado na instrumentação de equipamentos necessários aos ensaios. O meu reconhecimento a todos os Colegas, Técnicos e Funcionários pela sua colaboração e por partilharem o espírito de companheirismo e amizade que me permitiu vivenciar experiências únicas enquanto estudante. Gostaria de assinalar e agradecer ao aeródromo da Lousã a cedência de uma área para execução de ensaios e agradecer às entidades competentes que garantiram a segurança no decorrer dos ensaios de campo da Gestosa.

Aos meus amigos! José João, Anita, Vanessa, Pedro e Catarina, meus amigos de curso, o vosso companheirismo foi indubitavelmente crucial nesta jornada. Joel Gil, obrigada pelo carinho, pela tua presença e pela forma como compreendeste a minha ausência.

Aos meus Pais, obrigada pelo vosso amor, dedicação, confiança e por serem o meu suporte. Ao meu Irmão, obrigada pelo afeto, pela paciência e por todos os quilómetros que fizeste em meu auxílio, a minha gratidão é proporcional a todos eles! Aos meus Tios, à minha querida Madrinha Ana Maria, Padrinhos e Primos, agradeço o apoio incondicional, o carinho e vossa presença ao longo da minha vida. Uma menção aos meus Avós, que já não estando presentes merecem também uma consideração muito especial pelo maravilhoso papel que desempenharam e por muitas vezes o seu destino ter sido afetado pela ocorrência dos incêndios florestais.

Resumo

Os incêndios na interface urbano-florestal são atualmente uma área de extrema importância e de crescente investigação. No decorrer de trabalhos em áreas rurais, os equipamentos agroflorestais, quando libertam partículas incandescentes, são referenciados como uma das principais fontes de ignição de incêndios florestais. No âmbito da interface urbano-florestal, as consequências da aproximação dos incêndios aos aglomerados populacionais, ou a estruturas críticas, podem ser catastróficas, do ponto de vista de perdas humanas e materiais.

Neste trabalho, que pretende ser um contributo para o conhecimento de mecanismos de supressão e contenção do fogo, são objeto de análise três casos de estudo: extintores de água, barreiras de contenção constituídas por material ignífugo e cercas com sistema de aspersão de água, estes dois últimos casos são denominados ao longo do trabalho como cercas periféricas. A água é um agente de supressão extremamente eficiente, devido ao seu elevado calor latente de vaporização absorve uma grande quantidade de energia dificultando a combustão. Por este motivo deve ser promovida a sua utilização em extintores para fogos de classe A direcionando-a em estudos com combustíveis florestais. No presente, o emprego das soluções analisadas é ainda pouco explorado em sistemas que visem a segurança pessoal e a resiliência das infraestruturas suscetíveis de sofrer um impacto negativo quando atingidas pelo fogo.

O objetivo deste trabalho é verificar a eficácia de utilização de extintores de água para incêndios de pequena escala, e de cercas periféricas como meio para impedir ou retardar a passagem do fogo.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Estudos sobre Incêndios Florestais (LEIF) da Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial (ADAI) da Universidade de Coimbra. A fim de ultrapassar as limitações de escala dos ensaios laboratoriais realizaram-se ensaios no campo experimental da Gestosa, na Serra da Lousã.

Palavras-chave: Incêndios Florestais, Interface urbano florestal, Extintor de água, Cercas periféricas, Proteção.

Abstract

Fires in the wildland-urban interface are currently an area of extreme importance and increasing research. In the course of work in rural areas agroforestry equipment can release incandescent particles, which are referenced as a major source of ignition. Within the fires in the wildland-urban interface, the consequences of the approaching fire to settlements, or critical structures can be catastrophic both in human and material losses.

This work, which is intended as a contribution to the knowledge of suppression and containment of fire mechanisms, for this purpose three case studies are presented: Water extinguishers, containment barriers consisting on flame-retardant material and fences with water sprinkler system, the latter two cases are referred to throughout the work as peripheral fences. Water is an extremely efficient suppressing agent, due to its high latent heat of vaporization absorbs a large quantity of energy hindering the combustion process. Its use in fire extinguishers for Class A fires should be promoted using it in studies with forest fuels. At the present, the study of systems aimed at personal security and resilience of infrastructure susceptible to be negatively impacted, when affected by fire, remains underexplored.

The main goal of this study is to verify the use effectiveness of water for extinguishing small fires and peripheral fences in preventing the passage of fire.

The tests were performed at the Laboratory for Forest Fire Studies (LEIF) of the Association for the Development of Industrial Aerodynamics (ADAI), Coimbra University. In order to overcome the scale limitations of laboratory, *in loco* tests were carried out at Gestosa experimental field in the Serra da Lousã.

Keywords Forest Fires, Wildland-Urban Interface, Water extinguisher, Peripheral Fences, Protection.

Índice

Índice de Figuras	xi
Índice de Tabelas	xv
Simbologia e Siglas	xvii
Simbologia.....	xvii
Siglas	xviii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Enquadramento do problema	2
1.1.1. Extintores de água	3
1.1.2. Cercas periféricas	6
1.2. Objetivos e organização do estudo	8
2. PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	11
2.1. Extintores de água.....	11
2.1.1. Metodologia experimental em laboratório	12
2.1.2. Metodologia experimental em campo	20
2.2. Barreira	24
2.2.1. Metodologia experimental em laboratório – Barreira 1	24
2.2.2. Metodologia experimental em campo – Barreira 1	26
2.2.3. Metodologia experimental em laboratório – Barreira 2	28
2.3. Cerca com aspersão de água	32
2.3.1. Caracterização da dispersão.....	33
2.3.2. Metodologia experimental em campo	36
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
3.1. Extintores de água.....	39
3.1.1. Análise laboratorial.....	39
3.1.2. Análise em campo	46
3.2. Barreira	50
3.2.1. Barreira 1 – Análise laboratorial	50
3.2.2. Barreira 1 – Análise em campo	52
3.2.3. Barreira 2 – Análise laboratorial	53
3.3. Cerca com aspersão de água	60
3.3.1. Análise da dispersão	60
3.3.2. Análise em campo	64
4. CONCLUSÃO.....	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
ANEXO A	73
ANEXO B	75
ANEXO C	77

APÊNDICE A	79
Extintores de água	79
Barreira 1	80
Barreira 2	81
Cerca com aspersão de água.....	82
APÊNDICE B	85
APÊNDICE C	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Escalas de espaço (comprimento) e de tempo envolvidas na descrição dos fenómenos relacionados com a propagação de um IF. Fonte: Viegas, <i>et al.</i> , 2011.....	4
Figura 2.1. Extintores de água utilizados	12
Figura 2.2. Localização da plataforma no túnel de combustão	13
Figura 2.3. Calibração do escoamento.....	14
Figura 2.4. Instrumentação da plataforma, régua de pinos com os fios de linho e ignição linear do leito combustível. Fonte: CEIF/ADAI, 2015	15
Figura 2.5. Equipamentos utilizados: a) Balança; b) câmara IR; c) pinga-lume. Fonte: CEIF/ADAI, 2015	20
Figura 2.6. Sequência do procedimento na combustão e extinção no ensaio <i>EXT-GES-02</i> . Fonte: CEIF/ADAI, 2015	21
Figura 2.7. (a) <i>Gest2015-00</i> – Enquadramento do talhão; (b) Sequência da queima das parcelas	21
Figura 2.8. Imagens IR do ensaio <i>EXT-GES-02</i> (Extintores de água – Gestosa).....	23
Figura 2.9. Delimitação da área de trabalho (<i>Barreira 1</i>)	25
Figura 2.10. Posição da <i>Barreira 1</i> no terreno (vista lateral)	27
Figura 2.11. Esquema da delimitação das áreas (<i>Barreira 2</i> – LEIF).....	29
Figura 2.12. Sistema de aspersão. Fonte: CEIF/ADAI, 2015	32
Figura 2.13. Delimitação da área a estudar na dispersão de água pela Cerca (esquema)....	34
Figura 2.14. Delimitação da área de trabalho para análise da dispersão da Cerca (LEIF – Aeródromo). Fonte: CEIF/ADAI	34
Figura 2.15. Esquema da sequência a ser seguida a partir do ajuste da válvula.....	34
Figura 2.16. Ignição linear e propagação inicial do fogo. Fonte: CEIF/ADAI.....	36
Figura 3.1. Caudal mássico de água do extintor em função de U.	40
Figura 3.2. Evolução da velocidade de propagação em função de U.....	41
Figura 3.3. Variação da massa para U=0 m/s.....	42
Figura 3.4. Variação da massa para U=0.5 m/s	42
Figura 3.5. Variação da massa para U=1.0 m/s	42
Figura 3.6. Variação da massa para U=1.5 m/s	42
Figura 3.7. Variação da massa para U=2.0 m/s	42
Figura 3.8. Variação da massa para U=3.0 m/s	42
Figura 3.9. Massa ardida em função de U.	43

Figura 3.10. Ensaio para $U=0$ m/s (<i>I-REF-0.1</i>). Fonte: CEIF/ADAI, 2015	44
Figura 3.11. Ensaio para $U=2$ m/s (<i>I-REF-2.1</i>). Fonte: CEIF/ADAI, 2015	44
Figura 3.12. Energia total libertada em função de U	45
Figura 3.13. Potência máxima libertada em função de U	45
Figura 3.14. Energia total libertada por combustão para cada valor de velocidade de escoamento no LEIF.....	46
Figura 3.15. Energia total libertada por combustão diferenciada por ignição na Gestosa..	46
Figura 3.16. Perda de massa do extintor (%) – LEIF	47
Figura 3.17. Perda de massa do extintor (%) – Gestosa.....	47
Figura 3.18. Massa de água do extintor em função da massa ardida – LEIF e Gestosa	48
Figura 3.19. Energia total libertada em função do tempo de utilização do extintor – LEIF e Gestosa	49
Figura 3.20. Relação entre a velocidade de propagação e a distância do leito à Barreira ..	50
Figura 3.21. Variação da velocidade de propagação em função da distância à Barreira para $U=1$ m/s.....	51
Figura 3.22. Variação da velocidade de propagação em função da distância à Barreira para $U=2$ m/s.....	51
Figura 3.23. Variação de temperaturas na parte da frente e na parte de trás da Barreira 1.	52
Figura 3.24. Aproximação da frente de chamas à Barreira 1 – imagem IR	52
Figura 3.25. Passagem da frente de chamas pela <i>Barreira 1</i>	52
Figura 3.26. Esquematização da análise dos resultados (<i>Barreira 2</i>).	53
Figura 3.27. Velocidade de propagação do fogo em função de U	54
Figura 3.28. Variação das temperaturas em função da distância à Barreira para $U=0$ m/s.	54
Figura 3.29. Variação das temperaturas em função da distância à Barreira para $U=1$ m/s.	54
Figura 3.30. Variação das temperaturas em função da distância à Barreira para $U=2$ m/s.	54
Figura 3.31. Variação das temperaturas em função da distância à Barreira para $U=3$ m/s.	54
Figura 3.32. Fluxo de calor e de ΔT em função da distância à Barreira para $U=0$ m/s.	56
Figura 3.33. Fluxo de calor e de ΔT em função da distância à Barreira para $U=1$ m/s.	56
Figura 3.34. Fluxo de calor e de ΔT em função da distância à Barreira para $U=2$ m/s.	56
Figura 3.35. Fluxo de calor e de ΔT em função da distância à Barreira para $U=3$ m/s.	56
Figura 3.36. Fluxo de calor em função do inverso do quadrado da distância para $U=0$ m/s.	57
Figura 3.37. Fluxo de calor em função do inverso do quadrado da distância para $U=1$ m/s.	57

Figura 3.38. Fluxo de calor em função do inverso do quadrado da distância para $U=2$ m/s.	57
Figura 3.39. Fluxo de calor em função do inverso do quadrado da distância para $U=3$ m/s.	57
Figura 3.40. Energia incidente para cada velocidade de escoamento na <i>Barreira 2</i>	59
Figura 3.41. Aproximação da frente de chamas à <i>Barreira 2</i> . Fonte: CEIF/ADAI, 2015 ...	59
Figura 3.42. Caudal de água utilizado em cada orientação da válvula.....	60
Figura 3.43. Eficiência do processo em função do caudal.	60
Figura 3.44. Aspersão de água pela cerca com 100% de abertura da válvula (<i>Cerca 1.1.</i>).	61
Figura 3.45. Distribuição da água para válvula a 50%.	62
Figura 3.46. Distribuição da água para válvula a 75%.	62
Figura 3.47. Distribuição da água para válvula a 100%.	62
Figura 3.48. Distância máxima alcançada pela aspersão de água em função do caudal.	63
Figura 3.49. Densidade superficial para cada distância da cerca.	63
Figura 3.50. Aspersão prévia (<i>GES-Cerca-A</i>). Fonte: CEIF/ADAI, 2015	64
Figura 3.51. Aspersão direta (<i>GES-Cerca-B</i>). Fonte: CEIF/ADAI, 2015	64
Figura 3.52. Propagação do fogo na Condição A (<i>GES-Cerca-A</i>). Fonte: CEIF/ADAI, 2015	65
Figura 3.53. Propagação do fogo na Condição B (<i>GES-Cerca-B</i>). Fonte: CEIF/ADAI,2015	65

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1. Fogos-tipo, duração de funcionamento e cargas nominais para de água e pó químico. (NP 3-7:2004+A1 2012).....	6
Tabela 2.1: Esquematização das condições dos ensaios (Extintores – LEIF).....	17
Tabela 2.2. Esquematização dos ensaios (Extintores de água – Gestosa).....	22
Tabela 2.3. Relação do comprimento do leito com a distância à <i>Barreira 1</i>	25
Tabela 2.4. Esquematização das condições dos ensaios (<i>Barreira 1</i> – LEIF).....	26
Tabela 2.5. Esquematização das condições do ensaio (<i>Barreira 1</i> – Gestosa)	27
Tabela 2.6. Relação do comprimento do leito com a distância à <i>Barreira (Barreira 2)</i>	28
Tabela 2.7. Esquematização das condições dos ensaios (LEIF – <i>Barreira 2</i>).....	29
Tabela 2.8. Esquematização e caracterização dos ensaios (Cerca – LEIF).....	35
Tabela 2.9. Esquematização das condições dos ensaios (Cerca – Gestosa)	37
Tabela 3.1. Resumo das principais diferenças entre as metodologias (Extintores de água)	39
Tabela 3.2. Percentagem de massa ardida face ao ensaio de referência e percentagem de carga agente extintor utilizada.....	43
Tabela 3.3. Resumo das principais diferenças entre as três metodologias efetuadas (<i>Barreira</i>)	50
Tabela 3.4. Condições dos ensaios efetuados na <i>Barreira 2</i>	53
Tabela 3.5. Temperaturas atingidas na <i>Barreira</i> com a distância mínima da frente de chamas	55
Tabela 3.6. Linha de tendência e respetiva correlação para o fluxo em função do inverso do quadrado da distância – <i>Barreira 2</i>	57
Tabela 3.7. Limite máximo obtido até ao qual o fluxo depende linearmente do inverso do quadrado da distância	58
Tabela 3.8. Quantidade de água presente e área envolvida para um determinado caudal...	61

SIMBOLOGIA E SIGLAS

Simbologia

Símbolo	Unidades	Definição
A	m ²	Área do leito
a	m	Comprimento do leito
A _{burn}	m ²	Área do leito ardida
A _e	m ²	Área envolvida pela Cerca
A _{ref}	m ²	Área de referência
b	m	Distância da Barreira ao início do leito
C	kg/m ²	Carga combustível
C _{Ext}	%	Carga de agente extintor
d	m	Distância entre a Barreira e a frente de chamas
d _{cerca}	m	Distância máxima alcançada pela aspersão de água
ρ _s	kg/m ²	Densidade superficial
η	%	Eficiência do processo de aspersão
F	Hz	Frequência de rotação do ventilador do TC
Φ	kW/m ²	Fluxo de calor
ΔT	°C	Elevação da temperatura
E _{Bar}	kJ/ m ²	Energia incidente na Barreira
E _C	kJ	Energia libertada por combustão
H _C	kJ/kg	Poder calorífico
m	kg	Massa de combustível ao longo do tempo em base seca
ṁ	kg/s	Taxa de perda de massa
m _{água}	kg	Massa de água do extintor
m _{burn}	kg	Massa de combustível ardida
m ₀	kg	Massa de combustível inicial em base seca
m ₁	kg	Massa quando se inicia a extinção com o extintor
m ₂	kg	Massa após secagem em estufa (massa seca)

m_i	kg	Massa inicial do extintor
m_f	kg	Massa final do extintor
m_p	kg	Massa de água presente
m_r	kg	Massa de água recolhida
m_t	kg	Massa de água total projetada
P_C	kW	Potência calorífica libertada
Q	l/s	Caudal volumétrico
Q_m	kg/s	Caudal mássico
R	m/s	Velocidade de propagação da frente de fogo
R_0	m/s	Velocidade básica de propagação da frente de fogo
T	°C	Temperatura
T_{amb}	°C	Temperatura ambiente
t	s	Tempo
t_{ext}	s	Tempo de utilização do extintor
U	m/s	Velocidade de escoamento de um fluxo de ar
$V_{água}$	l	Volume de água
w_b	m	Comprimento da Barreira

Siglas

ADAI – Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial

CEIF – Centro de Estudos sobre Incêndios Florestais

HFC – Hidrofluorcarbonetos

ICNF – Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas

IF – Incêndio Florestal

IR – *Infrared*

IUF – Interface Urbano-Florestal

LEIF – Laboratório de Estudos sobre Incêndios Florestais

NP – Norma Portuguesa

TC – Túnel de combustão

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, Portugal tem sido particularmente afetado pelos incêndios florestais (IF), com consequências nefastas a nível social, económico e ecológico. O conhecimento do comportamento do fogo reveste-se de grande importância para todos os que tenham de lidar com este problema, sobretudo em aspetos de índole operacional, como a prevenção e o combate.

A maioria dos IF investigados revelam que a principal causa é antropogénica, de forma acidental ou intencional (Coelho & Costa, 2012). Acidentalmente ocorrem por negligência na realização de operações florestais ou rurais tais como queimadas para renovação de pastagens ou queimas de sobrantes, utilização de máquinas agrícolas desprotegidas ou em não conformidade com a legislação em vigor, ou pelo hábito de arremessar fósforos e cigarros não devidamente apagados. Intencionalmente ocorrem com intuito doloso ou de incendiarismo. A prevenção dos IF pode ser conseguida através de ações que evitem a propagação do fogo na floresta (vigia, limpeza, ação antrópica sobre os combustíveis, mosaico florestal, abertura de aceiros e arrifes, entre outras) medidas educativas da população em geral, nomeadamente na educação e comunicação para o risco e medidas legislativas. No caso das máquinas agrícolas, conforme a sua massa máxima, a legislação nacional exige a presença de um ou dois extintores. Neste sentido, pelas vantagens que apresenta face aos restantes agentes extintores para fogos rurais (Classe A), a água apresenta-se como uma boa alternativa para o combate. A bibliografia conhecida sobre extintores de água, atualmente, não se encontra direcionada para IF, assim sendo o estudo da sua eficácia, com combustível e cenários semelhantes ao de um IF, permite uma potencial aproximação a uma situação real que seja necessário o recurso ao extintor.

Os locais onde o ser humano depende da floresta ou onde a paisagem é mais suscetível de ser afetada pelos IF são aquelas onde a gestão do fogo se impõe com uma maior necessidade (Viegas, *et al.*, 2011). A interação entre as infraestruturas humanas e o espaço florestal é conhecida como área de interface urbano florestal (IUF) (Oliveira, 2010). O desenvolvimento de técnicas inovadoras que promovam a investigação de mecanismos de supressão do fogo, e sistemas que atuem na segurança de pessoas e proteção das habitações apresenta-se como um desafio no presente estudo. Neste trabalho vão ser

dimensionados mecanismos para esse efeito, as cercas periféricas. As cercas atuam na modificação do comportamento do fogo, no sentido de provocar uma diminuição na sua intensidade, velocidade e comprimento de chama, de modo a que quando chegar às habitações ou a estruturas críticas o faça com pouca probabilidade de provocar danos. O estudo basear-se-á em dois tipos de cercas: cerca de contenção constituída por material ignífugo, de agora em diante denominada como *Barreira*, e cerca de contenção e supressão com aspersão de água.

Surge assim, como contributo a limitações bibliográficas e motivante procura de técnicas que minimizem os impactes causados pelos IF, a análise da eficácia de três casos de estudo: Extintores de água, Barreira de contenção e Cerca com aspersão de água.

1.1. Enquadramento do problema

Um incêndio é um fogo não limitado no tempo nem no espaço (Viegas, 2012). Hoje em dia, é preciso adquirir conhecimentos adequados sobre o fenómeno do fogo para todos os que de uma forma voluntária (controlado e útil) ou involuntária (descontrolado e destruidor) tenham que lidar com a sua comparência, seja em ambiente urbano, industrial ou florestal.

Genericamente, pode considerar-se que o fogo é um processo físico-químico complexo onde materiais combustíveis (sólidos, líquidos ou gasosos), na presença de um comburente (oxigénio), em quantidade e condições adequadas, são sujeitos a uma reação de oxidação fortemente exotérmica, designada combustão (Ribeiro, 2012). No caso de IF, os dois primeiros fatores estão sempre presentes. O terceiro (energia de ativação) implica que o material combustível atinja uma dada temperatura, temperatura de ignição, a partir da qual se inicial a combustão (Coelho & Costa, 2012). A presença simultânea destes três fatores é normalmente traduzida graficamente através do triângulo do fogo. Após iniciada a combustão, para além dos três fatores referidos para que a reação se mantenha, torna-se necessário acrescentar um outro, que está relacionado com a forma como as transformações reacionais ocorrem. O processo de transformação está associado a uma série de reações químicas em que são transformados átomos e outros compostos químicos, esta transformação é indispensável para que a cadeia de transformações se mantenha. Assim, o processo de combustão sustentado que caracteriza os fogos necessita da

simultaneidade de quatro fatores: combustível, comburente, energia de ativação e a presença de uma cadeia de reações de transformação. O triângulo da iniciação do fogo passa ao tetraedro da propagação e o sucesso no seu controlo ou extinção faz-se através da remoção de um dos lados do tetraedro.

1.1.1. Extintores de água

A maquinaria e equipamento de uso específico nas atividades agroflorestais encontra-se classificada na categoria de causas acidentais de IF, identificadas pelo Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF). No decorrer de trabalhos em áreas rurais, o combustível mal queimado e óleo acumulado nos tubos de escape dos equipamentos agrícolas, quando se soltam, em contacto com o ar e com temperaturas elevadas entram em combustão e provocam ignições (Loureiro, 2005). Para prevenir e evitar eventuais ocorrências deste tipo de desencadeamento de incêndio, o Decreto-Lei n.º 17/2009 de 14 de janeiro estabelece no artigo 30º medidas a desenvolver no âmbito da utilização de maquinaria e equipamento em espaços rurais durante o período crítico. O artigo 30º obriga a que tratores, máquinas e veículos de transporte pesados, sejam dotados de dispositivos de retenção de faíscas ou faúlhas e de dispositivos tapa-chamas nos tubos de escape ou chaminés, e estejam equipados com um ou dois extintores de 6 kg, de acordo com a sua massa máxima, consoante esta seja inferior ou superior a 10000 kg.

As viaturas agrícolas, assumindo que quando se usa o extintor se trata de suprimir fogo rural (fogos de classe A – combustão de materiais sólidos, geralmente de natureza orgânica), conforme disposto pela Norma Portuguesa (NP) 1800:2012, apresentada no Anexo A, podem utilizar extintores cujo seu agente de extinção seja:

- Água;
- Espumas;
- Pó químico seco – tipo ABC;
- Hidrofluorocarbonetos (HFC's);
- Gases inertes.

A água possui um elevado calor latente de vaporização, ao passar ao estado de vapor, retira uma grande quantidade de energia ao fogo, permitindo uma fácil extinção por arrefecimento. Perante esta situação e tendo em consideração a sua disponibilidade, ausência de produtos químicos prejudiciais, baixo custo e fácil transporte, a utilização de

extintores de água apresenta uma alternativa eficaz no combate de fogos rurais. A utilização de extintores, nomeadamente de água, pode ser fundamental para evitar que um foco de incêndio se propague e transforme num incêndio de difícil extinção. Esta reflexão pode ser verificada na Figura 1.1. que evidencia uma descrição dos fenómenos que ocorrem durante o desenvolvimento de um incêndio, mesmo que pequeno, envolve a consideração de processos que decorrem em escalas de comprimento que vão desde os milímetros até quilómetros; análogo em relação ao tempo, uma vez que ocorrem fenómenos que duram apenas alguns segundos, até outros que podem demorar dias (Viegas, *et al.*, 2011). Esta mesma figura transmite ainda duas abordagens propostas pelos autores Viegas, *et al.* (2011), a abordagem local e a abordagem global e onde existem pontos comuns designa-se de secção local. O estudo dos extintores de água deve ser feito segundo uma abordagem local (a escala local permite compreender o que se irá passar na escala global) que segundo os autores referenciados consiste no estudo do processo de combustão na ordem de 1 a 10 m (incêndios desenvolvidos em pequena escala). Nesta pequena escala analisam-se os processos químicos e físicos da combustão ao nível das partículas e dos leitos de combustível, até se abranger uma pequena secção da frente, com extensão de alguns metros.

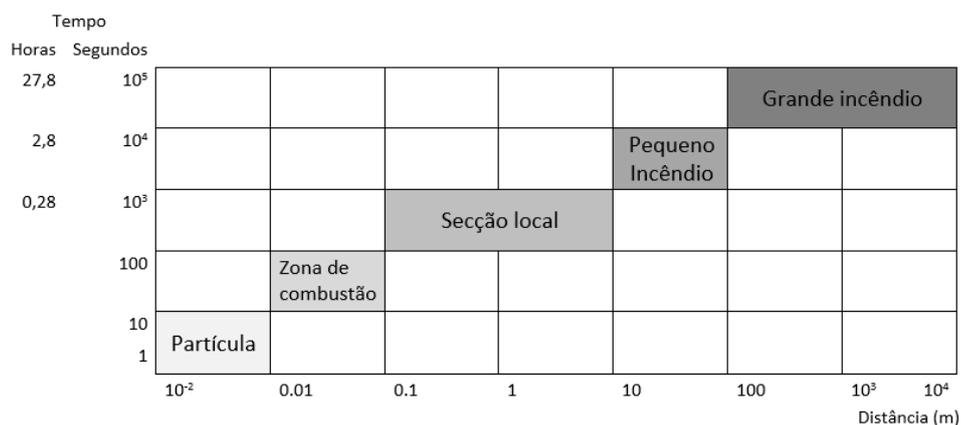


Figura 1.1. Escalas de espaço (comprimento) e de tempo envolvidas na descrição dos fenómenos relacionados com a propagação de um IF. Fonte: Viegas, *et al.*, 2011.

Na literatura os estudos com extintores encontram-se bem desenvolvido. Cronologicamente, em 1986 Rasbash, investigou os mecanismos de extinção de fogo com sistema de *spray* de água. Em 2006 Liu, *et al.*, realizaram um estudo sobre a utilização de

extintores de água portáteis para vários tipos de fogos. Recentemente Joseph *et al.*, (2013) realizou um estudo comparativo dos efeitos dos aditivos químicos na eficiência dos extintores de água. Apesar dos estudos existentes com extintores, nomeadamente os que tem como agente extintor a água, pelo que se pôde apurar, a realização de estudos de extintores em combustíveis florestais encontra-se pouco desenvolvida. Na área dos IF torna-se fulcral estudar a eficiência de mecanismos com combustíveis florestais, pois são estes que estão presentes na fase inicial e na propagação do fogo num IF.

1.1.1.1. Classificação dos extintores

A NP 3-7:2004+A1 2012, procedente da *European Normalization* 3.7:2004+A1:2007, classifica os extintores portáteis conforme a eficácia relativamente à extinção de incêndios.

O extintor deve extinguir fogos-tipo da classe A, da classe B ou das duas; para fogos da classe F devem extinguir fogos-tipo da classe F e, opcionalmente, poderão extinguir um fogo-tipo da classe A e/ou da classe B. A utilização de um extintor em fogos de gases (classe C) é deixada ao critério do fabricante, mas somente para os extintores de pó aptos para os fogos da classe B ou para fogos da classe A e classe B. A aptidão dos extintores em fogos de classe D (fogos em metais inflamáveis) não se encontra abrangida pela referida Norma no que respeita aos ensaios de eficácia. A nomenclatura do fogo-tipo indica a classe de fogo para o qual um extintor tenha demonstrado capacidade efetiva e o grau de eficácia (número que indica a dimensão do fogo) que satisfaz. Quando os extintores têm mais de uma letra de classificação na nomenclatura considera-se que satisfazem os requisitos desse fogo-tipo.

A eficácia dos agentes extintores de água e de pó químico para fogos de classe A, por interesse do presente estudo, serão objeto de uma breve exposição às condições vigentes vertidas nesta Norma. Os fogos-tipo, para extintores à base de água (incluindo as espumas) e os extintores de pó, são indicados na Tabela 1.1 consoante a sua duração mínima de funcionamento e cargas nominais autorizadas.

Tabela 1.1. Fogos-tipo, duração de funcionamento e cargas nominais para de água e pó químico. (NP 3-7:2004+A1 2012)

Fogo tipo	Duração mínima de funcionamento (s)		Cargas nominais autorizadas (kg)	
	Água	Pó-químico	Água	Pó-químico
5A	6	6	2, 3	1
8A	9	6	2, 3, 6	1, 2
13A	9	9	2, 3, 6, 9	1, 2, 3, 4
21A	9	9	2, 3, 6, 9	1, 2, 3, 4, 6
27A	12	12	2, 3, 6, 9	1, 2, 3, 4, 6, 9
34A	15	15	2, 3, 6, 9	1, 2, 3, 4, 6, 9
43A	15	15	2, 3, 6, 9	1, 2, 3, 4, 6, 9, 12
55A	15	15	2, 3, 6, 9	1, 2, 3, 4, 6, 9, 12

A água é o mais comum de todos os agentes extintores, dada a sua disponibilidade, o seu baixo custo e o fácil transporte (Lopes, 2012). A água pode ser utilizada isoladamente ou pode ser usada com aditivos para melhorar a qualidade de extinção, no entanto o incremento destes (aditivos) aumentam o custo do extintor. No Anexo B podem ser consultadas as características dos aditivos nos extintores de água.

O agente extintor pó químico ABC é no presente muito utilizado devido à sua polivalência, no entanto esta característica não significa que seja o mais apto para fogos de classe A e BC. O pó-químico tem como vantagens o seu baixo custo e recarga simples de efetuar, contudo apresenta como desvantagens a toxicidade, diminuição da capacidade de visão, resíduos no local e corrosibilidade dos sistemas envolventes devido ao elevado poder de difusão da nuvem produzida quando acionado (Lopes, 2012).

1.1.2. Cercas periféricas

Independentemente do esforço feito os IF vão continuar a afetar pessoas e bens (Penman, *et al.*, 2015), sendo cada vez mais destrutivos, dispendiosos e uma constante ameaça social (Abrams *et al.*, 2015). Um dos principais problemas na gestão dos incêndios na IUF está relacionado com o dilema das pessoas fugirem ou ficarem para proteger as edificações. Este dilema provoca frequentemente acidentes com pessoas que decidiram fugir no último momento e que foram apanhadas pelo fogo ou fumo. Para evitar que situações como essas possam acontecer é aconselhável que exista alguma preparação para autodefesa, tomando medidas indispensáveis à salvaguarda dos seus bens e da sua própria

segurança (Viegas, *et al.*, 2011) de certa forma já preconizadas em recomendações com caráter legislativo. A construção difusa do edificado em Portugal leva a que, com a exceção de núcleos urbanos bem consolidados, predomine por todo o território áreas de IUF, o que incrementa o risco a quem tem por missão a gestão do combate a IF.

As ações de supressão de IF levadas a cabo pelos combatentes determinam a mobilização dos meios de combate para a frente de chamas ou em locais onde se prevê a sua passagem (Almeida, 2011) atuando de um modo direto. Durante estas ações, por vezes os meios alocados ao combate têm de ser deslocados para efetivar proteção ao edificado, determinando a progressão livre do IF. A utilização de cercas periféricas eficazes pode ser uma medida de autoproteção, para que num determinado tempo possam conter ou suprimir uma frente de chamas até à chegada de meios de combate diferenciados e assim redefinir a estratégia operacional.

No estudo da cerca constituída por material ignífugo, designada por *Barreira*, revelou-se importante perceber em que circunstâncias de propagação do fogo ela poderá funcionar, a intensidade das chamas e intervalo de tempo que suporta até a chegada de auxílio diferenciado.

Como mencionado anteriormente, nos IF (onde é impossível evitar a presença simultânea do combustível e do comburente), deve atuar-se para que não existam estímulos energéticos suficientes para dar início à reação. Assim sendo, o estudo da cerca com aspersão de água está relacionado com a capacidade de o sistema de aspersão de água humedecer a zona envolvente limitando a propagação do fogo, através da diminuição da temperatura do material combustível e conseqüente retenção de água (evita ignições forçadas e espontâneas). A composição química dos diferentes elementos combustíveis pode ter um efeito mais ou menos acentuado no processo de combustão, podendo acelerá-la ou retardá-la. O efeito da cerca com aspersão de água é de retardar, criando condições onde não se dê facilmente a vaporização da água dos combustíveis.

A cerca constituída por material ignífugo pode constituir uma barreira de contenção ao fogo e a cerca de aspersão de água, cujo modo de atuação é semelhante ao sistema de extinção por *sprinklers* instalados em edifícios, pode ter um efeito de combinado de contenção e supressão. O mecanismo de atuação de ambas as cercas é um processo inovador, pouco explorado, constituindo no presente uma área em

desenvolvimento de projetos realizados no CEIF/ADAI no âmbito da proteção e da segurança.

1.2. Objetivos e organização do estudo

A presente dissertação incide na análise de três casos de estudo relacionados com a supressão e contenção do fogo:

1. Extintores de água: capacidade de extinção de fogo rural, de pequena escala, com recurso a um extintor de água;
2. Barreira: capacidade de conter uma frente de fogo através de uma barreira física constituída por material ignífugo;
3. Cerca com aspersão de água: capacidade de conter e suprimir uma frente de fogo através de uma barreira com aspersores de água.

O objetivo principal deste trabalho consiste na criação de uma metodologia que permita o estudo da eficácia da utilização de extintores de água e o estudo da eficácia de cercas periféricas na supressão ou contenção de uma frente de chamas. Torna-se aqui relevante esclarecer a utilização do termo eficácia utilizada na presente dissertação, comumente equivocado com eficiência. A eficácia dos casos de estudo está relacionada com o potencial de se atingir o objetivo definido, já o conceito de eficiência do sistema está relacionado com o grau de atingimento desse objetivo. Neste trabalho será avaliada a eficácia dos sistemas, sendo classificada como *Eficácia verificada* se correspondem às expectativas que foram delineadas; *Eficácia não verificada*, se não correspondem a essas expectativas; ou *Eficácia inconclusiva* se os resultados obtidos não forem suficientes para determinar uma das classificações anteriores.

No estudo realizado com extintores de água pretende-se: (1) determinar a energia libertada por combustão; (2) determinar a capacidade de extinção dos extintores de água, ou seja, perceber a quantidade de água necessária para extinguir uma ocorrência com um determinado valor de energia libertada.

No estudo com a *Barreira* o objetivo é estudar o impacto térmico na sua resistência à passagem de uma frente de chamas sob diversas condições de ensaio.

No estudo com a Cerca com aspersão de água o objetivo primordial é de humedecimento da vegetação de modo que o fogo não tenha condições de se propagar. Este sistema deverá atuar pouco tempo antes da chegada do fogo. Para o estudo da sua eficácia pretende-se: (1) determinar a área de cobertura pela aspersão de água e caracterização da sua dispersão; (2) determinar o caudal de água aspergido; (3) determinar a quantidade de água ideal para cobrir a área abrangida; (3) analisar a distribuição da quantidade de água em determinado ponto da área abrangida pela cerca.

O objetivo da análise dos três casos de estudo passa também pela aplicação dos extintores e das cercas no campo experimental da Gestosa, localizado na Serra da Lousã, validando deste modo os modelos propostos uma vez que, neste campo de ensaios é permitido simular cenários de ambientes de fogo próximos de um incêndio real.

As metodologias e os resultados laboratoriais, os cálculos e as principais conclusões são desenvolvidos ao longo da presente dissertação.

O programa experimental, com as metodologias de ensaio seguidas para cada caso de estudo, encontra-se apresentado no Capítulo 2. Neste Capítulo foram separados os três casos de estudos, inicia-se com o estudo dos extintores de água (Secção 2.1), seguido do estudo das cercas periféricas: *Barreira* (Secção 2.2) e Cerca com aspersão de água (Secção 2.3). Para melhor organização de cada caso de estudo, encontram-se diferenciadas as metodologias efetuadas em laboratório e as metodologias efetuadas em campo.

Os resultados obtidos são apresentados no Capítulo 3 com os respetivos cálculos e as principais discussões. Por fim, o Capítulo 4 apresenta as conclusões obtidas.

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental foi realizado no Laboratório de Estudos sobre Incêndios Florestais (LEIF) e a fim de se ultrapassar as limitações de escala dos ensaios laboratoriais, foram realizados também ensaios em campo, na Serra da Lousã – Gestosa. O campo experimental da Gestosa é um espaço florestal onde o CEIF-ADAI realiza regularmente ensaios de propagação de fogo, em talhões experimentais. A análise de ensaios de campo permite validar os resultados obtidos em laboratório e simular cenários de fogo próximos de uma ocorrência real.

Uma vez que os equipamentos, os procedimentos e os cálculos dos casos de estudo são muito distintos, optou-se por fazer uma caracterização diferenciada. Este capítulo encontra-se dividido em três secções, cada uma referente a um caso de estudo e subdividida no ensaio laboratorial e no ensaio de campo. A esquematização dos procedimentos para cada caso pode ser consultada no Apêndice A.

Apresenta-se neste capítulo o desenvolvimento das tarefas que foram seguidas até à obtenção dos resultados finais.

2.1. Extintores de água

O presente caso de estudo, tem como objetivo explorar a atuação da água, como agente extintor, na supressão de fogos rurais e conceder maior notoriedade à sua utilização. Os fogos rurais enquadram-se na Classe de fogos A, segundo a NP 1800:2012, como tal caracterizam-se por fogos que resultam da combustão de materiais sólidos, geralmente de natureza orgânica, a qual se dá normalmente com formação de brasas. A utilização de extintores de água deve ser eficaz nas condições em que a sua utilização seja clara e adequada ao tipo de incêndio.

Os extintores de água utilizados no trabalho (Figura 2.1) tinham as seguintes características: carga de 6 l, classificação 21A 183B 75F, constituição com aditivos e utilização sob a forma de jato. O modo de funcionamento do extintor era do tipo *permanentemente pressurizado* cuja pressão está estabelecida no interior do extintor por um gás propulsor, o azoto, a 15 bar a 20°C.



Figura 2.1. Extintores de água utilizados

2.1.1. Metodologia experimental em laboratório

A metodologia empregue teve como base a metodologia descrita na NP 3-7:2004+A1 2012 adaptada às necessidades do presente estudo. A capacidade de extinção foi determinada nos equipamentos do LEIF, com os seguintes parâmetros controlados: carga, densidade e homogeneidade combustível e velocidade do vento. A temperatura e o teor da humidade relativa do ar não foram controlados, estando sujeitos às condições ambientais do laboratório, no entanto estes parâmetros foram monitorizados antes da realização dos ensaios.

Foi utilizado como combustível florestal o mato (combustível fino morto). A escolha do mato para a realização de todos os ensaios prendeu-se com a significativa ocupação deste combustível na floresta portuguesa, sobretudo em áreas de trabalho rural, mas também pela possibilidade de representar um critério de comparabilidade com os ensaios realizados em campo, cuja ocupação das parcelas é constituída por mato.

Segundo o *Guia fotográfico para identificação de combustíveis florestais, para a Região Centro de Portugal* elaborado pelo CEIF/ADAI em 2005, o mato pertence ao grupo dos arbustivos e consoante a sua altura média é dividido em três espécies: MAT-01, MAT-02 e MAT-03. Neste trabalho experimental verificou-se que a altura média do leito combustível não ultrapassou os 0.5 metros, pertencendo assim ao mato do tipo 01 (MAT-01). Como se verá, no tratamento de dados, esta classificação permite considerar um determinado valor de poder calorífico.

2.1.1.1. Equipamento

Os principais equipamentos utilizados foram o túnel de combustão (TC) e uma plataforma de combustão, instrumentada com três células de carga. A taxa de perda de massa do combustível é um parâmetro necessário à análise, para essa determinação e para estudar a atuação da água foi construída a referida plataforma, constituída por ferro, cujas dimensões são 2.4 m x 2.4 m, assente em três apoios com 10 cm de altura. Sobre cada apoio encontrava-se uma célula de carga conectada ao programa *Quick Analyzer*, que permitiu analisar a variação da massa ao longo do ensaio. Na base da plataforma foi efetuada uma cobertura com placas cerâmica funcionando como isolante térmico para evitar a sua dilatação quando sujeita a elevadas temperaturas de combustão. A plataforma foi colocada no terminal do TC de modo a possibilitar a realização de ensaios para diferentes velocidades de escoamento de um fluxo de ar (U). A Figura 2.2 apresenta a plataforma e o seu posicionamento no TC.



Figura 2.2. Localização da plataforma no túnel de combustão

O escoamento na plataforma foi calibrado antes da sua utilização. Para um determinado valor de frequência do TC (5 Hz, 10 Hz, 15 Hz, 20 Hz, 25 Hz e 30 Hz) mediu-se com um anemómetro a velocidade do escoamento em cima da plataforma e foram feitas três medições (no início, no centro e no fim da plataforma). Os resultados da calibração efetuada encontram-se na Figura 2.3, para $U=0.5$ m/s, $U=1.0$ m/s, $U=1.5$ m/s, $U=2.0$ m/s e $U=3.0$ m/s a frequência foi determinada por interpolação linear.

F (Hz)	U (m/s)
0.00	0.00
5.00	0.26
6.10	0.50
8.44	1.00
10.00	1.33
11.14	1.50
14.56	2.00
15.00	2.06
20.00	2.74
21.71	3.00
25.00	3.50
30.00	4.28

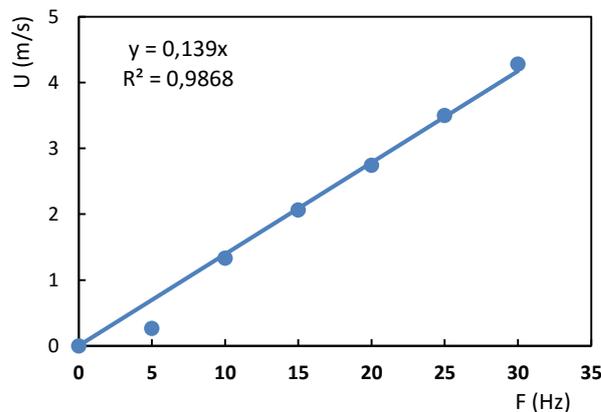


Figura 2.3. Calibração do escoamento

2.1.1.2. Procedimento

Os ensaios consistiram na combustão de um leito (ignição linear), colocado sobre a plataforma, e supressão com recurso ao extintor de água para um determinado valor de velocidade de escoamento: $U=0$ m/s, $U=0.5$ m/s, $U=1.0$ m/s, $U=1.5$ m/s, $U=2.0$ m/s ou $U=3.0$ m/s.

O ensaio com extinção foi precedido um ensaio de referência, este sem emprego do extintor, mas para a mesma condição em que iria ser feito o ensaio com a extinção. O ensaio de referência possibilita a caracterização da combustão para uma dada velocidade de escoamento e constitui um critério de comparabilidade com os ensaios onde é efetuada a extinção do leito combustível. O ensaio de extinção e de referência obedeceu às seguintes condições, que se definem de seguida: preparação do leito combustível, tipo de ignição e velocidade de propagação da frente de chamas, aquisição de imagens e organização dos ensaios.

Leito Combustível

De modo a garantir reprodutibilidade dos ensaios, a preparação do leito foi feita utilizando um valor de carga combustível (C) em base seca, assegurando-se assim as mesmas condições do combustível em todos os ensaios; em cada ensaio, foi previamente medido o teor de humidade com uma amostra do combustível (1 – 2 g). Este teor de humidade foi determinado num analisador de humidade (A&D MX-50 resolução 0.01% Max=51g), onde a amostra foi submetida a 105°C durante quinze minutos. Posteriormente através da área do leito e carga obteve-se a massa de combustível base seca (m_0) exata a utilizar no leito. A massa combustível foi pesada numa balança (A&D HW-100 KGL, com

20 g de precisão) e posteriormente distribuído de forma homogênea na plataforma de combustão.

Os ensaios com carga de 1.25 kg/m^2 resultaram num leito combustível com aproximadamente 5.00 kg (análoga à massa combustível presente nas parcelas do campo experimental da Gestosa) e foram repetidos três vezes para cada velocidade de escoamento no sentido de garantir robustez aos resultados.

Ignição e velocidade de propagação

Para todos os ensaios foram efetuadas ignições lineares com um fio de lã impregnado numa mistura combustível de *diesel* e gasolina ($\frac{3}{4}$ *diesel* e $\frac{1}{4}$ gasolina) garantindo uma ignição homogênea no início da combustão. Optou-se pela ignição linear, por esta permitir representar uma frente de chamas e permitir determinar a sua velocidade de propagação.

A velocidade de propagação da frente de fogo (R) foi obtida pela colocação de duas régua de pinos, uma em cada lateral da plataforma. Nos pinos equidistantes em cada lateral foi colocado um fio de linho branco que era cortado à passagem da frente de chamas a cada 20 cm de avanço. Com auxílio de um cronómetro foi registado o tempo que a frente demorava a cortar cada fio. A Figura 2.4 permite visualizar a instrumentação da plataforma com as três células de carga (dispostas em triângulo), a régua de pinos com os fios de linho distanciados de 20 cm e a ignição linear do leito combustível.



Figura 2.4. Instrumentação da plataforma, régua de pinos com os fios de linho e ignição linear do leito combustível. Fonte: CEIF/ADAI, 2015

Aquisição de imagens

A monitorização dos ensaios foi feita com aquisição de imagens na gama do visível com recurso a uma câmara fotográfica e uma de vídeo. A gravação de vídeo visível (câmara colocada lateralmente à plataforma) teve uma dupla valência nos ensaios, permitiu retirar os instantes de corte de cada fio, servindo de comparação aos instantes registados pelo cronómetro, e permitiu também determinar o tempo de utilização do extintor nos ensaios com extinção.

Organização dos ensaios

A construção das referências dos ensaios foi feita tendo em conta a seguinte formatação:

Nº de Série – Tipo de Ensaio – Velocidade.Sequência

Nº de série: 1 para carga de 1.25kg/m² e 2 para a carga de 2.00 kg/m². Os ensaios realizaram-se para a carga de 1.25 kg/m² e 2.00 kg/m², no entanto optou-se por não expor os ensaios para esta última série por não terem sido concluídos todos os ensaios planeados. O motivo pelo qual a carga de 2.00 kg/m² consta na construção das referências está relacionada com a intenção da sua realização no estudo.

Tipo de ensaio: Ensaio de referência (REF) ou ensaio com utilização de extintores (EXT);

Velocidade: Número correspondente à velocidade de escoamento (0; 0.5; 1; 1.5; 2; ou 3);

Sequência: Número sequencial relativo às repetições dos ensaios que pode ser 1, 2 ou 3.

Na Tabela 2.1 encontra-se apresentada a parametrização dos ensaios e o número de ensaios efetuados. De forma a evitar uma tendência nos resultados, optou-se por realizar a sequência de ensaios de forma aleatória.

A utilização do extintor foi feita direcionando o jato de água na base da chama. A atuação na base da chama, preconizada na extinção de incêndios com recurso a um agente extintor tem um efeito eficaz. A água ao ser projetada sobre a combustão, atua sobre esta provocando a sua extinção por arrefecimento.

Tabela 2.1: Esquematização das condições dos ensaios (Extintores – LEIF)

U (m/s)	Série 1 Carga= 1.25kg/m ²			Total
	Série 1.1	Série 1.2	Série 1.3	
0	1-REF-0.1	1-REF-0.2	1-REF-0.3	6
	1-EXT-0.1	1-EXT-0.2	1-EXT-0.3	
0.5	1-REF-0.5.1	1-REF-0.5.2	1-REF-0.5.3	6
	1-EXT-0.5.1	1-EXT-0.5.2	1-EXT-0.5.3	
1.0	1-REF-1.1	1-REF-1.2	1-REF-1.3	6
	1-EXT-1.1	1-EXT-1.2	1-EXT-1.3	
1.5	1-REF-1.5.1	1-REF-1.5.2	1-REF-1.5.3	6
	1-EXT-1.5.1	1-EXT-1.5.2	1-EXT-1.5.3	
2.0	1-REF-2.1	1-REF-2.2	1-REF-2.3	6
	1-EXT-2.1	1-EXT-2.2	1-EXT-2.3	
3.0	1-REF-3.1	1-REF-3.2	1-REF-3.3	6
	1-EXT-3.1	1-EXT-3.2	1-EXT-3.3	
Total: 36				

2.1.1.3. Tratamento dos dados

O tratamento dos dados foi dividido em duas fases: caracterização da combustão e caracterização da eficácia dos extintores de água. O tratamento foi efetuado com recurso ao programa *Microsoft Excel 2013* e ao programa *KaleidaGraph* (versão 4.0).

Caracterização da combustão

O poder calorífico (H_c) é o conteúdo energético de um determinado combustível em MJ/kg. A abordagem termodinâmica efetuou-se considerando que a combustão é completa e utilizando o H_c de 22.5 MJ/kg (Viegas, *et al.*, 2011) devido à altura de a vegetação utilizada no leito não ter ultrapassado os 0.5 m (MAT-01).

Ensaio de Referência e Ensaio com Extinção

Como referido na Tabela 2.1, a série 1 consiste na repetição de um determinado número de ensaios de referência e de ensaios com extinção para cada velocidade de escoamento. Em cada velocidade de escoamento foram realizados três ensaios de referência e três ensaios com extinção, os cálculos que se seguem são referentes aos valores médios obtidos dos ensaios de referência e dos ensaios com extinção.

A colocação de células de carga sob a plataforma de combustão permitiu determinar a taxa de perda de massa (\dot{m}) pela Equação 1 e a potência calorífica libertada (P_C) pela Equação 2.

$$\dot{m} = \left| \frac{dm}{dt} \right| \quad (1)$$

onde m é a massa de combustível em kg e t é o tempo decorrente da combustão em s.

Neste estudo convencionou-se que a potência calorífica libertada é determinada pelo valor máximo por ela atingida durante o ensaio, conforme indica a Equação 2. O poder calorífico do combustível, H_C , assume o valor de 22.5 MJ/kg, admitindo que a combustão é completa.

$$P_C = \text{Máx}(\dot{m} \times H_C) \quad (2)$$

Outro parâmetro característico da propagação é a intensidade de propagação (Viegas, et al., 2011). A intensidade de propagação, expressa em unidade de potência por unidade de comprimento de chama, pode ser determinada pelo quociente entre potência calorífica e a largura da frente de chamas; neste trabalho a largura da frente assume o valor de 2 m por ser esta a largura do leito combustível.

A determinação da energia libertada por combustão (E_C) foi efetuada adotando-se diferentes resoluções numéricas para os ensaios de referência e para os ensaios com extinção.

O cálculo da energia para os ensaios de referência pode ser efetuado através do denominado método da potência e do método da massa. O cálculo da energia para ensaios com extinção apenas pode ser efetuado pelo método da massa.

O método da potência, dado pelo Equação 3, representa a integração da curva da potência, para intervalos de tempo, t , definidos.

$$E_C = \int_0^t P_C dt \quad (3)$$

O designado método da massa, consiste no produto entre a massa ardida, m_{burn} , e o poder calorífico (Equação 4).

$$E_C = m_{\text{burn}} \times H_C \quad (4)$$

Nos ensaios com extinção o cálculo pela Equação 3 não é válido devido à interferência da introdução de água no registo da massa pelas células de carga, influenciando a taxa de perda de massa e consequentemente a potência calorífica. Nos

ensaios de referência os resultados obtidos pelo método da potência coincidem com os resultados obtidos pelo método da massa, esta comparação de resultados funciona como validação dos dois métodos (Figura A.3 do Apêndice B). Para uniformizar a análise da energia libertada nos ensaios de referência e nos ensaios com extinção, o seu cálculo foi efetuado para o método comum aos dois tipos de ensaio, o método da massa.

Caracterização da eficácia dos extintores de água

A envolvimento de diversos fenómenos relacionados com a combustão e extinção tornam o processo difícil de controlar na sua totalidade. A resolução numérica que se desenvolve pretende investigar a influência desses fatores na capacidade de extinção. No início do ensaio foi determinada a massa do material combustível em base seca (m_0); iniciada a combustão, o material vai perdendo massa, a massa no instante em que se começa a extinção com o extintor é dada por m_1 ; A massa de água que sai do extintor é dada por $m_{\text{água}}$, calculada pela diferença de peso do extintor no início (m_i) e no final do ensaio (m_f), conforme evidencia a Equação 5;

$$m_{\text{água}} = m_i - m_f \quad (5)$$

Após arrefecimento (extinção completa) a massa presente é a massa do combustível que não ardeu mais a água que tem no momento; após secagem dessa massa em estufa, a massa obtida é dada por m_2 , ou seja, a massa seca; A massa ardida nos ensaios com extinção é então determinada pela Equação 6.

$$m_{\text{burn}} = m_0 - m_2 \quad (6)$$

A eficácia dos extintores de água pode ser estabelecida pelas relações entre seguintes parâmetros:

- Comparação entre os ensaios de referência e os ensaios com extinção;
- Velocidade de propagação (R);
- Perda de massa do extintor ($m_{\text{água}}$);
- Tempo de utilização do extintor (t_{ext});
- Massa ardida (m_{burn});
- Potência calorífica (P_C) e energia libertada (E_C).

2.1.2. Metodologia experimental em campo

Pretendeu-se averiguar a capacidade de extinção dos extintores num contexto real, para esta análise os ensaios foram realizados no campo experimental da Gestosa, Serra da Lousã.

2.1.2.1. Equipamento

Nos ensaios em campo não houve possibilidade de instalar todos os equipamentos utilizados em laboratório, no entanto foram assegurados instrumentos de monitorização para a máxima aquisição de dados possível.

Os principais equipamentos utilizados, apresentados na Figura 2.5, foram uma balança (idêntica à utilizada no LEIF) necessária à pesagem dos extintores; câmara de vídeo e câmara de infravermelhos (IR) para monitorizar os ensaios; e um pinga-lume para se iniciar a combustão.



Figura 2.5. Equipamentos utilizados: a) Balança; b) câmara IR; c) pinga-lume. Fonte: CEIF/ADAI, 2015

2.1.2.2. Procedimento

A execução destes ensaios consistiu na combustão de uma parcela e extinção da mesma com o extintor de água sob as condições atmosféricas do momento. A temperatura e o teor da humidade relativa do ar e a velocidade do vento foram monitorizados antes e durante a realização dos ensaios. Foi sempre assegurada a aquisição de imagens vídeo na gama do visível e do infravermelho e foi utilizado um extintor novo para cada ensaio, utilizando-se um total 12 extintores de água. A Figura 2.6 apresenta a sequência da combustão (*a, b, c*) e da atuação na extinção (*d, e, f*) para o ensaio *EXT-GES-02*.



Figura 2.6. Sequência do procedimento na combustão e extinção no ensaio *EXT-GES-02*. Fonte: CEIF/ADAI, 2015

Parcelas de combustível

Os ensaios foram realizados num talhão previamente preparado em parcelas, de 2 m x 2 m, sob as condições atmosféricas do momento. As parcelas eram constituídas por combustíveis finos vivos e combustíveis finos mortos (matos baixos e médios). As espécies florestais constituintes do mato eram essencialmente *Erica arbórea L.*, *Pterospartum tridentatum L.* e *Ulex europaeus L.* O teor de humidade dos combustíveis e a altura do leito (h_{leito}) foram parâmetros determinados no início dos ensaios. A sequência de queima com que os ensaios foram realizados encontra-se ilustrada na Figura 2.7.

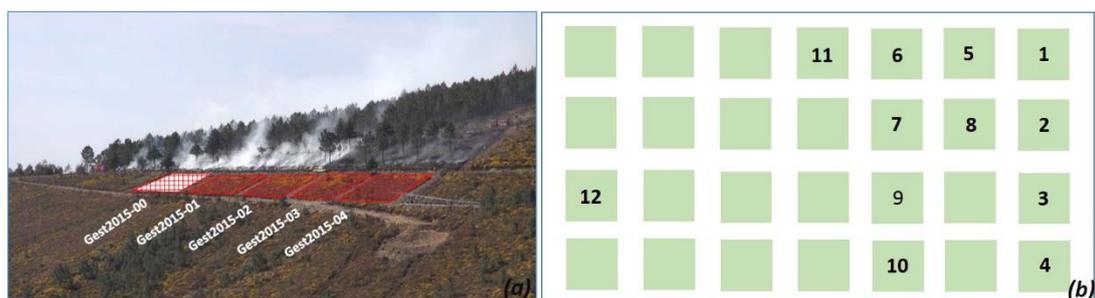


Figura 2.7. (a) *Gest2015-00* – Enquadramento do talhão; (b) Sequência da queima das parcelas

Ignição e aquisição de imagens

Neste estudo pretendeu-se analisar duas situações de combate ao fogo, uma que simulasse a extinção de uma frente (ignição linear) e outra situação que simulasse uma ocorrência localizada (ignição perimetral).

Procedeu-se à monitorização dos ensaios através de câmaras fotográfica e vídeo visível e câmara de infravermelhos (IR), como mencionado anteriormente. A gravação de vídeo visível (câmara colocada lateralmente à parcela) permitiu o registo de ocorrências decorrentes durante o ensaio. A câmara de IR teve nestes ensaios um papel fundamental na aquisição de imagens no momento da extinção, onde foi possível determinar o tempo de utilização do extintor. A aquisição de imagens na gama do visível ficou comprometida devido à densa coluna de fumo que se gerou.

Organização dos ensaios

Foram concretizados seis ensaios lineares e seis ensaios perimetrais, executados alternadamente, perfazendo um total de doze ensaios. Na Tabela 2.2 encontram-se evidenciados os ensaios realizados. Dos doze ensaios apenas dois não tiveram sucesso, ou seja, não foi verificada a eficácia do extintor no ensaio *EXT-GES-07* e *EXT-GES-08* devido problemas de pressão dos extintores utilizados.

Tabela 2.2. Esquematização dos ensaios (Extintores de água – Gestosa)

Ignição	Referência do Ensaio	Ignição	Referência do Ensaio
Linear	EXT-GES-01	Perimetral	EXT-GES-02
	EXT-GES-03		EXT-GES-04
	EXT-GES-05		EXT-GES-06
	EXT-GES-07		EXT-GES-08
	EXT-GES-09		EXT-GES-10
	EXT-GES-11		EXT-GES-12
Total: 12			

2.1.2.3. Tratamento dos dados

A principal fonte de obtenção de dados destes ensaios consistiu na pesagem dos extintores, no início e no final da sua utilização, e nos ficheiros de vídeo registados pela câmara de IR. A determinação da massa presente em cada parcela foi efetuada previamente para duas parcelas, pelo processo de amostragem destrutiva, e extrapolada para as restantes, consoante a sua área inicial (medida para todas as parcelas).

A medição inicial da área e a determinação da massa combustível de cada parcela permitiu estimar a massa ardida (através de medições efetuadas à área ardida para todas as parcelas). Para esta determinação considerou-se que o material combustível se encontrava distribuído uniformemente na parcela. A massa ardida, m_{burn} , para uma dada parcela foi calculada pela Equação 7.

$$m_{\text{burn}} = \frac{m_0 \times A_{\text{burn}}}{A} \quad (7)$$

Na Equação 7, m_0 representa a massa combustível inicial em kg, A a área inicial e A_{burn} a área ardida, ambas em m^2 .

A energia libertada por combustão foi também analisada nos ensaios de campo. A sua determinação foi efetuada através da Equação 4 tal como havia sido feita no LEIF.

A câmara de IR possibilitou a determinação do tempo de utilização do extintor, através do registo em ficheiros vídeo, os quais foram extraídos em fotogramas considerados em determinados valores de intervalos de tempo. A evolução temporal das imagens permitiu acompanhar o desenvolvimento da combustão e posteriormente a sua extinção com o extintor de água (devido à diminuição de temperatura provocada pela água). Através da câmara de IR foi possível compreender o que estava a ocorrer durante a extinção, como evidencia a Figura 2.8 para o ensaio *EXT-GES-02*. Nesta figura a extinção iniciou-se em *b)* e terminou em *f)*, onde o fogo foi dado como extinto. O tratamento das imagens de infravermelhos foi efetuado utilizando o programa *ThermaCAM™ Researcher*.

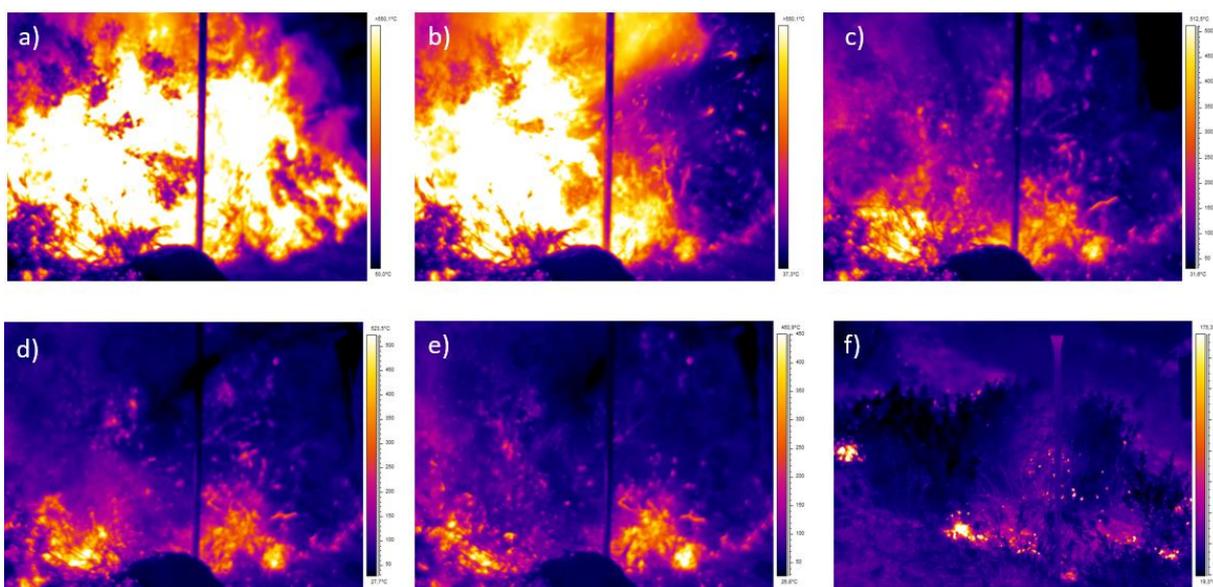


Figura 2.8. Imagens IR do ensaio *EXT-GES-02* (Extintores de água – Gestosa)

2.2. Barreira

No estudo para testar a capacidade de resistência da *Barreira* ao fogo e ao vento, os ensaios foram efetuados no TC no LEIF e também no campo da Gestosa.

Neste trabalho experimental foram identificadas essencialmente três etapas:

- Estudo da eficácia de uma barreira para um mecanismo de proteção *IA* no LEIF, designada *Barreira 1* (Secção 2.2.1);
- Estudo da eficácia da *Barreira 1* para um mecanismo de proteção *IA* na Gestosa (Secção 2.2.2);
- Estudo da eficácia de uma barreira para um mecanismo de proteção *2A* e *2B* no LEIF, designada *Barreira 2* (Secção 2.2.3);

O estudo com a *Barreira* encontra-se em fase exploratória, por este motivo, neste caso de estudo optou-se por não mencionar os mecanismos de proteção e os materiais utilizados na sua composição, sendo referenciada como *Barreira* do tipo 1 e *Barreira* do tipo 2. Na referência utilizada para diferenciar os mecanismos de proteção, o algarismo indica o tipo de *Barreira* (1 ou 2) e a letra indica de tipo de mecanismo de proteção (A ou B).

2.2.1. Metodologia experimental em laboratório – Barreira 1

A *Barreira 1* tem uma área de 4 m² (4 m de comprimento e 1 m de altura) é constituída por um material ignífugo.

2.2.1.1. Procedimento

Os ensaios consistiram na preparação de um leito combustível no TC, na sua respetiva combustão (com ignição linear) e na observação do comportamento da *Barreira* com a aproximação do fogo, sob as condições planeadas. A *Barreira* foi sujeita a um escoamento de fluxo de ar de 1 m/s e 2 m/s.

Previamente a *Barreira 1* foi fixa, no TC, por um cabo de aço na sua costura superior e na costura inferior foi colocada uma mangueira de $\frac{3}{4}$ polegada com o objetivo de refrigerar e conferir estabilidade à mesma quando sujeita ao escoamento.

Delimitação da área de trabalho

A Figura 2.9 representa as áreas do leito, A , delimitadas para o estudo. O comprimento da *Barreira*, w_b , é de 4.00 m. A distância, b , da *Barreira* até ao início do leito é de 3.00 metros, sendo esta uma distância sempre fixa. O comprimento do leito é representado por a . O comprimento inicial do leito é de 2.00 metros, e este foi progressivamente aumentado para 2.50 metros e para 2.70 metros. Ou seja, com o aumento do seu comprimento e visto que o posicionamento da *Barreira* se mantém fixo, a distância do leito à *Barreira*, d , vai diminuindo de 1.00 m para 0.50 m e por fim para 0.20 m.

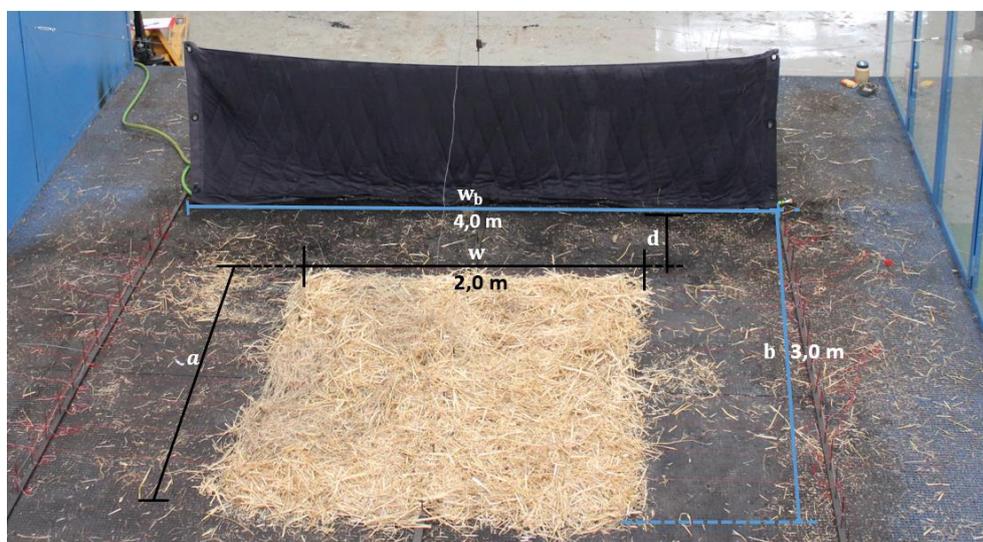


Figura 2.9. Delimitação da área de trabalho (*Barreira 1*)

Na Tabela 2.3 estão representadas as referidas distâncias para três ensaios.

Tabela 2.3. Relação do comprimento do leito com a distância à *Barreira 1*

Ensaio	A (m ²)	a (m)	d (m)
01	4.0	2.0	1.0
02	5.0	2.5	0.5
03	5.4	2.7	0.2

Leito Combustível e ignição

Após delimitação das áreas, prosseguiu-se para a preparação do leito combustível. Estes ensaios foram realizados com leitos de *Avena sativa* (feno) com carga de 1.0 kg/m². O procedimento da sua preparação foi análogo ao procedimento realizado com o extintor de água no LEIF. Para este estudo foram realizadas ignições lineares e fios de linho distanciados de 20.0 cm para analisar a velocidade de propagação com aproximação da frente de chamas à *Barreira*.

Organização dos ensaios

Foram realizados três ensaios (cada um correspondente à área do leito mencionada na Tabela 2.3) para cada velocidade do vento, perfazendo um total de seis ensaios. Na Tabela 2.4 encontram-se evidenciados os ensaios realizados e as suas condições.

Tabela 2.4. Esquemática das condições dos ensaios (Barreira 1 – LEIF)

Série 1	Referência do ensaio	A (m ²)	U (m/s)	Total de ensaios
Série 1.1	EB-01	4.0	1.0	3
	EB-02	5.0	1.0	
	EB-03	5.4	1.0	
Série 1.2	EB-04	4.0	2.0	3
	EB-05	5.0	2.0	
	EB-06	5.4	2.0	
Total de ensaios				6

2.2.1.2. Tratamento dos dados

No presente trabalho, nos mecanismos de contenção ao fogo a *Barreira 1* foi o primeiro a ser desenvolvido. A análise efetuada foi exploratória, posteriormente à realização dos seus ensaios foram realizadas alterações à metodologia e incorporadas na *Barreira 2*. Por uma questão de oportunidade a análise à *Barreira 1* foi removida deste plano de ensaios, podendo ser de novo encarada como trabalho futuro.

Devido à carência de dados, o tratamento consistiu apenas na análise da velocidade de propagação do fogo com a aproximação à *Barreira*, para duas velocidades de escoamento: 1m/s e 2 m/s. A reação da *Barreira* à aproximação da frente de chamas foi feita para a distância máxima de 1.00 m, distância intermédia de 0.50 m e a distância mínima de 0.20 m.

2.2.2. Metodologia experimental em campo – Barreira 1

Posteriormente à primeira fase de ensaios no LEIF, pretendeu-se averiguar a eficácia da *Barreira 1* num contexto real. O trabalho foi efetuado num talhão que tinha como combustível mato vivo (*Erica arbórea* L., *Pterospartum tridentatum* L. *Ulex europaeus* L.) de 10 m x 20 m, exposição NE, inclinação 20°, com carga combustível de 1.35 kg/m² e sob as condições atmosféricas do momento. As condições do ensaio são apresentadas na Tabela 2.5.

Tabela 2.5. Esquematização das condições do ensaio (*Barreira 1* – Gestosa)

Nº de ensaios	1
Referência	GES-Barreira-1
Carga (kg/m ²)	1.35
Área do leito (m ²)	200.00
Instrumentação com termopares	Efetuada

2.2.2.1. Equipamento

A *Barreira* foi colocada no terreno e instrumentada com dois termopares. Na parte frontal da *Barreira* foi colocado um termopar ao centro, exposto à frente de chamas e o segundo termopar foi colocado ao centro na parte protegida da frente de chamas.

Para monitorizar o ensaio, que teve uma ignição linear utilizando um pinga-lume, utilizaram-se câmaras de vídeo na gama do visível e do infravermelho.

2.2.2.2. Procedimento e tratamento dos dados

A execução destes ensaios consistiu na combustão do talhão e observação do comportamento da *Barreira* com a aproximação do fogo. A temperatura e o teor da humidade relativa do ar e a velocidade do vento foram monitorizados antes e durante a realização dos ensaios. A *Barreira 1* foi colocada no terreno a 22.0 m do início do leito (sentido ascendente) com 0.5 m de área limpa em ambos os seus lados e a 3.0 m do topo do terreno (Figura 2.10).



Figura 2.10. Posição da *Barreira 1* no terreno (vista lateral)

A fonte de obtenção de dados destes ensaios, para além das imagens recolhidas nas diferentes gamas, consistiu no registo das temperaturas pela instrumentação da *Barreira* com termopares e programa específico (*PicoLog Recorder*) que permite a exportação para a folha de cálculo do *Excel* versão 2013.

2.2.3. Metodologia experimental em laboratório – Barreira 2

A presente metodologia foi efetuada através de conclusões retiradas da exposição da *Barreira 1* à frente de chamas no LEIF e na Gestosa. Nas condições experimentais da Gestosa, a eficácia da *Barreira* para proteção não foi verificada. A *Barreira 2*, constituída por outro tipo de material ignífugo, teve um mecanismo de proteção 2A e um mecanismo de proteção 2B e foi apenas analisado com uma amostra de 1 m x 1 m. Pretendeu-se manter o procedimento semelhante ao procedimento efetuado com a *Barreira 1*, no entanto examinando determinados parâmetros como o fluxo de calor e a evolução das temperaturas na *Barreira 2*.

2.2.3.1. Equipamento

Os ensaios realizaram no TC onde a *Barreira* foi colocada e instrumentada com dois termopares (um ao centro na parte frontal da *Barreira* e o segundo ao centro na parte traseira) e um fluxómetro com dois sensores de fluxo de calor refrigerados a água. Estes sensores e os termopares encontravam-se conectados ao programa *PicoLog Recorder* instalado no computador utilizado.

A utilização de câmara fotográfica e câmara de vídeo visível permitiu a monitorização de todos os ensaios efetuados.

2.2.3.2. Procedimento

A delimitação da área do leito encontra-se na Figura 2.11. A nomenclatura da delimitação das áreas é igual à que foi seguida para a *Barreira 1*. O comprimento da *Barreira 2*, w_b , é de 1.0 m, w representa o comprimento do leito, b a distância fixa do início do leito (onde se inicia a ignição) à *Barreira* e d a distância entre o final do leito e a *Barreira*. O relacionamento da área e distância do leito à *Barreira* encontram-se na Tabela 2.6

Tabela 2.6. Relação do comprimento do leito com a distância à Barreira (*Barreira 2*)

A (m ²)	w (m)	a (m)	d (m)
10.0	2.0	5.0	1.0
11.0	2.0	5.5	0.5



Figura 2.11. Esquema da delimitação das áreas (Barreira 2 – LEIF)

Realizaram leitos combustíveis com uma área (A) de 10.0 m^2 e 11.0 m^2 e com carga de 1.25 kg/m^2 . Estas duas áreas estão relacionadas com a aproximação do comprimento do leito à *Barreira*.

No túnel de combustão a *Barreira* foi sujeita a diferentes velocidades de vento: 0 m/s , 1 m/s , 2 m/s e 3 m/s . A Tabela 2.7 indica as condições em que os ensaios foram efetuados.

Tabela 2.7. Esquematização das condições dos ensaios (LEIF – *Barreira 2*)

Referência	Combustível	C (kg/m^2)	U (m/s)	d (m)	Proteção
BAR02-0	Feno	1.25	0.00	1.00	2A
BAR02-1	Feno	1.25	1.00	1.00	2A
BAR02-2	Feno	1.25	2.00	1.00	2A
BAR02-3	Feno	1.25	3.00	1.00	2A
BAR03-0	Feno	1.25	0.00	0,50	2A
BAR03-1	Feno	1.25	1.00	0,50	2A
BAR03-2	Feno	1.25	2.00	0,50	2A
BAR03-3	Feno	1.25	3.00	0,50	2A
BAR04-0	Feno	1.25	0.00	1.00	2B
BAR04-1	Feno	1.25	1.00	1.00	2B
BAR04-2	Feno	1.25	2.00	1.00	2B
BAR04-3	Feno	1.25	3.00	1.00	2B
BAR05-0	Feno	1.25	0.00	0,50	2B
BAR05-1	Feno	1.25	1.00	0,50	2B
BAR05-2	Feno	1.25	2.00	0,50	2B
BAR05-3	Feno	1.25	3.00	0,50	2B
Total de ensaios: 16					

2.2.3.3. Tratamento dos dados

A transmissão de calor, sendo o calor uma forma de energia que se transfere de uma zona para outra em consequência da diferença de temperaturas entre elas, obedece a três fenómenos distintos: condução, convecção e radiação térmica (Figueiredo, 2015). A condução, passagem de calor num meio estacionário por propagação das vibrações das moléculas, não será analisada no presente trabalho. A convecção assume uma importância particular quando se trata da interação térmica e dinâmica entre o escoamento de um fluido e uma superfície sólida a uma temperatura distinta; a radiação é uma forma de transferência de calor que assenta na emissão de ondas eletromagnéticas, sendo qualquer corpo na natureza com temperatura superior ao zero absoluto um emissor de radiação térmica (Figueiredo, 2015). Devem ser analisados estes dois últimos fenómenos no impacto térmico de uma frente de chamas a um elemento sólido (barreira); no entanto por carência de dados que permitam aferir detalhadamente o tipo de impacto, analisa-se o momento onde apenas prevalece a radiação e assume-se que quando esta se deixa de verificar o impacto passa a ser radiativo e convectivo.

A *Barreira* assume o papel de recetor térmico quando sujeita a uma fonte de radiação térmica, neste caso uma frente de chamas. A energia absorvida pela *Barreira* é responsável pelo aumento de temperatura que se verifica na sua face protegida e exposta, no entanto a energia está relacionada com o fluxo incidente (parâmetro característico da chama). O fluxo incidente é medido pelo fluxómetro, instrumento que mede o fluxo instantâneo proveniente da chama expresso em kW/m². Quando a frente de chamas se encontra afastada deste, o calor proveniente é predominantemente radiativo por não existir interação térmica e dinâmica entre as chamas e o fluxómetro; com a aproximação da frente e principalmente quando o fluxómetro se encontra em contacto direto com a chama, o fenómeno de transferência de calor é radiativo e convectivo devido à envolvência de gases quentes.

Análise da temperatura na Barreira

A análise das temperaturas foi efetuada pela variação da temperatura (ΔT) em vez da temperatura real medida na *Barreira* (T). A temperatura ambiente (T_{amb}) no momento do ensaio refletia-se nas temperaturas medidas pelos termopares, entendendo-se como a temperatura inicial registada na *Barreira* e que deve ser descontada às

temperaturas registadas durante o ensaio. Este método aplicou-se para possibilitar o relacionamento das temperaturas dos ensaios realizados em dias diferentes, sendo então analisadas em relação à sua elevação, representável por $\Delta T = T - T_{amb}$.

Análise do impacto térmico

A envolvimento do impacto térmico necessitou ser analisada em todos os ensaios, ou seja, para uma dada velocidade de escoamento definir se o fenómeno é apenas radiativo ou se é radiativo e convectivo. Como critério, considerou-se o fenómeno como puramente radiativo se for verificado que o fluxo (Φ) depende linearmente do inverso do quadrado da distância ($\frac{1}{d^2}$) da chama ao fluxómetro; nestes casos aplica-se a denominada lei do inverso do quadrado da distância, expressa pela Equação 8, onde Z é uma constante que depende das características do elemento emissor (forma, temperatura, geometria, altura da chama).

$$\Phi = Z \times \frac{1}{d^2} \quad (8)$$

O impacto denomina-se como radiativo e convectivo quando a evolução do fluxo incidente não pode ser descrita pela referida lei. Nestes caso a análise é mais complexa por carência de parâmetros suficientes para caracterizar o fenómeno. Nas situações de maiores valores de velocidades de escoamentos tentar-se-á compreender a fase em que o fluxo é linear até que essa característica deixe de se manifestar.

Como referido inicialmente a energia acumulada até um determinado instante provoca o aumento de temperatura na *Barreira* nesse instante. A energia incidente na *Barreira*, E_{Bar} , é determinada pela integração da curva de fluxo em função do tempo de ensaio (t), conforme indica a Equação 9.

$$E_{Bar} = \int_0^t \Phi dt \quad (9)$$

Para avaliar o impacto térmico e a resistência da *Barreira* a esse impacto estudou-se:

- O fluxo e a elevação da temperatura com a distância da frente de chamas à *Barreira*;
- A verificação da evolução do fluxo através lei do inverso do quadrado da distância da frente de chamas à *Barreira*, e até que fase ela é comprovada;
- A energia incidente na *Barreira* em função da velocidade de escoamento.

2.3. Cerca com aspersão de água

O estudo da Cerca de aspersão de água está relacionado com a capacidade de o sistema instalado humedecer a zona envolvente de modo a conter ou inibir a propagação do fogo. A Cerca em estudo é um protótipo constituído em aço inoxidável, com 4 m de comprimento e possui dois aspersores de água (*water curtain nozzle*) distanciados de 2 m. O seu abastecimento foi feito com recurso a um reservatório móvel com capacidade de 500 l (calibrado de 20 em 20 l), complementando com uma bomba elétrica (1.7 kW) e uma linha de mangueira de 45 mm de diâmetro e 25 m de comprimento; este sistema encontra-se na Figura 2.12.



Figura 2.12. Sistema de aspersão. Fonte: CEIF/ADAI, 2015

A bomba elétrica, unida diretamente ao reservatório, possui uma união do tipo *Storz*, na qual é conectada a linha de mangueira de 45 mm de diâmetro que a liga à Cerca através de uma união do mesmo tipo. O comprimento da mangueira utilizada nos ensaios laboratoriais foi de 25 m, no entanto este comprimento pode ser extensível; nos ensaios de campo o comprimento foi de 50 m devido à maior distância entre o local onde se instalou a cerca e o local do reservatório. Quanto maior o comprimento da linha de mangueira maior será a perda de carga no sistema, no entanto esta perda não foi tida em conta nesta fase do estudo. Conforme descrito anteriormente a bomba é elétrica, e sempre que o sistema foi testado em contexto laboratorial e de campo, foi alimentada por um gerador a *diesel*.

O objetivo do trabalho consiste em estudar a aspersão da água pela Cerca, a fim de analisar a sua eficácia para uma situação de aproximação de um IF a uma estrutura crítica. Para a concretização deste objetivo a metodologia teve o seu desenvolvimento em duas fases. A primeira consistiu na caracterização da dispersão da água, sem utilização do

fogo. A segunda fase consistiu na implementação da Cerca no campo experimental onde foi possível analisar o seu efeito na contenção e supressão de uma frente de fogo.

2.3.1. Caracterização da dispersão

A metodologia que se apresenta evidencia o procedimento seguido para determinar a área de cobertura e a distribuição da dispersão da água abrangida pela Cerca.

2.3.1.1. Equipamento

A monitorização dos ensaios foi feita com recurso a máquina fotográfica e câmara de vídeo visível em duas posições distintas: zona abrangida pela área de aspersão e zona junto ao reservatório. A gravação junto ao reservatório permitiu determinar com clareza o deslocamento da água, minimizando eventuais erros ou falhas com o cronómetro. A massa de água recolhida foi pesada numa balança.

2.3.1.2. Procedimento

Os ensaios foram realizados no exterior do LEIF, numa área do aeródromo da Lousã. Para a determinação da dispersão de água foi necessário delimitar e esquematizar a área que a Cerca consegue cobrir.

Delimitação da área de trabalho

A área abrangida para analisar a dispersão da água pela Cerca encontra-se representada na Figura 2.13 e na Figura 2.14.

As linhas azuis representadas na Figura 2.13 são as linhas exteriores e delimitam a zona de trabalho e a área de referência. As linhas representadas a preto serviram para auxiliar a marcação de pontos, que foram feitos nas interseções das linhas – nós, processo igual para as linhas verdes, representadas de cor diferente das restantes interseções por se tratar de uma zona de interesse relevante na caracterização da dispersão (linha dos aspersores de água). A Cerca, com 4 m de comprimento (\overline{CG}) contém dois aspersores distanciados de 2 m entre si, um localizado no ponto (D,0) e o seguinte localizado no ponto (F,0), conforme indicado na Figura 2.13 e materializado a sua esquematização na Figura 2.14.

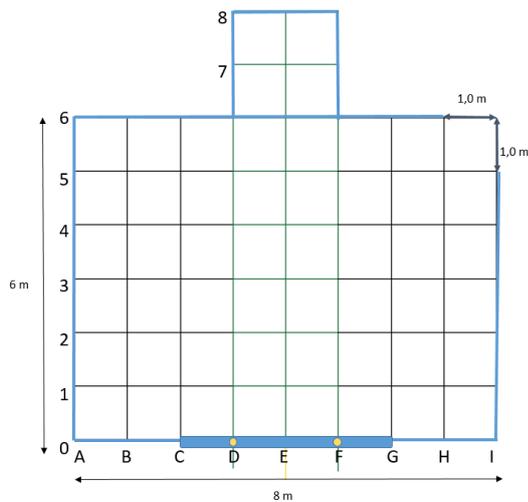


Figura 2.13. Delimitação da área a estudar na dispersão de água pela Cerca (esquema)



Figura 2.14. Delimitação da área de trabalho para análise da dispersão da Cerca (LEIF – Aeródromo).
Fonte: CEIF/ADAI

Análise da dispersão

Para analisar a dispersão da água foi necessário recolher a água que caía em cada nó da Figura 2.13, para esta recolha utilizaram-se 64 recipientes (um para cada nó). Em cada ensaio foram registados os parâmetros ambientais da temperatura, humidade relativa e velocidade e rumo do vento, para três caudais diferentes, conseguidos pela abertura da válvula entre 50%, 75% e 100%. O estudo da dispersão foi efetuado seguindo os acontecimentos, esquematizados e apresentados no Apêndice A. A Figura 2.15 evidencia a sequência dos passos seguidos no procedimento.



Figura 2.15. Esquema da sequência a ser seguida a partir do ajuste da válvula

* Após pesagem os recipientes foram secos e colocados na mesma posição.

Para cada orientação da válvula foram realizados três ensaios utilizando 100 l de água em cada, realizando-se um total de 9 ensaios. A Tabela 2.8 esquematiza e caracteriza os ensaios efetuados e a massa de água recolhida. Na tabela, U representa a velocidade do vento medida em m/s, $V_{\text{água}}$ o volume de água utilizado e Q o caudal volumétrico.

Tabela 2.8. Esquematização e caracterização dos ensaios (Cerca – LEIF)

Série	Referência do ensaio	U (m/s)	Abertura da válvula (%)	V _{água} (l)	Q l/s
1	Cerca 1.1	2.13	100	100	1.16
	Cerca 1.2	1.37	100	100	1.23
	Cerca 1.3	0.83	100	100	1.26
2	Cerca 2.1	0.92	75	100	0.94
	Cerca 2.2	1.56	75	100	0.98
	Cerca 2.3	0.62	75	100	0.99
3	Cerca 3.1	0.80	50	100	0.28
	Cerca 3.2	1.08	50	100	0.34
	Cerca 3.3	1.03	50	100	0.36
Total: 9					

2.3.1.3. Tratamento dos dados

A avaliação da dispersão da água aspergida pela cerca foi feita determinando-se a massa de água recolhida nos pontos delineados na área de trabalho (Figura 2.13) para um valor da abertura da válvula configurada (50, 75 ou 100%).

Para cada abertura da válvula da bomba, foram consumidos 300 l de água, a cada 100 l de aspersão foram recolhidos e pesados todos os recipientes presentes. A estimativa para analisar a massa de água recolhida foi feita, em cada abertura (50%, 75% ou 100%), pela média das três pesagens em cada nó da Figura 2.15 e extrapolada para a área envolvida (A_e). A área envolvida foi determinada pela medição da área molhada após o ensaio.

A média de massa de água recolhida (m_r) em quatro recipientes (cada um de 0.152 m^2) é um valor representativo da massa que cai na área delimitada por esses recipientes, como tal m_r foi estendido para 1 m^2 obtendo-se a massa de água por unidade de área, denominada de densidade superficial (ρ_s) em kg/m^2 .

O aproveitamento que se faz da água encontra-se relacionado com a área de referência, ou seja a área ideal que a aspersão da água devia cobrir. Considerou-se a eficiência do processo de aspersão como a relação entre a quantidade de água presente (m_p) na sua área envolvida (A_e), a quantidade de massa total projetada (m_t) e a área de referência (A_{ref}), dada pela Equação 10.

$$\eta (\%) = \frac{m_p \times A_e}{m_t \times A_{ref}} \times 100 \quad (10)$$

Nesta Equação, o denominador permanece constante em todos os ensaios porque os parâmetros m_t e A_{ref} foram sempre 100 l e 52 m², respetivamente.

O caudal de água utilizado pela Cerca foi determinado através da cronometragem do tempo a cada deslocamento de 20 l no reservatório.

2.3.2. Metodologia experimental em campo

Na presente metodologia, o estudo foi efetuado no campo da Gestosa, em dois talhões, cada um com dimensão de 10 m x 20 m, ambos com características similares ao ensaio com a *Barreira 1*.

2.3.2.1. Equipamento e Procedimento

Os equipamentos utilizados para monitorizar os ensaios foram câmaras de vídeo na gama do visível e IR.

Foram formuladas duas condições para efetuar os ensaios: Condição A e Condição B. A condição A pretendeu analisar a propagação de uma frente (iniciada com recurso a um pinga-lume) quando esta atinge uma zona humedecida pela aspersão da Cerca. Nesta condição não houve aspersão de água durante a passagem das chamas, houve aspersão antes de se iniciar a ignição. A condição B simulou um sistema descontínuo, isto é, pretendeu-se analisar a propagação do fogo quando a zona envolvente tinha sido previamente humedecida pela aspersão de água (antes de se iniciar ignição – Fase B1) e analisar nessa mesma propagação o combate direto da aspersão na supressão do fogo (Fase B2).



Figura 2.16. Ignição linear e propagação inicial do fogo. Fonte: CEIF/ADAI

Na Tabela 2.9 encontram-se evidenciados os ensaios realizados e as suas condições. A esquematização e detalhes do procedimento efetuado para a Condição A e para a Condição B encontra-se no Apêndice A.

Tabela 2.9. Esquematização das condições dos ensaios (Cerca – Gestosa)

Referência do ensaio	GES-Cerca-A	GES-Cerca-B	
Área (m ²)	200	200	
Carga (kg/m ²)	1.35	1.35	
Condição	A	B	
Abertura da válvula (%)	100	100	
Água consumida (l)	200	100	100
Caudal (l/s)	0.97	1.14	1.27
Aspersão prévia	Efetuada	Efetuada	
Aspersão direta	Não efetuada	Efetuada	

2.3.2.2. Tratamento dos dados

O tratamento dos dados para obtenção dos resultados sobre a cerca no campo foi feito recorrendo à visualização dos vídeos gravados em ambas as gamas (visível e IR). A recolha de imagens permitiu observar o comportamento do fogo em momentos relevantes da sua propagação, nomeadamente quando propaga na zona humedecida.

A determinação do caudal aspergido nos ensaios foi efetuada junto do reservatório de água (deslocamento da água a cada 20 l) e tratado numa folha de cálculo do *Excel 2013*.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresenta-se neste capítulo os resultados dos ensaios laboratoriais e ensaios de campo, efetuados para os três casos de estudo.

3.1. Extintores de água

Os resultados referentes ao caso de estudo sobre extintores de água encontram-se divididos entre os resultados obtidos no laboratório e os resultados obtidos em campo. A Tabela 3.1 resume as condições de ensaios para as diferentes metodologias.

Tabela 3.1. Resumo das principais diferenças entre as metodologias (Extintores de água)

	LEIF		Gestosa	
Carga (kg/m ²)	1.25	2.00	1,35	
Área do leito (m ²)	4.00		3.65	
Combustível florestal	Mato		Mato	
Tipo de ignição	Linear		Linear	Perimetral
Ensaio de referência	Efetuado		Não efetuado	
Velocidade de escoamento (vento)	Com exposição (controlada)		Com exposição (não controlada)	
Taxa de perda de massa	Com registo		Sem registo	
Pesagem do material não ardido	Com registo		Sem registo	
Eficácia	Verificada		Verificada	

3.1.1. Análise laboratorial

As figuras que se seguem resultam do tratamento de dados elaborado na secção 2.1.1.3 e são referentes à energia libertada, potência libertada na combustão e parametrização da análise sobre os extintores a fim de ser averiguada a sua eficácia.

Em cada velocidade de escoamento foram realizados três ensaios de referência e três ensaios com extinção, os resultados apresentados neste capítulo são relativos aos valores médios obtidos dos ensaios de referência e aos valores médios dos ensaios com extinção.

O caudal é uma característica de cada extintor, na Figura 3.1 mostra-se o caudal mássico de água (Q_m), determinado pela média da utilização de três extintores para cada velocidade de escoamento, e o respetivo desvio-padrão.

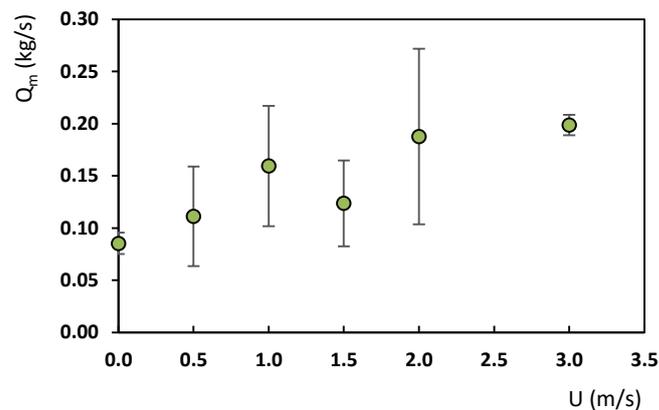


Figura 3.1. Caudal mássico de água do extintor em função de U.

O caudal de água utilizado (com exceção do ensaio para $U=1.5$ m/s) aumenta para maiores velocidades de escoamento, este aumento está relacionado com a maior quantidade de água empregue na extinção. A amplitude do desvio padrão, para determinados valores da velocidade de escoamento, indica que o funcionamento dos extintores não foi igual em todos os ensaios, a desigualdade pode esta relacionada com a pressão inicial dos extintores e manuseamento dos mesmos. Esta situação deve ser analisada, em trabalho futuros, efetuando-se ensaios com caudalímetro no extintor e consoante a abertura da válvula, compreender a variação do caudal em função do tempo de utilização.

Análise da velocidade de propagação

Nos ensaios realizados foram determinadas as velocidades de propagação do fogo (R), na Figura 3.2 são apresentadas as velocidades de propagação em função da velocidade de escoamento. O parâmetro adimensional R' , representável por R/R_0 , indica a velocidade de propagação de um ensaio em m/s relativamente ao ensaio para velocidade básica de propagação (R_0) em m/s.

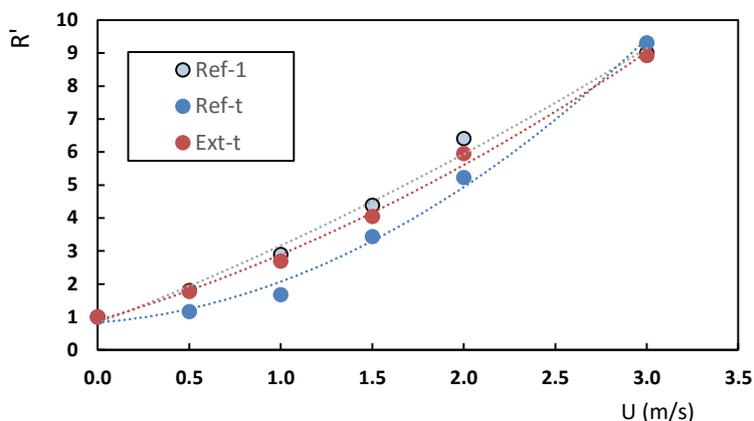


Figura 3.2. Evolução da velocidade de propagação em função de U.

Legenda

	Linha de tendência
○ E.Ref-1 : ensaio de referência para 1m de propagação	$y = 0.216x^2 + 2.129x + 0.818 \quad R^2 = 0.992$
● E.Ref-t : ensaio de referência para propagação total (2m)	$y = 0.814x^2 + 0.425x + 0.833 \quad R^2 = 0.994$
● E.Ext-t : ensaio com extinção para propagação total (1m)	$y = 0.357x^2 + 1.640x + 0.896 \quad R^2 = 0.995$

Nos ensaios de referência (E.Ref) o fogo propagou-se ao longo de 2 m, contudo nos ensaios de extinção (E.Ext) a propagação apenas ocorreu para metade do percurso (1 m) devido à interrupção da propagação pelo uso do extintor. Devido a esta situação, a Figura 3.2 nos ensaios de referência apresenta a velocidade para 2 m de propagação e a velocidade para 1 m, esta exposição possibilita a comparação entre os ensaios de referência e os ensaios com extinção cuja distância total percorrida foi de 1m.

No primeiro metro percorrido observa-se que as velocidades para os ensaios de referência e as velocidades para os ensaios de extinção são semelhantes.

Quando a análise é feita para o tempo total dos dois tipos de ensaio, a velocidade de propagação atingida nos ensaios de extinção é mais elevada do que nos ensaios de referência devido à interrupção da propagação pelo uso do extintor.

Análise da massa combustível

Na Figura 3.3, Figura 3.4, Figura 3.5, Figura 3.6, Figura 3.7 e a Figura 3.8 apresenta-se a variação da massa combustível, m' , em função do tempo de ensaio, t, para uma dada velocidade de escoamento, U. A representação gráfica de todos os ensaios é

apresentada no Apêndice B na Figura A.1. O parâmetro adimensional m' representa a massa combustível de um ensaio relativamente à sua massa inicial m_0 , ou seja, m/m_0 .

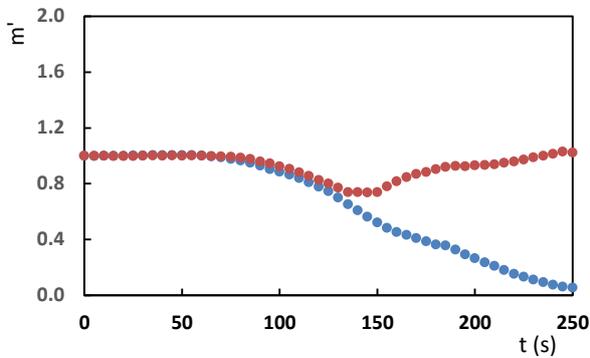


Figura 3.3. Variação da massa para $U=0$ m/s

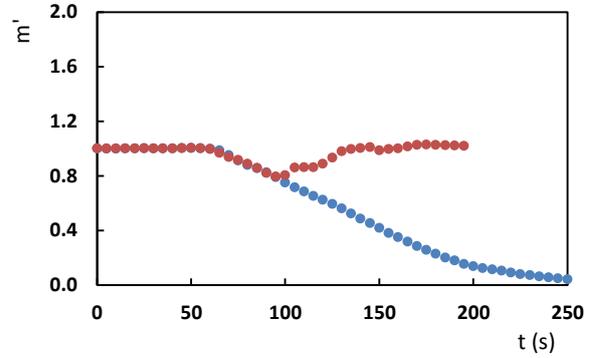


Figura 3.4. Variação da massa para $U=0.5$ m/s

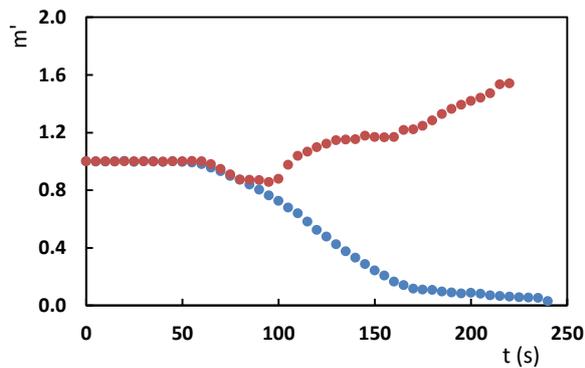


Figura 3.5. Variação da massa para $U=1.0$ m/s

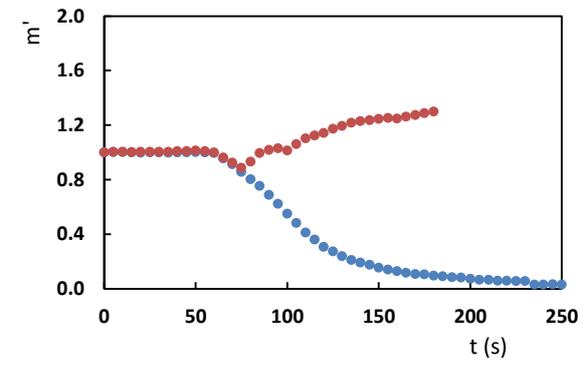


Figura 3.6. Variação da massa para $U=1.5$ m/s

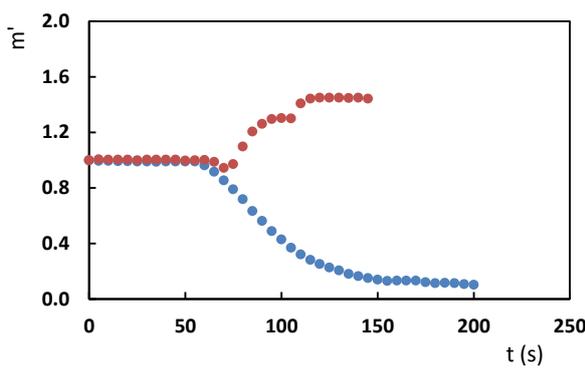


Figura 3.7. Variação da massa para $U=2.0$ m/s

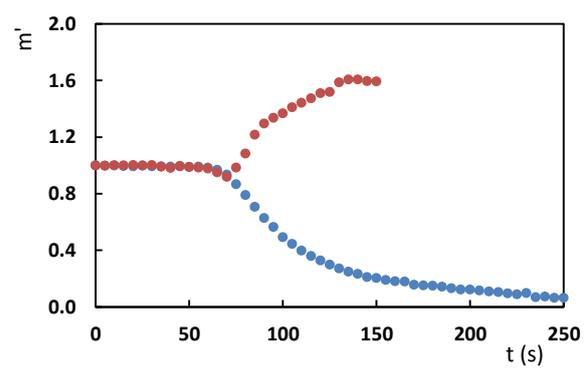
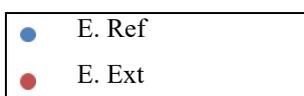


Figura 3.8. Variação da massa para $U=3.0$ m/s

Legenda



A ignição ocorreu 60 s após se iniciar a aquisição de dados, motivo pelo qual se observa em todas as figuras uma representação inicial constante. Nos ensaios de referência (E.Ref) ocorre o decaimento da massa até ao final do ensaio. Nos ensaios com extinção (E.Ext) ocorre um decaimento da massa até ao instante em que é utilizado o extintor, posteriormente a massa no leito aumenta devido à introdução de água.

Na fase de aumento da massa (ensaios com extinção) observavam-se oscilações, para valores de U superiores a 1 m/s, devido à instabilidade nas células de carga provocada pelo maior escoamento na plataforma. Este acontecimento é notório para $U=2$ m/s e $U=3$ m/s. As descontinuidades devem-se à referida instabilidade e devem-se ao tratamento de dados estabelecido para os valores médios, pois para estas velocidades houve discrepâncias dos valores obtidos, esta situação é visível na Figura A.1 para $U=2$ m/s e $U=3$ m/s no Apêndice B.

A Figura 3.9 relaciona a massa ardida (com o respetivo desvio padrão) para os dois tipos de ensaios consoante a velocidade de escoamento. A Tabela 3.2 apresenta a massa ardida percentual nos ensaios com extinção, face à sua massa inicial (massa total ardida dos E_{Ref}), e a carga de agente extintor (C_{Ext}) necessária para terminar a combustão.

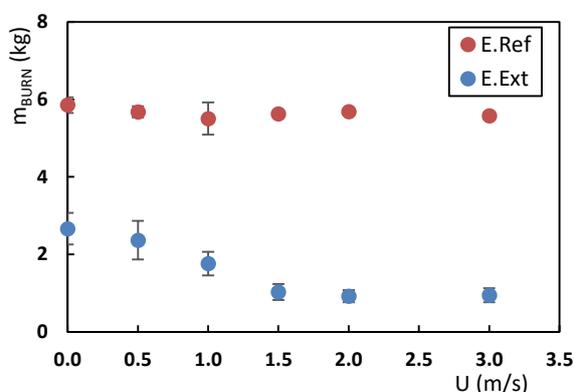


Figura 3.9. Massa ardida em função de U .

E_{Ext}		
U	$m_{burn}(\%)$	$C_{Ext}(\%)$
0	45.5	43.8
0.5	41.7	46.2
1.0	32.1	80.0
1.5	18.3	52.7
2.0	16.2	55.6
3.0	17.0	76.0

Tabela 3.2. Percentagem de massa ardida face ao ensaio de referência e percentagem de carga agente extintor utilizada.

Constata-se, pela observação da Figura 3.9, que a massa ardida para os ensaios de referência foi constante para os diferentes valores de U , resultado este esperado visto nestes ensaios ocorrer a combustão completa do material. Nos ensaios com extinção, os resultados obtidos foram bastante diferentes aos ensaios de referência. Com o aumento da velocidade de escoamento, nos ensaios E_{ext} , a massa ardida foi consecutivamente menor

(com exceção para o ensaio com $U=3$ m/s, cuja massa ardida foi 0.8% superior à massa ardida para $U=2$ m/s).

Relativamente à análise da Tabela 3.2, o aumento de U provoca o aumento da velocidade de propagação do fogo, o que permite a frente de chamas atingir rapidamente a distância estipulada (1 m) para se iniciar a extinção, sendo esta combatida poucos instantes depois de se ter iniciado a ignição do leito. Devido à maior velocidade de propagação, a permanência da frente de chamas num determinado ponto é menor. Como tal, a massa ardida diminui com o aumento de U porque o fogo não tem tempo de chegar às camadas inferiores do leito ocorrendo a sua propagação essencialmente na parte superior do leito. Apesar deste facto, os ensaios para as velocidades de escoamento elevadas refletem-se numa maior dificuldade de extinção e consequentemente maior quantidade de água empregada.

A Figura 3.10 e a Figura 3.11 apresentam a propagação do fogo para duas velocidades de escoamento distintas, observa-se na Figura 3.11 a inclinação das chamas provocado pelo aumento da velocidade de escoamento.



**Figura 3.10. Ensaio para $U=0$ m/s (1-REF-0.1).
Fonte: CEIF/ADAI, 2015**



**Figura 3.11. Ensaio para $U=2$ m/s (1-REF-2.1).
Fonte: CEIF/ADAI, 2015**

Análise da energia e potência calorífica libertada

Discutida a variação de massa entre ensaios, analisa-se agora a energia (E_C) e a potência (P_C) libertada por combustão representada na Figura 3.12 e Figura 3.13, respetivamente. As curvas da energia e da potência libertada, que originaram as referidas figuras, encontram-se apresentadas na Figura A.2 e na Figura A.4 do Apêndice B.

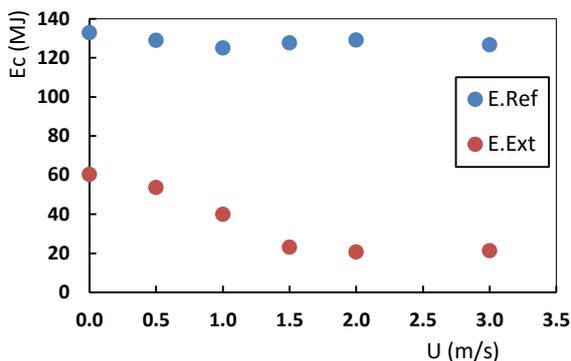


Figura 3.12. Energia total libertada em função de U.

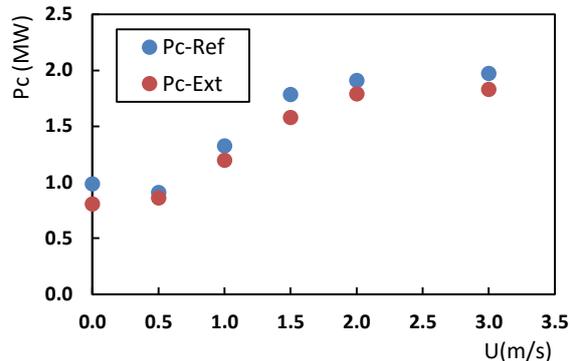


Figura 3.13. Potência máxima libertada em função de U.

Através da Figura 3.12 verifica-se que energia libertada foi superior nos ensaios de referência devido à duração superior dos ensaios com extinção, no entanto, nestes não houve diferenças acentuadas da energia libertada com o aumento da velocidade de escoamento. A energia libertada, nos ensaios com extinção foi consideravelmente menor quando comparada com a energia libertada nos ensaios de referência.

A potência libertada, referente ao seu valor máximo, tende a aumentar para crescente velocidade de escoamento. Nos ensaios de referência variou entre 0.91 MW (para $U=0.5$ m/s) e 1.97 MW (para $U=3$ m/s). Nos ensaios de extinção, a sua evolução, apesar de menor, teve a mesma tendência que nos ensaios de referência e variou entre 0.81 MW ($U=0$ m/s) e 1,83 MW ($U=3$ m/s). A intensidade de propagação do fogo é caracterizada pelo quociente entre a potência calorífica e a largura da chama (2 m), obtém-se para $U=3$ m/s (E.Ext) o maior valor de intensidade alcançado com 0.92 MW/m. Para esta intensidade, a combustibilidade é considerada moderada e o IF pode ser contido em ataques direto por meios terrestres com recurso a água, conforme indicado na Tabela A.3 do Anexo C.

A energia libertada, ao contrário da potência libertada, é semelhante para diferentes velocidades de escoamento quando se trata de ensaios de referência e diminui para maiores velocidades de escoamento quando se trata de ensaios com extinção. Nos ensaios de referência não existiu interferência na combustão, portanto a massa combustível (aproximadamente 5.6 kg) ardeu na totalidade resultando em valores semelhantes de energia libertada. Nos ensaios com extinção, onde houve interrupção da combustão pelo uso do extintor, a energia libertada tende a diminuir para maiores valores de velocidades de escoamento devido à diminuição da massa ardida para essas velocidades (Figura 3.12).

Apesar das diferenças observadas no registo da energia libertada e da potência libertada, verifica-se que para efeitos de combustão a influência do vento estabilizada a partir de 2 m/s em ambas as situações.

3.1.2. Análise em campo

Os resultados que se seguem resultam do tratamento de dados elaborado na secção 2.1.2.3. No trabalho em campo pretendeu-se caracterizar os extintores perante uma situação real e verificar a sua eficácia no combate. Os ensaios de campo destinam-se a validar os resultados obtidos dos ensaios em laboratório, como tal nas diversas figuras vão ser apresentados os resultados para ambos. Nos ensaios de campo, o resultado do sétimo ensaio (*EXT-07*) e o resultado do oitavo ensaio (*EXT-08*) são assinalados como nulos devido à ineficácia da extinção pela ocorrência de uma falha técnica, sendo excluídos do tratamento de dados, pelo que de agora em diante a análise será feita considerando um total de dez ensaios.

A Figura 3.14 e a Figura 3.15 apresentam a energia libertada nos ensaios no LEIF e nos ensaios da Gestosa, respetivamente.

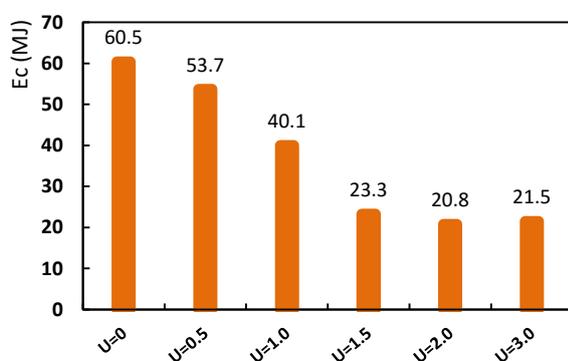


Figura 3.14. Energia total libertada por combustão para cada valor de velocidade de escoamento no LEIF

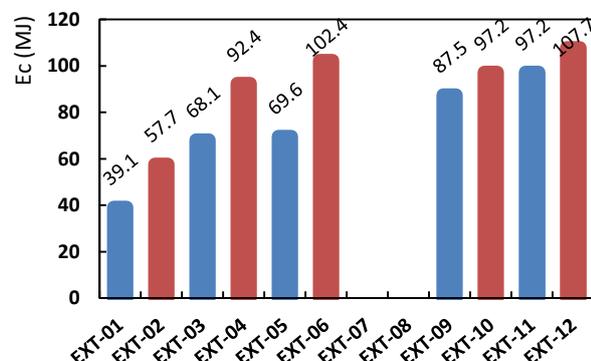


Figura 3.15. Energia total libertada por combustão diferenciada por ignição na Gestosa

Legenda (Figura 3.15)

- Ignição linear
- Ignição perimetral

A energia libertada por combustão no LEIF variou entre 20.8 e 60.5 MJ e na Gestosa variou entre 39.1 MJ e 107.7 MJ. Nos ensaios com ignição perimetral, pelas suas características de combustão, a energia libertada foi superior aos ensaios com ignição linear. A ignição linear representa uma frente de chamas, ao contrário da ignição perimetral que é efetuada para provocar, em toda a parcela, uma combustão generalizada.

A propagação do fogo nesta última situação é mais descontrolada, tendo por este motivo uma maior energia libertada, quando comparada com os ensaios com ignição linear.

A Figura 3.16 e a Figura 3.17 representa a perda de massa do extintor em valores percentuais, ou seja, a massa de água utilizada para extinguir o material combustível da parcela para os ensaios efetuados no laboratório e em campo.

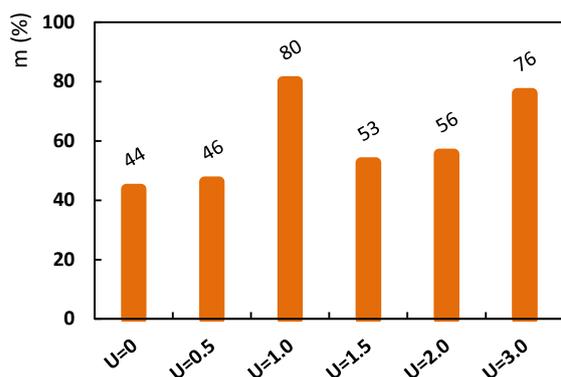


Figura 3.16. Perda de massa do extintor (%) – LEIF

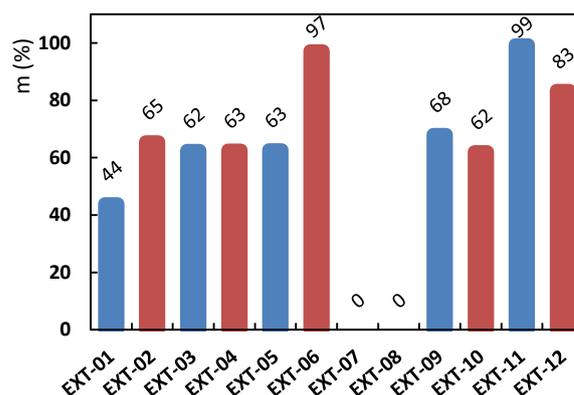


Figura 3.17. Perda de massa do extintor (%) – Gestosa

Legenda (Figura 3.17)

- Ignição linear
- Ignição perimetral

A quantidade de água necessária para extinguir uma dada parcela foi suficiente para todos os ensaios, não tendo em nenhum caso ocorrido o esvaziamento total do extintor tanto no laboratório como no campo, no entanto para o ensaio *EXT-06* e *EXT-11* a carga extintora foi utilizada quase na sua totalidade. Os ensaios laboratoriais necessitaram de menor carga extintora, tendo os maiores valores ocorrido para $U=1.0$ m/s e para $U=3.0$ m/s com 80% e 76%, respetivamente. Os ensaios para velocidades de escoamento impercetíveis ($U=0$ m/s e $U=0.5$ m/s) necessitaram de menor quantidade de água. Relativamente aos ensaios de campo, dos dez ensaios considerados, 90% deles necessitaram de mais de 50% de agente extintor, apenas 30% dos extintores excederam 80% da carga extintora. Em média, para os cinco ensaios com ignição linear e para os cinco ensaios com ignição perimetral foi necessária 67% (4.02 kg) e 74% (4.46 kg) de carga extintora, respetivamente, para suprimir cada parcela. No geral, não diferenciando os tipos de ignição, os extintores em média utilizaram-se 59% da sua carga nas condições a que foram sujeitos.

Na Figura 3.18 mostra-se a relação entre a perda de massa do extintor (massa de água empregada – $m_{\text{água}}$) e a massa de combustível ardida.

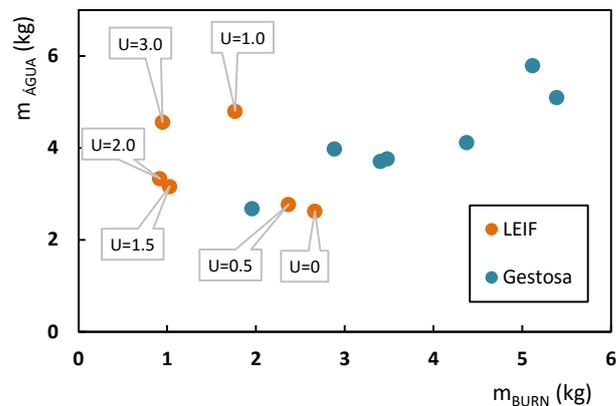


Figura 3.18. Massa de água do extintor em função da massa ardida – LEIF e Gestosa

Nos ensaios de campo existiu proporcionalidade direta entre a massa de água utilizada e a massa ardida, nos ensaios de laboratório esta relação não foi clara (Figura 3.18). Os ensaios de campo foram efetuados para velocidade de vento semelhantes, enquanto no laboratório a relação entre a massa de água e a massa ardida tem em conta a velocidade de escoamento dos diversos ensaios.

Nos ensaios laboratoriais verifica-se um aparente decaimento da massa de água com o aumento da massa ardida (com exceção do ensaio para $U=1.0$ m/s), ou seja, o contrário do sucedido nos ensaios de campo. Nos ensaios para maiores velocidades de escoamento a dificuldade de extinção também é maior, o que se reflete na maior quantidade de água utilizada, no entanto para estas velocidades o desenvolvimento da combustão nas camadas inferiores do leito é menor, que resulta numa menor quantidade de massa ardida. A velocidade de escoamento para 1.0 m/s apresenta um valor atípico relativamente à massa de água utilizada. Os ensaios de campo foram efetuados para condições atmosféricas semelhantes e, assumindo que a velocidade de escoamento foi constante, quanto maior a massa ardida maior foi a necessidade de introdução de água na parcela a comburir.

A Figura 3.19 apresenta a energia libertada por combustão e o tempo de utilização do extintor, para os ensaios de laboratório e para os ensaios de campo (sem distinção entre ignições).

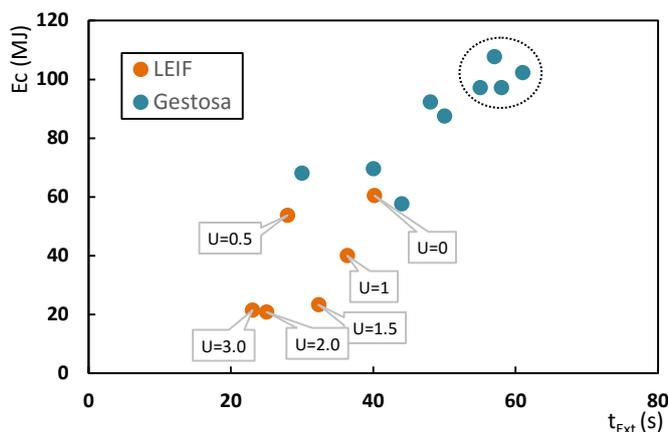


Figura 3.19. Energia total libertada em função do tempo de utilização do extintor – LEIF e Gestosa

O tempo de utilização do extintor, no geral, tende a aumentar para crescentes valores de energia libertada por combustão. Os resultados obtidos no LEIF são completados pelos ensaios de campo, que dão continuidade à energia máxima conseguida em laboratório (64.5 MJ) e ao tempo máximo de utilização do extintor (40s). A obtenção destes resultados permite aferir o tempo de utilização do extintor necessário para combater um incêndio com um determinado valor de energia. Para um incêndio que esteja a consumir, em média (pontos circundados na Figura 3.19), 101.14 MJ o extintor de água consegue assegurar, eficazmente, 57.75s de atuação com uma massa de água correspondente de 5.08 kg. Entende-se por tempo de utilização o tempo durante o qual se esteve a extinguir o material a comburir, ou seja, este tempo pode corresponder ao somatório dos vários momentos de utilização do extintor.

A obtenção dos resultados em campo, que têm vindo a ser discutidos, demonstram que não existem diferenças acentuadas entre ignição linear e ignição perimetral tendo sido alcançados efeitos similares para ambas as situações, ressalva-se também que no campo foi admitida a carga média de 1.35 kg/m² em todas as parcelas. Nos ensaios em laboratório as diferenças entre velocidades de escoamento são na maioria dos casos significativas, influenciando a relação entre a massa de água utilizada e a massa ardida. Tanto nos ensaios de laboratório como nos de campo foi admitido que a combustão é completa.

3.2. Barreira

Os resultados referentes ao caso de estudo sobre a *Barreira* encontram-se divididos entre os resultados obtidos no laboratório e no campo para *Barreira 1* e resultados obtidos em laboratório para a *Barreira 2*. A Tabela 3.3 resume as condições de ensaios para as diferentes metodologias.

Tabela 3.3. Resumo das principais diferenças entre as três metodologias efetuadas (Barreira)

	Barreira 1 – LEIF			Barreira 1 – Gestosa	Barreira 2 – LEIF	
Área da barreira (m ²)	4.0			4.0	1.0	
Mecanismo de proteção	1A			1A	2A	2B
Carga (kg/m ²)	1.00			1.35	1.25	
Área do leito (m ²)	4.0	5.0	5,4	500	10	11
Distância do leito à barreira (m)	1.0	0.50	0.20	Inserida no leito *	1.0	0.5
Combustível florestal	Feno			Mato	Feno	
Tipo de ignição	Linear			Linear	Linear	
Suporte com mangueira	Efetuado			Não efetuado	Efetuado	
Velocidade de propagação	Com registo			Sem registo	Com registo	
Velocidade de escoamento	Com exposição (controlada)			Com exposição (não controlada)	Com exposição (controlada)	
Temperatura da barreira	Sem registo			Com registo	Com registo	
Fluxo de calor	Sem registo			Sem registo	Com registo	
Eficácia	Não verificada			Inconclusiva		

* A *Barreira* encontrava-se a 22 m do início do leito (sentido ascendente) com 0.5 m de área limpa em ambos os lados da *Barreira*.

3.2.1. Barreira 1 – Análise laboratorial

As figuras que se seguem são referentes à velocidade de propagação atingida para diferentes distâncias do leito combustível à *Barreira* (0.20 m, 0.50 m e 1.00 m) sob a velocidade de escoamento de 1 m/s e 2 m/s.

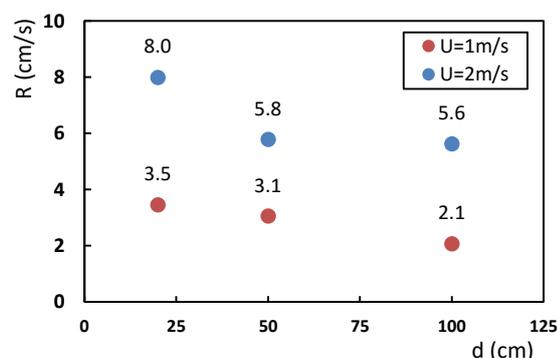


Figura 3.20. Relação entre a velocidade de propagação e a distância do leito à Barreira

A velocidade de propagação total, na Figura 3.20, aumenta para os ensaios onde houve maior proximidade entre a *Barreira* e a frente de chamas, cujo leito combustível tinha maior comprimento.

A análise da velocidade da frente de chamas é apresentada na Figura 3.21 e na Figura 3.22 e apresentam a variação da velocidade de propagação ao longo do leito para $U=1$ m/s e $U=2$ m/s, respetivamente. Nestas figuras a ignição ocorreu a 310 cm da *Barreira* para todos os ensaios, tendo ocorrido a propagação até à distância de 100 cm, 50 cm e 20 cm da *Barreira* que se encontra posicionada no ponto 0 no eixo das abcissas.

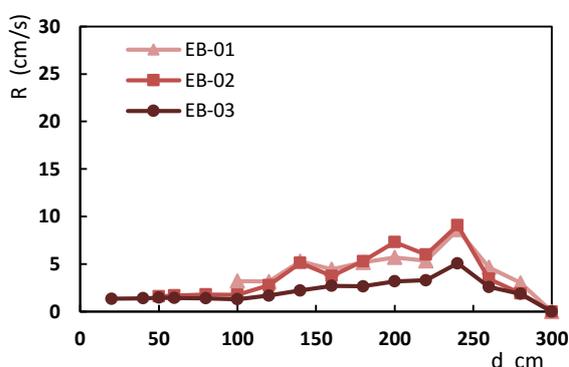


Figura 3.21. Variação da velocidade de propagação em função da distância à Barreira para $U=1$ m/s

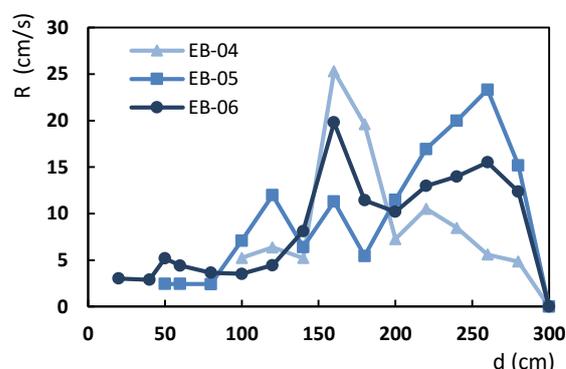


Figura 3.22. Variação da velocidade de propagação em função da distância à Barreira para $U=2$ m/s

Verifica-se tanto nos ensaios para $U=1$ m/s e para $U=2$ m/s que existe inicialmente um aumento de velocidade acentuado, provocado pela ignição, e depois tende a diminuir com a aproximação ao final do leito e à *Barreira*. A velocidade da frente de chamas atinge o valor mínimo à distância de 0.20 cm nos ensaios para $U=1$ m/s.

Os ensaios com $U=2$ m/s apresentam maiores oscilações, no entanto a velocidade também atinge os valores mínimos para distâncias próximas da *Barreira* (50, 40 e 20 cm). Os picos de velocidade, exceto o inicial a 250 cm, que se observam podem estar relacionadas com zonas do leito menos homogêneas. A velocidade, como referido na secção 2.2.1., é determinada pela contabilização do tempo entre corte de fios distanciados de 20 cm. Durante a execução dos ensaios, quanto maior foi a velocidade de escoamento maior foi a dificuldade em registar os instantes do corte de fios pelo avanço da frente de chamas, esta percepção pode também ter influenciado a velocidade calculada.

3.2.2. Barreira 1 – Análise em campo

A Figura 3.23 apresenta a variação da temperatura registada pelos dois termopares colocados na *Barreira*, um na face exposta à frente de chamas (T-frente) e outro na face protegida da frente (T-trás). A aproximação da frente de chamas à *Barreira* encontra-se na Figura 3.24.

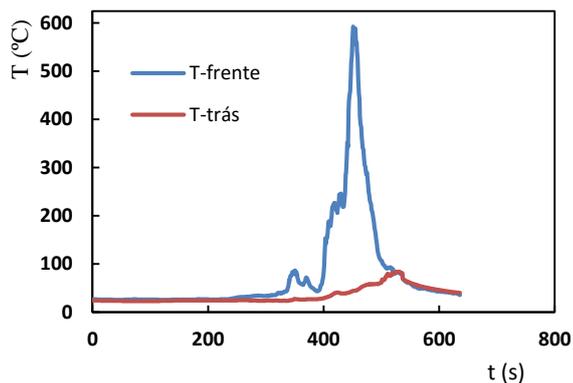


Figura 3.23. Variação de temperaturas na parte da frente e na parte de trás da Barreira 1

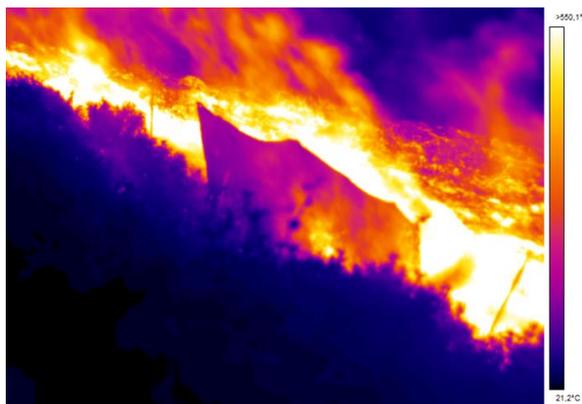


Figura 3.24. Aproximação da frente de chamas à Barreira 1 – imagem IR

A variação de temperaturas obedeceu, tipicamente, a uma distribuição de temperaturas ao longo do tempo com a passagem do fogo. A temperatura máxima registada na *Barreira* foi de 593 °C e a 7.5 min do início da ignição. A Figura 3.24 apresenta uma imagem IR do ensaio, nesta pode observar-se a aproximação das chamas e o impacto térmico a que a *Barreira* esteve sujeita. Quando ocorreu a aproximação das chamas à *Barreira*, esta começou a deteriorar-se (Figura 3.25) não tendo resistido ao impacto térmico a que foi sujeita.



Figura 3.25. Passagem da frente de chamas pela Barreira 1

3.2.3. Barreira 2 – Análise laboratorial

Os resultados que se seguem resultam do tratamento de dados elaborado na secção 2.2.2.3.

A Tabela 3.4 recapitula as condições principais dos ensaios com a *Barreira 2*, estas condições foram efetuadas para todas as velocidades de escoamento estipuladas (0, 1, 2 e 3 m/s). Para melhor compreensão aconselha-se a revisão da Tabela 2.7.

Tabela 3.4. Condições dos ensaios efetuados na Barreira 2

Referência	BAR02-U	BAR03-U	BAR04-U	BAR05-U
<i>a</i> (m)	5.0	5.5	5.0	5.5
<i>d</i> (m)	1.0	0,5	1.0	0,5
Mecanismo de proteção	2A	2A	2B	2B

As temperaturas são uma resposta da *Barreira* ao impacto, a sua caracterização revela o comportamento e a resistência ao impacto térmico exterior. A interpretação dos resultados será efetuada pela evolução das temperaturas, caracterização do fenómeno (radiativo, radiativo e convectivo) e energia que atinge a *Barreira*.

Análise à elevação da temperatura

Os resultados da evolução das temperaturas revelaram que não existem diferenças acentuadas nas temperaturas entre os diferentes mecanismos de proteção, 2A e 2B. Por este motivo e por apresentarem o mesmo comprimento de leito, a interpretação dos resultados será efetuada para os valores médios de BAR02 e BAR04 e de BAR03 e BAR05 (Figura 3.26), num determinado valor de velocidade de escoamento. No Apêndice C, Figura A.5, pode ser consultada a variação da elevação da temperatura que originou os valores médios.

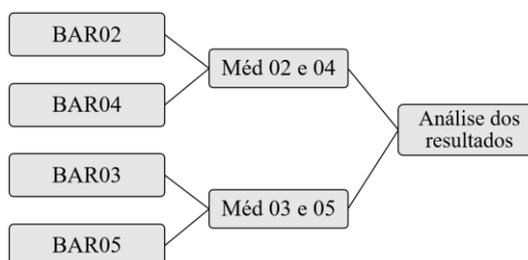


Figura 3.26. Esquemática da análise dos resultados (Barreira 2).

A velocidade de propagação do fogo, apresentada na Figura 3.27, é um parâmetro a ser considerado na interpretação dos resultados por provocar diferentes condições de exposição da *Barreira* à frente de chamas.

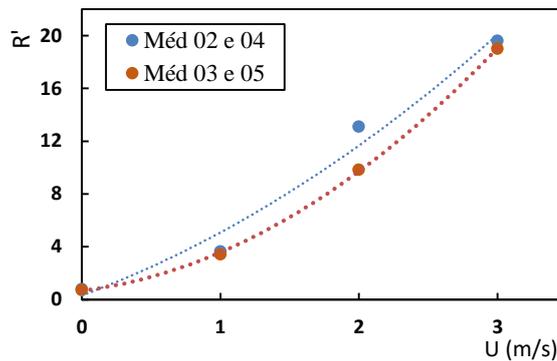


Figura 3.27. Velocidade de propagação do fogo em função de U.

Legenda

	Linha de tendência
● Méd 02 e 04	$y = 0.909x^2 + 3.864x + 0.313 \quad R^2 = 0.979$
● Méd 03 e 05	$y = 1.611x^2 + 1.301x + 0.666 \quad R^2 = 0.999$

Os ensaios *Med 03 e 05* têm uma menor velocidade de propagação devido ao cálculo ter sido efetuado para uma maior distância percorrida pelo fogo.

A Figura 3.28, Figura 3.29, Figura 3.30 e a Figura 3.31 apresentam a variação das temperaturas da *Barreira* quando sujeita à aproximação da frente de chamas. A ignição ocorre a 6.10 m da *Barreira* que se encontra no ponto 0 do eixo das abcissas.

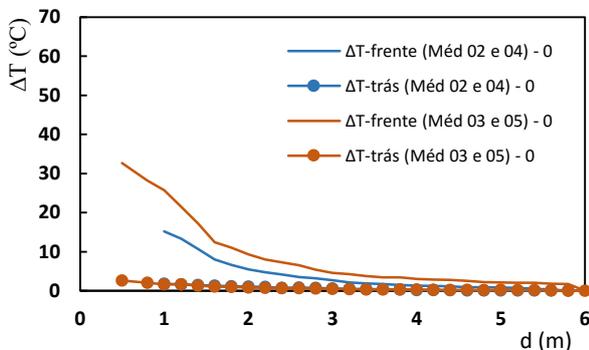


Figura 3.28. Variação das temperaturas em função da distância à Barreira para U=0 m/s.

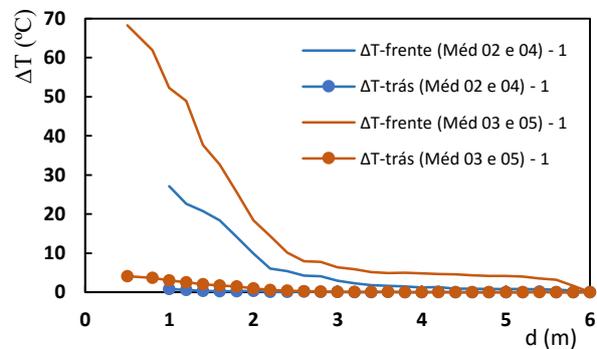


Figura 3.29. Variação das temperaturas em função da distância à Barreira para U=1 m/s.

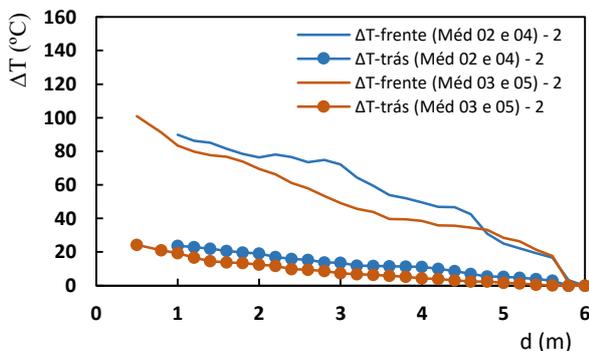


Figura 3.30. Variação das temperaturas em função da distância à Barreira para U=2 m/s.

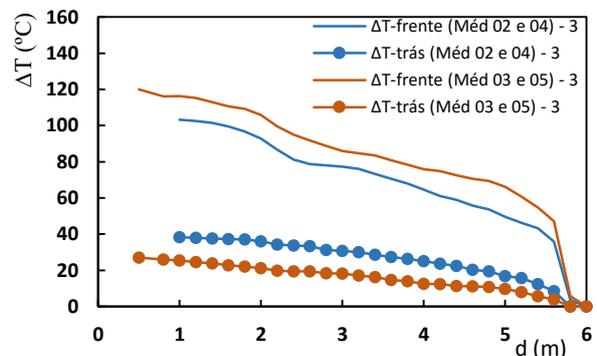


Figura 3.31. Variação das temperaturas em função da distância à Barreira para U=3 m/s.

A variação da temperatura aumenta com a aproximação das chamas à *Barreira*, local onde se encontram os termopares. As temperaturas registadas na face frontal da *Barreira* são consideravelmente elevadas quando comparadas com as temperaturas registadas na face protegida cuja sua elevação máxima (38.2 °C) ocorre para U=3 m/s. Nos ensaios com escoamento, o seu efeito na parte traseira da *Barreira* é tanto mais nítido quanto maior for a velocidade de escoamento. Se a velocidade de escoamento aumenta, aumenta também a recirculação, o que leva ao aquecimento na face protegida (Tabela 3.5).

Tabela 3.5. Temperaturas atingidas na Barreira com a distância mínima da frente de chamas

		U=0 m/s	U=1 m/s	U=2 m/s	U=3 m/s
Méd 02 e 04 $a_{m\acute{a}x} = 5.0 \text{ m}$ $d_{m\acute{i}n} = 1.0 \text{ m}$	ΔT -frente (°C)	15.22	27.13	89.91	103.20
	ΔT -trás (°C)	1.82	0.86	23.72	38.22
	R (cm/s)	0.79	3.65	12.11	19.60
Méd 03 e 05 $a_{m\acute{a}x} = 5.5 \text{ m}$ $d_{m\acute{i}n} = 0.5 \text{ m}$	ΔT -frente (°C)	32.71	68.26	100.83	119.95
	ΔT -trás (°C)	2.63	4.10	24.23	26.96
	R (cm/s)	0.71	3.44	9.85	19.02

Para maiores valores de velocidades de escoamento as oscilações de temperatura são maiores devido à turbulência gerada, nestes ensaios as temperaturas são mais elevadas devido à chama dobrar e provocar o contacto direto com a *Barreira* e consequentemente com os termopares.

Análise ao impacto térmico

O impacto térmico reflete-se nas temperaturas medidas pelos termopares, neste sentido a Figura 3.32, Figura 3.33, Figura 3.34 e a Figura 3.35 representam a relação entre o fluxo incidente, a variação da temperatura em função da distância a que a frente de chamas se encontrava da *Barreira*.

Legenda (Figura 3.32, Figura 3.33, Figura 3.34 e Figura 3.35)

	Rad (Méd 02 e 04) – U
	Rad (Méd 03 e 05) – U
	ΔT -frente (Méd 02 e 04) – U
	ΔT -frente (Méd 03 e 05) – U

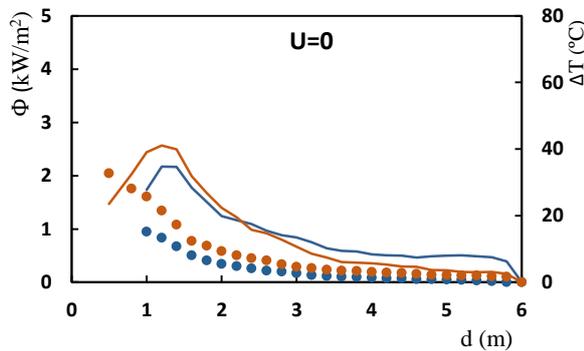


Figura 3.32. Fluxo de calor e de ΔT em função da distância à Barreira para $U=0$ m/s.

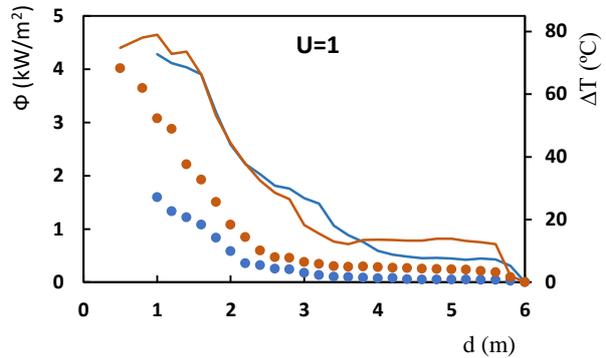


Figura 3.33. Fluxo de calor e de ΔT em função da distância à Barreira para $U=1$ m/s.

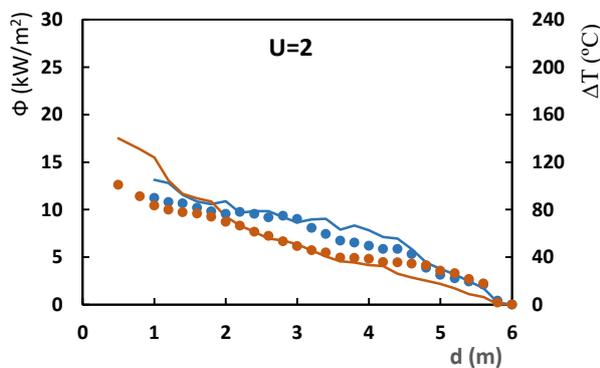


Figura 3.34. Fluxo de calor e de ΔT em função da distância à Barreira para $U=2$ m/s.

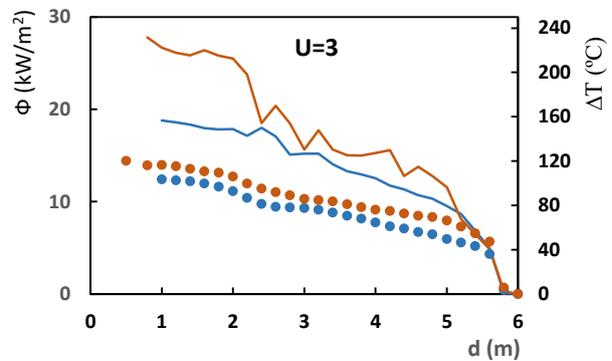


Figura 3.35. Fluxo de calor e de ΔT em função da distância à Barreira para $U=3$ m/s.

A elevação da temperatura é relacionável com o fluxo incidente, observa-se que o aumento do fluxo provoca o aumento da temperatura. No entanto para os ensaios com velocidades de escoamento imperceptíveis ($U=0$ m/s e $U=1$ m/s) quando a frente de chamas está mais próxima da *Barreira* verifica-se um decaimento do fluxo, que pode dever-se à menor espessura da chama junto do fluxómetro. Quando se inicia a ignição do leito é produzida uma chama com um determinado valor de espessura, contudo a partir de determinada distância no leito ela começa a diminuir porque a quantidade de combustível envolvida é cada vez menor e isto acontece junto ao fluxómetro. Este acontecimento não se sucede nos ensaios com maior velocidade de escoamento ($U=2$ m/s e $U=3$ m/s) devido à propagação do fogo ser mais elevada, ocorrendo rapidamente a aproximação da frente de chamas com o fluxómetro.

O impacto externo a que a *Barreira* esteve sujeita denomina-se radiativo quando se verifica a linearidade entre o fluxo e o inverso do quadrado da distância ($\frac{1}{d^2}$). A Figura 3.36, Figura 3.37, Figura 3.38 e a Figura 3.39 apresentam essa relação.

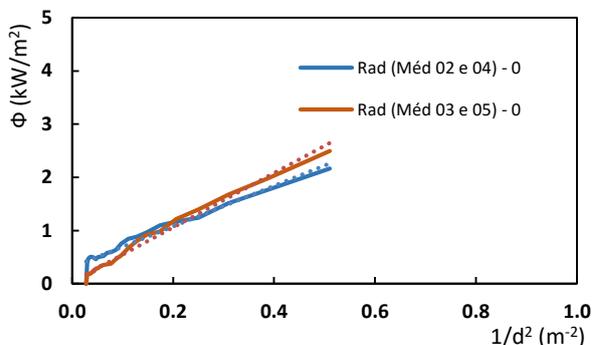


Figura 3.36. Fluxo de calor em função do inverso do quadrado da distância para U=0 m/s.

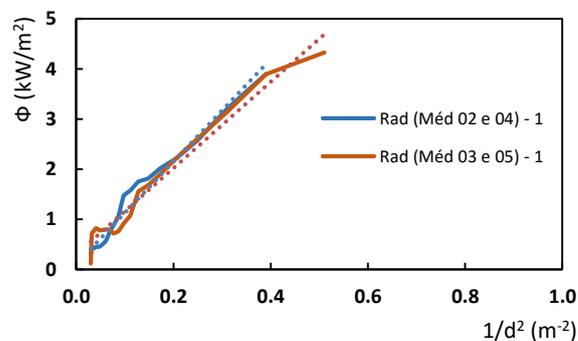


Figura 3.37. Fluxo de calor em função do inverso do quadrado da distância para U=1 m/s.

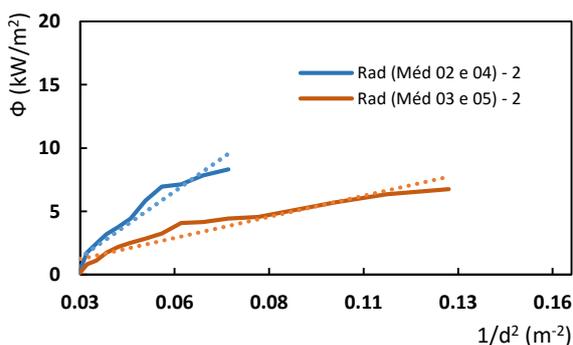


Figura 3.38. Fluxo de calor em função do inverso do quadrado da distância para U=2 m/s.

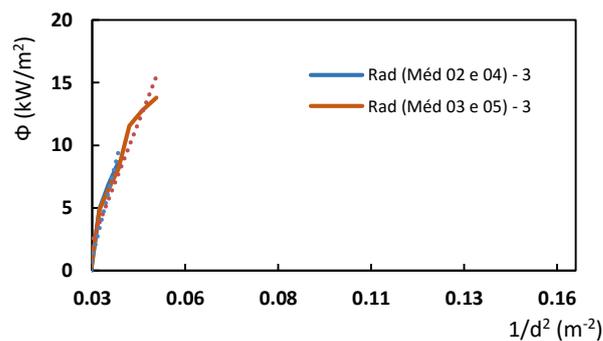


Figura 3.39. Fluxo de calor em função do inverso do quadrado da distância para U=3 m/s.

Como critério considerou-se existir linearidade até à distância em que a correlação da linha de tendência de um determinado ensaio foi superior a 0.90 (Tabela 3.6). As distâncias onde este critério deixava-se de manifestar não foram apresentadas nas figuras, por tornar os ensaios com correlação inferior a 0.90, não sendo verificada a linearidade para essas distâncias.

Tabela 3.6. Linha de tendência e respetiva correlação para o fluxo em função do inverso do quadrado da distância – Barreira 2

Referência	Linha de tendência	Correlação
Rad (Méd 02 e 04) – 0	$y = 3.82x + 0.31$	$R^2 = 0.956$
Rad (Méd 03 e 05) – 0	$y = 5.12x + 0.04$	$R^2 = 0.987$
Rad (Méd 02 e 04) – 1	$y = 10.21x + 0.11$	$R^2 = 0.972$
Rad (Méd 03 e 05) – 1	$y = 8.60x + 0.31$	$R^2 = 0.968$
Rad (Méd 02 e 04) – 2	$y = 209.11x - 4.93$	$R^2 = 0.937$
Rad (Méd 03 e 05) – 2	$y = 66.54x - 0.76$	$R^2 = 0.903$
Rad (Méd 02 e 04) – 3	$y = 1208.4x - 35.18$	$R^2 = 0.926$
Rad (Méd 03 e 05) – 3	$y = 762.49x - 20.52$	$R^2 = 0.943$

A linearidade do fluxo com o inverso do quadrado da distância verifica-se quando a frente da chama se encontra a maiores distâncias da *Barreira* e tende a diminuir quando a frente se aproxima da *Barreira*. Enquanto se observa essa linearidade assume-me o fenómeno como radiativo, após a distância em que se deixa de verificar essa linearidade o fenómeno passa a ser radiativo e convectivo. O impacto denomina-se como radiativo e convectivo quando a evolução do fluxo incidente não pode ser descrita pela referida lei. Nestes caso a análise é mais complexa por carência de parâmetros suficientes para caracterizar o impacto. As relações entre as distâncias referidas até às quais o fenómeno se caracteriza como radiativo (dependência linear do fluxo com $\frac{1}{d^2}$) constam na Tabela 3.7 (aconselha-se a revisão da Figura 2.11).

Tabela 3.7. Limite máximo obtido até ao qual o fluxo depende linearmente do inverso do quadrado da distância

		U=0 m/s	U=1 m/s	U=2 m/s	U=3 m/s
Méd 02 e 04 $a_{máx} = 5.0$ m $d_{min} = 1.0$ m	a (m)	4.60	4.40	2.20	0.80
	d (m)	1.40	1.60	3.80	5.20
	$\frac{1}{d^2}$ (m^{-2})	0.51	0.39	0.07	0.04
Méd 03 e 05 $a_{máx} = 5.5$ m $d_{min} = 0.5$ m	a (m)	4.60	4.60	3.20	1.40
	d (m)	1.40	1.40	2.80	4.60
	$\frac{1}{d^2}$ (m^{-2})	0.51	0.51	0.13	0.05

Nos ensaios com U=0 m/s e U=1 m/s a linearidade foi verificada em praticamente toda a distância percorrida pelo fogo (a), nestes o impacto térmico a que a *Barreira* esteve sujeita foi apenas radiativo. A título de exemplo, em U=0 m/s provou-se que o fluxo é linear com $\frac{1}{d^2}$ até praticamente ao final do leito, pois a distância percorrida pelo fogo até onde se fez essa verificação foi de 4.6 m quando a distância total percorrida foi de 5 m, ou seja, apenas não se verificou nos 0,4 m finais do leito e conseqüentemente a 1,4 m da *Barreira*.

Nos ensaios com a U=2 m/s e U=3 m/s a distância percorrida pelo fogo em que o fenómeno é apenas radiativo, a , é muito menor se comparado com U=0 m/s e U=1 m/s (Tabela 3.7). Quando a velocidade de propagação do fogo é elevada, provocada pelas maiores velocidades de escoamento ($U > 1$ m/s), o contacto entre as chamas e o fluxómetro é mais nítido e a lei só se verifica inicialmente (quando se inicia a ignição).

Análise à energia que chegou à Barreira (Energia incidente)

A Figura 3.40 apresenta a energia total que chegou à *Barreira* para cada velocidade de escoamento (determinada pela integração das curvas de fluxo na Figura A.6 do Apêndice C).

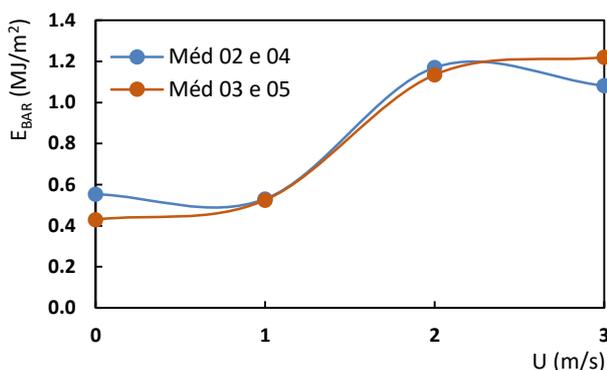


Figura 3.40. Energia incidente para cada velocidade de escoamento na *Barreira 2*.

Com o aumento da velocidade de escoamento a energia incidente também aumentou, excetuando para *Méd 02 e Méd 04* cuja energia oscilou. A energia máxima obtida para as características superficiais da *Barreira* foi de 1.2 MJ/m².

Os parâmetros discutidos (temperaturas, impacto térmico e energia incidente) não evidenciam em absoluto a eficácia da *Barreira*, no entanto sendo este um estudo pioneiro, revelam um possível caminho a ser seguido.

A Figura 3.41 apresenta um exemplo da aproximação da frente de chamas à *Barreira* para $U=1$ (neste caso com mato) e a distância mínima a que se encontrava desta.



Figura 3.41. Aproximação da frente de chamas à *Barreira 2*. Fonte: CEIF/ADAI, 2015

3.3. Cerca com aspersão de água

Os resultados do caso de estudo com a Cerca com aspersão de água dividem-se na caracterização da sua dispersão e na discussão dos ensaios efetuados em campo experimental.

3.3.1. Análise da dispersão

Os ensaios efetuados para analisar a dispersão da água foram efetuados no exterior do laboratório, sujeitos às condições atmosféricas do momento. As figuras que se seguem resultam do tratamento dos dados efetuado na secção 2.3.1.3, para cada variação de caudal através da percentagem de abertura da válvula (50%, 75% e 100%) foi determinada a eficiência do processo e analisada a sua dispersão.

A bomba utilizada, para transportar a água do reservatório para a Cerca, opera a 2.8 bar quando não há aspersão de água, ou seja, somente o seu funcionamento. A pressão da bomba, característica técnica do sistema, é um parâmetro importante na análise que se efetua à dispersão da água. Nos ensaios realizados não houve medição da pressão ao longo destes, como tal a análise dos resultados será efetuada para o caudal de água utilizado num determinado valor de orientação da válvula.

A Figura 3.42 apresenta o caudal de água utilizado para cada percentagem de abertura da válvula e a Figura 3.43 estima a eficiência do processo.

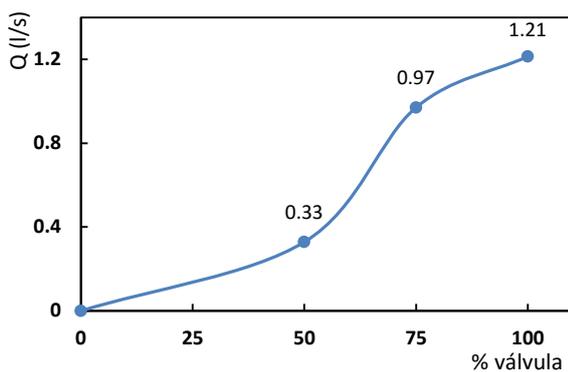


Figura 3.42. Caudal de água utilizado em cada orientação da válvula.

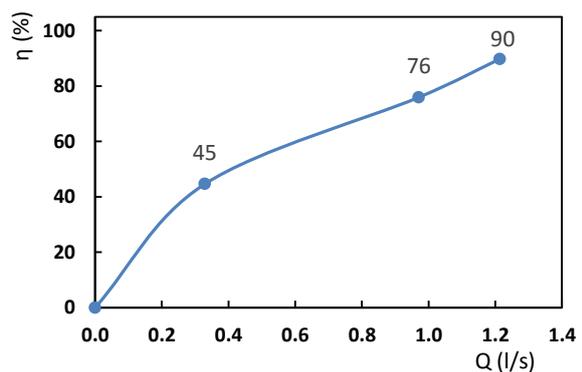


Figura 3.43. Eficiência do processo em função do caudal.

O caudal de água utilizado teve um aumento gradual até a abertura de 50%, no entanto para abertura de 75% e 100% a diferença não é muito acentuada. A eficiência do processo é de 90% para o caudal de 1.21 l/s. Para maiores aberturas da válvula a eficiência

é maior visto projetarem a mesma quantidade de água mas numa área maior (aproximando-se da área de referência considerada). Quando se eleva o caudal de 0.97 l/s para o caudal máximo que o sistema abastece (1.21 l/s) há um aumento da eficiência de 14%, este aumento está relacionado com a área que o caudal de 1.21 l/s consegue cobrir. O mesmo se sucede do caudal de 0.33 l/s para 0.97 l/s e 1.21 l/s, cujo aumento da eficiência é de 31% e 45%, respetivamente. A Tabela 3.8 indica a massa de água presente e a área envolvida, A_e , para cada caudal.

Tabela 3.8. Quantidade de água presente e área envolvida para um determinado caudal

Válvula (%)	A_{Ref} (m ²)	Q (l/s)	m (kg)	ρ_s (kg/m ²)	A_e (m ²)
50	52	0.329	96.73	4.84	24.00
75	52	0.970	98.74	2.99	40.00
100	52	1.214	97.31	2.76	48.00

A massa de água presente foi praticamente constante em todas as aberturas da válvula, no entanto para 50% a quantidade recolhida por m² foi maior, resultando num alcance menor e numa menor área abrangida.

A Figura 3.44 apresenta uma vista panorâmica do ensaio *Cerca 1.1* onde foi efetuada a aspersão de água para 100% de abertura da válvula.



Figura 3.44. Aspersão de água pela cerca com 100% de abertura da válvula (Cerca 1.1.).

A Figura 3.45, Figura 3.46 e a Figura 3.47 apresentam a distribuição da água pela sua área envolvida para cada posição da válvula, 50%, 75 e 100%. Nestas figuras, as diferentes cores indicam concentrações diferentes, o eixo horizontal representa a linha da Cerca (colocada da posição C à posição G) sendo a distância entre cada letra de 1 m, o eixo vertical indica a distância a que um determinado ponto de encontrava da Cerca.

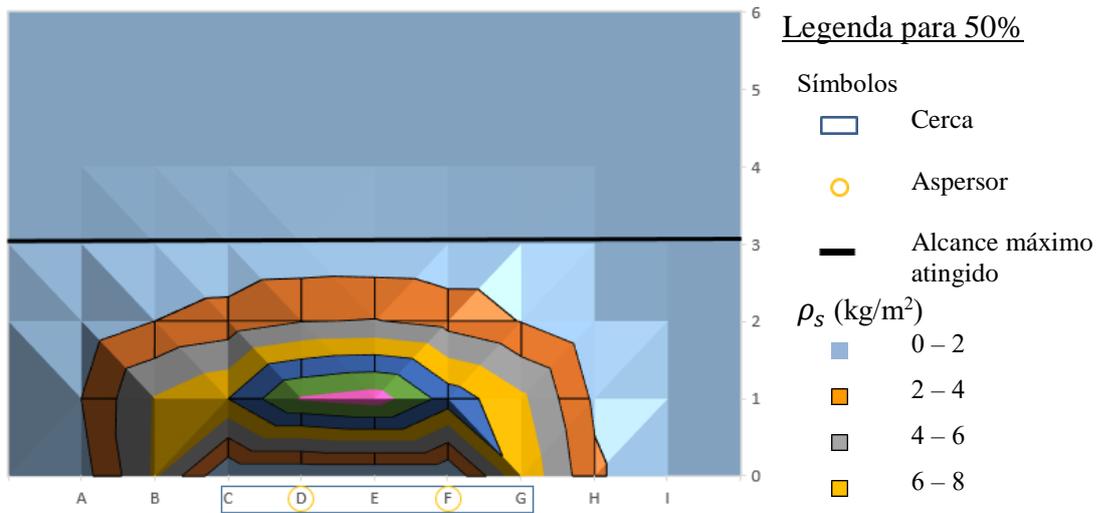


Figura 3.45. Distribuição da água para válvula a 50%.

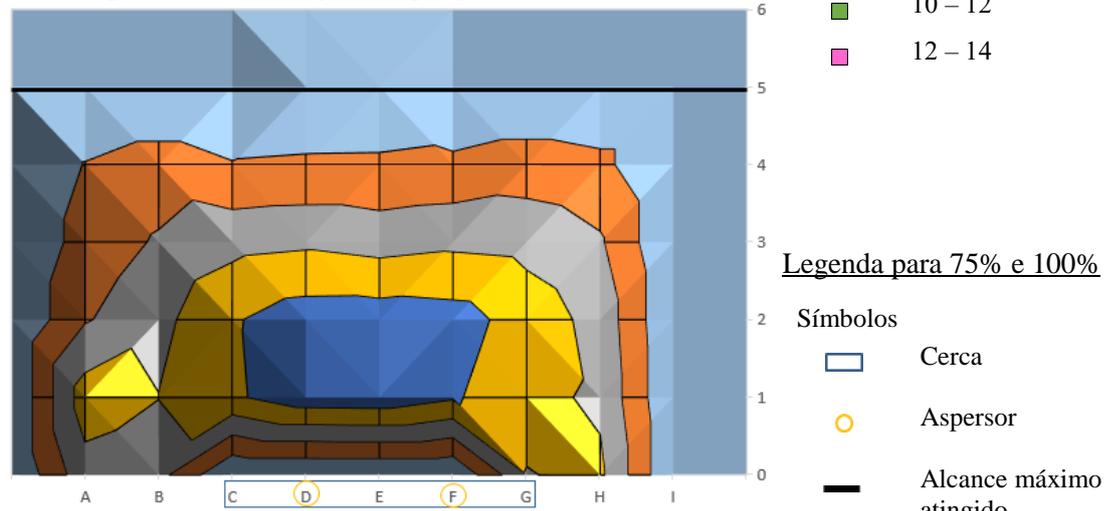


Figura 3.46. Distribuição da água para válvula a 75%.

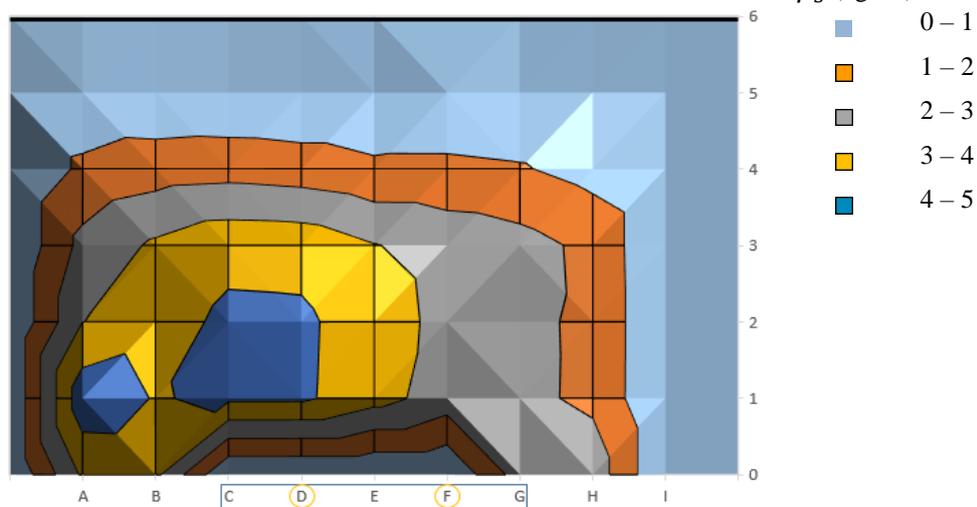


Figura 3.47. Distribuição da água para válvula a 100%.

A distribuição de água para a válvula a 50%, quando comparada com as restantes distribuições (75% e 100%) foi consideravelmente menor, tendo o alcance máximo sido obtido apenas a 3 m da Cerca. Para esta orientação da válvula registaram-se maiores concentrações na linha de cruzamento dos aspersores (linha da posição E) e a influência do vento não foi significativa. A distribuição da água para 75% e 100% de abertura apresentam distribuições semelhantes. Na Figura 3.47 verifica-se uma maior concentração do lado esquerdo da Cerca devido à influência do vento no arrastamento da água aspergida quando a realização do ensaio. Para 100% a maior concentração registou-se a 1 m da Cerca e na Figura 3.46, com a válvula a 75%, a concentração é mais uniforme ao centro da Cerca, sendo também visível o arrastamento das gotículas pelo vento.

A Figura 3.48 e a Figura 3.49 indicam o alcance máximo da aspersão (d_{cerca}) e a recolha de água a diferentes distâncias, respetivamente.

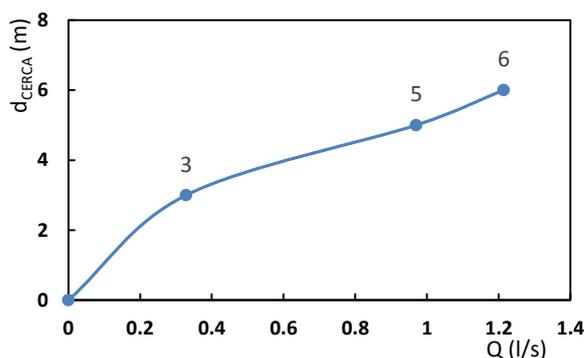


Figura 3.48. Distância máxima alcançada pela aspersão de água em função do caudal.

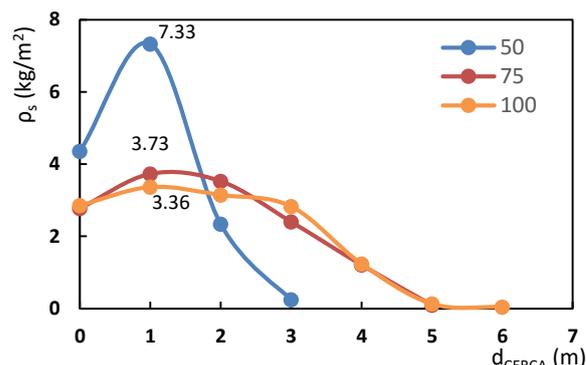


Figura 3.49. Densidade superficial para cada distância da cerca.

A distância máxima alcançada pela aspersão da água, na Figura 3.48, teve uma evolução semelhante com a Figura 3.42 (caudal) e com a Figura 3.43 (eficiência). Existe uma diferença de 2 m entre a abertura de 50% e 75%, mas para valores superiores a 50% há uma estabilização da aspersão, ou seja, a diferença entre 75% e 100% é diminuta.

A densidade superficial, ρ_s , foi definida como a quantidade de massa presente por m². A Figura 3.49 indica a densidade superficial a diferentes distâncias da Cerca. Nesta figura, para abertura de 50% da válvula, é evidente a maior dispersão da água junto à Cerca. A quantidade de água recolhida a 1 m da Cerca foi aproximadamente o dobro da quantidade recolhida para a válvula a 75% e 100%. No entanto a quantidade recolhida, para 50% de abertura, diminui abruptamente para distâncias superiores a 1 m devido ao menor caudal de água projetado.

3.3.2. Análise em campo

Os ensaios efetuaram-se em duas condições, a condição A onde ocorreu a aspersão da área envolvente previamente à ignição, e a condição B onde ocorreu aspersão antes da ignição (Fase B1) e aspersão quando a frente de chamas se encontrava próxima da Cerca (Fase B2). Nestes ensaios devido à impossibilidade de controlar a totalidade dos parâmetros será efetuada uma análise qualitativa dos acontecimentos registados com recurso a imagens vídeo recolhidas. Na Figura 3.50 e a Figura 3.51 mostra-se a aspersão prévia à propagação das chamas e a aspersão direta sobre as chamas, respetivamente.



Figura 3.50. Aspersão prévia (*GES-Cerca-A*). Fonte: CEIF/ADAI, 2015



Figura 3.51. Aspersão direta (*GES-Cerca-B*). Fonte: CEIF/ADAI, 2015

Na condição A foram consumidos 200 l de água com um caudal de 0.97 l/s e orientação da válvula com 100% de abertura. Após 1 min e 50 s de se ter iniciado a ignição, o fogo atingiu a zona humedecida, que ofereceu resistência à sua passagem. Embora a frente se aproxime da Cerca a quantidade de água presente também é maior, como mencionado na análise de dispersão na Figura 3.49 a 2 m da Cerca a água presente é de 2 kg/m². No entanto também ocorre maior desidratação do leito combustível com a propagação do fogo, a sua passagem pela zona humedecida acabou por acontecer a 4 m da Cerca evidenciando que a aspersão deve estar em funcionamento quando ocorre a chegada da frente de chamas. Apesar da aproximação do fogo à Cerca, não foram necessários meios externos para a sua supressão que ocorreu a 10 min após o início da ignição.

Na condição B, com orientação da válvula igual à condição anterior, foram consumidos 200 l de água, divididos em dois ensaios, 100 l para a fase B1 (aspersão prévia) e 100 l para a fase B2 (aspersão direta sobre as chamas). O caudal para a fase B1 e B2 foi de 1.14 l/s e 1.27 l/s, respetivamente. Após aspersão prévia procedeu-se à ignição, a

2 min e 10 s do seu início as chamas atingiram a zona humedecida que modificou o comportamento do fogo e ocorreu o seu abrandamento. O sistema de aspersão foi colocado em funcionamento quando a frente se encontrava a 3 m da Cerca tendo o seu combate provocado a extinção total do leito aos 8 min e 30 s. Supondo que a água se distribuiu uniformemente na quantidade de combustível, a carga apurada de 1.35 kg/m^2 recebeu aproximadamente 2.08 l de água, elevando o seu teor de humidade para um valor que permitiu a sua extinção.

Nos ensaios realizados para as duas condições, o caudal utilizado foi semelhante ao caudal obtido em condições laboratoriais, logo a pressão no campo experimental também foi a mesma, assim como a máxima abertura da válvula. Neste sentido considerou-se razoável admitir que a densidade média de queda de água no campo da Gestosa foi a igual à de laboratório para estas condições. Na condição A, a quantidade de água que a vegetação recebeu foi de $4.16 \text{ l/m}^2 \left(\frac{200 \text{ l}}{48 \text{ m}^2} \right)$. Na condição B, na fase B1 a vegetação recebeu 2.08 l/m^2 e posteriormente na fase B2 recebeu também 2.08 l/m^2 , perfazendo a mesma quantidade de água da condição A, com a diferença que em B 2.08 l/m^2 foram utilizados no combate direto que resultou numa melhor eficácia do sistema.



Figura 3.52. Propagação do fogo na Condição A (GES-Cerca-A). Fonte: CEIF/ADAI, 2015



Figura 3.53. Propagação do fogo na Condição B (GES-Cerca-B). Fonte: CEIF/ADAI, 2015

O teor de humidade da vegetação é um parâmetro importante porque em condições em que a carga combustível seja menor, por exemplo herbáceas, é provável que uma menor quantidade de água seja suficiente para atingir a mesma humidade e provocar a extinção. No entanto este acontecimento apenas poderá ser comprovado com a realização de mais ensaios com diferentes tipos de combustível.

4. CONCLUSÃO

Os incêndios florestais são uma das manifestações mais recorrentes de uma ignição indesejada e quando ocorrem em zonas de IUF podem ter consequências particularmente prejudiciais. Neste trabalho foram apresentados três casos de estudo sobre mecanismos de supressão e contenção do fogo que minimizem a sua ocorrência e evitem a sua aproximação a estruturas críticas: extintores de água, barreiras de contenção e cerca com aspersão de água, estes dois últimos denominados de Cercas periféricas.

Os objetivos propostos consistiram na análise da eficácia dos três casos, onde se efetuou uma exploração paramétrica em função dos interesses de cada problema. A abordagem ao tema, apesar das limitações manifestadas, constitui um contributo original na temática da supressão de fogo e apresenta novos mecanismos de proteção.

O estudo da eficácia dos extintores de água derivou da imposição na legislação nacional sobre a presença de extintores em máquinas agrícolas, no entanto a legislação é omissa quanto ao tipo de agente extintor. Neste sentido, e segundo uma abordagem local, pretendeu-se explorar a atuação da água na supressão de focos de incêndio nascentes a fim de favorecer a sua utilização em extintores. O estudo diferenciou-se pela sua análise ser efetuada com combustíveis florestais. O processo de investigação dividiu-se em duas fases, uma laboratorial e outra em campo que permitiu validar os resultados obtidos em laboratório, neste foi ainda analisada a velocidade de escoamento que se assumiu de grande relevância na combustão. Os ensaios efetuados permitiram concluir que um incêndio que esteja a consumir, em média, 101.14 MJ pode ser extinto eficazmente com um extintor de água (6 l de carga) durante 57.75 s de atuação com uma massa de água correspondente de 5.08 kg. Os resultados obtidos, nos dois contextos experimentais, levaram à qualificação de *Eficácia verificada* dos extintores de água para combate a incêndios de pequena escala (1 a 10 m de combustão).

A investigação de mecanismos que visem a proteção de áreas ou estruturas críticas quando ameaçadas pelo fogo potenciou o estudo das Cercas periféricas. As barreiras de contenção foram as primeiras a ser analisadas, posteriormente seguiu-se a análise da cerca com aspersão de água.

A barreira de contenção teve duas configurações, consideradas como protótipos experimentais, primeiramente desenvolveu-se a *Barreira 1* de 4m², contudo que por não ter resistido ao impacto térmico a que foi sujeita necessitou desenvolver-se a *Barreira 2* de

1m². Nas duas barreiras foi notória a influência de atenuação das temperaturas na parte protegida das chamas, no entanto para solicitações térmicas elevadas, essa característica deixou de se manifestar. Este acontecimento foi claro na *Barreira 1* uma vez que foi sujeita a impactos térmicos muito elevados em campo. A *Barreira 2*, por uma questão de oportunidade, apenas foi analisada no laboratório e nesse contexto o impacto térmico não foi suficiente para compreender o seu mecanismo de proteção. O estudo da utilização de barreiras para impedir a passagem uma frente de fogo não revelou em absoluto a sua eficácia, no entanto os resultados obtidos, foram promissores e potenciadores de trabalhos futuros. De acordo com os resultados discutidos no Capítulo 3.2, a *Barreira 1* foi classificada como *Eficácia não verificada* e a *Barreira 2* como *Eficácia inconclusiva*.

No estudo da Cerca com aspersão de água caracterizou-se a sua dispersão numa área de referência (52 m²) e analisou-se o seu comportamento em campo com uma frente de fogo. Na caracterização da dispersão da água, realizada no exterior do laboratório, a definição de parâmetros como a percentagem de abertura da válvula, foram variáveis definidas que manifestaram interesse no estudo por possibilitarem a análise de dispersão para diferentes caudais. Neste caso de estudo, em campo, utilizou-se a abertura total da válvula (100%), para esta abertura a área de cobertura determinada em laboratório foi de 48 m² com o caudal de 1.21 l/s, nesta situação a maior densidade superficial registou-se entre 1 a 3 m da Cerca, em média, com 3.23 kg/m² de projeção de água. Os ensaios de campo foram efetuados para duas condições de funcionamento do sistema, condição A (aspersão previamente à ignição) e condição B (aspersão previamente à ignição e direta sobre as chamas). A análise dos resultados em campo, com exceção da determinação do caudal, foi realizada qualitativamente, esta evidenciou que a aspersão deve estar em funcionamento quando ocorre a chegada da frente de chamas. Em ambas as condições não foram necessários meios auxiliares na extinção, contudo o fogo na condição A propagou-se até junto da Cerca, enquanto na condição B a extinção ocorreu a aproximadamente 3 m da Cerca com o início do funcionamento do sistema de aspersão. Para as condições experimentais a que a Cerca foi submetida, os resultados levaram à classificação de *Eficácia verificada*.

Nos três casos de estudo houve aspetos que não foram controlados e que colocaram algumas limitações aos mecanismos desenvolvidos. Embora se tivesse mantido condições semelhantes no manuseamento dos extintores o mesmo pode ter influenciado o

tempo de utilização e projeção de água; a envolvência de fenómenos relacionados com a combustão e extinção tornaram o processo difícil de controlar na sua totalidade. O tratamento de dados efetuado com as barreiras de contenção revelou-se insuficiente, para averiguação absoluta da sua eficácia, pela dificuldade de controlo de variáveis durante os ensaios (temperatura e profundidade da chama, instrumentação interior na *Barreira*). Na análise da dispersão de água da Cerca, apesar de não ter sido considerado significativo, a influência do vento fez-se notar particularmente nos ensaios com a orientação da válvula a 100% de abertura; a pressão do sistema de aspersão não foi determinada ao longo dos ensaios com a Cerca, no entanto a comparação dos resultados deste sistema podem ser relacionados com outros através do caudal. No geral a logística envolvida e a complexa morfologia do terreno na Gestosa condicionaram a implementação de equipamentos de medição, existindo parâmetros relevantes (velocidade de propagação das chamas, massa exata de combustível, entre outros) que não tiveram possibilidade de ser rigorosamente determinados.

Os principais equipamentos foram construídos e desenvolvidos para a realização dos ensaios com extintores de água e Cercas periféricas, como tal a redefinição de metodologias apresenta-se de grande interesse para a continuação da sua utilização. De modo a consolidar os resultados obtidos sugere-se evitar, tanto quanto possível, as limitações identificadas anteriormente e para intensificar a eficácia dos mecanismos noutras temáticas apresentam-se de seguida algumas propostas. Análise dos extintores para diferentes combustíveis florestais, diferentes morfologias do terreno, controlo instantâneo do caudal de água e execução de ensaios com outros agentes extintores, nomeadamente pó químico. Explorar o mecanismo de proteção das barreiras para cobertura de vulnerabilidades estruturais em edifícios (portas, janelas, respiradouros). Avaliar a *Barreira 2* para diferentes cargas combustíveis e analisá-la numa escala maior (maior dimensão e realização de ensaios de campo). A análise da implementação da Cerca de água em áreas habitacionais ou estruturas críticas, devidamente enquadrada na paisagem é também uma área de extrema importância e interesse.

O estudo apresentado neste trabalho foi de carácter preliminar, sendo um tema muito vasto os resultados obtidos podem constituir uma oportunidade para aprofundar o conhecimento e desenvolvimento de novas metodologias em trabalhos futuros, de forma a mitigar os efeitos nefastos dos incêndios florestais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abrams, J., Knapp, M., Paveglio, T., Ellison, A., & Moseley, C. (2015). Re-Envisioning Community-Wildfire Relations in the U.S. West as Adaptive Governance. *Environmental Science and Management*.

Àgueda, A., Pastor, E., Pérez, Y., Viegas, D., & Planas, E. (2011). Fire intensity reduction in straw fuel beds treated with a long-term retardant. *Fire Safety Journal*, 46, 41-47.

Almeida, M. (2011). Propagação de incêndios florestais por focos secundários. Tese de Doutoramento em Engenharia Mecânica na Especialidade de Riscos Naturais e Tecnológicos, Universidade de Coimbra.

Centro de Estudos sobre Incêndios Florestais da Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial. (2015). Guia fotográfico para identificação de combustíveis florestais, para a Região Centro de Portugal. Coimbra.

Coelho, P., & Costa, M. (2012). *Combustão* (2ª ed.). Amadora: Edições Orion.

Diário da República Eletrónico. (14 de Janeiro de 2009). *Decreto-Lei n.º 17 - Sistema de Defesa da Floresta Contra Incêndios*. Obtido em Maio de 2016, de <https://dre.pt/application/dir/pdf1sdip/2009/01/00900/0027300295.pdf>

Figueiredo, R. (2015). *Transmissão de calor* (1ª ed.). Lisboa: Lidel.

Instituto da Conservação da Natureza e da Floresta. (s.d.). *Codificação e definição das caterigas das causas*. Obtido em 10 de Outubro de 2015, de <http://www.icnf.pt/portal/florestas/dpci/Resource/doc/estat/dgrf-codificacao-causas.pdf>

Instituto Português da Qualidade. (Maio de 2012). Norma Portuguesa 1800 - Segurança contra incêndios; Agentes extintores; Seleção segundo a classe de fogo. 2ª.

Instituto Português da Qualidade. (Novembro de 2012). Norma Portuguesa 3-7:2004+A1 - Extintores portáteis de incêndio.

Lopes, J. P. (2012). *Incêndios: Prevenção, Segurança e Combate*. Obtido em 27 de Abril de 2016, de Verlag Dashöfer: <http://prevencao-incendios.dashofer.pt/>

Loureiro, M. A. (2005). *Prevenção de fogos florestais e de outros riscos associados*. Obtido em 26 de Abril de 2015, de www.marioloureiro.net/seguran/incend/PrevenFogosOutros2005.ppt

Oliveira, R. F. (Setembro de 2010). Um Estudo Sobre os Incêndios Florestais Ocorridos no Estado de Vitória (Austrália), em Fevereiro de 2009. Tese de Mestrado Interdisciplinar em Dinâmicas Sociais, Riscos Naturais e Tecnológicos, Universidade de Coimbra.

Penman, T., Nicholson, A., Bradstock, R., Collins, L., Penman, S., & Price, O. (2015). Reducing the risk of house loss due to wildfires. *Environmental Modelling & Software*, 67, 12 - 25.

Ribeiro, J. (2012). *Incêndios: Prevenção, Segurança e Combate*. Obtido em 26 de Abril de 2016, de Verlag Dashöfer: <http://prevencao-incendios.dashofer.pt/>

Viegas, D. X. (2012). *Incêndios: Prevenção, Segurança e Combate*. Obtido em 27 de Abril de 2016, de Verlag Dashofer: <http://prevencao-incendios.dashofer.pt/?s=modulos&v=capitulo&c=4098>

Viegas, D. X., Rossa, C., & Ribeiro, L. M. (2011). *Incêndios Florestais*. Lisboa: Verlag Dashofer.

ANEXO A

Tabela A 1. Classe de fogos. Fonte: NP 1800 2012

Classe de Fogos		Agente Extintor	Aplicação	
			Extintor	Sistema
A	Fogos que resultam da combustão de materiais sólidos, geralmente de natureza orgânica, como por exemplo madeira, carvão, papel, matéria têxtil, etc., a qual se dá normalmente com formação de brasas.	Água	X	X
		Espumas	X	X
		Pó químico seco – Tipo ABC	X	X
		HFC's (hidrofluorocarbonetos)	X	X
		Gases inertes	–	X
B	Fogos que resultam da combustão de líquidos ou de sólidos liquidificáveis, como por exemplo, éteres, álcoois, cetonas, vernizes, gasolinas, gasóleos, ceras, pomadas, pez, etc.	Espumas	X	X
		Pó químico seco – Tipo ABC	X	X
		HFC's (hidrofluorocarbonetos)	X	X
		Dióxido de Carbono (CO ₂)	X	X
		Água nebulizada	–	
		Água com aditivo	X	–
		Gases inertes	–	X
C	Fogos que resultam da combustão de gases, como por exemplo metano, propano, etano, butano, acetileno, etc.	Pó químico seco – Tipo ABC	X	X
		HFC's (hidrofluorocarbonetos)	X	X
		Gases inertes	–	X
D	Fogos que resultam da combustão de metais, como por exemplo, sódio, potássio, magnésio, urânio, zircónicos e alguns plásticos.	Pó químico seco apropriado a cada tipo de metal	X	–
F	Fogos envolvendo produtos para cozinhar (óleos e gorduras vegetais ou animais) em aparelhagem de cozinha.	Agente químico húmido	X	X
		Dióxido de Carbono (CO ₂)	–	X

ANEXO B

Tabela A.2. Caracterização dos aditivos da água (Lopes, 2012)

Aditivo	Caracterização
Molhantes	Reduzem a tensão superficial da água, possibilitando uma fácil penetração nos materiais sólidos combustíveis.
Emulsores	Alteram a tensão superficial da água, permitem a criação de bolhas estáveis, em mistura com o ar e com equipamento e pressão de água adequados.
Viscosificantes	Aumentam a viscosidade da água, promovendo uma maior aderência às superfícies verticais.
Opacificantes	Aumentam a opacidade da água à radiação, muito particularmente a radiação infravermelha, criando um escudo protetor da energia radiada pelo incêndio.
Anticongelantes	Utilizados em regiões onde o clima atinge temperaturas inferiores aos 0°C, de forma a evitar que a água congele nos depósitos, nas condutas ou nos sistemas de bombagens, o que pode impedir o combate ao incêndio.
Anticorrosivos	Destinados a evitar que a água provoque fenómenos de corrosão em instalações sensíveis.

ANEXO C

Tabela A.3. Valores de intensidade e comprimento de chama por classe de combustibilidade. (Viegas, et al, 2011)

Combustibilidade	Intensidade frontal da chama, I (kW/m)	Comprimento da chama, L (m)	Interpretação
Baixa	$I < 500$	$L < 1$	O fogo propaga-se lentamente e com chama de reduzidas dimensões. O combate ao incêndio é possível utilizando simplesmente meios manuais (material sapador) e pequenas equipas.
Moderada	$500 < I < 2000$	$1 < L < 2$	A propagação do fogo apresenta velocidades médias, com chamas moderadamente altas. Um incêndio florestal pode ser contido em ataque direto por meios terrestres com recurso a água ou fogo tático.
Elevada	$2000 < I < 4000$	$2 < L < 3.5$	A velocidade de propagação do fogo é moderada a elevada. O comportamento do fogo depende muito da composição e arranjo espacial dos combustíveis, podendo em alguns povoamentos ocorrer fogo de copas e projeções de partículas incandescentes a curtas distâncias. O combate direto na frente do incêndio com meios terrestres é ineficaz. O combate indireto com abertura de linhas de contenção recorrendo a maquinaria pesada e combate direto com meios aéreos é recomendado.
Muito elevada	$4000 < I < 10000$	$L < 3.5$	A velocidade de propagação do fogo é elevada. Podem ocorrer fogos de copas com abundante projeção de partículas a distâncias moderadas. Combate direto apenas com meios aéreos pesados. Combate terrestre restringido aos flancos e retaguarda do incêndio. O combate da frente é ineficaz.
Extrema	$I > 10000$	$L < 5$	Comportamento extremo do fogo.

APÊNDICE A

Extintores de água

Ensaio de referência

- Determinação do teor de humidade do combustível a utilizar (mato) e pesagem da sua massa (m_0) para a respetiva carga;
- Construção do leito combustível na plataforma:
 - Área, $A = 2m \times 2m = 4m^2$;
 - Registo cinco alturas do leito;
 - Colocação de fios de lã distanciados de 20 cm;
- Combustão do material através de uma ignição linear: registo dos instantes de corte de cada fio com um cronómetro.

Ensaio com extinção

- Determinação do teor de humidade do combustível a utilizar (mato) e pesagem da sua massa (m_0) para a respetiva carga;
- Pesagem do extintor inicial (m_i);
- Construção do leito combustível:
 - Área, $A = 2m \times 2m = 4m^2$
 - Registrar cinco alturas do leito;
 - Colocação de fios de lã distanciados de 20 cm;
- Início da aquisição de dados pelo *software Quick Analyzer* e câmara de vídeo;
- Combustão do material (ignição linear).
- Registo dos seguintes tempos:
 - Instante inicial (corte do 1º fio);
 - Instantes entre cada fio;
 - Instante em que se utiliza o extintor – quando a propagação do fogo atinge 1 metro de distância percorrida;
 - Instante em que se parou de utilizar o extintor.

- Fim da aquisição de dados no *software* e câmara de vídeo.
- Pesagem do extintor no final da sua utilização (m_f);
- Após arrefecimento, retirou-se a massa de combustível presente, pesou-se essa massa e foi colocada em estufa durante 24 horas. Concluído o tempo em estufa pesou-se novamente a massa de combustível (m_2).

Barreira 1

Ensaio com a Barreira 1 – laboratório

- Determinação do teor de humidade do combustível a utilizar (feno) e pesagem da sua massa para a carga estipulada (1.0 kg/m^2);
- Construção do leito combustível:
 - Área estipulada (4.0 m^2 , 5.0 m^2 ou 5.4 m^2);
 - Registrar cinco alturas do leito;
 - Colocação de fios de lã distanciados de 20 cm;
- Mecanismo de proteção IA
- Configurar a velocidade de escoamento estipulada (1.0 ou 2.0 m/s).
- Combustão do material (ignição linear).
- Registo dos seguintes tempos:
 - Instante inicial (corte do primeiro fio);
 - Instantes entre cada fio;

Ensaio com Barreira 1 – campo experimental

- Determinação da humidade relativa, da temperatura do ar e da velocidade do vento;
- Determinação do teor de humidade do combustível florestal;
- Mecanismo de proteção IA
- Colocação dos termopares na Barreira.
- Início da gravação do ensaio na gama do visível e na gama do infravermelho. Captação de imagens fotográficas durante todo o ensaio.
- Combustão do leito feita com o pinga-lume e ignição linear;
- Determinação do tempo até à chegada da frente de chamas à Barreira;
- Observação do comportamento da Barreira à aproximação da frente de chamas.

Barreira 2

- Determinação do teor de humidade do combustível a utilizar (mato) e pesagem da sua massa para a respetiva carga.
- Construção do leito combustível:
 - Área estipulada (10.0 m² ou 11.0 m²);
 - Registar cinco alturas do leito;
 - Colocação de fios de lã distanciados de 20 cm;
- Mecanismo de proteção 2A ou 2B;
- Colocação de dois termopares: um termopar no centro da face exposta à frente de chamas e o outro termopar no centro da face protegida da frente de chamas.
- Posicionamento do fluxómetro;
- Configurar a velocidade de escoamento estipulada (0, 1.0, 2.0 ou 3.0 m/s);
- Aquisição de dados pelo fluxómetro e pelos termopares; recolha de imagens fotográfica e de vídeo (monitorização do ensaio);
- Combustão do material (ignição linear);
- Registo dos seguintes tempos:
 - Instante inicial (corte do primeiro fio);
 - Instantes entre cada fio;
- Fim do sistema de monitorização do ensaio.

Cerca com aspersão de água

Ensaio da dispersão da água – laboratório (aeródromo)

1. Numeração de todos os recipientes e colocação dos mesmos na respetiva posição (planeamento e registo das suas disposições);
2. Abastecimento do reservatório num valor próximo de 400 l; garantir estabilidade do reservatório (inclinação nula).
3. Ajuste da válvula para a posição pretendida (50%, 75% ou 100%);
4. Proceder-se ao arranque da bomba, quando a água atinge o limiar dos 360 l inicia-se a contagem do tempo até a água atingir a linha dos 260 l (consumo de 100 l). Cronometra-se o tempo de 20 em 20 l até perfazer o consumo de 100 l (determinação do caudal);
 - 4.1. Após consumo de 100 l, recolha dos recipientes e pesagem, de seguida os recipientes devem ser secos e colocados novamente nas suas posições;
5. Dispersão da água para os segundos 100 l de água consumidos, intervalo entre [260-160] litros. Cronometrar o tempo de 20 em 20 litros até perfazer o consumo de 100 l;
 - 5.1. Recolha dos recipientes e pesagem, de seguida os recipientes são secos e colocados novamente nas suas posições;
6. Dispersão da água para os terceiros 100 l de água consumida, intervalo entre [160-60] litros. Cronometrar o tempo de 20 em 20 l até perfazer o consumo de 100 l;
 - 6.1. Recolha dos recipientes e pesagem, de seguida os recipientes são secos e colocados novamente nas suas posições. Segue-se o novo ensaio com mudança da posição da válvula e repetição dos pontos 4, 5 e 6 mencionados.

O procedimento descrito foi realizado para cada posição da válvula que se pretende analisar a dispersão de água.

Ensaio com a Cerca de aspersão de água – campo experimental

Ensaio para a Condição A

- Determinação da humidade relativa e temperatura do ar e da velocidade do vento;
- Determinação do teor de humidade do combustível florestal;
- Humedecimento da zona envolvente com aspersão de água pela Cerca;
- Contabilização do tempo de aspersão:

-
- Cronometragem do deslocamento de água no reservatório a cada 20l de água consumida (determinação do caudal);
 - Combustão do leito feita com o pinga-lume e ignição linear;
 - Determinação do tempo desde que a aspersão terminou até à chegada da frente de chamas à zona humedecida;
 - Observação do comportamento do fogo quando se vai propagando na área hidratada;
- Verificação da ocorrência da sua extinção, sem outros meios intervenientes, e o instante.

Ensaio para a Condição B

- Determinação da humidade relativa e temperatura do ar e da velocidade do vento;
- Determinação do teor de humidade do combustível florestal.

Fase B.1

- Humedecimento da zona efetuado pela aspersão de água.
- Contabilização do tempo de aspersão:
 - Cronometragem da descida de água no reservatório a cada 20l de água consumida (determinação do caudal);
- Combustão do leito feita com o pinga-lume e ignição linear;
- Determinação do tempo desde que a aspersão terminou até à chegada da frente de chamas à zona humedecida;
- Observação do comportamento do fogo quando se vai propagando na zona humedecida.

Fase B.2

- Aspersão de água quando a da frente se encontra a aproximadamente 1.5 m da Cerca.
- Contabilização do tempo de aspersão:
 - Cronometragem da descida de água no reservatório a cada 20 l de água consumida (determinação do caudal);
- Observação da atuação da Cerca no combate e observação do comportamento do fogo; verificação da sua extinção com a aspersão da água.

APÊNDICE B

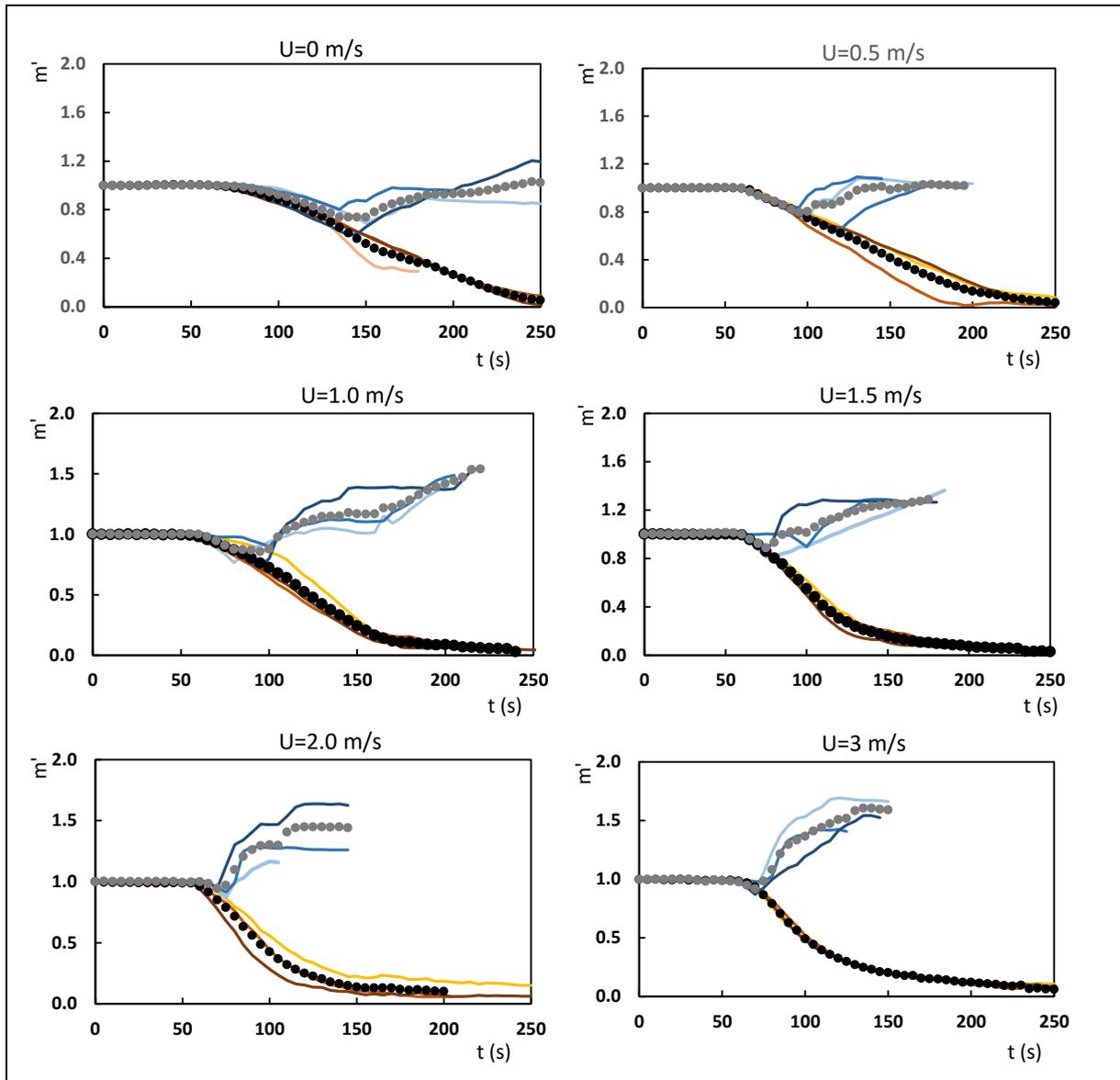


Figura A.1. Variação da massa combustível em função do tempo – todos os ensaios (Extintores de água)

Legenda (Figura A.1)

- | | | | |
|---|-----------|---|---------|
| ● | Ref-média | — | REF-U.2 |
| ● | Ext-média | — | EXT-U.2 |
| — | REF-U.1 | — | REF-U.3 |
| — | EXT-U.1 | — | EXT-U.3 |

Na legenda, U representa a velocidade de escoamento indicada em cada figura.

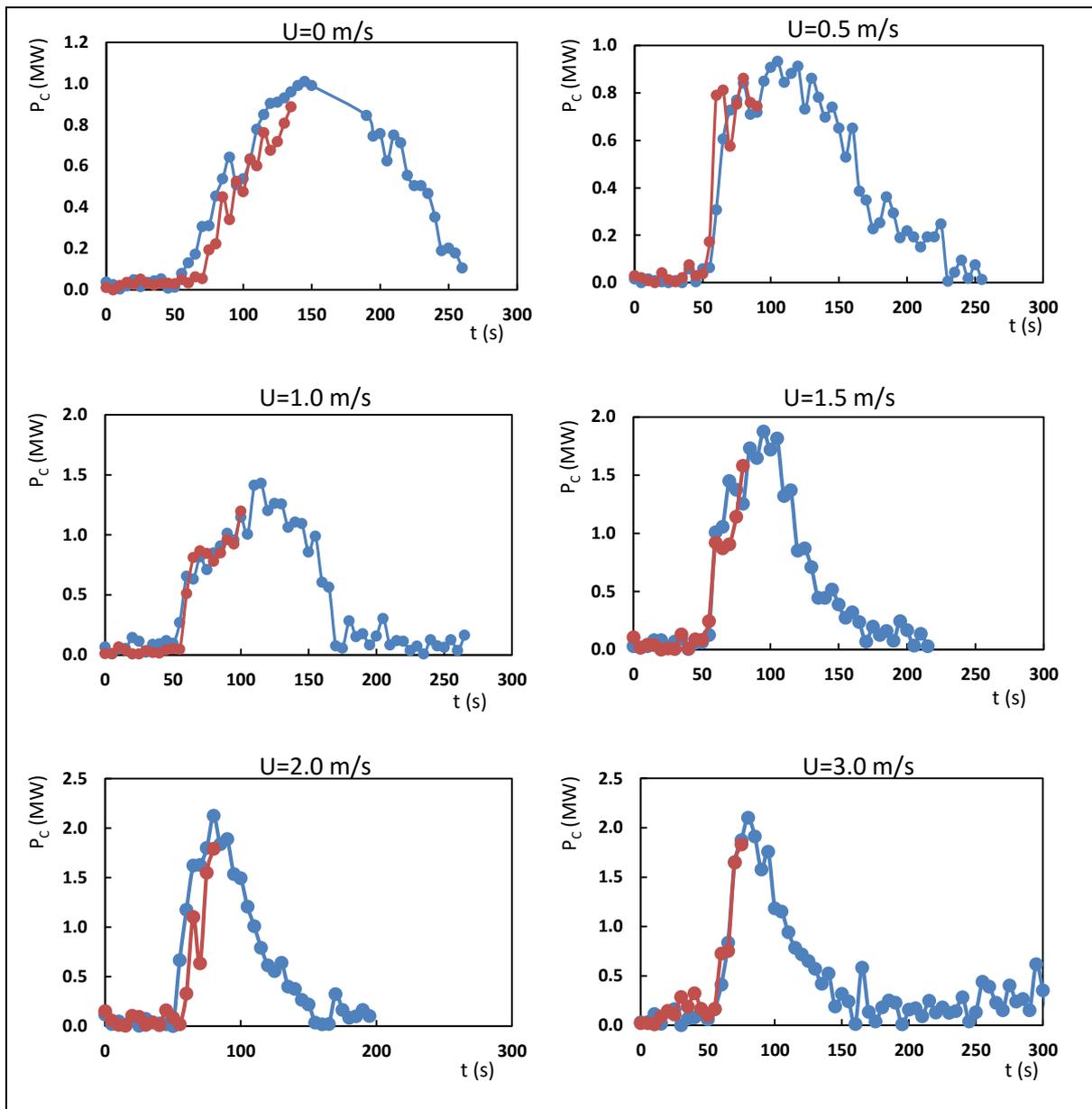


Figura A.2. Potência calorífica libertada em função do tempo – todos os ensaios (Extintores de água)

Legenda (Figura A.2)

- E.Ref
- E.Ext

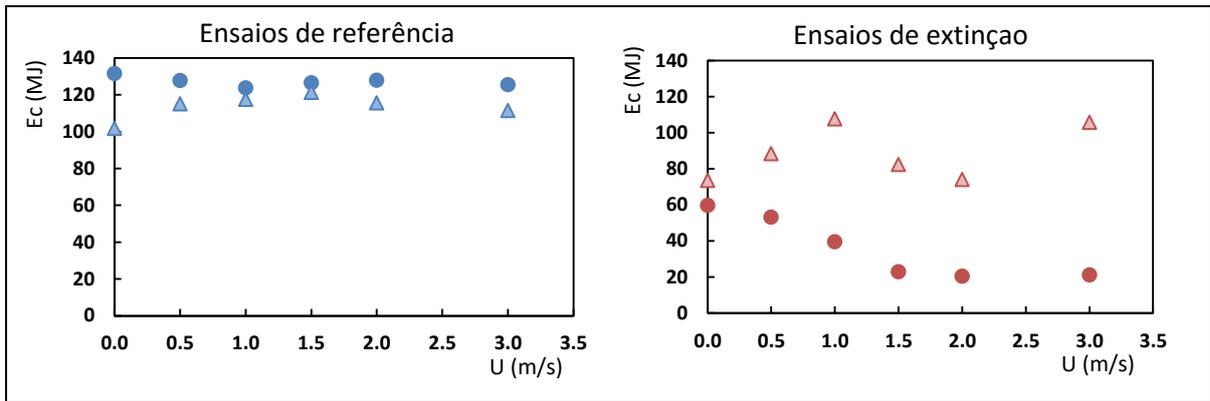


Figura A.3. Energia libertada calculada pelo método do integral e método da massa – Extintores de água

Legenda (Figura A.3)

- △ Método da potência – E_{Ref}
- △ Método da potência – E_{Ext}
- Método da massa – E_{Ref}
- Método da massa – E_{Ext}

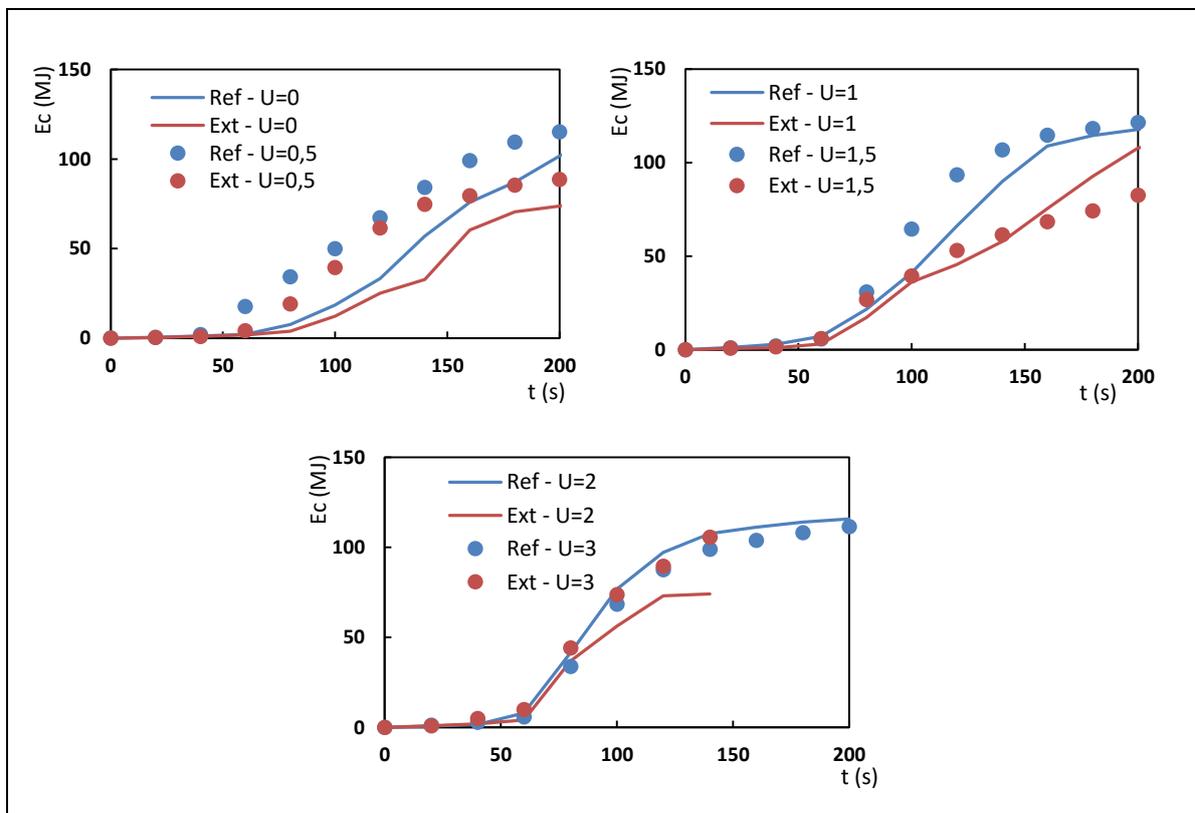


Figura A.4. Energia libertada em função do tempo – todos os ensaios (Extintores de água)

APÊNDICE C

- ΔT -frente BAR02-U
- ΔT -trás BAR02-U
- ΔT -frente BAR04-U
- ΔT -trás BAR04-U
- ΔT -frente (Méd 02 e 04) - U
- ΔT -trás (Méd 02 e 04) - U

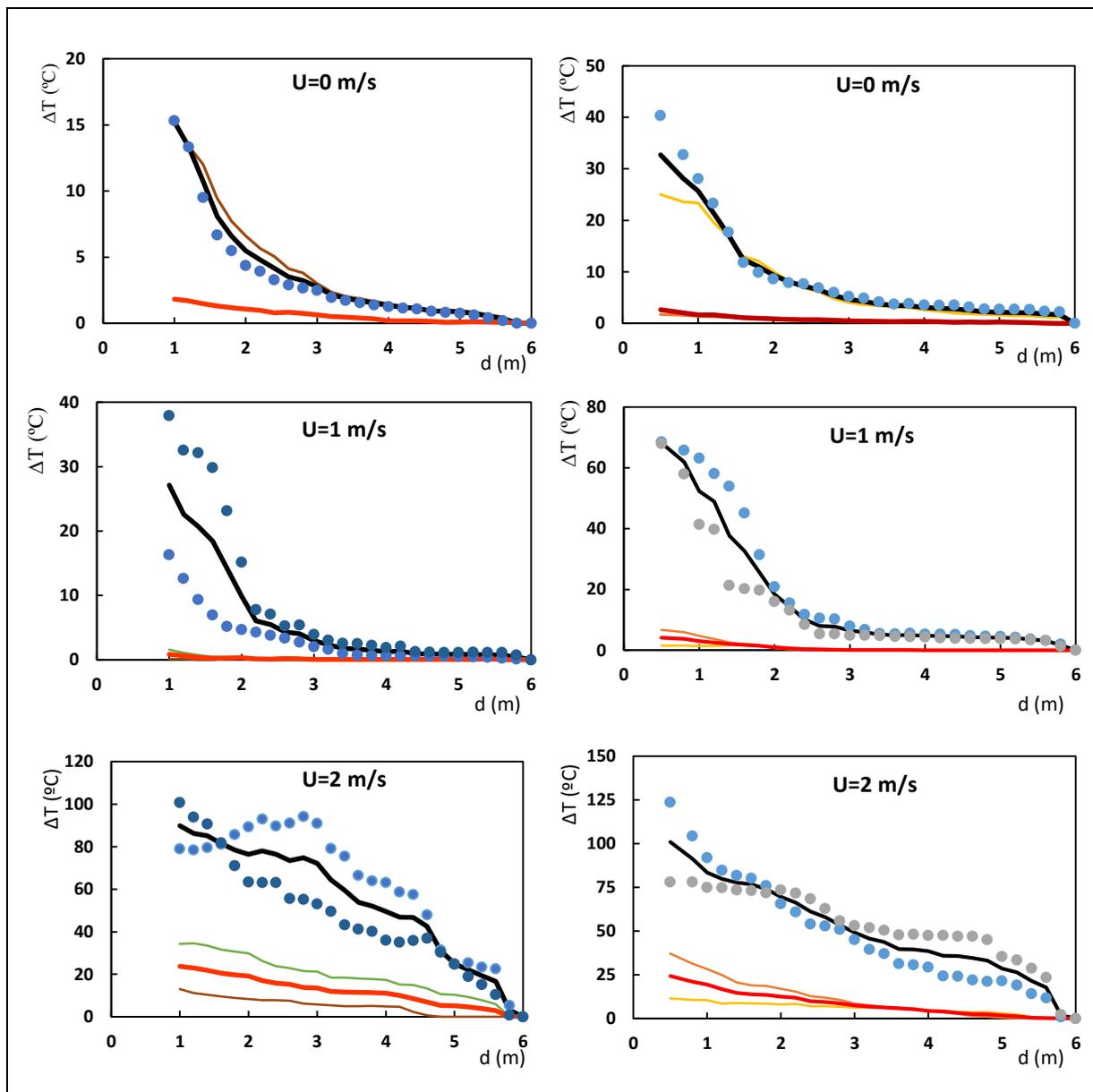


Figura A.5. Variação da elevação da temperatura em função da distância da frente de chamas – todos os ensaios (Barreira 2)

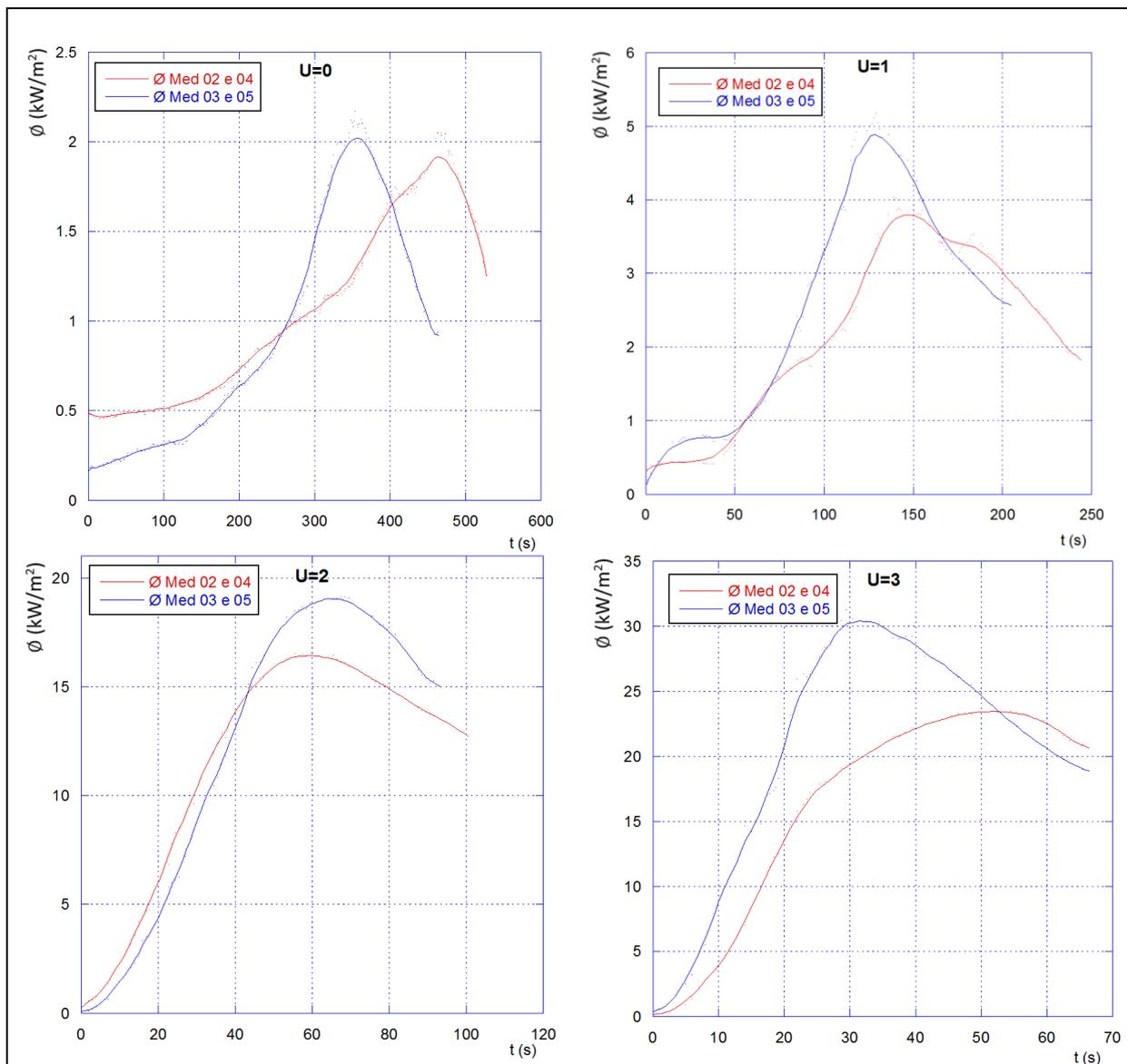


Figura A.6. Curvas de fluxo em função do tempo – todos os ensaios (Barreira 2)

Na Figura A.6 o símbolo ϕ corresponde a Φ (nomenclatura utilizada para o fluxo de calor).

