



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

Análise das condições de queima de tendas e de caravanas

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

Analysis of burning conditions of tents and caravans

Autor

Mariana Mendes Justino

Orientadores

Doutor Miguel Abrantes de Figueiredo Bernardo de Almeida

Professor Doutor Domingos Xavier Filomeno Carlos Viegas

Júri

Presidente Professor Doutor António Rui de Almeida Figueiredo
Professor Associado da Universidade de Coimbra
Professor Doutor Domingos Xavier Filomeno Carlos Viegas

Vogais Professor Catedrático da Universidade de Coimbra
Professor Doutor José Manuel Baranda Moreira da Silva Ribeiro

Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra
Professor Doutor Domingos Xavier Filomeno Carlos Viegas
Orientador Viegas
Professor Catedrático da Universidade de Coimbra

Colaboração Institucional



Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial

Coimbra, setembro, 2016

Agradecimentos

A realização desta dissertação de Mestrado contou com importantes apoios e incentivos. Por este motivo, quero deixar o meu agradecimento ao Professor Dr. Xavier Viegas e ao Dr. Miguel Almeida, por toda a disponibilidade demonstrada ao longo deste período.

Ao Dr. Jorge Raposo, Joel Teixeira e restante equipa do CEIF/ADAI, pela contribuição e apoio que prestaram na realização dos ensaios.

Aos meus Professores e Colegas de curso, por todo o companheirismo durante este percurso académico.

Aos meus Amigos, que são a família que eu escolhi, agradeço do fundo do meu coração, destacando aqueles que nunca desistiram de mim: Ana Macário, Artur Côrte-Real, Bernardo Canhão, Carolina Varela, César Traquinas, Diogo Moita, Diogo Resende, Fernando Iodice, Laura Rio, Mariana Branco, Mariana Lopes, Nuno Mota, Rita Marques, Rita Mendes e Tiago Reis.

À minha Família, agradeço por todo o carinho, esforço e dedicação demonstrado nos bons e nos maus momentos.

Aos meus Pais, a quem eu devo tudo o que sou e que são tudo para mim.

Obrigada.

Resumo

Esta dissertação tem como objetivo a análise das características da queima de tendas de campismo e de caravanas. Está integrada no âmbito de um projeto denominado *FireCamp2* – “Segurança Contra Incêndios em Áreas Dedicadas à Atividade de Campismo e Caravanismo” desenvolvido pelas diversas unidades do Laboratório Associado de Energia, Transportes e Aeronáutica (LAETA), com coordenação da Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial (ADAI).

Neste estudo realizou-se um conjunto de ensaios de queima de tendas e caravanas, com o intuito de se estudar a influência do tipo de ignição na queima deste tipo de estruturas e as respetivas condições de combustão. Nos ensaios de queima das tendas foram analisados três tipos de ignição diferentes, nomeadamente: 1) ignição linear no exterior, 2) ignição pontual no interior e na superfície da tenda e 3) ignição pontual no interior e teto da tenda. A ignição dos ensaios com caravanas consistiu numa ignição a partir do exterior com frente de chama e numa ignição pontual iniciada no interior da caravana.

Verificou-se que, o tipo de ignição influencia a forma de combustão dos equipamentos analisados. Na queima das tendas comprovou-se que, no tipo de ignição pontual na superfície e interior da mesma, a combustão é mais intensa do que nos restantes tipos de ignição. No entanto, o mesmo não acontece na queima das caravanas, pois verificou-se, pela análise dos resultados, que a combustão tem mais intensidade e é mais rápida numa ignição que advém de uma frente de fogo vinda do exterior.

Palavras-chave: Tendas, Caravanas, Incêndios florestais, Segurança contra incêndios, Combustão, Ignição.

Abstract

The main objective of this dissertation is the analysis of burning conditions of camping tents and caravans. This thesis is integrated as part of a project named *FireCamp2* – “Fire Safety in Areas Dedicated to Camping and Caravanning Activities” that it is being developed by Associated Laboratory for Energy, Transport and Aeronautics (LAETA) with coordination by the Association for the Development of Industrial Aerodynamics (ADAI).

In this study it was performed a set of burning tests with tents and caravans aiming the study of the influence of type of ignition in burning of this type of structures and respective combustion conditions. In the burning tests with tents three different types of ignition are analysed, specifically: 1) linear ignition from outside, 2) punctual ignition inside the tent at the surface and 3) punctual ignition the tent at the roof. The tests with caravans are characterized by two different types of ignition: 1) exterior fire front reaching the tent and 2) punctual ignition inside the caravan on the bed.

It was confirmed that the type of ignition influences the form of combustion of the equipment analysed. The burning tests with tents it was observed that the ignition point on surface and inside of the tent, the combustion is more intense than in other types of ignition. However, the same statement was not achieved for the caravans since combustion is more intense and it is more quickly in the ignition that comes from an outside fire front.

Keywords Tents, Caravans, Forest fires, Fire safety, Combustion, Ignition.

Índice

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Enquadramento	2
1.2. Objetivo e definição do trabalho.....	3
2. ESTADO DA ARTE	5
2.1. A problemática dos incêndios florestais e a segurança contra incêndios	5
2.2. Incêndios ocorridos em ADACC	6
2.3. Breve historial.....	8
3. Metodologia.....	9
3.1. Metodologia dos Ensaios das Tendas	9
3.1.1. Pesagem, medição e recolha de amostras.....	9
3.1.2. Preparação dos ensaios	11
3.1.3. Realização dos ensaios	14
3.2. Metodologia dos Ensaios das Caravanas	14
4. Resultados e Discussão.....	20
4.1. Ensaios das Tendas	20
4.1.1. Ensaio 1 – Ignição tipo A	20
4.1.2. Ensaio 2 – Ignição tipo B	27
4.1.3. Ensaio 3 – Ignição tipo C	34
4.1.4. Comparação de Ensaios.....	41
4.2. Ensaios das Caravanas	48
4.2.1. Ensaio 1	49
4.2.2. Ensaio 2	54
5. Conclusões Finais	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
APÊNDICE A	64
APÊNDICE B.....	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Fluxograma da recolha de dados relativos aos ensaios.....	3
Figura 3.1. Aparato experimental de ensaio (CEIF/ADAI).....	11
Figura 3.2. (a) Interface <i>National Instruments</i> ; (b) Sensores de fluxo de calor <i>Vattel</i> refrigerados a água (CEIF/ADAI).....	12
Figura 3.3. Esquemas dos ensaios das tendas (CEIF/ADAI).	14
Figura 3.4. Fotografia aérea da plataforma dos ensaios no exterior do LEIF no estudo das caravanas (CEIF/ADAI).	15
Figura 3.5. Esquemas dos ensaios das caravanas: (a) Ignição no exterior; (b) Ignição pontual no interior (CEIF/ADAI).	16
Figura 3.6. Sensores de fluxo de calor refrigerados a água: (a) Ignição no exterior; (b) Ignição pontual no interior (CEIF/ADAI).	17
Figura 3.7. Esquema dos termopares nos Ensaio 0 e 1: (a) Vista da fachada exposta à frente de fogo; (b) Vista de topo da caravana.	18
Figura 3.8. Esquema dos termopares no Ensaio 2: (a) Vista lateral da fachada oposta à ignição; (b) Vista de topo da caravana.	19
Figura 4.1. Fases representativas do gráfico de fluxo radiativo e fluxo total, Ensaio 1.....	21
Figura 4.2. Fluxo radiativo e fluxo total, Ensaio 1.	22
Figura 4.3. Temperatura, Ensaio 1.	23
Figura 4.4. Fases do gráfico de variação de massa, Ensaio 1.....	24
Figura 4.5. Variação da perda de massa, Ensaio 1.	25
Figura 4.6. Velocidade de escoamento, Ensaio 1.	26
Figura 4.7. Gráfico comparativo de fluxo radiativo e altura de chama, Ensaio 1.	26
Figura 4.8. Instantes referentes às fases do tipo de ignição B, Ensaio 2 (CEIF/ADAI).....	28
Figura 4.9. Fluxo radiativo e fluxo total, Ensaio 2.	29
Figura 4.10. Temperatura, Ensaio 2.	30
Figura 4.11. Fases representativas do gráfico de variação de massa, Ensaio 2.....	31
Figura 4.12. Variação da perda de massa, Ensaio 2.	31
Figura 4.13. Velocidade de escoamento, Ensaio 2.	32
Figura 4.14. Gráfico comparativo de fluxo radiativo e altura de chama, Ensaio 2.	33
Figura 4.15. Fases representativas do ensaio, Ensaio 3 (CEIF/ADAI).	35
Figura 4.16. Fluxo radiativo e fluxo total, Ensaio 3.	36
Figura 4.17. Temperatura, Ensaio 3.	37

Figura 4.18. Fases representativas da variação de massa, Ensaio 3.	38
Figura 4.19. Variação da perda de massa, Ensaio 3.	38
Figura 4.20. Velocidade de escoamento, Ensaio 3.	39
Figura 4.21. Gráfico comparativo de fluxo radiativo e altura de chama, Ensaio 3.	40
Figura 4.22. Fluxo de calor total nos três ensaios analisados.	43
Figura 4.23. Temperaturas medidas pelo Termopar 2 nos três ensaios.	44
Figura 4.24. Variação da perda de massa nos três ensaios.	45
Figura 4.25. Velocidade de escoamento nos três ensaios.	46
Figura 4.26. Gráfico comparativo da velocidade de escoamento e fluxo de calor nos três ensaios.	46
Figura 4.27. Gráfico comparativo da altura de chama e fluxo de calor nos tipos de ignição.	47
Figura 4.28. Fotografias de instantes do Ensaio 1 (CEIF/ADAI).	50
Figura 4.29. Gráfico das temperaturas registadas pelos termopares no exterior da caravana, Ensaio 1.	50
Figura 4.30. Gráfico das temperaturas registadas pelos termopares no interior da caravana, Ensaio 1.	51
Figura 4.31. Gráfico de temperaturas registadas pelos termopares T1 e T5, Ensaio 1.	52
Figura 4.32. Instantes do Ensaio 1 (CEIF/ADAI).	53
Figura 4.33. Gráfico comparativo da altura de chama e da temperatura, Ensaio 1.	53
Figura 4.34. Fotografias de instantes do Ensaio 2 (CEIF/ADAI).	54
Figura 4.35. Gráfico de fluxo de calor, Ensaio 2.	55
Figura 4.36. Gráfico das temperaturas registadas pelos termopares no exterior da caravana, Ensaio 2.	56
Figura 4.37. Gráfico das temperaturas registadas pelos termopares no interior da caravana, Ensaio 2.	56
Figura 4.38. Gráfico comparativo do fluxo de calor e da temperatura registada pelo termopar T7, Ensaio 2.	58
Figura 4.39. Fotografias de instantes do Ensaio 2 (CEIF/ADAI).	58
Figura 4.40. Gráfico comparativo do fluxo de calor e da altura de chama, Ensaio 2.	59
Figura 0.1. Fluxo de calor total e radiativo no Ensaio 4.	64
Figura 0.2. Fluxo de calor total e radiativo no Ensaio 7.	64
Figura 0.3. Gráfico comparativo do fluxo de calor total nos ensaios com ignição do tipo A.	65
Figura 0.4. Temperaturas no Ensaio 4.	65
Figura 0.5. Temperaturas no Ensaio 7.	65

Figura 0.6. Gráfico comparativo da temperatura, registada pelo termopar T2, nos ensaios com ignição do tipo A.	66
Figura 0.7. Variação de massa no Ensaio 4.	66
Figura 0.8. Variação de massa no Ensaio 7.	66
Figura 0.9. Gráfico comparativo da variação de massa nos ensaios com ignição do tipo A.	67
Figura 0.10. Gráfico comparativo do fluxo radiativo e altura de chama no Ensaio 4.	67
Figura 0.11. Gráfico comparativo do fluxo radiativo e altura de chama no Ensaio 7.	67
Figura 0.12. Gráfico de altura de chama e fluxo radiativo nos três ensaios.	68
Figura 0.13. Fluxo de calor total e radiativo no Ensaio 5.	68
Figura 0.14. Fluxo de calor total e radiativo no Ensaio 8.	68
Figura 0.15. Gráfico comparativo do fluxo de calor total nos ensaios com ignição do tipo B.	69
Figura 0.16. Temperaturas no Ensaio 5.	69
Figura 0.17. Temperaturas no Ensaio 8.	69
Figura 0.18. Gráfico comparativo da temperatura, registada pelo termopar T2, nos ensaios com ignição do tipo B.	70
Figura 0.19. Variação de massa no Ensaio 5.	70
Figura 0.20. Variação de massa no Ensaio 8.	70
Figura 0.21. Gráfico comparativo da variação de massa nos ensaios com ignição do tipo B.	71
Figura 0.22. Gráfico comparativo do fluxo radiativo e altura de chama no Ensaio 5.	71
Figura 0.23. Gráfico comparativo do fluxo radiativo e altura de chama no Ensaio 8.	71
Figura 0.24. Gráfico de altura de chama e fluxo radiativo nos três ensaios.	72
Figura 0.25. Fluxo de calor total e radiativo no Ensaio 6.	72
Figura 0.26. Fluxo de calor total e radiativo no Ensaio 9.	72
Figura 0.27. Gráfico comparativo do fluxo de calor nos ensaios com ignição do tipo C. ...	73
Figura 0.28. Temperaturas no Ensaio 6.	73
Figura 0.29. Temperaturas no Ensaio 9.	73
Figura 0.30. Gráfico comparativo da temperatura, registada pelo termopar T2, nos ensaios com ignição do tipo C.	74
Figura 0.31. Variação de massa no Ensaio 6.	74
Figura 0.32. Variação de massa no Ensaio 9.	74
Figura 0.33. Gráfico comparativo da variação de massa nos ensaios com ignição do tipo C.	75
Figura 0.34. Gráfico comparativo do fluxo radiativo e altura de chama no Ensaio 6.	75

Figura 0.35. Gráfico comparativo do fluxo radiativo e altura de chama no Ensaio 9.....	75
Figura 0.36. Gráfico de altura de chama e fluxo radiativo nos três ensaios.....	76
Figura 0.1. Fotografias do Ensaio 0 (CEIF/ADAI).....	77
Figura 0.2. Gráfico de fluxo de calor, Ensaio 0.....	77
Figura 0.3. Gráfico de temperaturas do exterior da caravana, Ensaio 0.....	78
Figura 0.4. Gráfico de temperaturas do interior da caravana, Ensaio 0.	78
Figura 0.5. Gráfico comparativo do fluxo de calor nos Ensaios 0 e 2.....	78

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1. Ensaios da queima das tendas.....	9
Tabela 3.2. Características dos materiais utilizados nos ensaios.....	10
Tabela 3.3. Parâmetros obtidos na preparação dos ensaios.....	10
Tabela 3.4. Termopares e localização na tenda.....	12
Tabela 3.5. Parâmetros medidos na preparação dos ensaios.....	16
Tabela 3.6. Esquema da localização dos termopares nos Ensaio 0 e 1.....	17
Tabela 3.7. Esquema da localização dos termopares no Ensaio 2.....	18
Tabela 4.1. Parâmetros analisados nos três ensaios do tipo de ignição A.....	20
Tabela 4.2. Parâmetros analisados nos três ensaios do tipo de ignição B.....	27
Tabela 4.3. Parâmetros analisados nos três ensaios do tipo de ignição C.....	34
Tabela 4.4. Resumo dos ensaios da queima das tendas analisados.....	41
Tabela 4.5. Média dos ensaios do mesmo tipo de ignição.....	42
Tabela 4.6. Resumo dos ensaios da queima das caravanas.....	49

SIMBOLOGIA E SIGLAS

Simbologia

cm – Centímetros

m – Metros

T - Temperatura

Siglas

FCTUC – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

ADAI – Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial

LAETA – Laboratório Associado de Energia, Transportes e Aeronáutica

LEIF – Laboratório de Estudos sobre Incêndios Florestais

CEIF – Centro de Estudos sobre Incêndios Florestais

ADACC – Áreas Dedicadas à Atividade de Campismo e Caravanismo

IUF – Interface Urbano-Florestal

NI – *National Instruments*

GIPS – Grupo de Intervenção de Proteção e Socorro

GNR – Guarda Nacional Republicana

HR – Humidade Relativa

1. INTRODUÇÃO

Pretende-se, com este trabalho, o estudo e análise das características da combustão de tendas de campismo e de caravanas, no âmbito da segurança contra incêndios em áreas destinadas às atividades de campismo e caravanismo (ADACC). Esta dissertação integra-se num projeto denominado *FireCamp2* – “Segurança Contra Incêndios em Áreas Dedicadas à Atividade de Campismo e Caravanismo”, desenvolvido pelo Laboratório Associado de Energia, Transportes e Aeronáutica (LAETA) sendo coordenado pela Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial (ADAI) e contando com a participação de outras equipas de investigação das Universidades de Lisboa, Porto e Beira Interior.

O campismo e o caravanismo são atividades com grande e crescente adesão em Portugal, o que leva à existência de um número elevado de Áreas Dedicadas às Atividades de Campismo e Caravanismo (ADACC). Estas áreas incluem não apenas os parques de campismo e caravanismo permanentes, mas também áreas de campismo temporárias, de festivais de Verão e outros eventos culturais, acampamentos e quaisquer outros espaços em que ocorra a prática de campismo e/ou caravanismo.

Estas atividades têm, geralmente, maior incidência e procura na Primavera e no Verão, o que resulta num maior risco de incêndio devido às condições climatéricas e à forte arborização que são características deste tipo de áreas por se encontrarem em zonas rurais ou florestais. Deste modo, pode-se afirmar que os incêndios florestais são a principal motivação para a escrita desta dissertação.

Segundo Almeida et al. (2014), os incêndios nos parques de campismo e caravanismo podem ter origem dentro ou fora do recinto do parque. As principais fontes de ignição de incêndios, com origem dentro das ADACC, estão relacionadas com a utilização de fogo para confeção de alimentos ou outras atividades lúdicas e a utilização de alguns equipamentos tais como candeeiros a gás ou equipamentos elétricos. Os incêndios que deflagram em áreas exteriores às ADACC podem ameaçar os parques de campismo e caravanismo levando à sua evacuação por prevenção, ou porque o fumo torna impossível a permanência das pessoas naquela área, ou pode mesmo alastrar-se ao interior dos parques

de campismo e caravanismo através de propagação contínua ou por focos secundários aos quais, segundo os mesmos autores, as tendas e caravanas são bastante sensíveis.

A propagação de um incêndio numa ADACC pode dever-se à passagem indireta do fogo por projeção de partículas incandescentes que originam focos secundários e, segundo Viegas et al., (2011), é uma das formas mais perigosas de propagação de incêndios. Pode ainda dever-se à passagem direta das chamas através de combustíveis naturais ou de materiais combustíveis vulgarmente usados na prática de campismo. Nesta última forma de propagação, a passagem do fogo entre tendas adjacentes assume grande relevância e perigosidade.

Os incêndios que ocorrem nestas áreas, podem considerar-se como sendo incêndios na interface urbano-florestal, dado que se devem à coexistência da presença humana junto da floresta, Viegas et al., (2011). Por este motivo, é necessário assegurar a segurança nestas zonas de modo a prevenir que tais acidentes ocorram, garantindo assim a segurança dos campistas e de quem é responsável por estes espaços.

Assim sendo, dever-se-ia aprofundar esta temática, uma vez que o campismo é uma atividade com cada vez mais praticantes, independentemente da faixa etária ou classe social e porque um acidente associado a um incêndio florestal num parque de campismo tem o potencial de causar grandes danos pessoais.

1.1. Enquadramento

O desenvolvimento desta dissertação está intimamente relacionado com o Projeto *FireCamp2*. Este projeto tem como objetivos: analisar e avaliar o risco de incêndio em ADACC; determinar situações de risco de incêndio e formas de o mitigar e criar ferramentas de apoio à segurança contra incêndios em ADACC.

No conjunto dos objetivos do *FireCamp2*, este trabalho insere-se na caracterização do risco de incêndio, em que foram realizados ensaios laboratoriais de queima de tendas e caravanas com diferentes tipos de ignição tendo como finalidade a obtenção de resultados relativos ao comportamento do fogo nos diversos casos estudados.

A realização deste trabalho deve-se ao facto de ser um tema pouco desenvolvido e estudado e muito atual.

1.2. Objetivo e definição do trabalho

Este trabalho tem como principal objetivo caracterizar a combustão de tendas de campismo e de caravanas, tendo no seu interior materiais combustíveis típicos das atividades a que se destinam, tais como, colchões de campismo, sacos-cama ou peças de vestuário.

Na sequência da concretização deste objetivo, foi necessário recorrer a ensaios laboratoriais de queima de tendas e caravanas, com o intuito de se estudar a influência do tipo de ignição no processo de queima. Os parâmetros de análise medidos foram: fluxo de calor, temperatura, variação de massa, velocidade de escoamento e altura de chama, como se pode observar na Figura 1.1.



Figura 1.1. Fluxograma da recolha de dados relativos aos ensaios.

Os ensaios de queima das tendas consideram três origens de ignição: 1) ignição na parede exterior da tenda, simulando a propagação das chamas de fora para dentro; 2) ignição iniciada num saco-cama que se encontra no interior da tenda, simulando o contacto de um equipamento a alta temperatura como, por exemplo, um candeeiro ou um cigarro; 3) ignição com origem no interior da tenda, na sua parte superior, simulando um incêndio resultante do contacto de uma lâmpada com a própria tenda. Os nove ensaios realizados

foram efetuados no interior do Laboratório de Estudos sobre Incêndios Florestais (LEIF) da ADAI, baseando-se em condições observadas em ocorrências de incêndios verificadas anteriormente.

Os ensaios de queima das caravanas foram realizados no exterior do LEIF da ADAI em que foram estudados dois tipos de ignição. No primeiro caso, a ignição ocorreu no exterior da caravana, tendo como ignição um simulador de frente de fogo carregado com combustível. No último ensaio, a ignição foi pontual, sobre uma cama no seu interior, simulando o encosto de um cigarro ou de um material quente com potencial para provocar uma ignição.

2. ESTADO DA ARTE

2.1. A problemática dos incêndios florestais e a segurança contra incêndios

Como já foi referido anteriormente, a ocorrência de incêndios florestais é um fenómeno sazonal em Portugal devido a fatores estruturais, sociais, climatéricos, entre outros.

Quando deflagra um qualquer tipo de incêndio, a principal prioridade dos bombeiros e das restantes entidades participantes no combate é a defesa da vida humana, seguindo-se os bens e propriedades e por fim, o combate ao próprio incêndio.

A propagação de um incêndio depende muito do estado de conservação dos materiais utilizados na construção ou da existência ou não de meios próprios de defesa. Também a proximidade de uma fonte de energia pode ser um fator determinante para haver ignição nas estruturas, Viegas et al., (2011).

O *Blue Ribbon Panel* (BRP, 2008) define a Interface Urbano-Florestal (IUF) como sendo o espaço onde as estruturas e a vegetação coexistem num ambiente propício aos incêndios. Esta citação aplica-se ao território português pelo facto de haver muita vegetação, casas e pessoas distribuídas um pouco por todo o território e um clima muito favorável ao desenvolvimento de incêndios.

É de extrema importância que se continue a investigar a tipologia de combustão existente nestas áreas nomeadamente, as manchas florestais, a biodiversidade, o estado de conservação das infraestruturas existentes e as pessoas que nelas habitam (Fidalgo, 2010) para que haja uma prevenção profícua no que respeita à segurança.

Segundo dados retirados do relatório técnico de “Segurança contra incêndios em parques de campismo e caravanismo”, Almeida et al. (2015), dos principais fatores de perigosidade das ADACC destacam-se os seguintes:

- Incumprimento das obrigações legais nos parques de campismo;
- Legislação reguladora no âmbito da segurança contra incêndios nos parques de campismo e caravanismo ainda não é adequada à realidade que se observa nos parques;

- Falta de consciência cívica e de conhecimento dos campistas e responsáveis dos parques relativamente à problemática do fogo;
- Elevado número de pessoas, com uma grande heterogeneidade de comportamentos que praticam campismo e caravanismo, essencialmente nos meses de Verão;
- Implantação de ADACC em zonas florestais com abundante vegetação envolvente;
- Características de combustibilidade dos materiais e equipamentos usados no campismo e caravanismo;
- Distâncias insuficientes entre tendas e estacionamento incorreto;
- Alocação inadequada de equipamentos de resposta;
- Ligações elétricas inapropriadas.

Dando continuidade à temática de segurança em parques de campismo e caravanismo, constata-se que existem problemas de segurança. Neste sentido, segundo um artigo publicado pela revista Deco PROTESTE em abril de 2006, vinte parques de campismo foram inspecionados e em todos foram detetadas falhas de segurança graves.

Embora em Portugal não existam referências de que as bebidas alcoólicas e as substâncias entorpecentes tenham influência na ocorrência de acidentes ou incêndios em ADACC, é de realçar que se deve ter em consideração os riscos que advêm do consumo excessivo deste tipo de substâncias e que provocam alterações no comportamento. Deste modo, destaca-se um estudo realizado por Fraga et al. (2010) que sublinha que, cerca de 61% dos 234 pacientes que, entre 2000 e 2007, foram admitidos no Centro de Queimados da Região de San Diego da Universidade da Califórnia vítimas de acidentes em atividades de campismo e caravanismo, apresentavam-se alcoolizados.

2.2. Incêndios ocorridos em ADACC

Nesta secção são abordados alguns exemplos de incêndios florestais que ocorreram em áreas de implantação de ADACC em Portugal.

No Festival Andanças, em agosto do presente ano, ocorreu um incêndio de elevadas dimensões no parque de estacionamento junto ao recinto do festival. Este incêndio

consumiu centenas de carros que se encontravam aí estacionados, levando à destruição das viaturas e à evacuação de centenas de pessoas, Público (2016).

Em agosto de 2015, ocorreu um incêndio no parque de campismo de Coja, no concelho de Arganil, que deflagrou uma caravana que se encontrava estacionada no interior do parque. Foram necessários dezoito bombeiros apoiados por cinco viaturas para extinguirem o fogo. De realçar que não se registaram vítimas neste incêndio.

Segundo a Revista Sábado (2013), no parque de campismo do Pião na Serra da Estrela, em agosto de 2013, foi necessária a evacuação de cerca de duzentas pessoas que estavam hospedadas no parque devido à ocorrência de um incêndio florestal que lavrou o Parque Natural da Serra da Estrela, não se registaram vítimas.

No dia 6 de setembro de 2012, um incêndio ocorreu junto ao parque de campismo de Coja tendo origem na zona industrial. Não houve registo de feridos e o parque foi ameaçado pelo incêndio que se propagou desde a zona industrial até à estrada que separa o parque da área ardida (Almeida, 2015). Este incêndio já foi alvo de estudo no *Projeto FireCamp*, desenvolvido pelo LAETA.

Em junho de 2011, deflagrou um incêndio no parque de campismo do INATEL, na Costa da Caparica, com origem num alvéolo do parque. Para a extinção do incêndio foi essencial a intervenção de cinquenta elementos de corporações de bombeiros e quinze veículos. Como consequência, arderam quatro alvéolos por completo e dois parcialmente, registando-se uma vítima sem gravidade como resultado deste acidente.

Segundo a Revista Visão (2010) e a Autoridade Nacional de Proteção Civil, em agosto de 2010, houve um incêndio que lavrou em S. Pedro do Sul, distrito de Viseu, tendo chegado às imediações do Festival Andanças. Por questões de segurança, no último dia do festival, foi evacuado o recinto, sem registo de incidentes.

Em agosto de 2001, um incêndio ocorreu numa tenda no interior do parque de campismo da Praia da Tocha, tendo como origem de ignição um aparelho elétrico que se encontrava no exterior da tenda. Deste acidente resultaram três feridos graves e a destruição total da tenda (Público, 2001).

De salientar, dois incêndios que ocorreram em França e em Espanha, também em parques de campismo. No primeiro ocorrido em julho de 2015, no Sul de França, três parques foram evacuados. O fogo devastou trinta hectares de floresta, atingindo um parque de campismo e caravanismo, levando à destruição de trinta caravanas residenciais. O

segundo ocorreu em julho de 1978, no parque de campismo Los Alfaques em Tarragona, Espanha, causou duzentas e dezassete vítimas mortais e mais de trezentos feridos graves. Este grave acidente ocorreu devido à explosão de um camião-cisterna que transportava propileno liquefeito e que destruiu grande parte do parque de campismo (Almeida et al., 2016).

2.3. Breve historial

Embora não haja muito material publicado sobre a temática dos incêndios em ADACC e especificamente, sobre o tema da combustão de materiais de campismo e caravanismo, que é o propósito desta dissertação, já foram realizados alguns estudos.

Na primeira edição do Projeto *FireCamp*, destinado somente ao estudo da segurança contra incêndios em parques de campismo e caravanismo, foi realizado o estudo de alguns mecanismos de ignição em tendas com diversas características e materiais típicos de campismo para compreensão do mecanismo de queima e o risco daí associado (Almeida et al., 2016).

No âmbito do Projeto *FireCamp*, os tipos de ignição estudados em ensaios laboratoriais similares aos apresentados nesta dissertação são os seguintes: ignição por partículas incandescentes que caem sobre a tenda, ignição linear num leito de combustível natural adjacente à tenda, ignição congregando os dois tipos de ignição referidos anteriormente e ignição completa de um leito de palha no interior da tenda (Almeida et al., 2016).

Pelos estudos realizados, constatou-se que a velocidade de queima é muito rápida e dependente da origem da ignição, provocando a libertação de fumos tóxicos. O recheio das tendas contribui de forma determinante para a rápida destruição pelo fogo. Na presença de vento forte, a tenda pode insuflar e ser facilmente arrastada, provocando focos secundários (Almeida et al., 2015).

3. METODOLOGIA

3.1. Metodologia dos Ensaios das Tendas

Os ensaios realizaram-se nos dias 23 e 25 de fevereiro de 2016 e no dia 6 de julho de 2016 no LEIF.

Na realização destes ensaios de caracterização do processo de combustão de tendas de campismo foram estudadas três configurações de ignição, nomeadamente: 1) ignição linear no exterior da tenda, 2) ignição pontual num saco-cama no interior da tenda (chão/superfície) e 3) ignição pontual no interior da tenda na parte superior (teto da tenda). Para cada tipo de ignição foram realizados três ensaios/repetições, como se observa na Tabela 3.1.

As tendas utilizadas nos nove ensaios realizados foram invariavelmente do tipo iglô, da marca *Quechua* e modelo *Arpenaz 2*. Na perspetiva de se conseguir reproduzir cenários de queima tão realistas quanto possível, como recheio de cada tenda foi utilizado material típico da atividade de campismo, nomeadamente: um colchão de espuma, um saco-cama e peças variadas de vestuário. Em todos os ensaios foi realizado o registo fotográfico e de vídeo.

Tabela 3.1. Ensaios da queima das tendas.

Ensaios	Tipo de ignição	Designação do tipo de ignição	Combustível exterior	Recheio no interior
1, 4 e 7	A	Linear, exterior	Palha	Colchão; saco-cama e peças de vestuário
2, 5 e 8	B	Pontual, interior, chão	Não aplicável	
3, 6 e 9	C	Pontual, interior, teto		

3.1.1. Pesagem, medição e recolha de amostras

Para cada ensaio realizou-se a pesagem e medição de todo o material que constitui o ensaio (Tabela 3.2): tenda, colchões, sacos-cama e peças de vestuário.

Nos ensaios, com ignição do tipo A (frente linear de fogo desde o exterior da tenda), foi necessária a preparação do leito de combustível, tendo-se utilizado palha numa carga de combustível em base seca de 0,4 kg.m². A humidade do combustível foi determinada através de um medidor de velocidade.

Tabela 3.2. Características dos materiais utilizados nos ensaios.

Material	Peso total [kg]	Peso armação [kg]	Peso tecido [kg]	Dimensões [m ³]
Tenda	2,261	0,604	1,657	2,05x1,20x1,05
Colchões	0,334	Não aplicável		1,80x0,76x0,007
Saco-cama	0,669			1,85x0,70x0,03
Roupa	0,798			Não aplicável

A Tabela 3.3 apresenta os parâmetros, tais como, temperatura ambiente, humidade relativa do ar e humidade do combustível, medidos na preparação de cada ensaio de queima.

Tabela 3.3. Parâmetros obtidos na preparação dos ensaios.

	Tipo de ignição	Temperatura _{ar ambiente} [°C]	HR ar [%]	Humidade combustível [%]
Ensaio 1	A	33,8	33	11,3
Ensaio 2	B	37,2	26	Não aplicável
Ensaio 3	C	36,6	27	
Ensaio 4	A	14,8	64	19,76
Ensaio 5	B	12,5	80	Não aplicável
Ensaio 6	C	13,1	79	
Ensaio 7	A	15,0	67	16,55
Ensaio 8	B	13,7	76	Não aplicável
Ensaio 9	C	14,4	68	

3.1.2. Preparação dos ensaios

Depois das medições e pesagens do material constituinte do ensaio, armou-se a tenda para ser colocada na plataforma de combustão.

Na preparação de cada ensaio, posicionou-se uma placa de contraplacado revestida com folha de alumínio numa estrutura (plataforma de combustão) devidamente monitorizada para servir de apoio à tenda, com as dimensões 1,29x0,23[m]. Esta estrutura (Figura 3.1) estava equipada com células de carga na sua base, ligadas a um computador, permitindo o registo da variação de massa em cada segundo, para posteriormente ser analisada através do programa *Excel*.



Figura 3.1. Aparato experimental de ensaio (CEIF/ADAI).

Medição de fluxo de calor

Os sensores de fluxo de calor, refrigerados a água, do fabricante *Vattel* estavam ligados a uma interface da *National Instruments* (Figura 3.2), com a referência *NI cDAQ-9188XT* através de uma placa *NI 9211*, ligada ao sistema de aquisição de dados *Moxa AWK 3121*. Este sistema permite, através de um computador, a aquisição e armazenamento de dados relativos ao fluxo de calor, expressos em kW.m^2 , tratando-se os dados em *Excel*.

Os sensores de fluxo de calor foram colocados nos Ensaios 4 e 7 ao nível do chão da tenda e nos restantes ensaios a 40,5cm acima do nível do chão da tenda. A distância dos sensores à tenda é a mesma em todos os ensaios, sendo de 101cm.

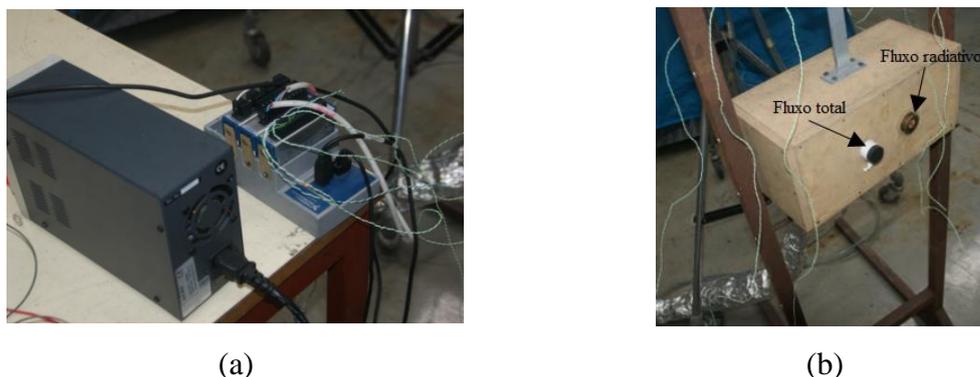


Figura 3.2. (a) Interface *National Instruments*; (b) Sensores de fluxo de calor *Vattel* refrigerados a água (CEIF/ADAI).

Medição de temperatura

A estrutura estava instrumentada com cinco termopares do tipo K que servem para aquisição de dados referentes à temperatura. Os termopares estavam interligados com a interface da *National Instruments*, já referida, através de uma placa *NI 9213*. Este sistema de aquisição de dados permite, por intermédio de um computador, o registo da variação da temperatura em cada termopar, em função do tempo, para posteriormente ser analisada através do programa *Excel*.

Quatro destes termopares estavam incorporados no interior da tenda e o restante estava colocado no seu exterior, junto ao tubo de *Pitot* que se descreve de seguida. Assim, os termopares estavam dispostos na tenda da forma descrita na Tabela 3.4:

Tabela 3.4. Termopares e localização na tenda.

	Posição	Designação nos gráficos
Termopar 1	Superfície da tenda	superfície
Termopar 2	20cm de altura da superfície	20cm
Termopar 3	40cm de altura da superfície	40cm
Termopar 4	Teto da tenda	teto
Termopar 5	Exterior junto ao tubo de <i>Pitot</i>	tubo de <i>Pitot</i>

Medição de variação de massa

A plataforma de combustão estava equipada com células de carga inseridas na sua base para medirem a variação de massa. As células de carga ligadas por cabo USB a um computador e através do software *Quick Analyzer* utilizado, permitem o registo da variação de massa, em função do tempo, durante a queima para, posteriormente, ser analisada através do programa *Excel*.

De realçar que na análise da variação de massa, verificou-se que as curvas representativas desta variação não são regulares e que têm algumas perturbações. Em alguns casos foi possível, pela observação dos vídeos dos ensaios, justificar-se que a ocorrência desta perturbação se deveu à queda das varetas que suportavam a estrutura da tenda. Nos outros casos, não se conseguiu encontrar uma explicação plausível para este acontecimento.

Para que esta justificação da queda das varetas fosse consistente, foram realizados um conjunto de ensaios posteriores em que se analisou apenas a queda de varetas na mesma plataforma de combustão utilizada na queima das tendas. Comparando a variação de massa e a sua duração, nos ensaios de queima e nos da queda de varetas, verificou-se que são semelhantes em ambos os ensaios.

Medição de velocidade de escoamento

O tubo de *Pitot* estava conectado à mesma interface referida anteriormente da *National Instruments*, através de uma placa *NI 9219* para, posteriormente, pelo mesmo programa se retirarem dados relativos à velocidade de escoamento durante a queima da tenda. No entanto, por motivos técnicos, a aquisição de dados através do tubo de *Pitot* apresentou dificuldades, pelo que os resultados da velocidade de escoamento só foram obtidos num ensaio de cada tipo de ignição.

O tubo de *Pitot* encontrava-se a uma distância de 20cm de altura do topo da tenda e para o tratamento de dados foram necessárias as temperaturas registadas pelo termopar “tubo de Pitot” que se encontrava junto ao tubo.

Resumindo, as células de carga, os termopares, o tubo de *Pitot*, e os sensores de fluxo de calor estavam todos conectados com um computador para a aquisição e armazenamento de dados, para que posteriormente, sejam analisados no capítulo seguinte.

Medição de altura de chama

Para a medição de altura de chama, que é um ponto importante no estudo destes ensaios, a análise é feita através de *frames* dos vídeos. A altura de chama analisada ao longo destes ensaios foi a que é visível nos vídeos, ou seja, quando o fogo está no interior da tenda a altura de chama não foi considerada.

3.1.3. Realização dos ensaios

Depois de tudo instalado, começou-se por colocar a tenda na base da estrutura, fixando-a bem à placa com as estacas da tenda para não se soltar durante a combustão, seguindo-se a instalação dos termopares na respetiva posição. De seguida, procedeu-se à preparação do ensaio, como se observa na Figura 3.3. Os ensaios foram realizados na ausência de ventilação forçada.

A ignição foi feita, nos ensaios com ignição do tipo A, com um fio de lã embebido numa mistura de gasóleo e gasolina e nos ensaios com ignição dos tipos B e C, com um pedaço de algodão embebido no mesmo combustível líquido. O ensaio foi considerado como finalizado quando o fogo se extinguiu por completo.



Figura 3.3. Esquemas dos ensaios das tendas (CEIF/ADAI).

3.2. Metodologia dos Ensaios das Caravanas

Estes ensaios foram realizados no exterior do LEIF onde está implantada uma plataforma (Figura 3.4), construída neste laboratório, onde se desenvolvem este tipo de

ensaios de queima. A plataforma é constituída por um simulador de frente de fogo colocado a uma distância pré-determinada da caravana.

Na realização destes ensaios foram analisados dois tipos de ignição, descritos como ignição no exterior da caravana e ignição pontual no interior.

Para o primeiro tipo de ignição analisado, com ignição no exterior da caravana, utilizou-se o simulador de frente de fogo como frente de chama, tal como se observa na Figura 3.4. O simulador é composto por um conjunto de cinco estruturas individuais que se podem retirar ou mesmo mover sempre que seja necessário. Cada estrutura contém quatro cestos agrupados dois a dois, sendo dois deles de maior dimensão na parte inferior e dois de menor dimensão na parte superior da estrutura, permitindo assim a recriação de frentes de fogo com alturas e intensidades de chamas diversificadas.

Deste tipo de ignição descrito resultaram dois ensaios, Ensaio 0 e Ensaio 1, com distâncias diferentes entre a caravana e o simulador de frente de fogo de 2,5m e 1,0m, respetivamente. De destacar que o Ensaio 0 a uma distância de 2,5m, foi um teste preliminar pelo que, não se obtiveram resultados conclusivos. Para estes ensaios utilizou-se combustível natural, neste caso, mato típico das florestas portuguesas da região centro sendo constituído por tojo, carqueja e urze. Recorreu-se a um pinga-lume para iniciar a ignição.

No tipo de ignição estudado em que a ignição foi pontual no interior da caravana, foi realizado um ensaio numa segunda caravana, em que esta estava também a uma distância de 1,0m do simulador. Para este ensaio utilizou-se um pedaço de algodão embebido numa mistura de gasóleo-gasolina como ignição.



Figura 3.4. Fotografia aérea da plataforma dos ensaios no exterior do LEIF no estudo das caravanas (CEIF/ADAI).

De forma a facilitar a comparação entre os ensaios com caravanas (Figura 3.5) ambas tinham, aproximadamente, as mesmas dimensões e estavam posicionadas estaticamente. No seu interior encontrava-se material combustível, nomeadamente,

colchões, peças de vestuário e todo o material que constitui o recheio da caravana, assim como a própria caravana, cuja estrutura era construída maioritariamente por madeira.

Antes da realização dos ensaios, fez-se a pesagem, medição da caravana e do material constituinte e recolheram-se pequenas amostras dos vários tipos de materiais, tanto do exterior como interior, incluindo o material combustível descrito anteriormente.

A Tabela 3.5 apresenta os parâmetros, temperatura ambiente, humidade relativa do ar e humidade do combustível, medidos na preparação de cada ensaio de queima das caravanas.

Tabela 3.5. Parâmetros medidos na preparação dos ensaios.

	Ensaio 0	Ensaio 1	Ensaio 2
Tipo de ignição	Exterior com simulador		Interior pontual
Temperatura ar ambiente [°C]	16,2	18,7	22,8
Humidade relativa ar [%]	70	54	75
Humidade combustível [%]	13,4	13,4	Não aplicável

Durante a realização dos ensaios efetuou-se o seu registo em fotografia e em vídeo e, para posterior análise, fez-se o registo de fluxo de calor, temperatura e variação de massa.

Nestes ensaios, por questões de segurança, foi pedido apoio ao pelotão do Grupo de Intervenção de Proteção e Socorro da GNR (GIPS) da Lousã, aos Bombeiros Voluntários da Lousã e de Cantanhede para acompanharem os ensaios e, caso fosse necessária intervenção dos mesmos, para a extinção do fogo.



(a)



(b)

Figura 3.5. Esquemas dos ensaios das caravanas: (a) Ignição no exterior; (b) Ignição pontual no interior (CEIF/ADAI).

Medição de fluxo de calor

O fluxo de calor foi medido através de sensores de fluxo de calor, refrigerados a água, do fabricante *Vattel*, como descrito em 3.1.2.

Estes sensores de fluxo de calor (Figura 3.6) não foram utilizados no Ensaio 1, enquanto que, nos Ensaios 0 e 2 estavam posicionados a uma distância da caravana de 1,0m e 3,0m, respetivamente.



Figura 3.6. Sensores de fluxo de calor refrigerados a água: (a) Ignição no exterior; (b) Ignição pontual no interior (CEIF/ADAI).

Medição de temperatura

Ambas as caravanas estavam equipadas, no exterior e interior, com termopares que têm como função a aquisição de dados referentes à temperatura. Os termopares estavam interligados com a interface da *National Instruments*, referida anteriormente, através de uma placa *NI 9213*.

Para cada caravana foi necessário fazer-se diferentes distribuições e localizações dos termopares, por isso, para os Ensaios 0 e 1, segue-se a Tabela 3.6 e o esquema representado pela Figura 3.7. Para a segunda caravana, a composição dos termopares está descrita na Tabela 3.7 e é apresentada na Figura 3.8. De salientar que o termopar T1 no Ensaio 2 derreteu no início do ensaio, não sendo possível retirarem-se valores.

Tabela 3.6. Esquema da localização dos termopares nos Ensaio 0 e 1.

Designação	Localização na Caravana 1
T1	Exterior, no centro da fachada exposta a 100 cm de altura
T2	Exterior, num dos limites da fachada a 100 cm de altura

T3	Exterior, no centro a 200 cm de altura
T4	Exterior, no centro e à altura do chão da caravana
T5	Interior, no centro da fachada exposta
T6	Interior, no centro e a 10 cm do teto
T7	Interior, no centro e a 100 cm de altura
T8	Interior, no centro e à altura do chão da caravana

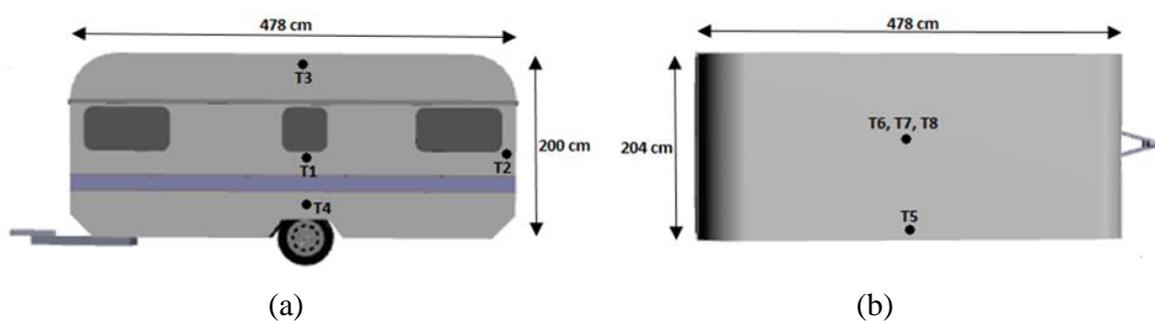


Figura 3.7. Esquema dos termopares nos Ensaio 0 e 1: (a) Vista da fachada exposta à frente de fogo; (b) Vista de topo da caravana.

Tabela 3.7. Esquema da localização dos termopares no Ensaio 2.

Designação	Localização na Caravana 2
T1	Interior, a 85 cm altura (fachada da caravana onde foi feita a ignição)
T2	Exterior, a 85 cm altura
T3	Exterior, na parte frontal da caravana a 75 cm de altura
T4	Interior, no centro da caravana e a uma altura de 160 cm do chão
T5	Interior, no centro da caravana e a uma altura de 110 cm do chão
T6	Interior, no centro da caravana e a uma altura de 20 cm do chão
T7	Exterior, no centro e na fachada oposta à ignição a 60 cm de altura
T8	Interior, no centro e na fachada oposta à ignição a 107 cm de altura
T9	Interior, (próximo do ponto de ignição) a uma altura de 50 cm

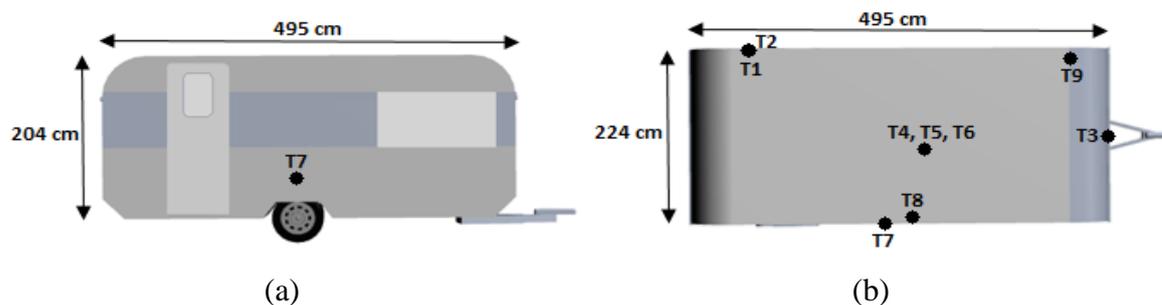


Figura 3.8. Esquema dos termopares no Ensaio 2: (a) Vista lateral da fachada oposta à ignição; (b) Vista de topo da caravana.

Medição de variação de massa

Para a medição da variação de massa, tanto na caravana como no simulador de frente de fogo, utilizaram-se células de carga. As células de carga no seu conjunto eram cinco, em que uma estava colocada no simulador de frente de fogo e as restantes na estrutura de suporte da caravana. Estas estavam ligadas por cabo USB a um computador e através do software *Quick Analyzer* utilizado, permitiram o registo da variação de massa em função do tempo, durante a queima para, posteriormente, ser analisada através do programa *Excel*.

No entanto, não foi possível obterem-se resultados deste parâmetro porque ainda numa fase precoce, durante a queima das caravanas, as comunicações de dados com as células de carga foram destruídas pelo fogo, inviabilizando a obtenção de dados de massa.

Medição de altura de chama

A altura de chama é medida através de *frames* dos vídeos de cada ensaio realizado. Para a sua análise só foi considerada a chama visível nos vídeos, ou seja, quando o fogo está no interior da caravana, a altura de chama não foi considerada.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Ensaio das Tendas

Na apresentação e análise dos resultados dos ensaios da queima das tendas, é exposto um ensaio de cada tipo de ignição sendo feita uma comparação para cada um dos parâmetros analisados. Os detalhes descritos nos subcapítulos acerca dos diferentes parâmetros servem de exemplo para fundamentar as justificações dadas.

Os resultados obtidos que não são usados como exemplo no corpo principal deste documento, encontram-se no Apêndice A embora, para os ensaios numerados de 4 a 9 não tenha sido possível reunir os dados de velocidade de escoamento pelo tubo de *Pitot* devido a problemas técnicos na aquisição de dados em que estes resultados estavam adulterados.

4.1.1. Ensaio 1 – Ignição tipo A

Neste ensaio, com ignição do tipo A, que corresponde a uma ignição proveniente do exterior da tenda, a palha é usada na representação do combustível natural que contorna a tenda, propagando o fogo do exterior para o interior a uma velocidade média de propagação de $0,05 \text{ m.s}^{-1}$.

A Tabela 4.1 resume os dados mais relevantes nos ensaios realizados deste tipo de ignição que serviram de base para a análise dos ensaios.

Tabela 4.1. Parâmetros analisados nos três ensaios do tipo de ignição A.

	Ensaio 1	Ensaio 4	Ensaio 7
Tempo ensaio [s]	629	672	838
Tempo colapso [s]	-	385	348
Fluxo total máximo [kW.m^{-2}]	2,84	2,74	3,02
Fluxo radiativo máximo [kW.m^{-2}]	1,52	1,73	1,87

Temperatura máxima interior [°C]	542,63	882,26	711,74
Temperatura máxima exterior [°C]	91,96	106,06	75,57
Varição máxima massa [kg]	2,4	2,6	2,9
Altura chama máxima [m]	0,8	0,9	1,05

Comparando o tempo de duração do ensaio nos três ensaios realizados para este tipo de ignição, constata-se que o Ensaio 7 foi o que demorou mais tempo embora, tenha tido um menor tempo até ao colapso da tenda que o Ensaio 4.

O Ensaio 1 tem uma duração de ensaio semelhante ao Ensaio 4 mas até ao fim do ensaio, a tenda não tinha colapsado e por esse motivo não está tabelado um valor atribuído.

Fluxo de Calor

Para a análise e compreensão do parâmetro de fluxo de calor, na Figura 4.1 estão representadas imagens de instantes importantes do Ensaio 1 que são exemplificativos do que acontece neste tipo de ignição.

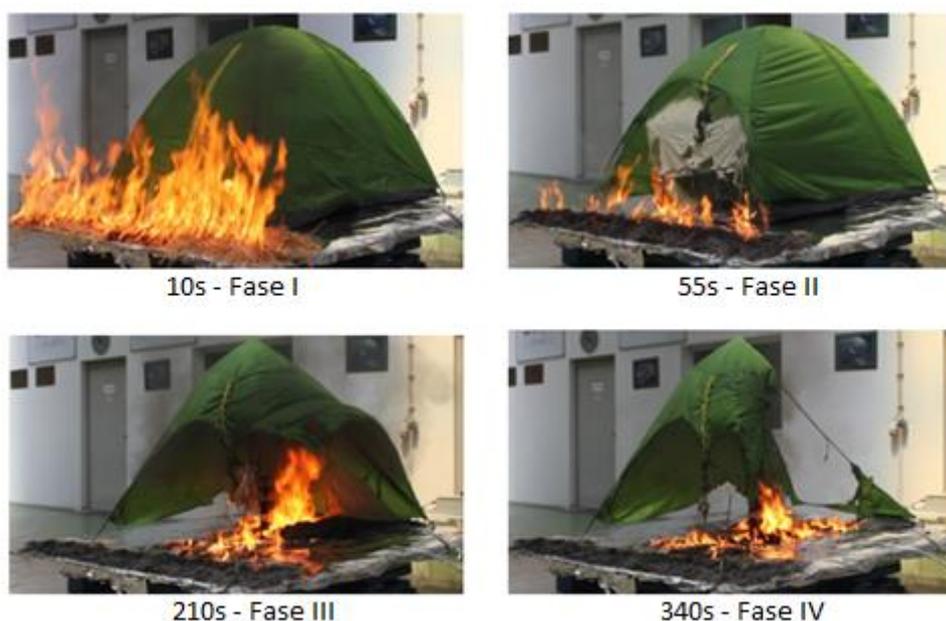


Figura 4.1. Fases representativas do gráfico de fluxo radiativo e fluxo total, Ensaio 1.

A Figura 4.2 representa o gráfico de fluxo de calor radiativo e total em função do tempo para o Ensaio 1.

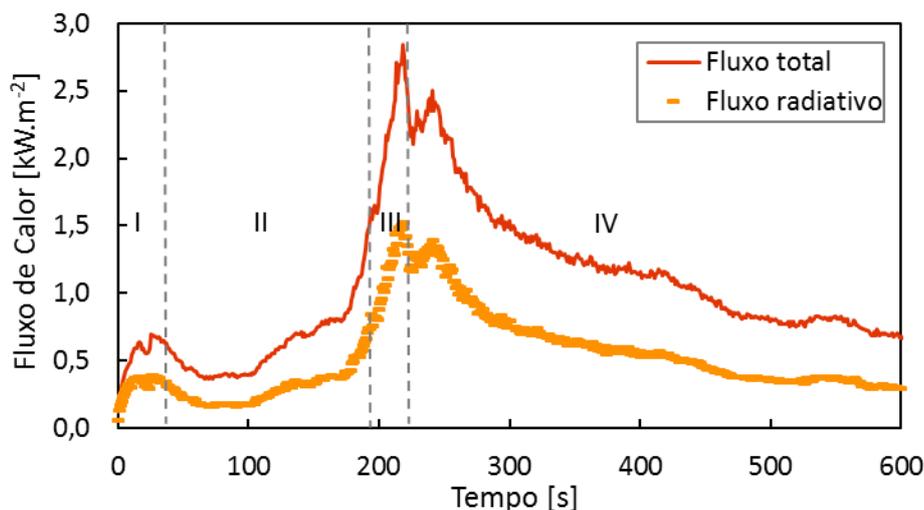


Figura 4.2. Fluxo radiativo e fluxo total, Ensaio 1.

Analisando o gráfico, constata-se que na Fase I houve um aumento acentuado desde o início do ensaio, correspondendo ao momento da queima do combustível natural (palha).

De seguida, na Fase II surge uma diminuição dos fluxos radiativo e total que se deveu à passagem da combustão da palha para a tenda, em que a intensidade da combustão esmoreceu visivelmente depois da queima do leito de palha. Após os 100s de ensaio, houve um aumento do fluxo de calor, que corresponde ao momento em que a combustão começou a ganhar intensidade.

Na Fase III, observa-se pelo gráfico um valor máximo de fluxo de calor total de $2,84 \text{ kW.m}^{-2}$ e de fluxo radiativo de $1,52 \text{ kW.m}^{-2}$.

A partir dos 250s, o fluxo de calor decresceu gradualmente, mantendo-se constante e praticamente nulo até à conclusão do ensaio. Este momento corresponde à Fase IV, altura em que a tenda ardeu de forma sustentada e generalizada.

Comparando os resultados obtidos do fluxo de calor radiativo e total nas repetições realizadas deste tipo de ignição, constata-se pela Tabela 4.1 e pelos gráficos representados pelas Figura 0.1 e Figura 0.2, que estes têm comportamentos idênticos. As fases que representam factos importantes no Ensaio 1 são exemplificativas do que acontece nos Ensaios 4 e 7.

Salienta-se o Ensaio 1 que tem um fluxo de calor superior aos Ensaios 4 e 7 na Fase I, uma vez que neste ensaio os sensores estavam colocados 40,5cm acima do nível do chão da tenda.

Temperatura

Relativamente à temperatura neste tipo de ignição e pelo gráfico representativo do Ensaio 1 (Figura 4.3), observam-se comportamentos similares nas três repetições que foram estudadas.

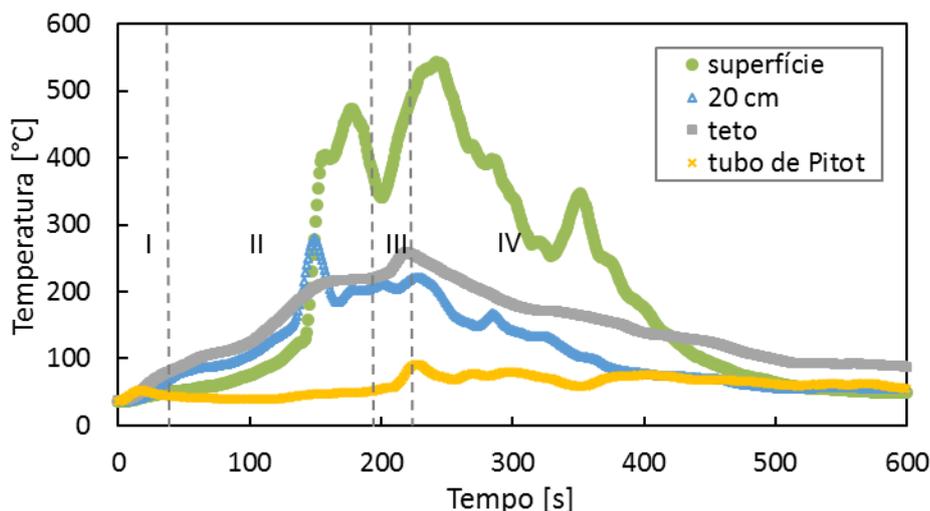


Figura 4.3. Temperatura, Ensaio 1.

Verifica-se que neste tipo de ignição, o termopar “tubo de Pitot” que se encontrava no exterior da tenda, registou pouca variação da temperatura, nomeadamente no Ensaio 1, como se observa na Figura 4.3, o termopar não ultrapassou os 95°C durante todo o ensaio. O ligeiro aumento de temperatura, depois dos 200s de ensaio corresponde ao pico de intensidade já descrito para o fluxo de calor (Fase III).

Observa-se que, para o Ensaio 1, o termopar “superfície” registou os maiores valores de temperatura durante o ensaio, enquanto que, para os Ensaios 4 e 7 foram, respetivamente, os termopares “20cm” e “teto”. Este facto deve-se à ignição ter sido feita no exterior da tenda e o fogo ter-se propagado progressivamente até ao interior partindo da superfície, como se observa na passagem da Fase II para a Fase III na Figura 4.1.

Na Fase IV que corresponde ao momento em que a combustão decorria em toda a tenda, verifica-se que a temperatura registada pelos termopares foi diminuindo até ao fim do ensaio.

Neste Ensaio 1 não se registaram valores do termopar “40cm” que se encontrava inicialmente a 40cm de altura da superfície da tenda pelo facto de se ter queimado no decorrer do ensaio.

Comparando os valores máximos de temperatura registados pelos termopares nos ensaios realizados para o tipo de ignição A, confirma-se pela Tabela 4.1 que o Ensaio 4 tem os valores mais elevados. O termopar “20 cm” atingiu um valor máximo de 882,26°C e o que se encontrava no exterior, o termopar “tubo de *Pitot*”, atingiu uma temperatura de 106,06°C.

Neste tipo de ignição, como se pode observar pelos gráficos representados pelas Figura 0.4 e Figura 0.5, os termopares que se encontravam na superfície da tenda e a 20cm da superfície registaram maiores temperaturas pelo facto de o fogo se propagar do exterior para o interior e atingir primeiramente a superfície e o recheio da tenda.

Variação de massa

Na Figura 4.4 estão representadas imagens que relacionam o gráfico de variação de massa do Ensaio 1 que foi analisado (Figura 4.5).

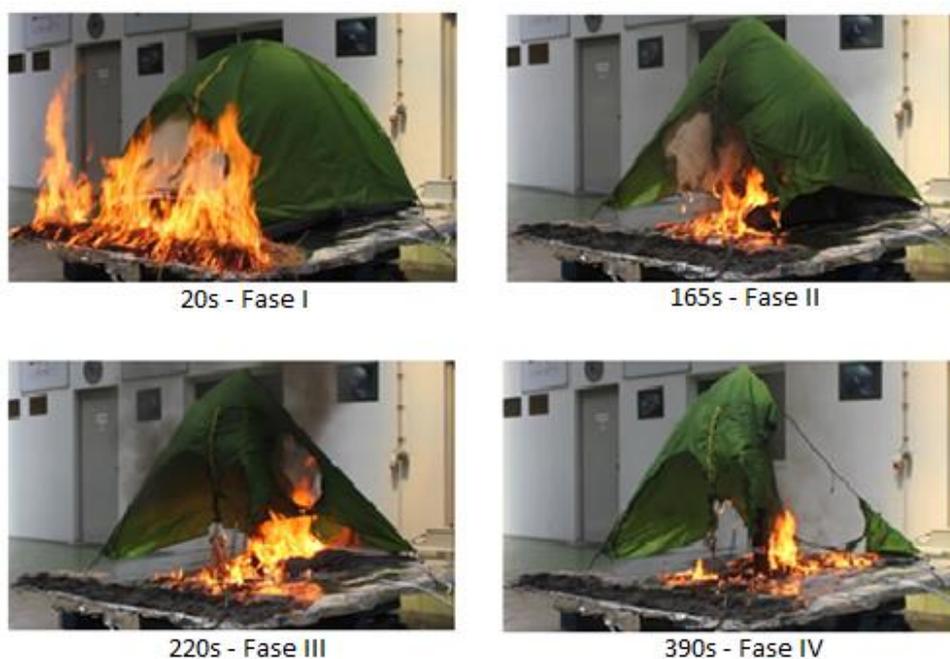


Figura 4.4. Fases do gráfico de variação de massa, Ensaio 1

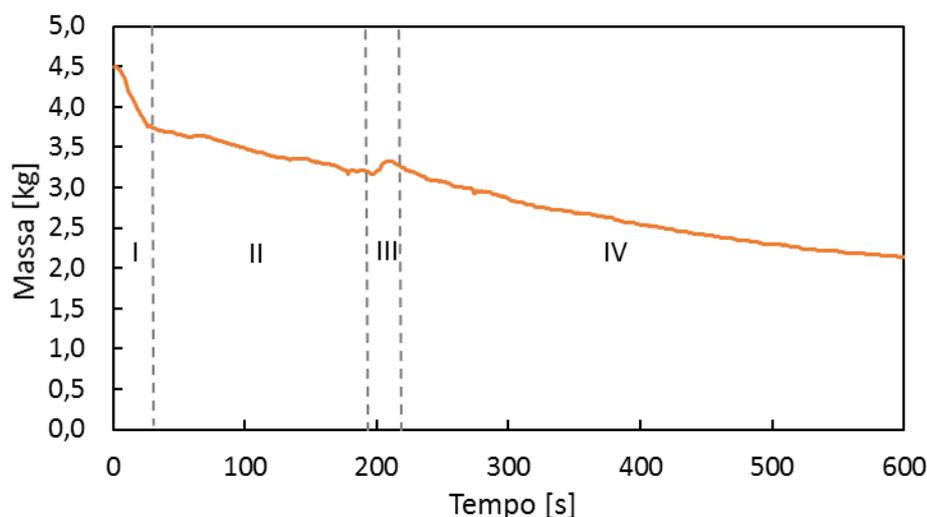


Figura 4.5. Variação da perda de massa, Ensaio 1.

Observando os dados do gráfico, observa-se que na Fase I, houve um decréscimo acentuado da variação de massa que corresponde à queima do combustível (palha).

Na Fase II, essa diminuição de massa continua embora, com um declive menos acentuado, que corresponde à transição da chama entre a palha e a tenda. A partir dos 100s, na Fase II, a combustão começou a ganhar intensidade e observa-se gotejamento de chamas e o início da levitação da tenda, devido à subida de gases quentes.

Na Fase III, observa-se um aumento da variação de massa aos 200s que, pela Figura 4.4 corresponde ao momento em que se abriram orifícios, devido ao aquecimento no interior da tenda pelos gases quentes, que promoveram a sua levitação e rompimento. No entanto, não se obteve uma justificação para esta esta perturbação.

A partir da Fase IV ocorre uma diminuição da variação de massa total que permanece até ao fim do ensaio, concluindo-se que a queima se encontrava na sua fase final e havia pouco material combustível para queimar.

Constata-se que existe uma relação entre as diferentes fases e os Ensaio 1, 4 e 7. As características descritas para o Ensaio 1 relativas à variação de massa são conclusões que se verificam nos ensaios realizados e por isso, podem-se considerar conclusões gerais aplicáveis a este tipo de ignição.

Velocidade de Escoamento

A Figura 4.6 representa um gráfico da velocidade de escoamento em função do tempo no Ensaio 1.

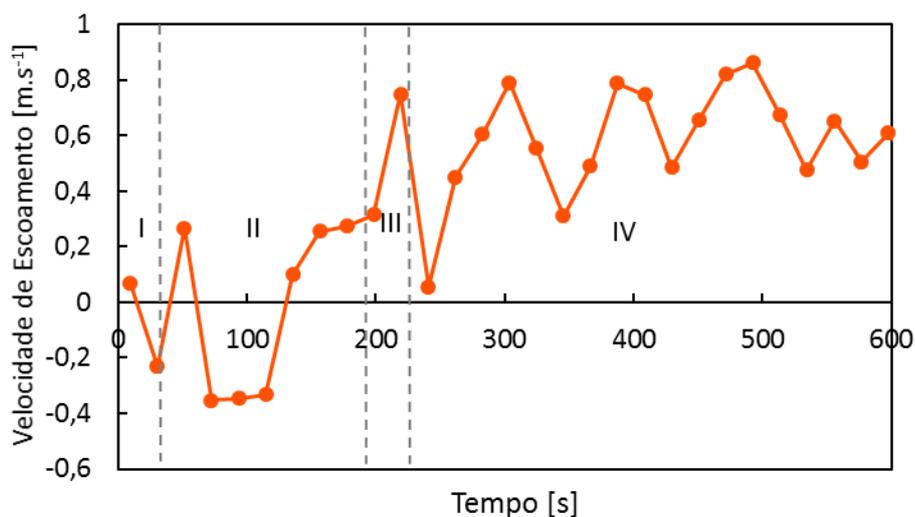


Figura 4.6. Velocidade de escoamento, Ensaio 1.

Observa-se que na Fase I, a velocidade de escoamento decresceu, apresentando uma variação de velocidade negativa, pelo facto de se verificar uma aspiração de ar na combustão no sentido descendente.

Depois dos 100s de ensaio, durante a Fase II, ocorreu um aumento brusco da velocidade, que corresponde ao momento em que a combustão na tenda ganhou grande intensidade e atingiu velocidades na ordem dos $0,8 \text{ m.s}^{-1}$ nas Fases III e IV.

Fluxo de Calor e Altura de Chama

A Figura 4.7 representa a relação entre o fluxo de calor radiativo e a altura de chama no Ensaio 1. Como se observa pelo gráfico, estes dois parâmetros estão relacionados.

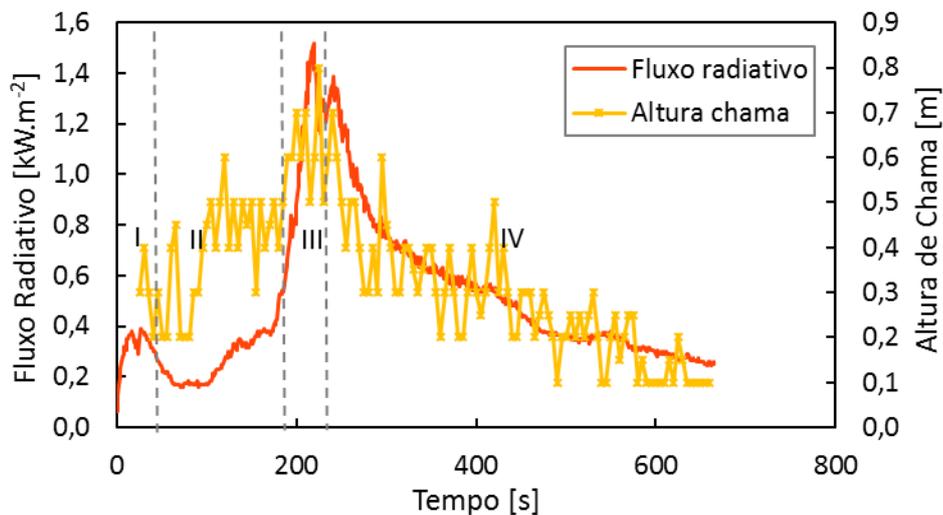


Figura 4.7. Gráfico comparativo de fluxo radiativo e altura de chama, Ensaio 1.

Na Fase I observa-se um aumento do fluxo radiativo e da altura de chama, devido à queima da palha antes de ter atingido a tenda.

Como explicado através das Figura 4.1 e Figura 4.2, na Fase II inicia-se o período em que a chama atingiu a tenda, promovendo o aumento destes parâmetros.

A Fase III e início da Fase IV são caracterizadas pelo pico de combustão, ou seja, quando a combustão ganhou intensidade na tenda, a altura de chama aumentou e consequentemente, o fluxo radiativo e a altura de chama atingiram o seu ponto máximo.

Na Fase IV, ambos os parâmetros diminuem até ao fim do ensaio.

Constata-se que esta relação se desencadeia para as três repetições do tipo de ignição analisada.

Pela análise e explicação realizada para o Ensaio 1, em que se compararam as quatro fases descritas nos parâmetros estudados (fluxo de calor, temperatura, variação de massa e altura de chama) nos ensaios deste tipo de ignição (Ensaio 1, 4 e 7), verificou-se que as fases são iguais e as características semelhantes em todos os ensaios.

Posto isto, pode-se concluir que o Ensaio 1 exemplifica o que acontece num fogo com ignição linear no exterior de uma tenda com combustível natural.

4.1.2. Ensaio 2 – Ignição tipo B

Neste tipo de ensaio analisado com ignição do tipo B, que corresponde a uma ignição na superfície e no interior da tenda, pela Tabela 4.2 expõe-se um resumo dos dados mais relevantes nos ensaios realizados deste tipo de ignição, que serviram de base para uma análise geral dos ensaios.

Tabela 4.2. Parâmetros analisados nos três ensaios do tipo de ignição B.

	Ensaio 2	Ensaio 5	Ensaio 8
Tempo ensaio [s]	375	748	898
Tempo colapso [s]	143	190	415
Fluxo total máximo [kW.m ⁻²]	4,03	5,14	5,42

Fluxo radiativo máximo [kW.m^{-2}]	2,29	2,77	3,20
Temperatura máxima interior [$^{\circ}\text{C}$]	813,84	876,45	958,50
Temperatura máxima exterior [$^{\circ}\text{C}$]	157,42	83,32	113,41
Varição máxima massa [kg]	2,1	2,9	2,9
Altura chama máxima [m]	0,8	1,0	1,1

Comparando os valores tabelados do tempo de ensaio e do tempo até ao colapso da tenda nos Ensaio 2, 5 e 8 verifica-se que, para o mesmo tipo de ignição, no Ensaio 2 o fogo extinguiu-se e a tenda colapsou mais rapidamente do que nos restantes ensaios referidos.

Fluxo de Calor

Relativamente ao fluxo de calor, a Figura 4.8 apresenta instantes de cada fase que são relevantes para o estudo deste tipo de ensaio e a Figura 4.9 representa um gráfico da variação de fluxo de calor total e radiativo durante o Ensaio 2.

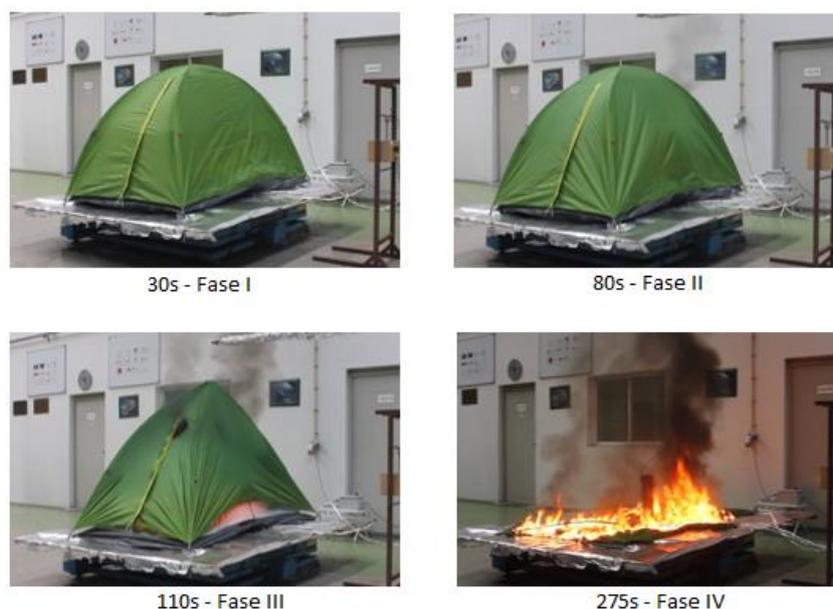


Figura 4.8. Instantes referentes às fases do tipo de ignição B, Ensaio 2 (CEIF/ADAI).

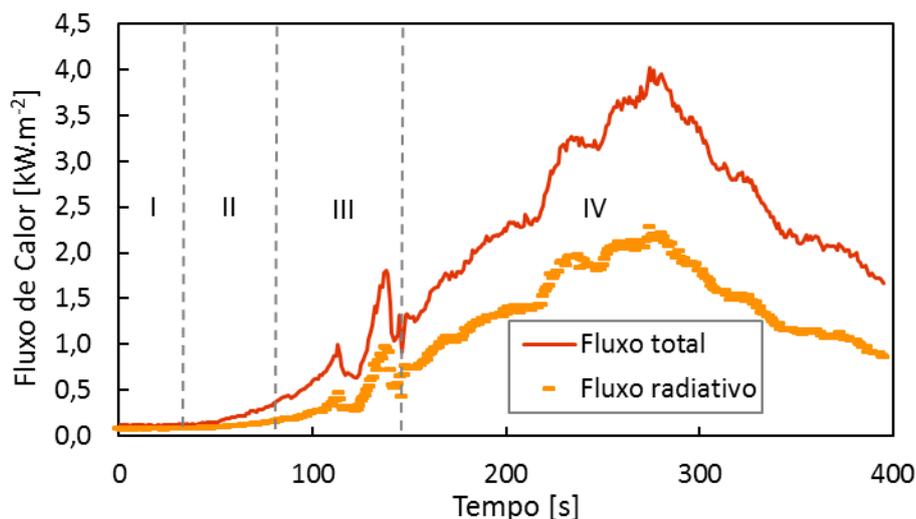


Figura 4.9. Fluxo radiativo e fluxo total, Ensaio 2.

Observa-se no gráfico um aumento de ambos os fluxos logo após os 50s, quando a combustão começou a ganhar intensidade no interior da tenda, correspondendo à Fase II nos três ensaios.

Na Fase III, existem alguns picos de fluxo de calor, que ocorreram quando houve a libertação de gases quentes vindos do interior da tenda, abrindo orifícios na mesma.

A Fase IV é caracterizada pela combustão mais intensa da tenda propriamente dita, destacando o seu valor máximo de fluxo total de $4,03 \text{ kW.m}^{-2}$ e de fluxo radiativo de $2,29 \text{ kW.m}^{-2}$ aos 275s aproximadamente, no Ensaio 2. Posteriormente, decresceu bruscamente até aos 400s quando se verificou o fim do período de combustão.

Analisando os valores máximos de fluxo radiativo e total descritos na Tabela 4.2, verificou-se que os valores são muito próximos entre os diferentes ensaios. Generalizando e comparando os gráficos representados pelas Figura 0.13 e Figura 0.14 com a Figura 4.9 constata-se que o comportamento descrito retrata o que acontece nos restantes ensaios.

Temperatura

A temperatura registada pelos diferentes termopares está retratada na Figura 4.10 para o Ensaio 2 embora, com uma análise estendida para os Ensaios 5 e 8 deste tipo de ignição.

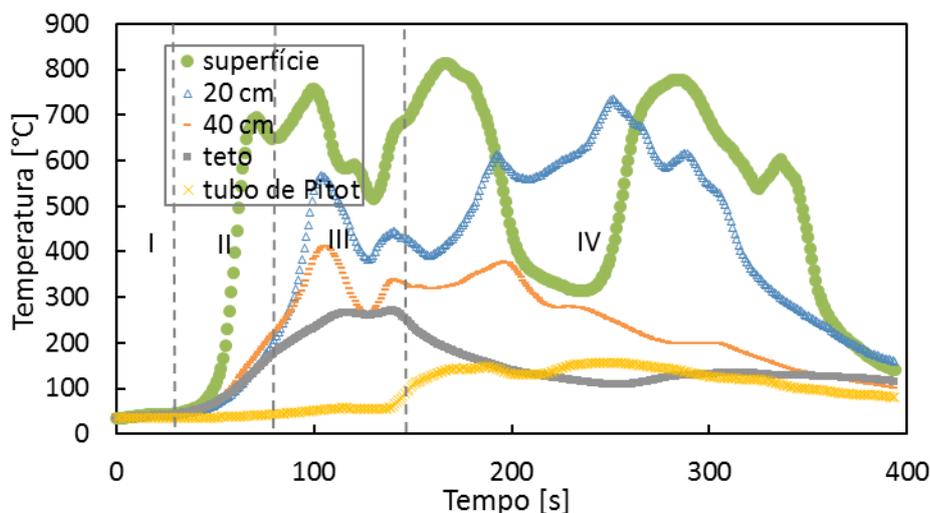


Figura 4.10. Temperatura, Ensaio 2.

Verifica-se que na Fase I não houve variação de temperatura e que o aumento de temperatura só se verificou na Fase II. O termopar “superfície” é o que regista maior temperatura pelo facto de neste tipo de ensaios, a ignição ter sido feita num saco-cama colocado na superfície da tenda.

O termopar “tubo de Pitot” localizado no exterior da tenda, registou pouca variação de temperatura em relação aos restantes termopares embora, tenha registado um aumento a partir dos 150s (transição da Fase III para a Fase IV), correspondendo ao momento em que a combustão começou a ganhar intensidade.

Na Fase IV, que corresponde ao momento em que a combustão decorreu na tenda de forma sustentada e generalizada, observa-se que os termopares registaram valores de temperatura elevados.

Constata-se que durante as Fases III e IV nos três ensaios, o termopar “superfície” é o que regista maior temperatura pelo facto de a ignição ter sido feita neste local. As gamas de valores de temperatura são idênticas nestes ensaios e atingem valores de 900°C.

Variação de Massa

A Figura 4.11 apresenta as quatro fases representativas da variação de massa no Ensaio 2.



Figura 4.11. Fases representativas do gráfico de variação de massa, Ensaio 2

A Figura 4.12 representa um gráfico de variação de massa relativo ao Ensaio 2.

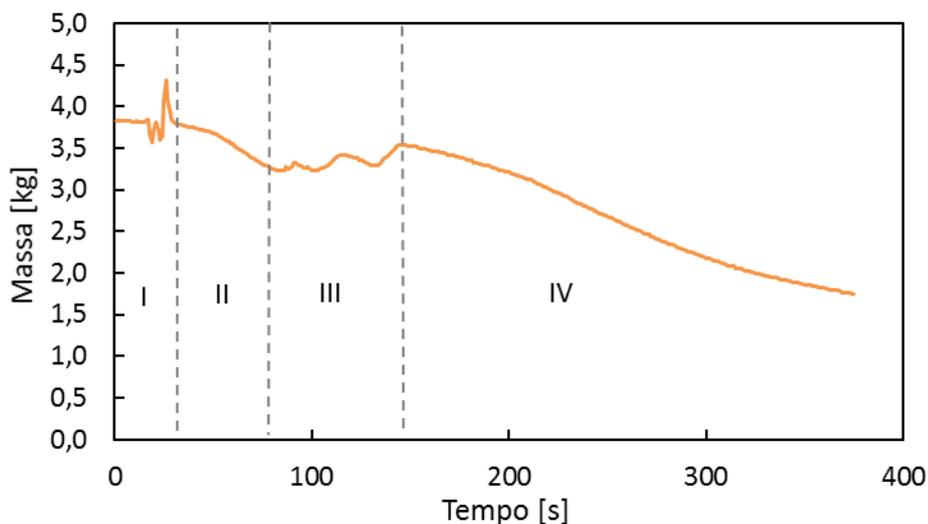


Figura 4.12. Variação da perda de massa, Ensaio 2.

Perante os dados apresentados, verifica-se que na Fase I, a massa total da tenda inicial manteve-se constante até aos 20s, tendo-se verificado, de seguida, uma perturbação, em que não se encontrou explicação para o sucedido.

Durante a Fase II, verifica-se a diminuição da massa total quando a combustão começou a ganhar intensidade, como se observa no gráfico representativo do fluxo de calor neste ensaio (Figura 4.9).

A Fase III é caracterizada pela ocorrência de oscilações na variação da massa da tenda, destacando-se algumas com maior importância. A partir dos 100s de ensaio, observam-se pequenas aberturas na tenda que foram aumentando, correspondendo ao momento em que houve a libertação de gases quentes no interior da tenda, acabando por se dar o rompimento e o colapso da mesma no fim desta fase. Este aumento é causado pela queda das varetas que suportavam a estrutura da tenda.

A partir do início da fase IV e até ao fim do ensaio, a variação de massa decresceu lentamente, salientando-se que entre os 210s e os 285s correspondem, na Figura 4.9, ao maior pico de fluxo de calor. Podendo-se afirmar que o fim desta fase representa o fim da queima, existindo apenas materiais combustíveis residuais por queimar.

Pela análise feita para o Ensaio 2 e comparando os gráficos de variação de massa em função do tempo dos Ensaio 5 e 8 (Figura 0.19 e Figura 0.20), verifica-se que estas fases são características deste tipo de ignição uma vez que acontece o mesmo em todos os ensaios realizados.

Velocidade de Escoamento

A velocidade de escoamento no tipo de ignição B está representada através da Figura 4.13, que representa o gráfico da velocidade de escoamento em função do tempo no Ensaio 2 que foi estudado.

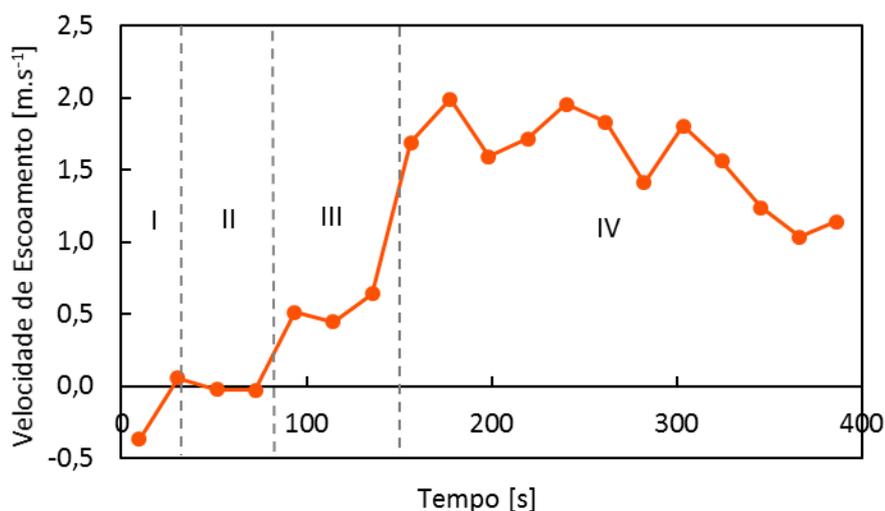


Figura 4.13. Velocidade de escoamento, Ensaio 2.

Na Fase I, observa-se o aumento da velocidade de escoamento, que corresponde ao início da ignição.

A Fase II caracteriza-se por uma velocidade de escoamento praticamente nula pelo facto da combustão ainda se desenrolar no interior da tenda.

No fim da Fase III, destaca-se um aumento acentuado da velocidade de escoamento que corresponde, na Figura 4.10, ao aumento de temperatura registada pelo termopar “tubo de *Pitot*” que se encontrava no exterior da tenda junto ao tubo de *Pitot*. Este aumento prolonga-se até à Fase IV e observam-se valores máximos de velocidade na ordem dos 2 m.s^{-1} .

De seguida e até ao término do ensaio, a velocidade decresceu tendo já ocorrido o pico da combustão.

Fluxo de Calor e Altura de Chama

Na Figura 4.14 está representado um gráfico que compara o fluxo de calor radiativo e a altura de chama ao longo do Ensaio 2.

Observando o gráfico do Ensaio 2 que exemplifica o que acontece nos ensaios com o mesmo tipo de ignição, constata-se que os dois parâmetros seleccionados se relacionam entre si. Quando o fluxo de calor aumenta porque a combustão tem mais intensidade, a altura de chama também aumenta.

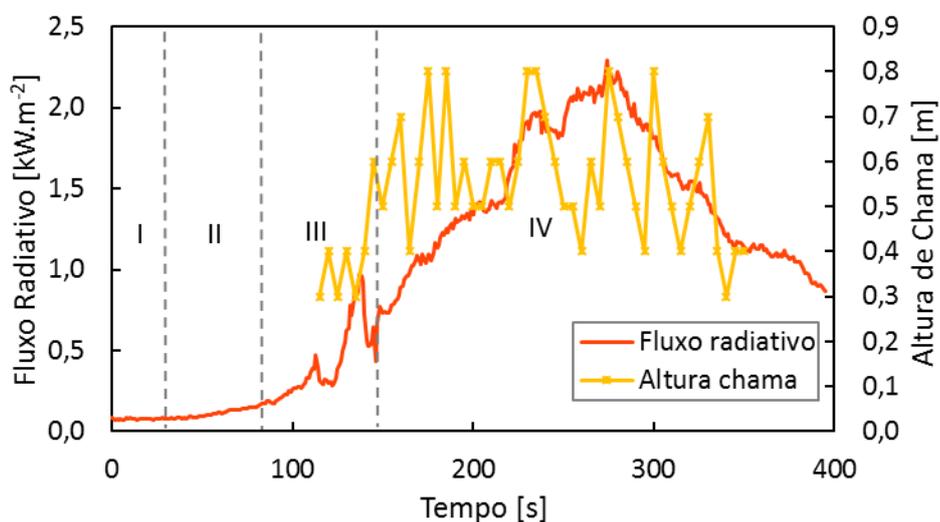


Figura 4.14. Gráfico comparativo de fluxo radiativo e altura de chama, Ensaio 2.

As Fases I e II não foram alvo de análise na comparação de fluxo e altura de chama assim como nos Ensaios 5 e 8, porque a chama ainda não era visível no exterior da tenda.

Na Fase III observa-se o aumento do fluxo de calor e o aparecimento das chamas a partir dos 125s, no momento em que se verificou o rompimento da tenda.

No momento em que a combustão na tenda era mais intensa, na Fase IV, verificam-se os valores máximos de fluxo de calor e de altura de chama.

Resumindo, constata-se pela observação dos gráficos representados pelas Figura 4.14, Figura 0.22 e Figura 0.23 que os três ensaios têm o mesmo comportamento. A média de alturas de chama para uma ignição do tipo B é de 1,0m.

Na análise do Ensaio 2 fez-se a descrição das fases selecionadas para enaltecer momentos importantes na combustão de tendas com este tipo de ignição e também a comparação entre os três ensaios realizados com o mesmo tipo de ignição (Ensaio 2, 5 e 8).

Constatou-se que as fases e respetivas características dos parâmetros que foram analisados são semelhantes em todos os ensaios, podendo-se concluir que o Ensaio 2 exemplifica o que acontece num fogo com ignição pontual no interior e na superfície de uma tenda.

4.1.3. Ensaio 3 – Ignição tipo C

No terceiro tipo de ignição analisado que corresponde a uma ignição no teto e no interior da tenda, a Tabela 4.3 resume os valores dos dados mais relevantes nos ensaios realizados deste tipo de ignição que serviram de base para uma análise geral dos ensaios.

O Ensaio 3 foi o ensaio escolhido para representar os resultados obtidos na análise deste tipo de ignição.

Tabela 4.3. Parâmetros analisados nos três ensaios do tipo de ignição C.

	Ensaio 3	Ensaio 6	Ensaio 9
Tempo ensaio [s]	422	652	1157
Tempo colapso [s]	200	180	-
Fluxo total máximo [kW.m ⁻²]	3,45	3,82	4,17
Fluxo radiativo máximo [kW.m ⁻²]	2,04	2,07	2,30

Temperatura máxima interior [°C]	850,86	864,30	931,22
Temperatura máxima exterior [°C]	165,17	155,18	135,72
Variação máxima massa [kg]	2,3	2,6	2,4
Altura chama máxima [m]	0,9	0,9	0,7

Comparando o tempo de duração do ensaio nos três ensaios realizados para este tipo de ignição, verifica-se que o Ensaio 3 foi o que demorou menos tempo até à sua conclusão.

Relativamente ao tempo até ao colapso da tenda, no Ensaio 6 verifica-se o menor tempo e Ensaio 9 não tem nenhum valor tabelado porque até à conclusão do ensaio, a tenda não tinha colapsado.

Fluxo de Calor

Para compreensão do Ensaio 3 analisado, apresentam-se na Figura 4.15 *frames* do vídeo deste ensaio.

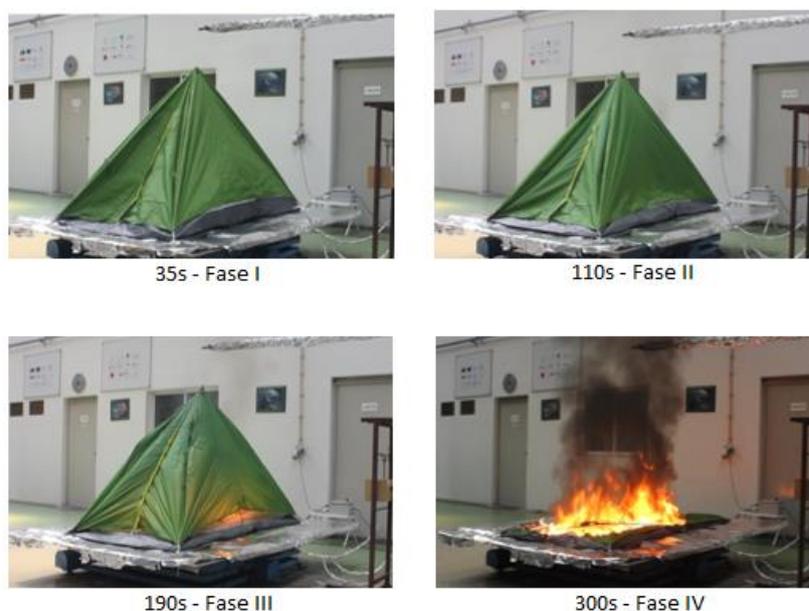


Figura 4.15. Fases representativas do ensaio, Ensaio 3 (CEIF/ADAI).

O gráfico representado pela Figura 4.16 traduz a variação dos fluxos total e radiativo ao longo do Ensaio 3.

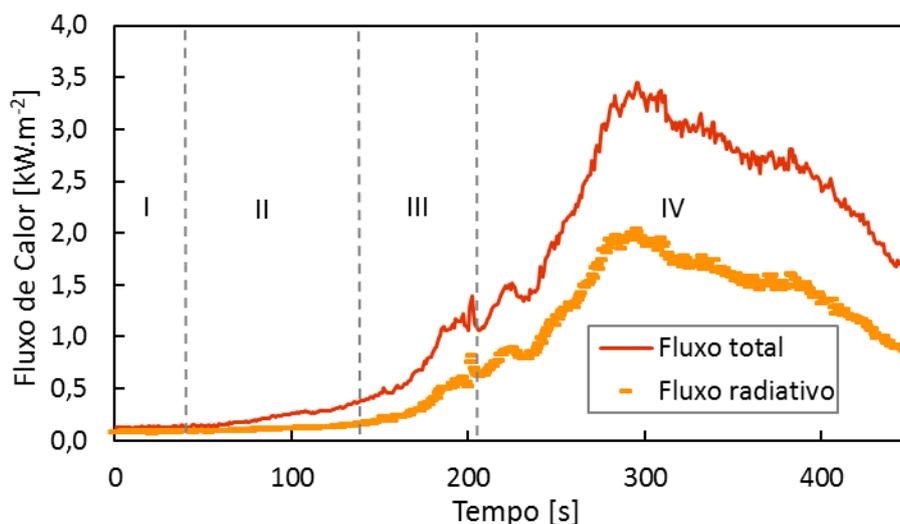


Figura 4.16. Fluxo radiativo e fluxo total, Ensaio 3.

Na Fase I, não houve alteração dos fluxos radiativo e total pelo que, na Fase II o fluxo de calor aumentou, correspondendo ao momento em que a combustão começou a ganhar intensidade.

A Fase III caracteriza-se também pelo aumento do fluxo de calor registado pelos sensores devido à abertura de orifícios na tenda que fizeram com que os gases quentes provenientes do interior da tenda fossem libertados para o exterior como se observa na Figura 4.15.

Na Fase IV, observa-se a combustão generalizada da tenda existindo um pico máximo de fluxo de calor total de $3,45 \text{ kW.m}^{-2}$ e de fluxo radiativo de $2,04 \text{ kW.m}^{-2}$. Após os 300s, ocorreu uma diminuição do fluxo de calor durante o pico de queima, que continuou até à conclusão do ensaio, correspondendo à altura em que já ocorreu a queima praticamente total de todo o material que constitui o ensaio.

As fases descritas para este parâmetro no Ensaio 3 verificam-se nos restantes ensaios deste tipo de ignição, como se observa nas Figura 0.25 e Figura 0.26. Assim, pode-se admitir que um fogo numa tenda com ignição no interior e no teto tem estas particularidades.

Temperatura

A Figura 4.17 apresenta um gráfico da temperatura registada por cada termopar no Ensaio 3.

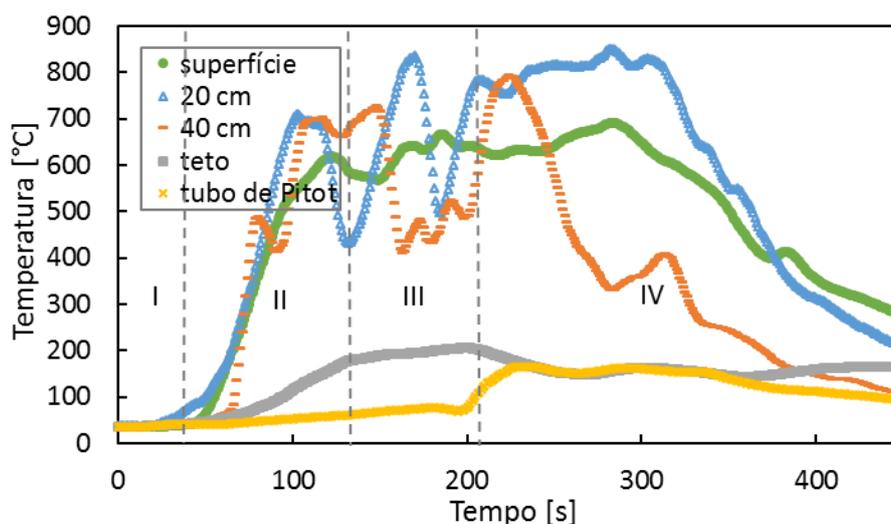


Figura 4.17. Temperatura, Ensaio 3.

Analisando o gráfico verifica-se que o termopar “tubo de *Pitot*” registou menor variação de temperatura, como se constata nos restantes ensaios, por se encontrar no exterior da tenda.

O termopar “teto” que estava situado inicialmente no teto da tenda, onde foi feita a ignição, registou um aumento de temperatura a partir da Fase II. Este atingiu os 200°C, mantendo praticamente este valor até ao fim do ensaio.

Os restantes termopares que se encontravam no interior da tenda registaram, desde o início do ensaio, um aumento significativo de temperatura.

Na Fase III, observa-se que ocorreram algumas variações de temperatura devido ao rompimento da tenda que fez com que os gases quentes provenientes do interior da tenda fossem libertados para o exterior.

A Fase IV que corresponde ao momento em que a combustão era mais intensa, observa-se o aumento de temperatura no ensaio, atingindo gamas muito elevadas. No fim desta fase, a temperatura decresceu acentuadamente, altura em que existia pouco material combustível para queimar.

Estas características enunciadas repetem-se nos Ensaios 5 e 8 à exceção do termopar “teto” no Ensaio 3 que não atingiu temperaturas muito elevadas como era de esperar, pelo facto de ter caído no decorrer do ensaio.

Variação de massa

A variação de massa analisada no Ensaio 3 está representada pelo gráfico da Figura 4.19 sendo que, na Figura 4.18 estão apresentadas imagens das quatro fases em que se dividiram os ensaios, particularizando para o Ensaio 3.



Figura 4.18. Fases representativas da variação de massa, Ensaio 3.

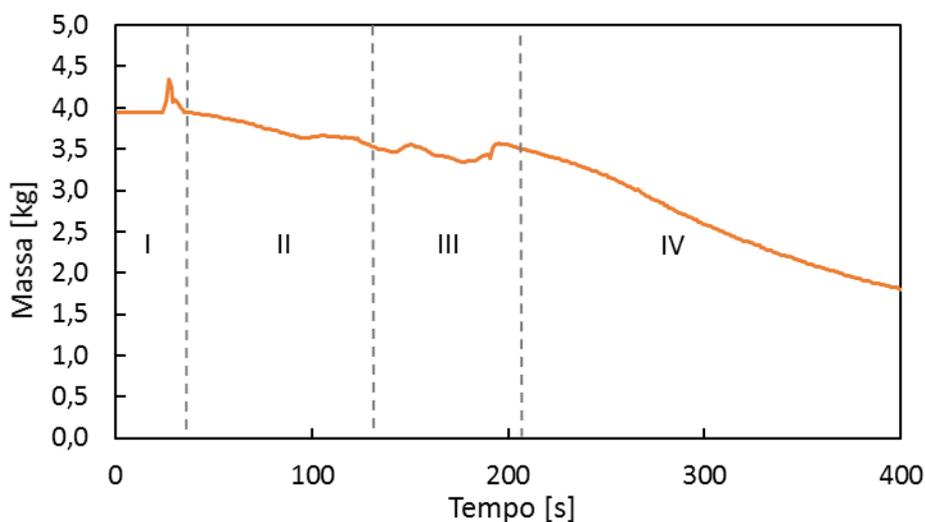


Figura 4.19. Variação da perda de massa, Ensaio 3.

Observa-se que na Fase I, a massa total inicial da tenda manteve-se constante embora, no fim desta fase, haja um aumento da variação de massa que corresponde ao momento em que as varetas quebraram devido à queima onde a ignição foi feita (teto).

Na Fase II, a variação de massa decresce, destacando-se os primeiros 95s, onde se observa o fumo a sair da tenda devido à queima do material existente no interior, seguindo-se, o momento em que a tenda insuflou devido à acumulação de gases quentes ainda no interior.

A Fase III é caracterizada pela variação da massa devido ao rompimento da tenda causado pela libertação dos gases quentes e, aos 200s, ocorre um pequeno aumento da massa que corresponde ao colapso da tenda causado pela queda das varetas que suportavam a estrutura da tenda.

Por fim, durante a Fase IV, a variação de massa decresce correspondendo ao momento em que a combustão tinha grande intensidade, queimando o material combustível por completo.

Comparando este Ensaio 3 com os Ensaio 5 e 8 constata-se que se verifica o mesmo, admitindo assim, que todos têm a mesma tendência de variação de massa.

Velocidade de Escoamento

A Figura 4.20 representa um gráfico da velocidade de escoamento medida no Ensaio 3 através do tubo de *Pitot*.

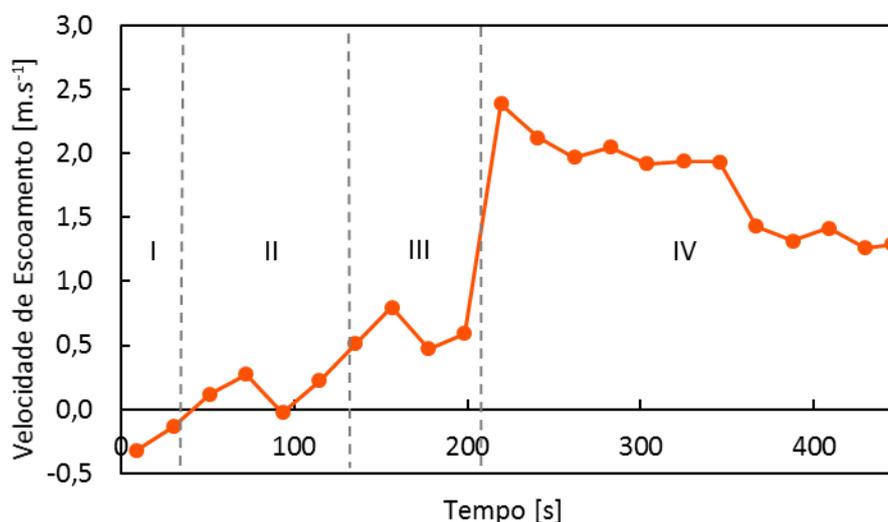


Figura 4.20. Velocidade de escoamento, Ensaio 3.

Neste ensaio verifica-se que a velocidade de escoamento aumenta desde o início, motivada pela curta distância, cerca de 20cm, entre o topo da tenda e o tubo de *Pitot*.

A partir dos 100s (Fase II) e como se observa nos gráficos dos parâmetros descritos anteriormente, a velocidade de escoamento aumenta significativamente até à Fase

IV. Este aumento corresponde ao momento em que a combustão começou a ganhar intensidade.

Depois deste valor máximo de velocidade de escoamento, observa-se um decréscimo até ao fim do ensaio.

Não foi possível tirar conclusões deste parâmetro acerca do tipo de ignição, uma vez que nos Ensaios 5 e 8 os resultados foram inconclusivos.

Fluxo de Calor e Altura de Chama

O gráfico seguinte (Figura 4.21) representa a relação entre o fluxo de calor e a altura de chama ao longo do Ensaio 3.

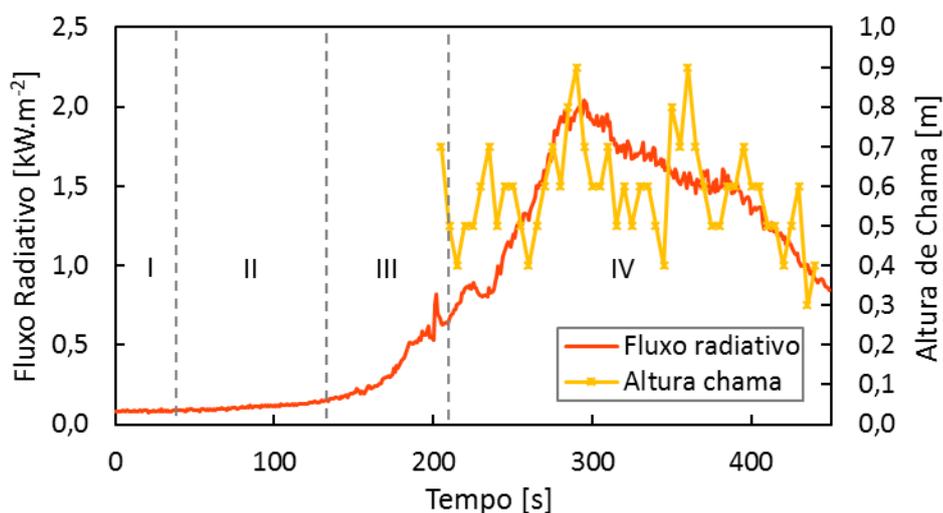


Figura 4.21. Gráfico comparativo de fluxo radiativo e altura de chama, Ensaio 3.

Fazendo a análise entre estes parâmetros, constata-se que só a partir da Fase III há correspondência entre os dois.

Observando as imagens da Figura 4.18, quando a combustão começou a ganhar intensidade na Fase III, verifica-se o aparecimento das chamas vindas do interior da tenda pelos orifícios que se foram abrindo.

Durante a Fase IV que corresponde ao momento em que a combustão tinha mais intensidade e estava generalizada em toda a tenda, o fluxo de calor radiativo e a altura de chama aumentaram e nesta fase observam-se os seus valores máximos.

Assim, comparando as três repetições do tipo de ignição C, verifica-se que as alturas de chama são idênticas e têm o mesmo comportamento ao longo de cada ensaio.

Na análise realizada para o Ensaio 3, em que se descreveram e compararam as quatro fases descritas nos parâmetros estudados para os Ensaios 3, 6 e 9, verificou-se que as fases e respetivas características são idênticas em todos os ensaios.

Neste sentido, conclui-se que o Ensaio 3 retrata o que acontece num fogo com ignição pontual no interior e no teto de uma tenda.

4.1.4. Comparação de Ensaios

Neste subcapítulo é feita uma análise comparativa entre os tipos de ignição estudados e são apresentadas as principais conclusões obtidas. Na Tabela 4.4 apresentam-se os valores máximos dos parâmetros analisados.

Tabela 4.4. Resumo dos ensaios da queima das tendas analisados.

	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3
Tipo de ignição	A	B	C
Tempo ensaio [s]	629	375	422
Tempo colapso [s]	-	143	200
Fluxo total máximo [kW.m ⁻²]	2,84	4,03	3,45
Fluxo radiativo máximo [kW.m ⁻²]	1,52	2,29	2,04
Temperatura máxima interior [°C]	542,63	813,84	850,86
Temperatura máxima exterior [°C]	91,96	157,42	167,17
Varição máxima massa [kg]	2,4	2,1	2,3
Velocidade escoamento máxima [m.s ⁻¹]	0,9	2,0	2,4
Altura chama máxima [m]	0,8	0,8	0,9

Fazendo uma breve análise à Tabela 4.4, referente aos ensaios de cada tipo de ignição analisados nos subcapítulos anteriores, e à Tabela 4.5 que apresenta uma média dos valores máximos em cada tipo de ignição estudado verifica-se que o tipo de ignição B, que

corresponde a uma ignição no interior e superfície da tenda, tem os valores máximos de fluxo de calor e altura de chama.

Tabela 4.5. Média dos ensaios do mesmo tipo de ignição.

Tipo de ignição	Média do tipo de ignição		
	A	B	C
Tempo ensaio [s]	713	674	744
Tempo colapso [s]	-	249	-
Fluxo total máximo [kW.m ⁻²]	2,75	4,86	3,81
Fluxo radiativo máximo [kW.m ⁻²]	1,70	2,75	2,14
Temperatura máxima interior [°C]	712,21	882,93	882,13
Temperatura máxima exterior [°C]	91,20	118,05	152,02
Varição máxima massa [kg]	2,6	2,6	2,4
Altura chama máxima [m]	0,9	1,0	0,8

Nesta tabela destacam-se o tempo de ensaio e o tempo de colapso de todos ensaios estudados. Os valores tabelados são uma média de cada tipo de ignição, constatando-se que nos ensaios com o tipo de ignição B, o fogo extingue-se mais rapidamente.

Destaca-se ainda que, relativamente ao tempo de colapso, estão tabelados apenas valores para o tipo de ignição B. Isto deve-se ao facto de, nos tipos de ignição A e C, em cada um houve um ensaio em que a tenda não colapsou antes do fim do ensaio.

Admitindo-se que, porventura, a tenda tenha colapsado no instante em que o ensaio terminou, o tempo médio de colapso para os tipos de ignição A e C é, respetivamente, 482s e 375s.

Fluxo de Calor

O parâmetro fluxo de calor foi utilizado para fazer uma pequena análise e comparação entre os Ensaios 1, 2 e 3 relativamente ao comportamento de cada tipo de ignição.

Observa-se pela Figura 4.22 e consultando a Tabela 4.4 que os ensaios analisados têm um comportamento semelhante relativamente à variação do fluxo total de calor embora se distingam, claramente, entre eles.

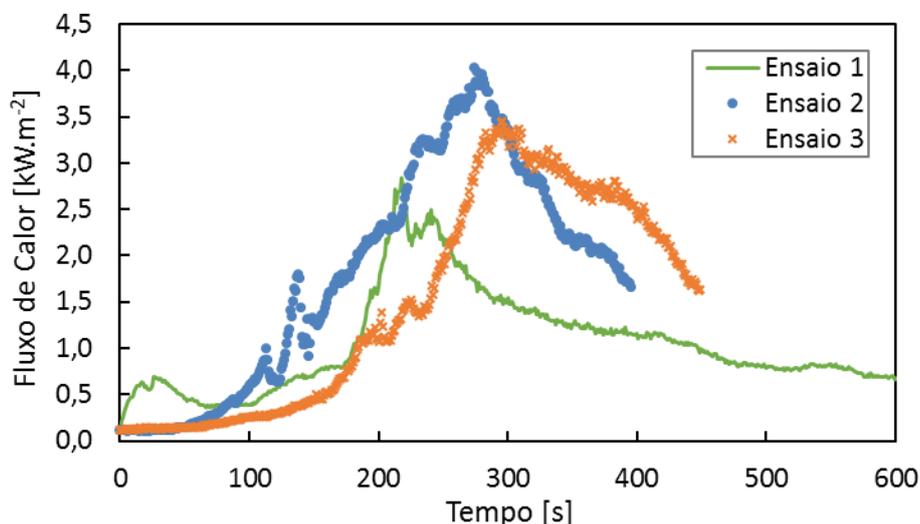


Figura 4.22. Fluxo de calor total nos três ensaios analisados.

Constata-se que no Ensaio 1, com ignição do tipo A, há um pequeno aumento do fluxo logo no início do ensaio, o que não se observa nos restantes tipos de ignição, devido à queima do combustível ter sido no exterior da tenda. Verifica-se ainda que este tipo de ensaio tem o menor valor do fluxo máximo de calor, ou seja, menor intensidade de combustão.

Relativamente ao Ensaio 2, com ignição do tipo B, pode-se observar pelo gráfico que este ensaio tem o maior valor de fluxo total de calor logo, uma maior intensidade de combustão pelo facto de ter tido como ignição um saco-cama que se encontrava na superfície da tenda e assim, o fogo propagou-se para o restante material combustível.

Por fim, no Ensaio 3 em que o ponto de ignição foi o teto da tenda (ignição do tipo C) e como o fogo se propagou inicialmente com pouca intensidade no teto, este tipo de ensaio, demorou mais tempo a iniciar o pico de combustão.

Temperatura

A temperatura foi analisada para os ensaios de diferentes tipos de ignição em que a Figura 4.23 retrata a variação de temperatura registada pelo Termopar 2 designado por “20cm”.

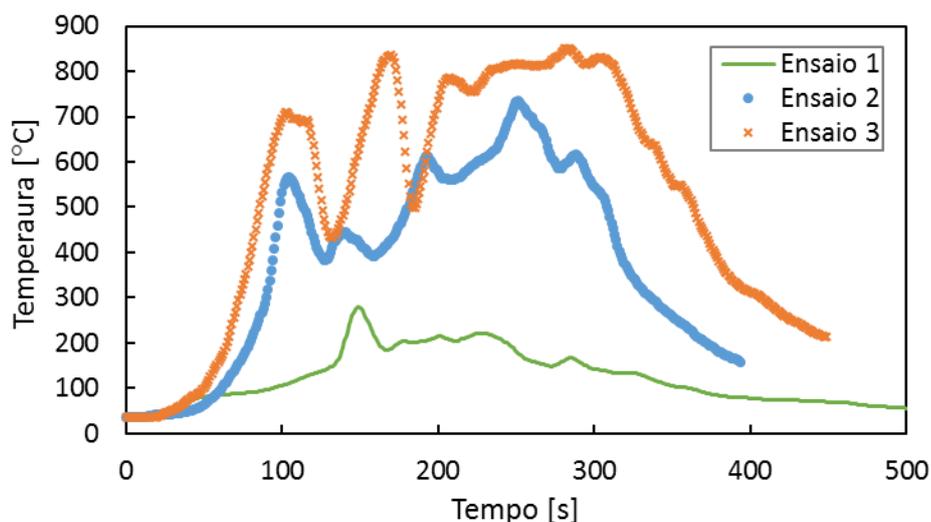


Figura 4.23. Temperaturas medidas pelo Termopar 2 nos três ensaios.

Pelo gráfico, observa-se que as temperaturas no Ensaio 1 registadas por este termopar são as mais baixas em relação aos outros ensaios, motivadas pelo tipo de ignição.

O Termopar 2 no ensaio com ignição do tipo B, regista temperaturas muito elevadas durante todo o ensaio por se localizar muito próximo do ponto de ignição.

No Ensaio 3, com ignição do tipo C, constata-se que este termopar regista um aumento acentuado da temperatura desde o início do ensaio.

Comparando os tipos de ignição e as temperaturas médias registadas no interior e no exterior da tenda, um ensaio com ignição do tipo B tem valores muito elevados de temperatura no interior da tenda pelo facto da ignição ser no interior, como já foi referido.

Neste tipo de ignição também se observam valores acima dos 100°C no Termopar 5, “tubo de Pitot”, devido à combustão elevada e conseqüente libertação de gases quentes que provocam aumento de temperatura. Esta justificação é plausível num ensaio do tipo C, uma vez que a ignição é mais próxima do Termopar 5.

Variação de massa

Para uma comparação e conclusão relativamente à variação de massa nos diferentes tipos de ignição, pelo gráfico representado pela Figura 4.24 e pelas Tabela 4.4 e Tabela 4.5 verificam-se algumas semelhanças.

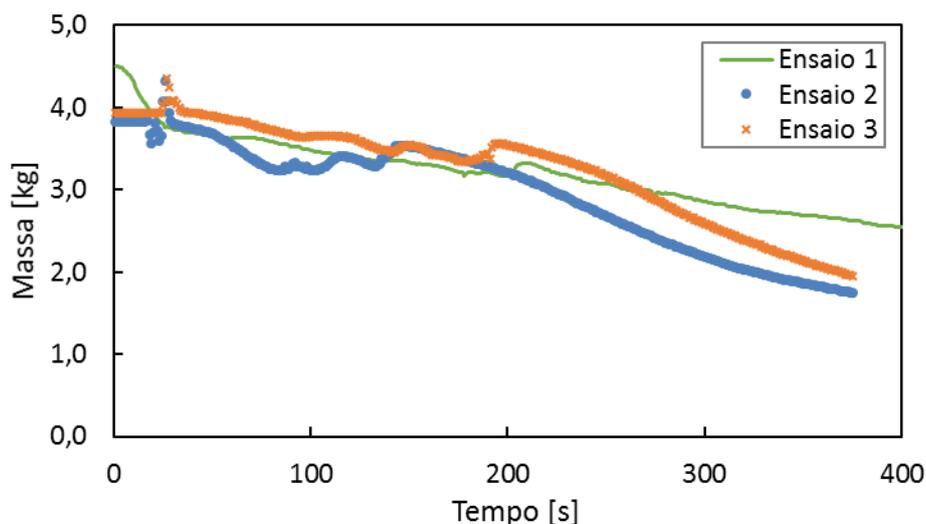


Figura 4.24. Variação da perda de massa nos três ensaios.

Pelo gráfico, no início do Ensaio 1, este destaca-se em relação aos outros pela descida acentuada de variação de massa causada pela queima da palha no exterior da tenda.

Constata-se que o Ensaio 2, representativo do tipo de ignição B, apresenta o menor tempo até ao colapso devido à combustão rápida e intensa de toda a tenda.

Nos ensaios realizados, as tendas utilizadas eram idênticas e tinham as mesmas dimensões por isso, o material combustível que foi utilizado em cada ensaio é que se distinguia em termos de massa.

Observando-se as tabelas verifica-se que a variação máxima de massa não difere nem de ensaio nem de tipo de ignição, uma vez que os ensaios só terminaram quando o fogo se extinguiu por completo, ou seja, quando não existia material combustível para arder. Assim, verifica-se uma média de variação máxima de 2,5kg que é consistente nos três tipos de ignição.

Pelo facto descrito no parágrafo anterior, pode-se argumentar que o parâmetro que diferencia os diferentes tipos de ignição é o tempo até ao colapso da tenda. O tipo de ignição B foi o ensaio em que a tenda colapsou mais rapidamente pela combustão ter sido também mais intensa.

Velocidade de Escoamento

Para a velocidade de escoamento não foi possível tirarem-se conclusões relativamente ao tipo de ignição uma vez que, foram realizados apenas um ensaio de cada tipo de ignição.

A Figura 4.25 representa o gráfico comparativo da evolução da velocidade de escoamento nos três ensaios analisados.

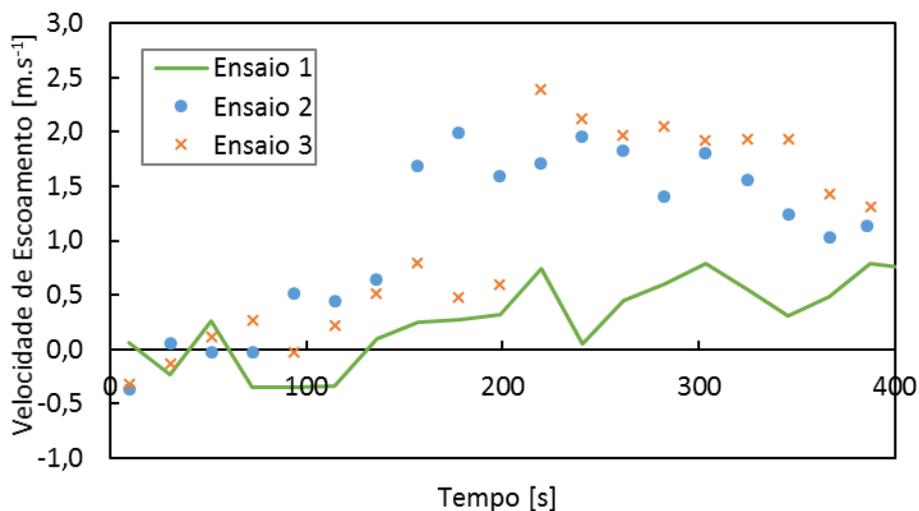


Figura 4.25. Velocidade de escoamento nos três ensaios.

Comparando os três ensaios analisados, verifica-se que o Ensaio 3 com o tipo de ignição C, tem valores mais elevados de velocidade de escoamento, pelo facto de a ignição estar muito próxima do tubo de *Pitot*.

Velocidade de Escoamento e Fluxo de Calor

A Figura 4.26 representa o gráfico que relaciona os picos de velocidade de escoamento e o fluxo de calor total nos três ensaios analisados.

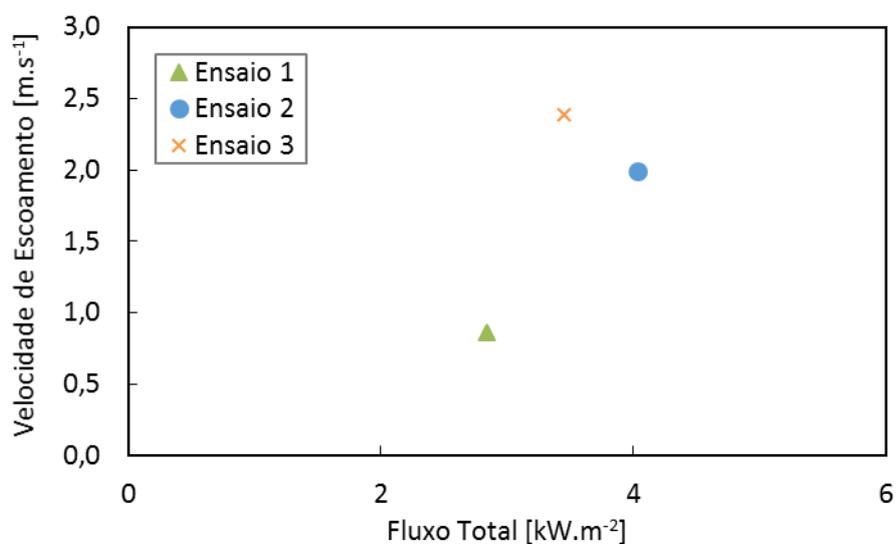


Figura 4.26. Gráfico comparativo da velocidade de escoamento e fluxo de calor nos três ensaios.

Pela análise do gráfico verifica-se que o Ensaio 1, com ignição linear no exterior, tem menores valores de velocidade e fluxo de calor. Os Ensaio 2 e 3, ambos com ignição no interior da tenda, têm valores relativamente próximos.

Altura de Chama e Fluxo de Calor

O gráfico representado pela Figura 4.27 relaciona a altura de chama com o fluxo radiativo, a partir de uma média dos ensaios de cada tipo de ignição.

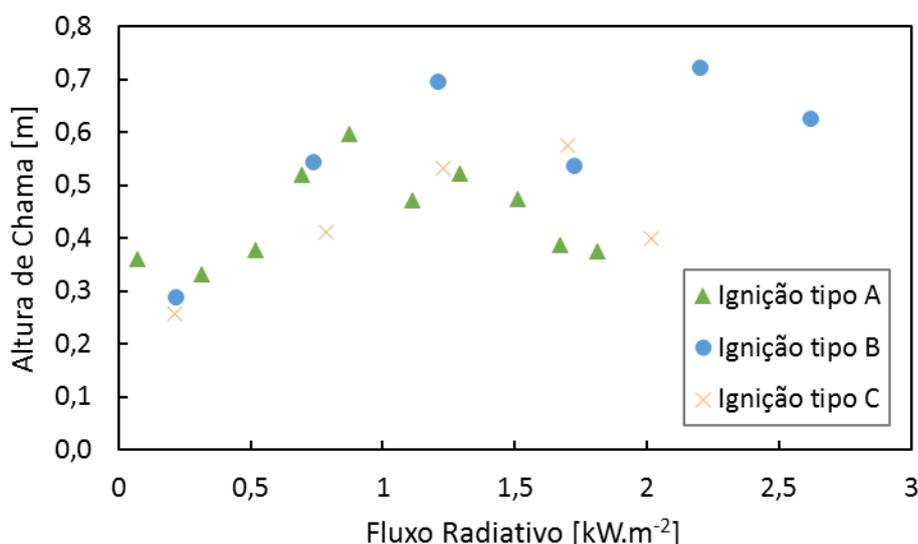


Figura 4.27. Gráfico comparativo da altura de chama e fluxo de calor nos tipos de ignição.

Analisando o gráfico verificam-se que existem dois tipos de regime de combustão e que se verificam nos três tipos de ignição estudados.

Num primeiro regime, como o fluxo resulta da radiação da chama, observa-se que à medida que a altura de chama aumenta, o fluxo de calor radiativo também aumenta. No segundo tipo de regime de combustão verifica-se que, embora os valores de fluxo radiativo sejam elevados, a altura de chama diminuiu em comprimento, mas aumentou em profundidade, pois como se observa nas imagens dos ensaios, a combustão alastrou-se por toda a plataforma, aumentando a área de combustão.

Conclusões

Pela comparação e análise realizada aos diferentes ensaios e tipos de ignição, foi possível tirarem-se conclusões relevantes no que diz respeito a ensaios sobre a combustão de tendas.

Relativamente aos parâmetros de variação de massa e altura de chama, quando analisados isoladamente são idênticos entre os diferentes tipos de ignição estudados. Os valores médios da variação de massa, como se observa na Tabela 4.5, são próximos, permitindo afirmar que não dependem do tipo de ignição, mas do material combustível utilizado, que em todos os casos era similar. Por sua vez, a altura de chama nos três tipos de ignição, em média, tem uma altura de 0,9m. Isto significa que as chamas não são muito elevadas e o fogo é de baixo risco. Por exemplo, se a tenda estiver isolada e o fogo não se propagar para outros componentes, consegue-se extinguir o fogo com terra ou com um extintor, não sendo necessária a intervenção de bombeiros ou outras entidades responsáveis pelo combate a incêndios.

Interligando os parâmetros de altura de chama e fluxo de calor, verifica-se que o tipo de ignição B, que corresponde a uma ignição no interior e superfície da tenda, tem os valores máximos de fluxo de calor e altura de chama. Como foi referido na análise comparativa, ambos se correlacionam na medida em que o aumento da chama, seja em altura ou em profundidade verifica-se, quando a intensidade de fluxo de calor é maior.

Na análise do tempo até ao colapso da tenda em cada tipo de ignição como referido anteriormente, os ensaios do tipo de ignição B atingem o colapso mais rapidamente devido à intensidade da combustão ser mais elevada.

Estes ensaios foram feitos num ambiente isolado em que só existia uma tenda numa plataforma preparada para ensaios de queima. Pretende-se dizer que, fatores sociais, ambientais e climatéricos têm um papel fulcrar para a ocorrência de incêndios deste tipo, uma vez que se ocorresse numa ADACC, a sua extinção era mais dificultada, podendo propagar-se às superfícies circundantes

Resumindo, pode-se afirmar pelos três tipos de ignição estudados na queima de tendas que a ignição do tipo B tem uma combustão mais intensa logo, uma queima mais rápida.

4.2. Ensaio das Caravanas

Nesta secção apresentam-se os resultados e a análise dos ensaios das duas caravanas, realçando que o Ensaio 0 é um teste e os seus resultados estão apresentados em apêndice, representados pelas Figura 0.2, Figura 0.3 e Figura 0.4.

Na Tabela 4.6 expõe-se um resumo dos dados mais relevantes nos ensaios realizados para os dois tipos de ignição estudados nos ensaios das caravanas.

Tabela 4.6. Resumo dos ensaios da queima das caravanas.

	Ensaio 0	Ensaio 1	Ensaio 2
Ignição	Exterior com simulador		Interior pontual
Tempo ensaio	700 s	1879 s	2226 s
Tempo até colapso	Não aplicável	730 s	1580 s
Fluxo total máx.	9,25 kW/m ²	Não aplicável	11,45 kW/m ²
Fluxo radiativo máx.	5,10 kW/m ²		6,31 kW/m ²
Altura chama máx.	Não aplicável	7,0 m	6,2 m
T _{máxima interior}	23,39°C	1022,92°C	1090,03°C
T _{máxima exterior}	105,70°C	889,96°C	955,30°C

Numa breve explicação de alguns parâmetros tabelados, deve-se salientar que não foi estudada a altura de chama no Ensaio 0 porque este parâmetro foi analisado somente quando as chamas atingiram a caravana. Neste caso, isso não sucedeu e como a caravana ficou praticamente intacta com apenas sinais de deformações térmicas na fachada exposta à frente de chama (Figura 0.1), o tempo até ao colapso da caravana também não foi aplicado neste ensaio.

Os sensores de fluxo de calor no Ensaio 1 não foram utilizados neste ensaio por isso, não estão tabelados nem analisados valores de fluxo de calor.

4.2.1. Ensaio 1

No Ensaio 1, a ignição é feita no simulador de frente de fogo, com uma distância entre a caravana e o simulador de 1,0m.

Temperatura

A Figura 4.28 apresenta fotografias dos instantes do Ensaio 1 da queima da caravana que destacam os momentos analisados nos gráficos de temperatura.



Figura 4.28. Fotografias de instantes do Ensaio 1 (CEIF/ADAI).

No estudo da temperatura registada pelos diferentes termopares, a Figura 4.29 representa a variação de temperatura registada pelos termopares que se encontravam no exterior da caravana. Na consulta da Tabela 3.6 e da Figura 3.7., encontram-se a descrição e localização dos termopares.

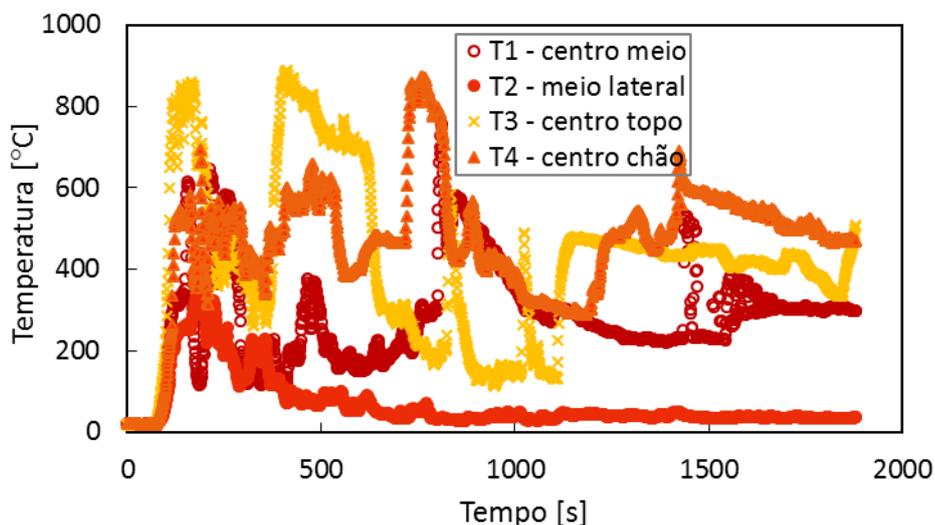


Figura 4.29. Gráfico das temperaturas registadas pelos termopares no exterior da caravana, Ensaio 1.

Observando o gráfico verifica-se que nos 80s de ensaio, os termopares registaram um aumento significativo de temperatura que corresponde ao momento em que a combustão, ainda no simulador de frente de fogo, começou a ganhar intensidade.

A partir deste momento e até ao fim do ensaio, os termopares colocados no exterior da caravana não registaram temperaturas inferiores a 100°C, à exceção do termopar T2.

A temperatura registada pelos termopares é muito elevada desde o início do ensaio, uma vez que no caso da queima das caravanas a combustão é muito intensa e devastadora.

O termopar T2 registou o seu máximo de 441°C aos 183s sendo que, a partir deste pico, arrefeceu gradualmente até aos 37°C. Esta descida de temperatura no início do ensaio deve-se ao facto de o termopar ter caído da caravana, registando uma temperatura ambiente por se encontrar próximo da caravana.

A Figura 4.30 representa um gráfico da temperatura registada pelos termopares localizados no interior da caravana neste ensaio.

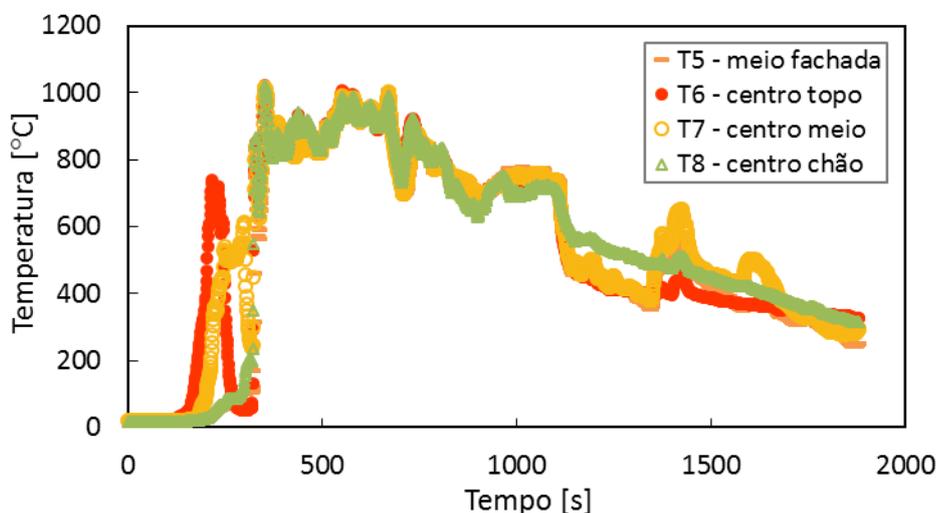


Figura 4.30. Gráfico das temperaturas registadas pelos termopares no interior da caravana, Ensaio 1.

Constata-se pelo gráfico que, no interior da caravana só se registaram alterações de temperatura a partir dos 150s. Este aumento de temperatura corresponde ao momento em que o fogo passou do simulador para a fachada da caravana exposta à frente de fogo.

Destaca-se, o termopar T6 que se encontrava a 10cm do teto da caravana e que, aos 200s, registou um pico de temperatura superior relativamente aos restantes termopares.

Este facto aconteceu quando o ar quente subiu e fez com que os termopares que se encontravam a uma altura superior registassem temperaturas mais elevadas.

A partir dos 300s que corresponde ao momento em que o fogo já entrou e consumiu a caravana, registaram-se temperaturas muito elevadas que oscilaram entre os 700°C e 1000°C. Deste instante e até aos 650s, esta gama de valores de temperatura manteve-se elevada e corresponde ao momento em que a combustão na caravana tinha grande intensidade.

Nesta última fase do ensaio, observou-se no desmoronamento da caravana aberturas que fizeram com que entrasse para o interior da caravana ar frio proveniente do exterior diminuindo assim a temperatura.

No gráfico seguinte (Figura 4.31) estão expostos os termopares T1 e T5 que se encontravam posicionados, respetivamente, no exterior e interior da caravana, ambos no centro da fachada exposta à frente de chama.

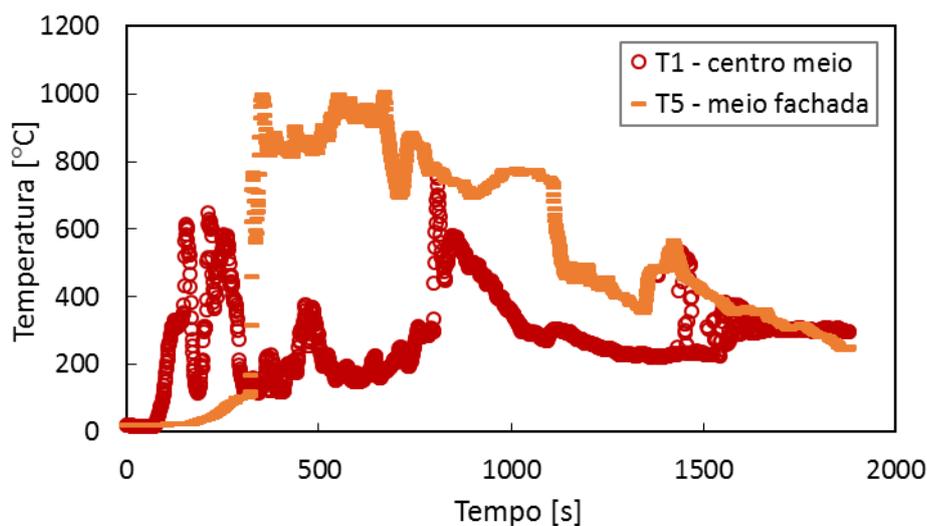


Figura 4.31. Gráfico de temperaturas registadas pelos termopares T1 e T5, Ensaio 1.

Comparando os dois termopares, observa-se que a temperatura no exterior da caravana aumentou mais rapidamente do que no interior como é previsível, pelo facto do termopar T1 se encontrar no exterior, a uma distância de 1,0m da frente de chama.

A partir dos 300s, altura em que o fogo entrou na caravana e se iniciou a sua completa combustão, o termopar T5 registou elevadas temperaturas durante o ensaio atingindo os 1000°C.

Altura de Chama e Temperatura

Para a análise da altura de chama no Ensaio 1, recorreu-se a *frames* dos vídeos do ensaio e apresentam-se na Figura 4.32 os instantes que mais se destacam para a compreensão do gráfico.



Figura 4.32. Instantes do Ensaio 1 (CEIF/ADAI).

A Figura 4.33 apresenta um gráfico comparativo da altura de chama e da variação de temperatura registada pelo termopar T1 localizado no exterior da caravana.

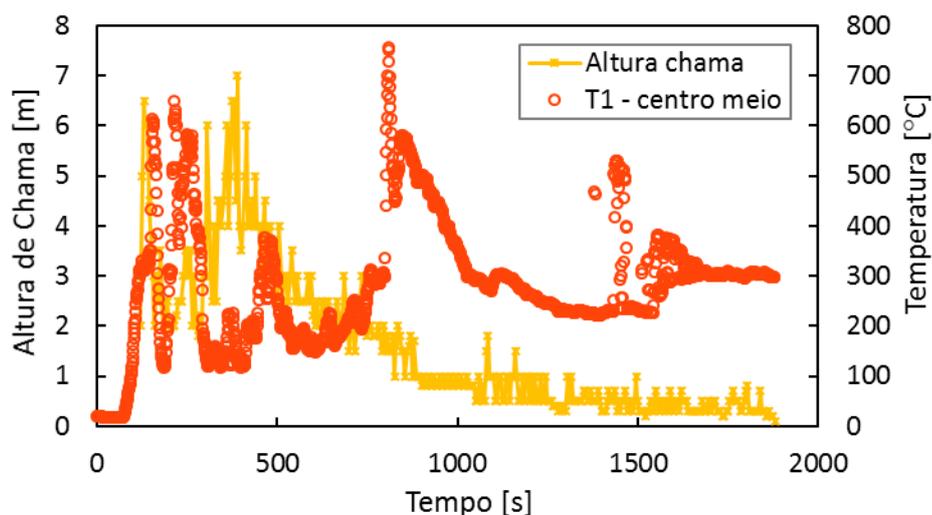


Figura 4.33. Gráfico comparativo da altura de chama e da temperatura, Ensaio 1.

Observa-se pelo gráfico que durante os primeiros 500s de ensaio, existe um termo comparativo entre estes dois parâmetros que estão a ser analisados. Este intervalo de tempo corresponde ao momento em que a combustão foi mais intensa com temperaturas elevadas, pois a caravana estava a arder por completo, atingindo alturas de chama de 7,0m, e o termopar T1 registou temperaturas na ordem dos 600°C.

Depois dos 500s, a altura de chama foi diminuindo à medida que o material combustível foi ardendo, embora a temperatura continuasse elevada.

Assim, pela elevada combustibilidade que se confirmou na queima desta caravana através da análise da altura de chamas e da temperatura no Ensaio 1, pode-se afirmar que, se ocorresse um incêndio com ignição no exterior por uma frente de fogo, os primeiros 180s seriam cruciais para o combate deste incêndio com a intervenção dos bombeiros ou outra entidade responsável no combate a incêndios. Depois deste instante, o fogo propagou-se para toda a caravana e ficou destruída.

4.2.2. Ensaio 2

O Ensaio 2 é caracterizado por uma ignição pontual no interior da caravana. De salientar que neste ensaio, a análise da altura de chama aconteceu a partir do momento em que as chamas contactaram com o exterior.

Fluxo de Calor

Para uma melhor compreensão da variação do fluxo de calor durante o Ensaio 2, na Figura 4.34 estão apresentadas fotografias de partes do ensaio.



Figura 4.34. Fotografias de instantes do Ensaio 2 (CEIF/ADAI).

A Figura 4.35 representa o gráfico da variação de fluxo de calor total e radiativo durante este ensaio.

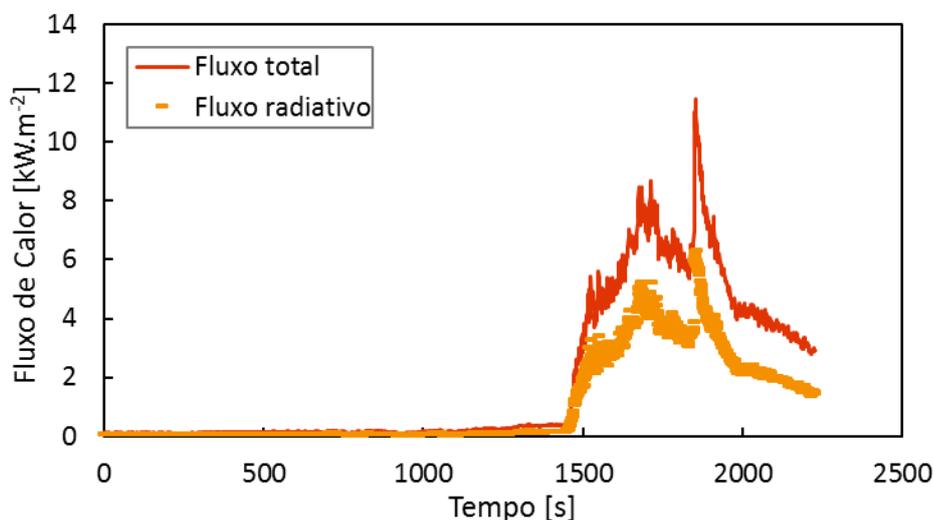


Figura 4.35. Gráfico de fluxo de calor, Ensaio 2.

Verifica-se que nos primeiros 1400s de ensaio, não houve alteração do fluxo de calor pois, a combustão ainda se desenrolava no interior da caravana e os sensores que se encontravam a 3,0m de distância da caravana não detetaram o fluxo.

Próximo dos 1500s de ensaio, há um aumento significativo do fluxo de calor quando a combustão começou a ganhar grande intensidade, como se observa na Figura 4.34.

Este aumento continuou e atingiu o valor máximo de fluxo total e radiativo de 11,35 kW.m⁻² e 6,31 kW.m⁻², respetivamente, em torno dos 1853s.

Após este pico de radiação, observa-se um decaimento do fluxo que se prolongou até ao fim do ensaio.

Temperatura

A temperatura registada pelos termopares que se encontravam no exterior e no interior da caravana está representada neste Ensaio 2 pelos gráficos das Figura 4.36 e Figura 4.37, respetivamente. A descrição detalhada dos termopares neste ensaio pode ser consultada na Tabela 3.7.

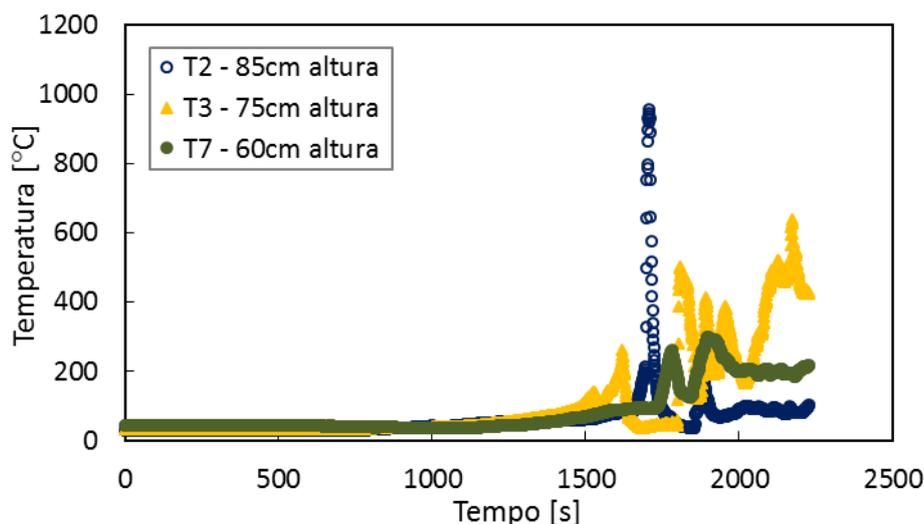


Figura 4.36. Gráfico das temperaturas registadas pelos termopares no exterior da caravana, Ensaio 2.

Durante este ensaio, os termopares que se encontravam no exterior da caravana registaram menor variação de temperatura, uma vez que, a ignição tem início no seu interior.

Estes termopares só registaram aumento de temperatura a partir dos 1500s, correspondendo ao momento em que a combustão ganhou grande intensidade.

O termopar T2 que se encontrava na fachada onde foi iniciada a ignição, registou um aumento significativo de temperatura em relação aos restantes termopares do exterior da caravana, chegando mesmo a atingir temperaturas na ordem dos 955°C.

No fim do ensaio, todos os termopares apresentaram uma descida de temperatura derivada do arrefecimento dos mesmos.

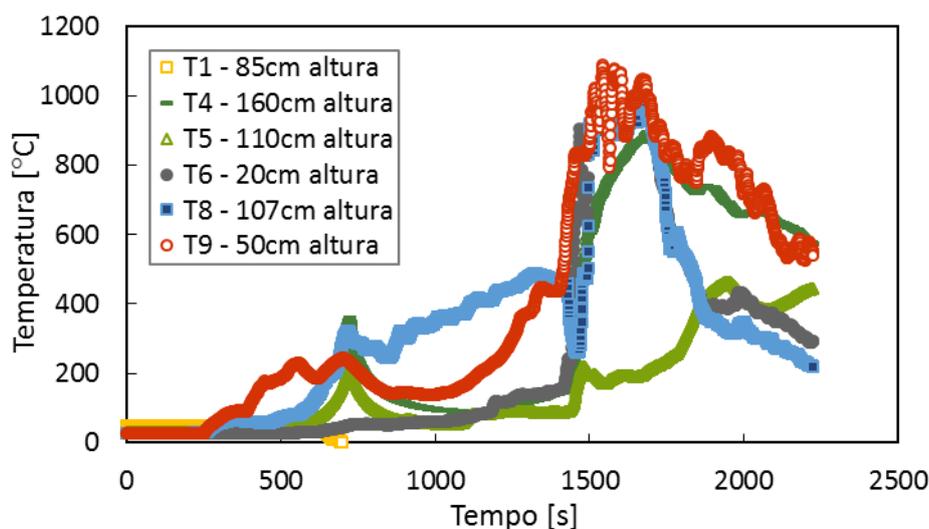


Figura 4.37. Gráfico das temperaturas registadas pelos termopares no interior da caravana, Ensaio 2.

Pela análise do gráfico, ao contrário do que observa na Figura 4.36, verifica-se que houve um aumento de temperatura de todos os termopares a partir dos 500s de ensaio, excetuando-se o termopar T1, que não registou nenhuma alteração de temperatura e acabou por deixar de medir pelo facto de se ter queimado.

Destaca-se o termopar T9, que registou um aumento de temperatura desde o início do ensaio, aos 250s, pois estava muito próximo do ponto de ignição a uma distância de 40cm.

Verifica-se que os termopares T4, T6, T8 e T9 registaram maior temperatura durante todo o ensaio, chegando a valores entre os 900 e 1000°C.

Aproximadamente, aos 700s, verifica-se um pico de temperatura registado pelos termopares T4, T5 e T8 que corresponde ao momento em que a combustão decorria no interior da caravana e os gases quentes ao subirem, fizeram com que os termopares que se encontravam a alturas superiores registassem esta subida de temperatura.

De seguida, os termopares T4, T5, T8 e T9 registaram uma diminuição da temperatura ocorrida devido à acumulação excessiva de gases quentes no interior que como resultado, criaram aberturas na caravana e os gases libertaram-se para o exterior (Bengtsson, 2001), como se observa na Figura 4.34.

A partir dos 1500s, verifica-se um aumento acentuado registado pelos termopares que corresponde ao momento em que as chamas atingiram a caravana por completo sendo visíveis no exterior.

Nestas condições, no interior da caravana são aceitáveis temperaturas muito elevadas a partir dos 800°C, uma vez que, enquanto houver combustível disponível e oxigénio para a combustão, a temperatura permanece dentro desses valores (Bengtsson, 2001).

Fluxo de Calor e Temperatura

A Figura 4.38 representa um gráfico que relaciona o fluxo de calor total e a temperatura registada através do termopar T7 que se encontrava no exterior da caravana. Analisando o gráfico e constatando que termopar T7 era o que estava mais próximo dos sensores de fluxo, verifica-se que ambos têm uma variação semelhante.

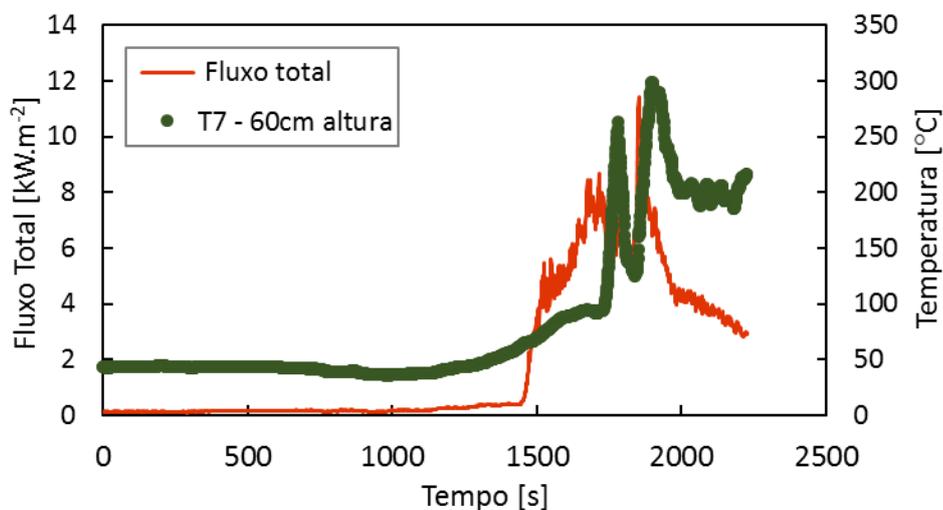


Figura 4.38. Gráfico comparativo do fluxo de calor e da temperatura registada pelo termopar T7, Ensaio 2.

Nos primeiros 1500s, ambos não apresentaram nenhuma alteração. A partir deste instante, o fluxo de calor e a temperatura aumentaram significativamente, correspondendo ao momento em que a combustão era muito intensa e as chamas consumiam o exterior da caravana.

Fluxo de Calor e Altura de Chama

Para o estudo da altura de chama no Ensaio 2, recorreu-se a um gráfico que compara o fluxo de calor total e a altura de chama (Figura 4.40) e a Figura 4.39 apresenta os instantes mais relevantes para esta análise.



Figura 4.39. Fotografias de instantes do Ensaio 2 (CEIF/ADAI).

Salienta-se que para este estudo, foi analisada a altura da chama visível nos vídeos do Ensaio 2 a partir dos 1195s, ou seja, quando o fogo estava no interior da caravana, a altura de chama não foi considerada.

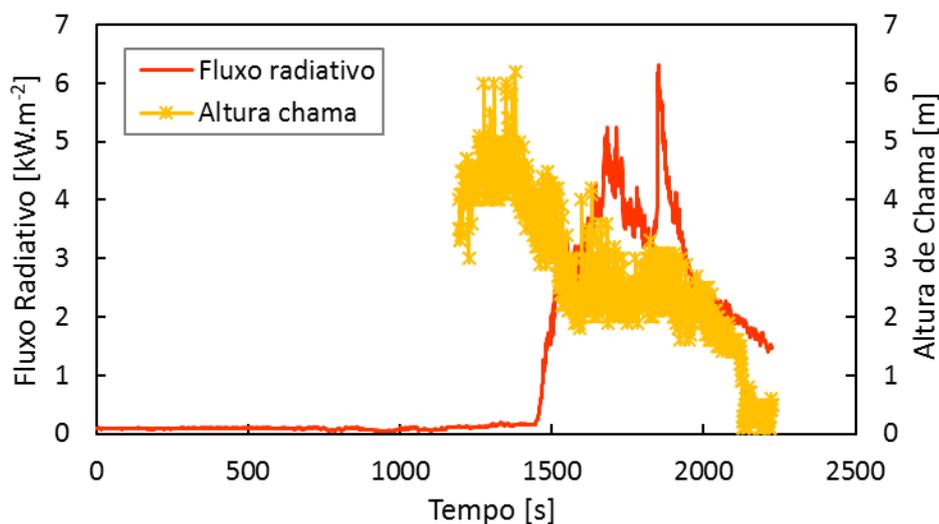


Figura 4.40. Gráfico comparativo do fluxo de calor e da altura de chama, Ensaio 2.

Comparando os dois parâmetros em simultâneo, verifica-se que a altura de chama era mais elevada entre os 1000s e os 1500s, momento em que os sensores detetaram um fluxo de calor praticamente nulo. Isto aconteceu pelo facto de, os sensores de fluxo de calor estarem posicionados a uma distância de 3,0m da caravana, e nesse período, as chamas ainda não estavam próximas dos sensores de modo a serem detetadas. Neste período, as chamas eram muito elevadas e atingiram alturas na ordem dos 6,0m.

No entanto, depois dos 1500s e até ao fim do ensaio, ambos têm a mesma variação que corresponde ao momento em que a combustão tinha grande intensidade e a caravana estava completamente a arder. Verificam-se neste período, o fluxo máximo de calor e alturas de chama elevadas de 4,2m.

Conclusões

Dos três ensaios de queima das caravanas realizados, foi possível tirarem-se conclusões relativas aos parâmetros estudados e aos diferentes tipos de ignição.

Comparando o tempo até ao colapso das caravanas apresentado na Tabela 4.6 para os Ensaios 1 e 2, constata-se que o Ensaio 1, com ignição num simulador de frente de fogo, foi o ensaio que ocorreu mais rapidamente, ou seja, com menor tempo decorrido até ao colapso da caravana.

Embora não haja um termo comparativo entre os Ensaio 1 e 2 relativamente ao fluxo de calor, pode-se observar pela Figura 4.32, o nível de destruição verificado no Ensaio 1. Considerando os valores máximos de fluxo de calor total e radiativo (Tabela 4.6) de $9,25 \text{ kW.m}^{-2}$ e $5,10 \text{ kW.m}^{-2}$, respetivamente para o Ensaio 0, verifica-se que apresenta um fluxo de calor muito intenso (Figura 0.2 e Figura 0.5), podendo-se afirmar que a combustão no Ensaio 1 teria um nível de intensidade igual ou superior ao Ensaio 2, tendo em conta que no Ensaio 0, a caravana estava a uma distância de 2,5m da frente de fogo e no Ensaio 1, a uma distância de 1,0m.

Relativamente à variação de temperatura registada nos três ensaios realizados, verifica-se pelos gráficos e pelo resumo na Tabela 4.6 que o Ensaio 0 tem os valores mais baixos de temperatura. No interior da caravana as temperaturas registadas não atingiram os 24°C , pelo que não houve qualquer alteração. No mesmo ensaio, as temperaturas registadas pelos termopares no exterior da caravana atingiram os 100°C .

Nos Ensaio 1 e 2, ainda abordando o tema da temperatura registada nestes ensaios, verifica-se que ambos atingiram elevadas temperaturas tanto no exterior como no interior da caravana na ordem dos 1000°C .

De outro modo, comparando as alturas de chama existentes nos Ensaio 1 e 2, confirma-se pela Tabela 4.6 e pelas Figura 4.33 e Figura 4.40 que em ambos os ensaios, as alturas de chama eram muito elevadas, revelando um comportamento do fogo extremo.

Assim, avaliando os diferentes tipos de ignição estudados na queima das caravanas pela comparação dos parâmetros analisados pode-se afirmar que, se ocorresse um incêndio, os primeiros segundos seriam cruciais para o seu combate com a intervenção dos bombeiros ou outra entidade responsável.

No Ensaio 1 que simula um incêndio com ignição no exterior por uma frente de fogo, o tempo até ao colapso da caravana é inferior ao do Ensaio 2 que representa um incêndio com ignição pontual no interior da caravana. O que significa que o colapso ocorre muito mais rapidamente, levando a concluir que entre os dois tipos de ignição, o Ensaio 1 revela valores mais destrutivos.

Caso ocorresse numa situação real numa ADACC, os dois tipos de ignição poderiam provocar focos secundários e/ou a passagem direta das chamas através de combustíveis naturais ou de materiais combustíveis.

5. CONCLUSÕES FINAIS

Uma das limitações detetadas no desenvolvimento deste trabalho deve-se ao facto de ser um tema pouco desenvolvido e estudado, o que levou à necessidade de se desenvolverem novas técnicas e metodologias de trabalho para o estudo da combustão de tendas e caravanas.

Outro aspeto a ter em conta como limitação foi a existência de alguns contratempos e mesmo o adiamento, por diversas vezes, dos ensaios devido às condições climáticas pouco favoráveis para a realização dos ensaios de queima das caravanas no exterior do laboratório.

Porém, mesmo com estas limitações supramencionadas, deve-se salientar que, dos ensaios realizados e da execução deste trabalho conseguiram-se retirar resultados bastante positivos e conclusivos.

Na análise dos resultados dos ensaios da queima das tendas concluiu-se que, dos três tipos de ignição estudados, o tipo de ignição B que corresponde a uma ignição no interior e superfície da tenda obteve valores mais elevados de perigosidade. O tempo decorrido até ao colapso da tenda é menor do que nos restantes tipos de ignição devido à combustão ser mais intensa e rápida. Verificou-se que as chamas atingiram alturas de 1,0m, não sendo muito elevadas e o fogo é considerado de baixo risco.

Caso se verificasse numa ADACC, que uma tenda se encontrava isolada e o fogo não se propagasse para outros componentes, conseguir-se-ia extinguir o fogo com terra ou com um extintor, não sendo necessária a intervenção de bombeiros ou outras entidades responsáveis pelo combate a incêndios. Caso contrário, se o fogo se propagasse para o exterior, poderia provocar focos secundários e a passagem direta das chamas através de combustíveis naturais ou de materiais combustíveis vulgarmente usados na prática de campismo, provocando danos inevitáveis.

Da análise dos ensaios de queima das caravanas comprovou-se que dos dois tipos de ignição estudados, o tipo de ignição no exterior da caravana com frente de chama, ocorreu mais rapidamente, ou seja, com menor tempo decorrido até ao seu colapso.

Ainda nos tipos de ignição analisados, com ignição no exterior por uma frente de chama e com ignição pontual no interior da caravana, as alturas de chama eram muito elevadas, revelando um comportamento do fogo extremo.

Assim, avaliando os tipos de ignição estudados na queima das caravanas pela comparação dos parâmetros analisados pode afirmar-se que, se ocorresse um incêndio, os primeiros segundos seriam cruciais para o seu combate com a intervenção dos bombeiros ou outra entidade responsável para que a caravana não ficasse totalmente destruída. Caso se verificasse uma situação semelhante numa ADACC, poderia provocar focos secundários e passagem direta das chamas através de combustíveis naturais ou de materiais combustíveis com consequências devastadoras.

Como continuação deste trabalho, no futuro, sugere-se o estudo e desenvolvimento de outros mecanismos de ignição, tanto na combustão de tendas como de caravanas, e ainda o estudo da queima de conjuntos de tendas com o intuito de se analisar a evolução da propagação do fogo. No âmbito dos ensaios de queima com ignição no exterior da caravana com frente de fogo, seria interessante fazer-se o estudo da radiação pela transferência de calor através das paredes da caravana, considerando a frente de fogo como a fonte de radiação e a caravana como um compartimento fechado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, M., Azinheira, J.R., Barata, J. Bousson, K., Ervilha, R., Martins, M., Moutinho, A., Pereira, J.C., Pinto, J.C., Ribeiro, L.M., Silva, J., Viegas, D.X. (2014), “Analysis of fire hazard in camping park areas”, *Advances in Forest Fire Research*.
- Almeida, M., Azinheira, J.R., Barata, J. Bousson, K., Ervilha, R., Martins, M., Moutinho, A., Pereira, J.C., Pinto, J.C., Ribeiro, L.M., Silva, J., Viegas, D.X. (2016), “Analysis of fire hazard in campsite areas”, *Fire Technology*.
- Almeida, M., Viegas, D.X., Ribeiro, L.M., Viegas, M.T., Raposo, J.R., Oliveira, R., Reva, V., Moutinho, A., Azinheira, J.R., Pinto, J.C., Ervilha, R., Pereira, J.C., Martins, M., Rocha, N., Pereira, C., Rodrigues, J., Silva, J., Barata, J., Bousson, K., Silva, A. (2015), “Segurança contra incêndios em parques de campismo e caravanismo”, Relatório Técnico FireCamp.
- Bengtsson, L. (2001), “Enclosure Fires”, Raddnings Verket – Swedish Rescue Services Agency.
- Blue Ribbon Panel (2008), “The Blue Ribbon Panel Report on Wildland Urban Interface Fire”, International code council headquarters.
- Fidalgo, E.S. (2010), “A problemática dos incêndios em Interface Urbano-Florestal em áreas de baixa densidade: O estudo de caso de Baião”, XII Colóquio Ibérico de Geografia.
- Fraga, A.M.A., Fraga, G.P., Noordenbos, J., Tenenhaus, M., Castle, S., Bhavsar, D., Lee, J.G., Coimbra, R., Potenza, B.M. (2010), “Beach and campfire burns: a site of pleasure and tragedy”, *Journal of Burn Care and Research*.
- Revista Sábado (2013), “Incêndio obriga a evacuar hotel e parque de campismo”. Acedido em 21 de Agosto de 2016, em: <http://www.sabado.pt/arquivo/detalhe/Incendio-obriga-a-evacuar-hotel-e-parque-de-campis.html>
- Revista Visão (2010), “Incêndios: Povoação de Carvalhais e festival Andanças evacuados devido à progressão do fogo em São Pedro do Sul”. Acedido em 2 de Maio de 2016, em: <http://visao.sapo.pt/lusa/incendios-povoacao-de-carvalhais-e-festival-andancas-evacuados-devido-a-progressao-do-fogo-em-sao-pedro-do-sul=f568632>
- Viegas, D.X., Rossa, C., Ribeiro, L.M. (2011), “Incêndios Florestais”, ed. Verlag Dashofer.

APÊNDICE A

Ensaio das Tendas

Ignição do tipo A

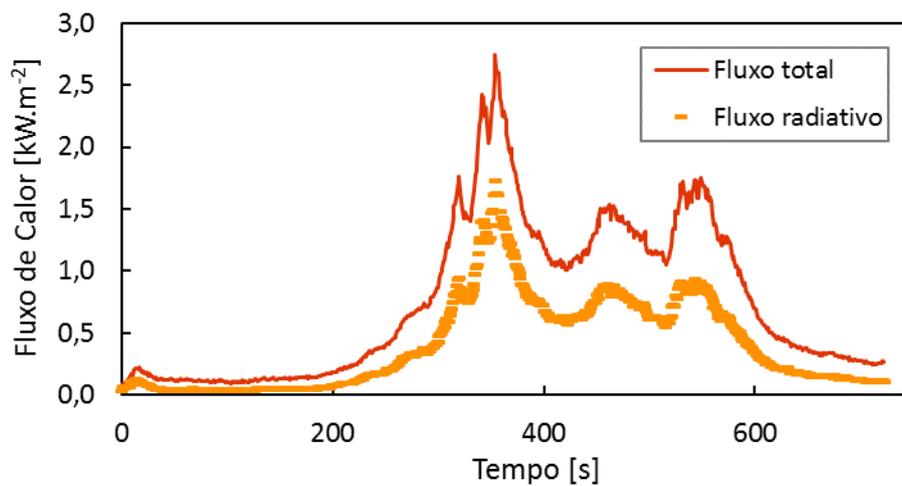


Figura 0.1. Fluxo de calor total e radiativo no Ensaio 4.

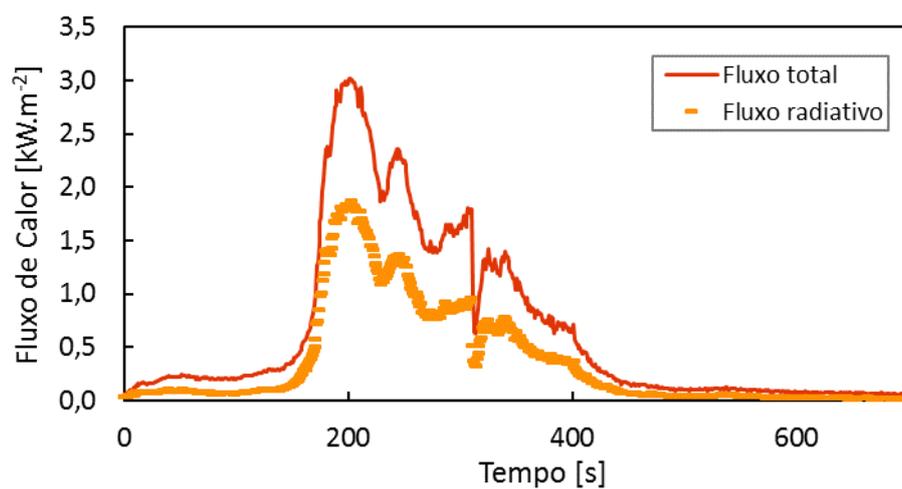


Figura 0.2. Fluxo de calor total e radiativo no Ensaio 7.

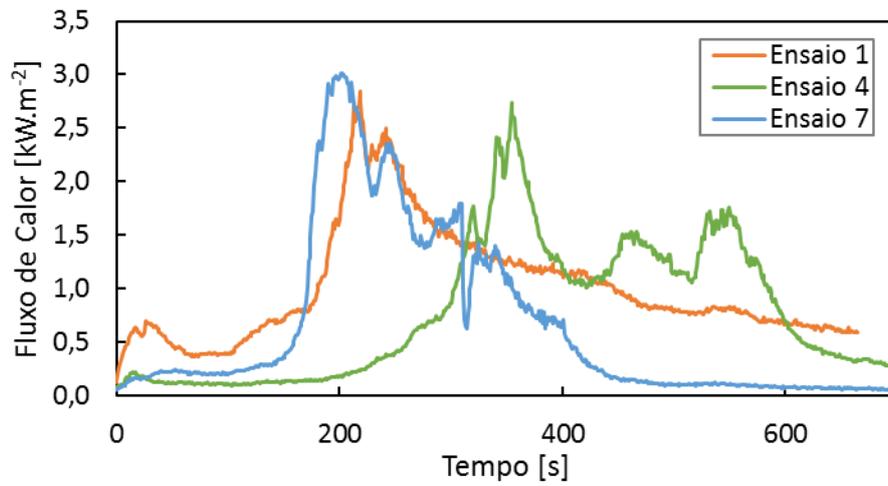


Figura 0.3. Gráfico comparativo do fluxo de calor total nos ensaios com ignição do tipo A.

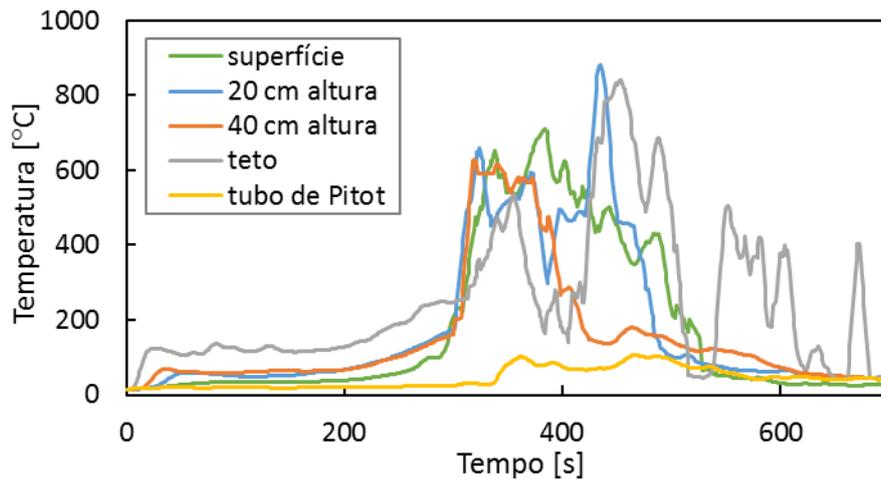


Figura 0.4. Temperaturas no Ensaio 4.

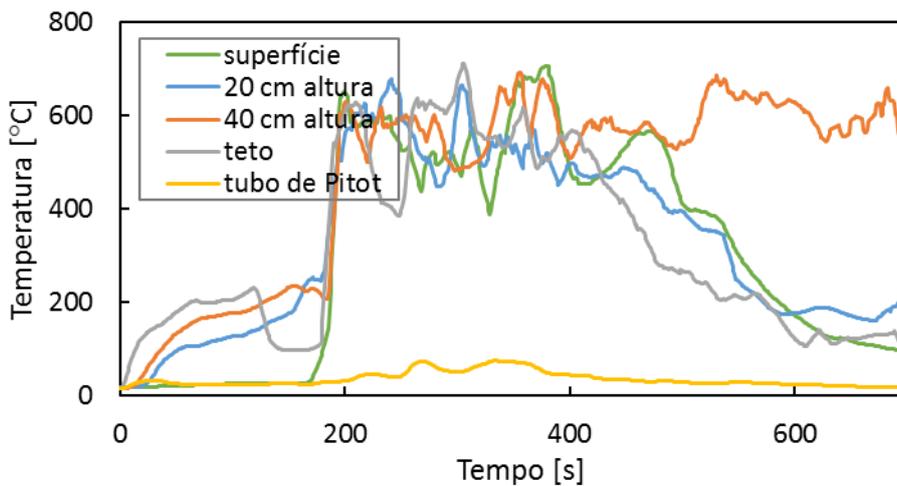


Figura 0.5. Temperaturas no Ensaio 7.

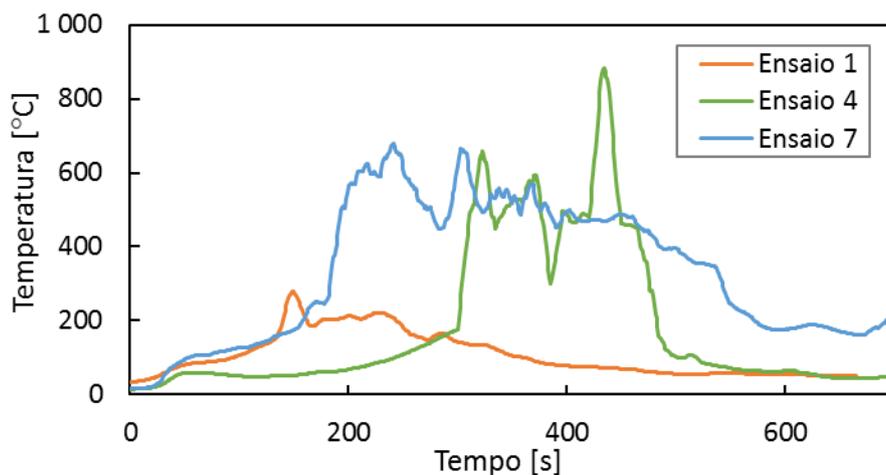


Figura 0.6. Gráfico comparativo da temperatura, registada pelo termopar T2, nos ensaios com ignição do tipo A.

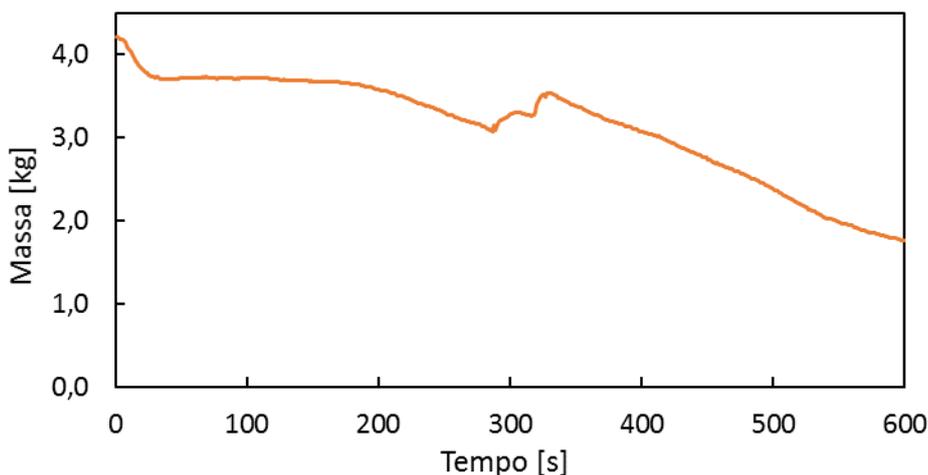


Figura 0.7. Variação de massa no Ensaio 4.

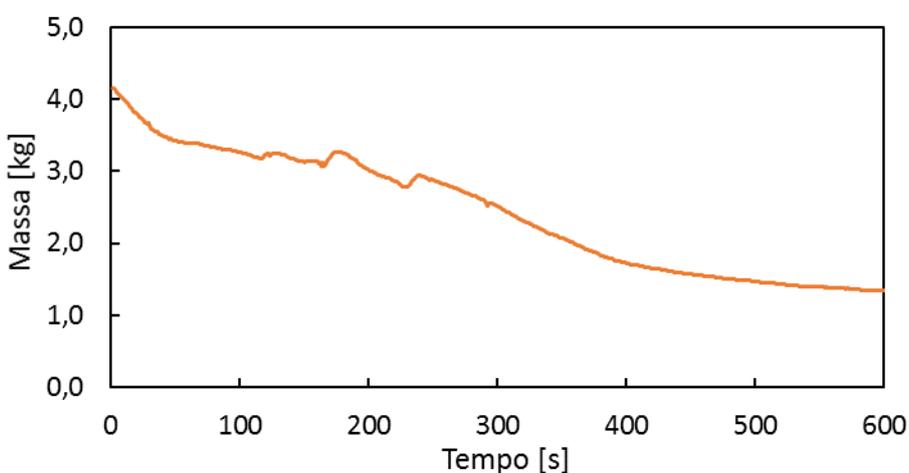


Figura 0.8. Variação de massa no Ensaio 7.

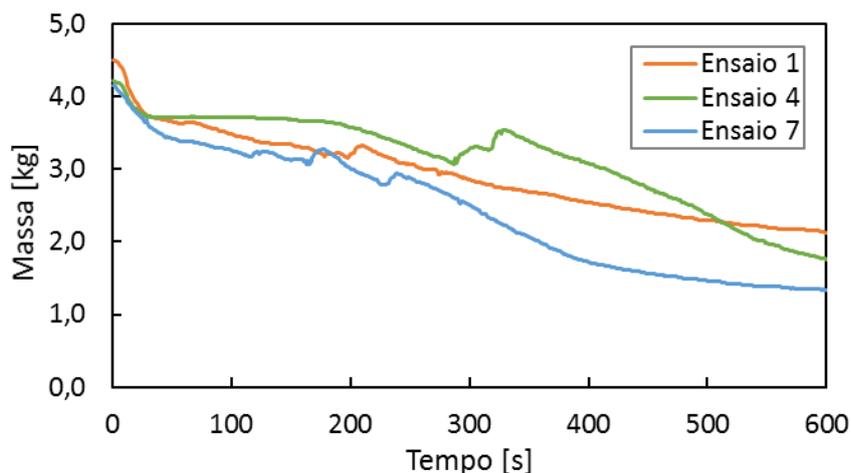


Figura 0.9. Gráfico comparativo da variação de massa nos ensaios com ignição do tipo A.

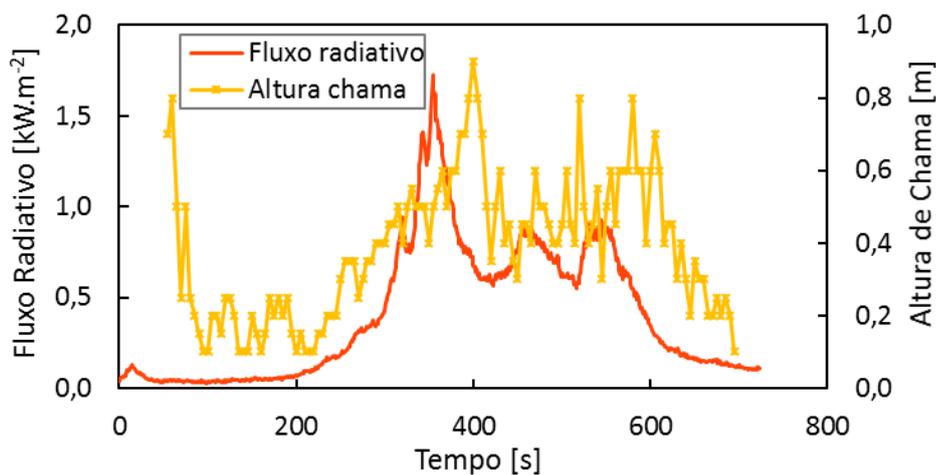


Figura 0.10. Gráfico comparativo do fluxo radiativo e altura de chama no Ensaio 4.

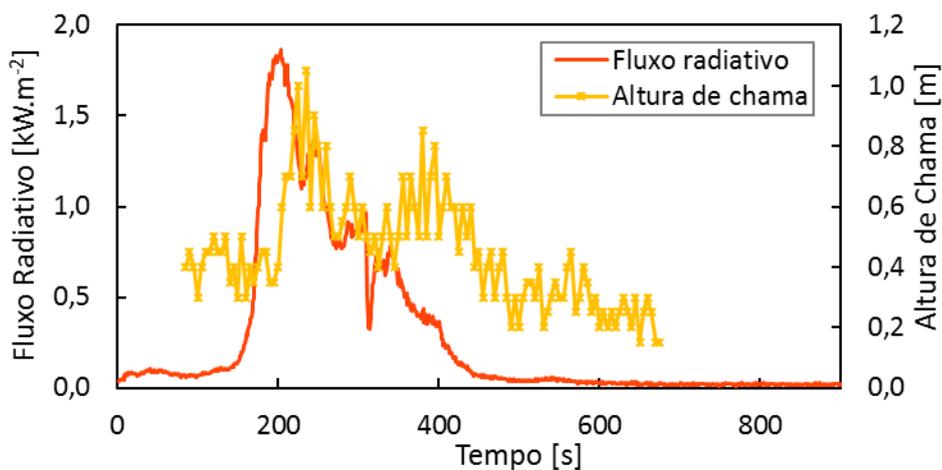


Figura 0.11. Gráfico comparativo do fluxo radiativo e altura de chama no Ensaio 7.

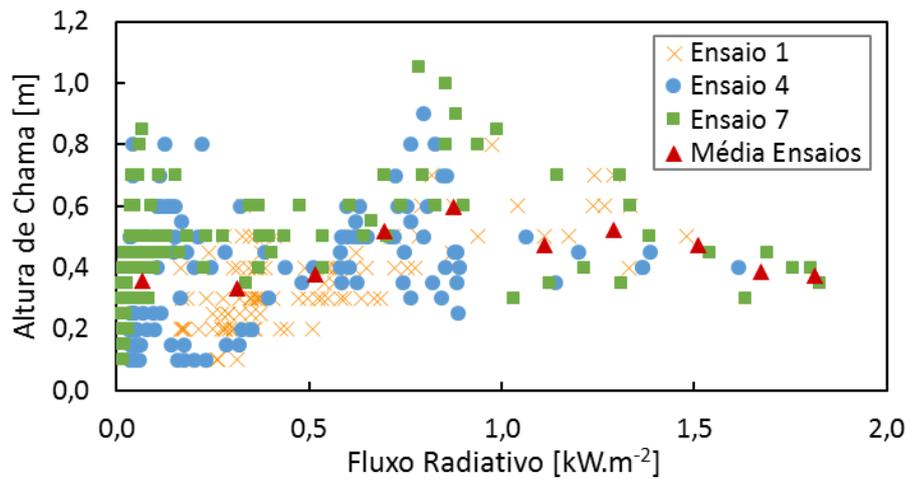


Figura 0.12. Gráfico de altura de chama e fluxo radiativo nos três ensaios.

Ignição do tipo B

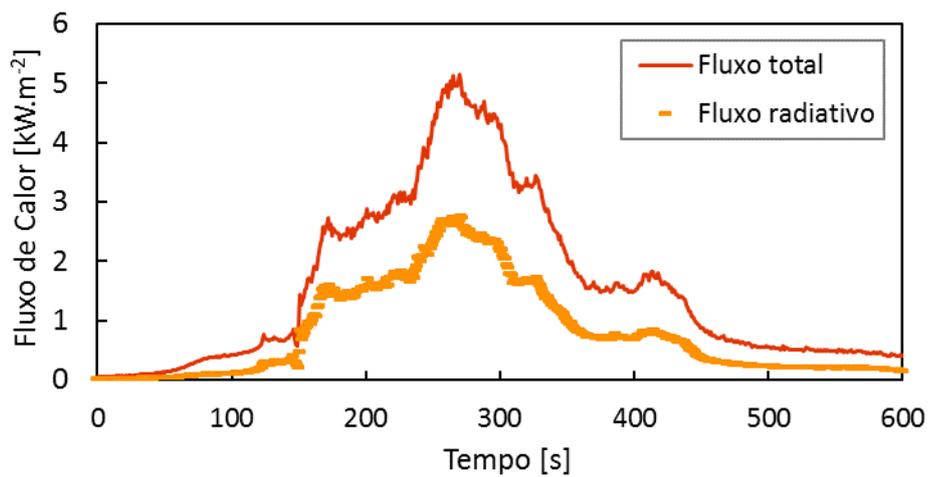


Figura 0.13. Fluxo de calor total e radiativo no Ensaio 5.

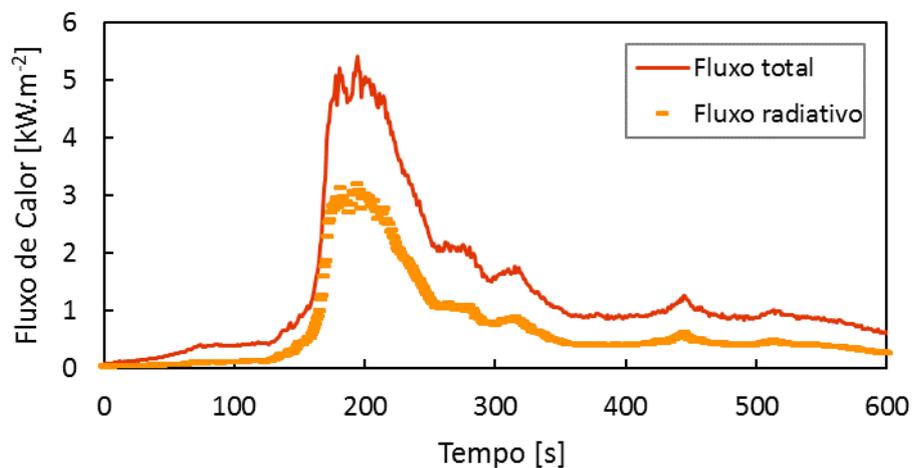


Figura 0.14. Fluxo de calor total e radiativo no Ensaio 8.

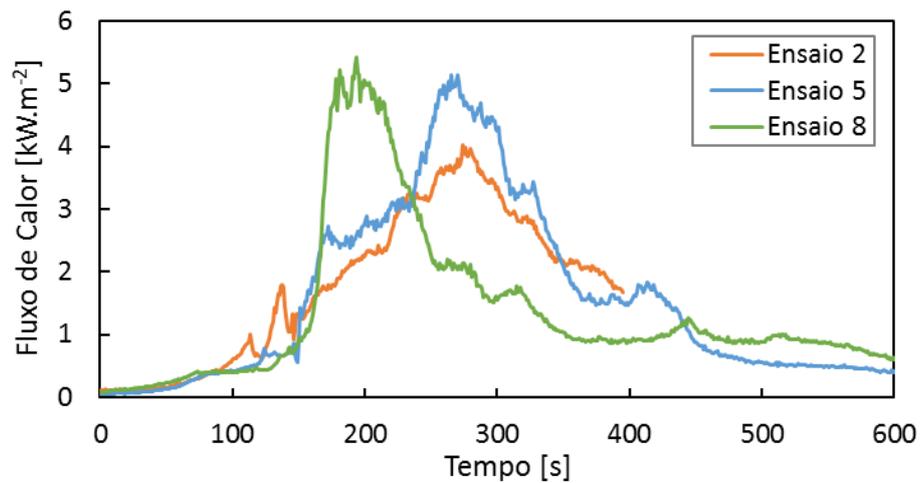


Figura 0.15. Gráfico comparativo do fluxo de calor total nos ensaios com ignição do tipo B.

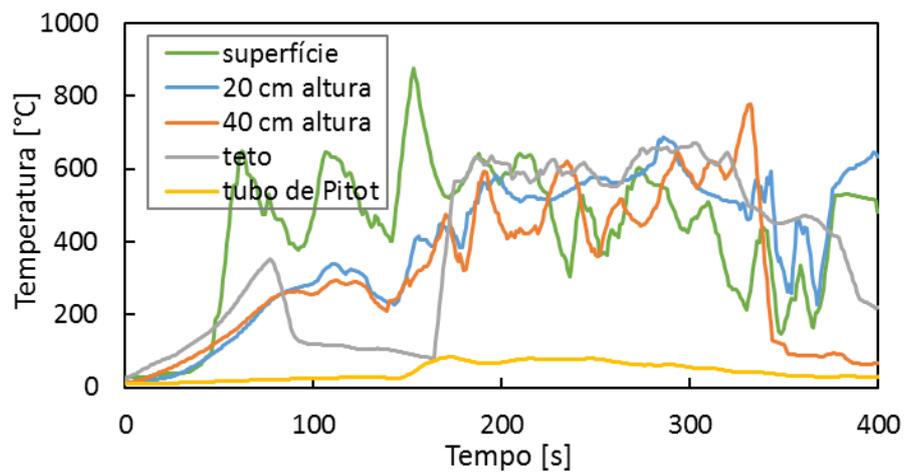


Figura 0.16. Temperaturas no Ensaio 5.

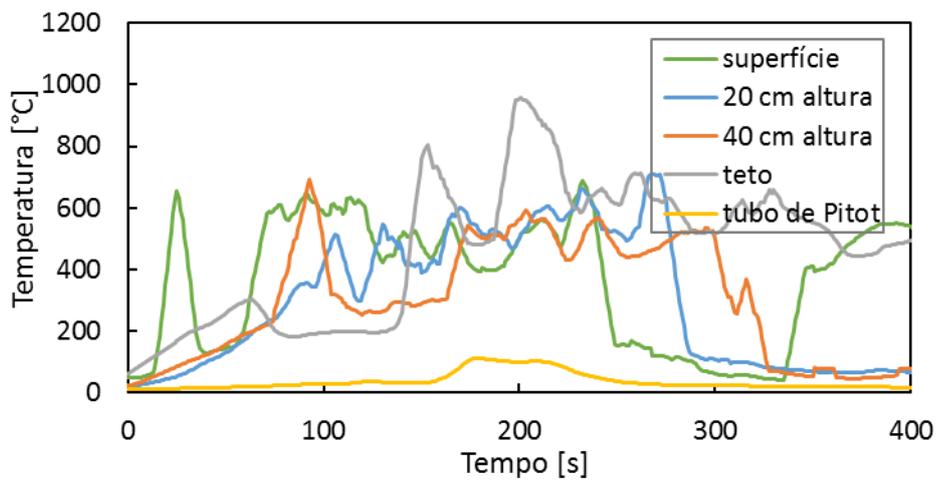


Figura 0.17. Temperaturas no Ensaio 8.

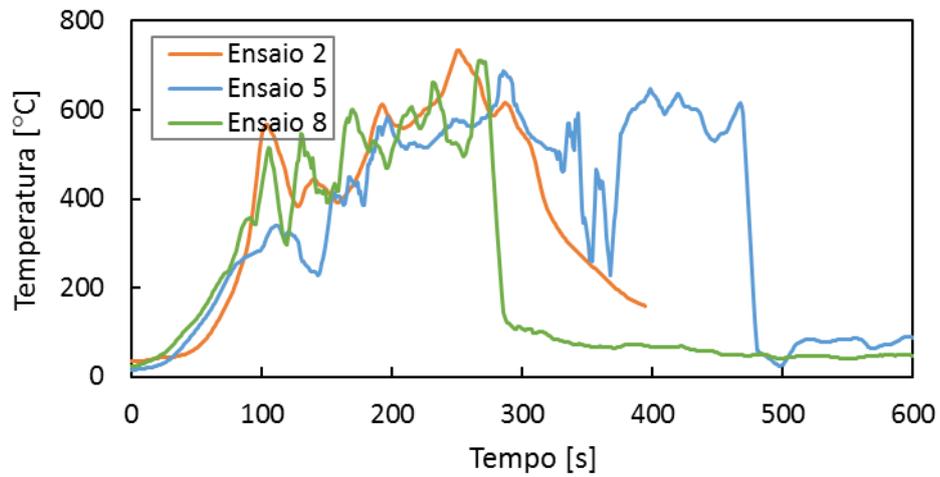


Figura 0.18. Gráfico comparativo da temperatura, registada pelo termopar T2, nos ensaios com ignição do tipo B.

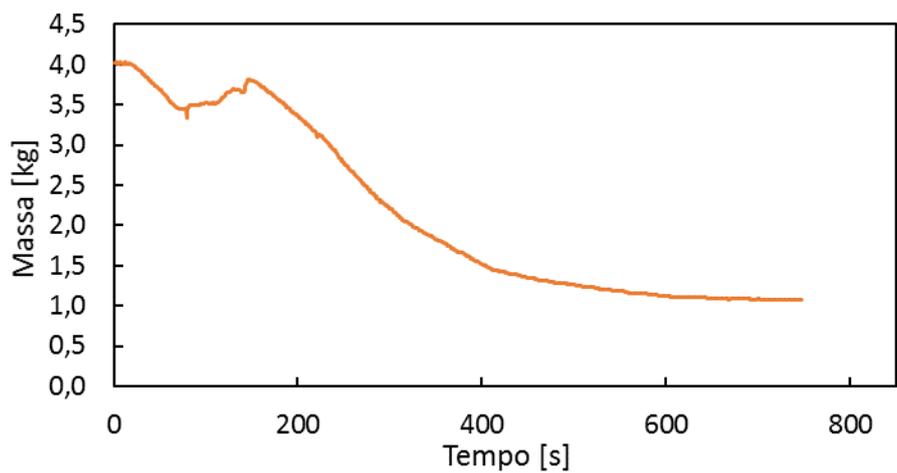


Figura 0.19. Variação de massa no Ensaio 5.

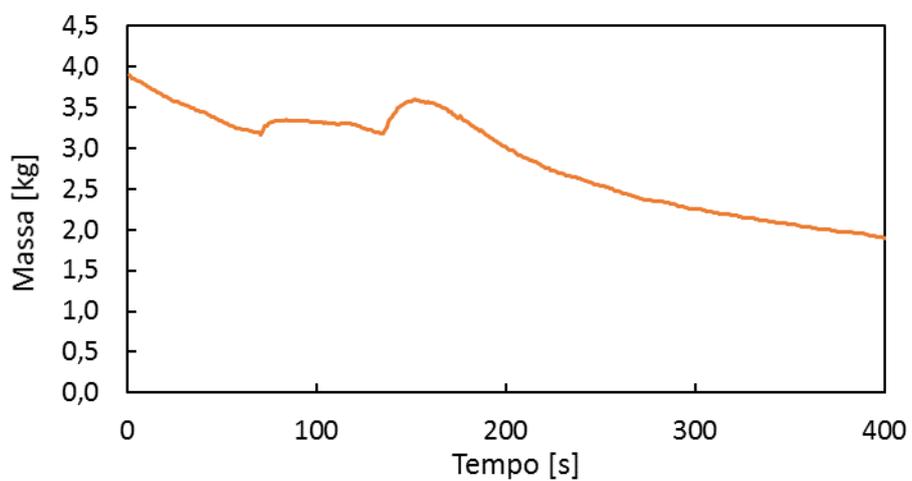


Figura 0.20. Variação de massa no Ensaio 8.

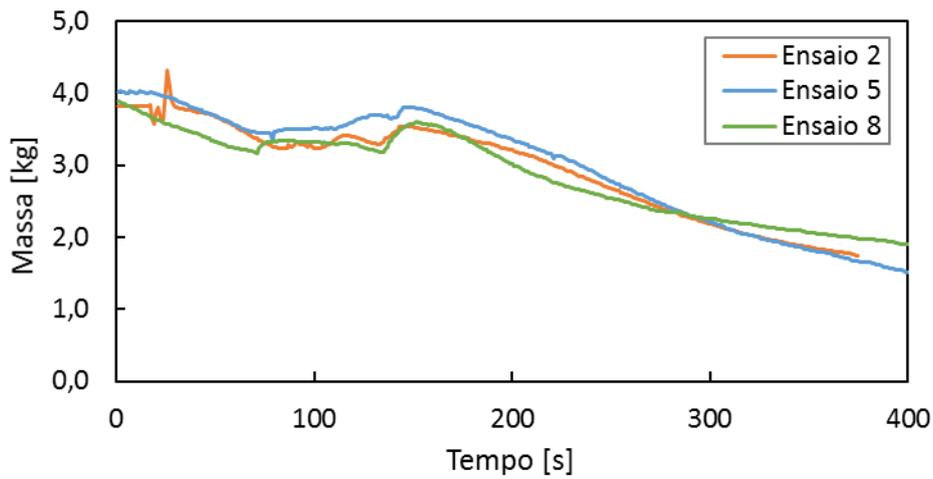


Figura 0.21. Gráfico comparativo da variação de massa nos ensaios com ignição do tipo B.

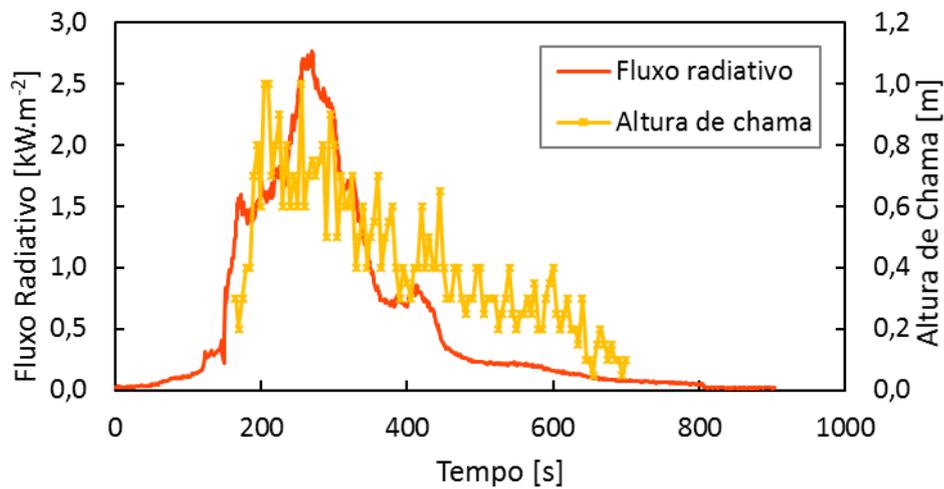


Figura 0.22. Gráfico comparativo do fluxo radiativo e altura de chama no Ensaio 5.

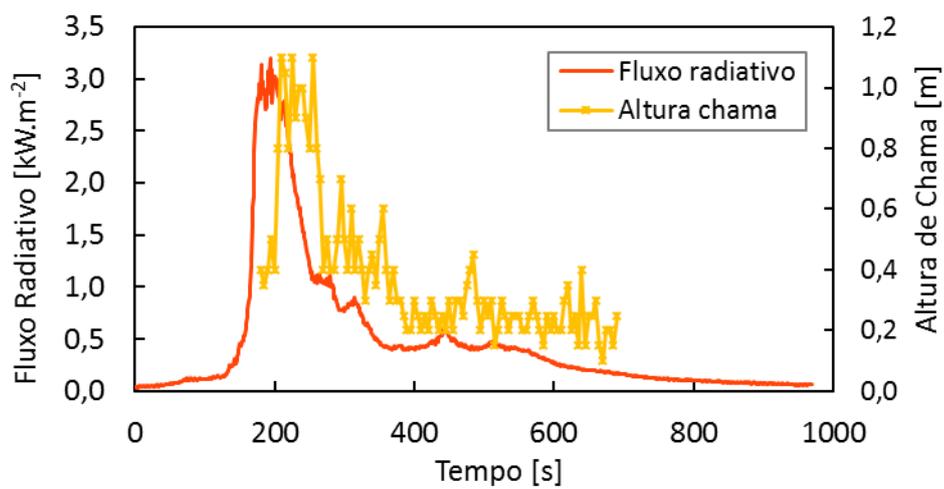


Figura 0.23. Gráfico comparativo do fluxo radiativo e altura de chama no Ensaio 8.

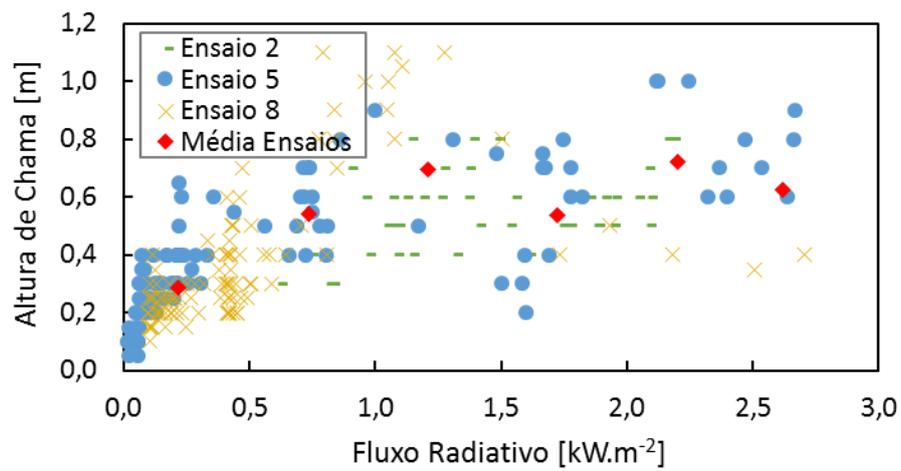


Figura 0.24. Gráfico de altura de chama e fluxo radiativo nos três ensaios.

Ignição do tipo C

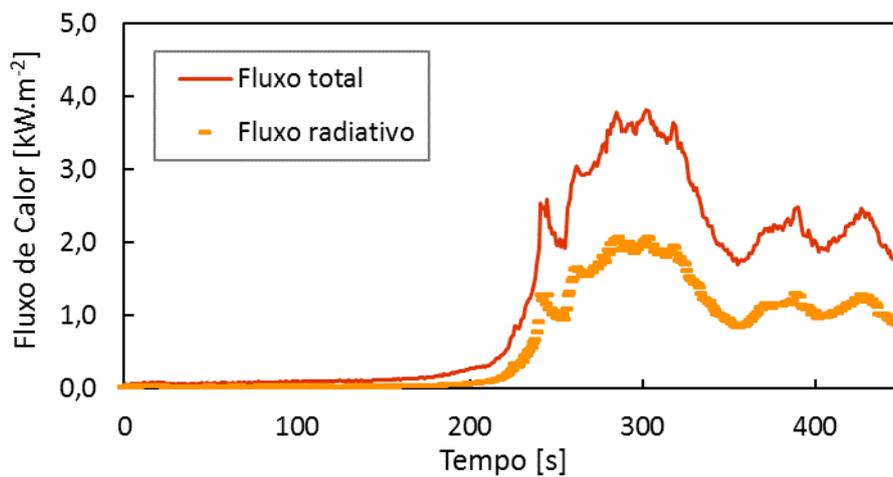


Figura 0.25. Fluxo de calor total e radiativo no Ensaio 6.

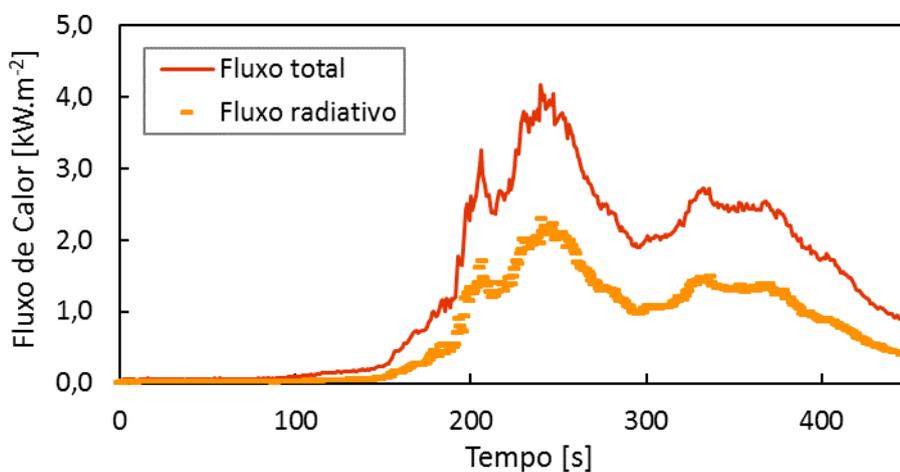


Figura 0.26. Fluxo de calor total e radiativo no Ensaio 9.

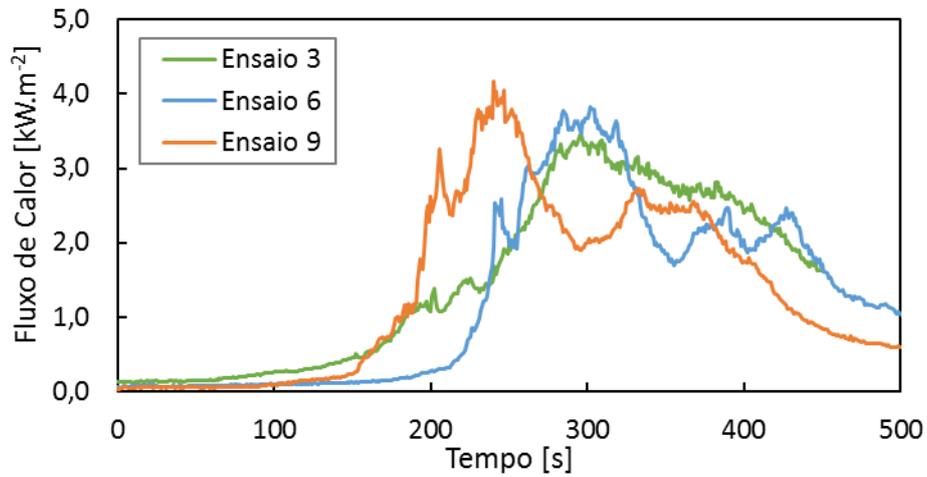


Figura 0.27. Gráfico comparativo do fluxo de calor nos ensaios com ignição do tipo C.

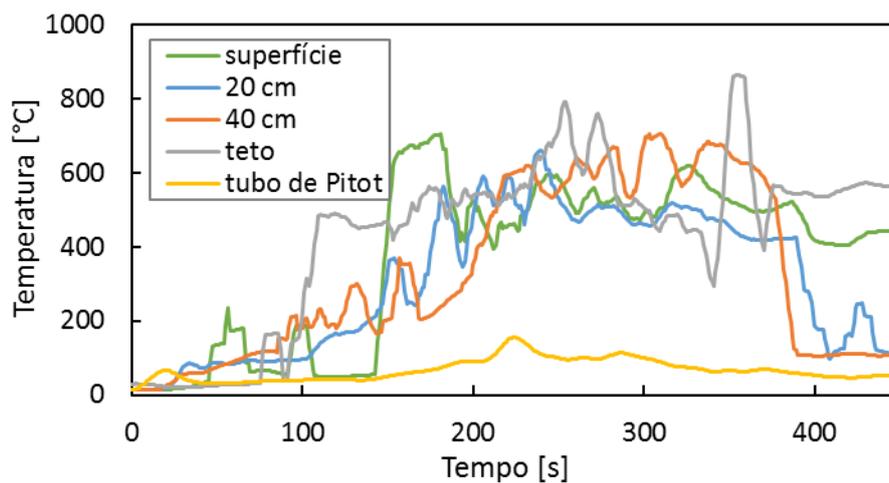


Figura 0.28. Temperaturas no Ensaio 6.

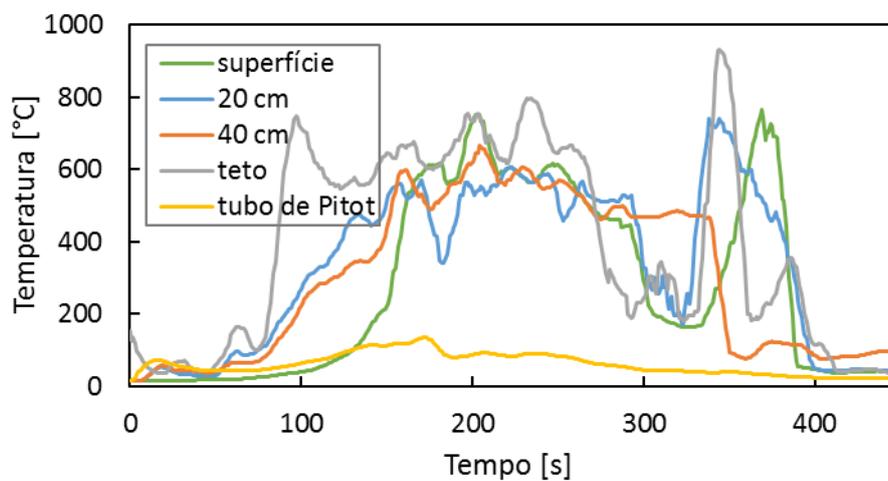


Figura 0.29. Temperaturas no Ensaio 9.

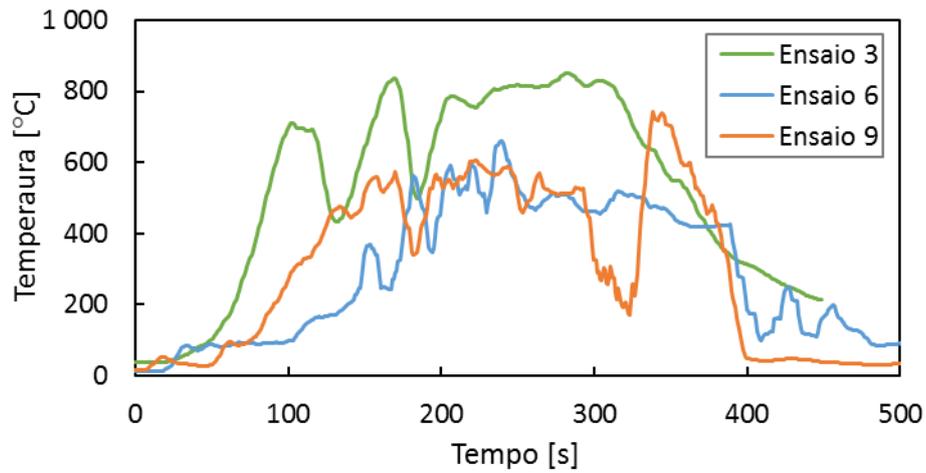


Figura 0.30. Gráfico comparativo da temperatura, registada pelo termopar T2, nos ensaios com ignição do tipo C.

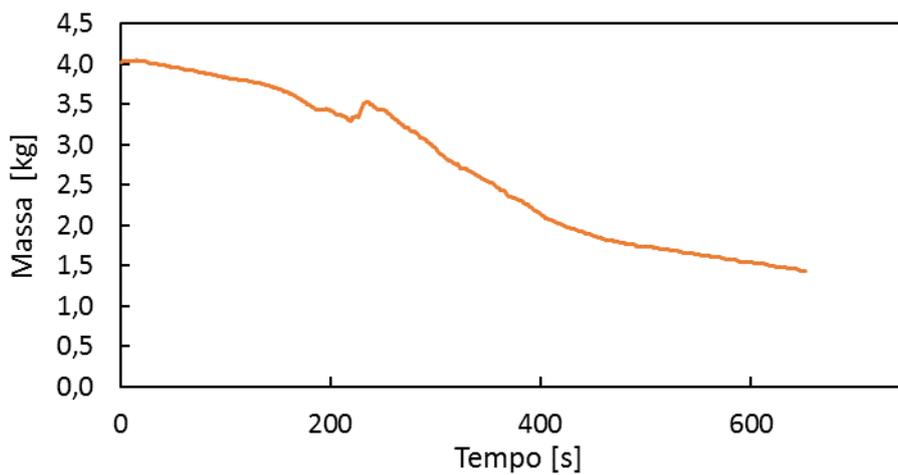


Figura 0.31. Variação de massa no Ensaio 6.

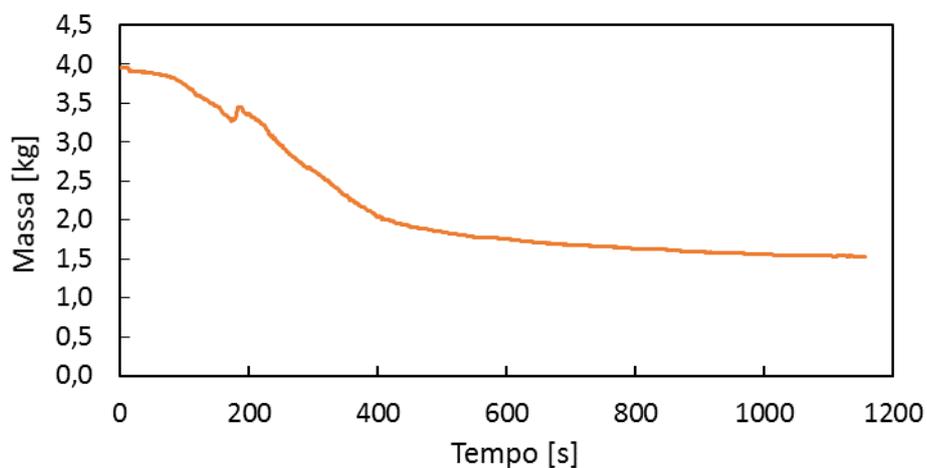


Figura 0.32. Variação de massa no Ensaio 9.

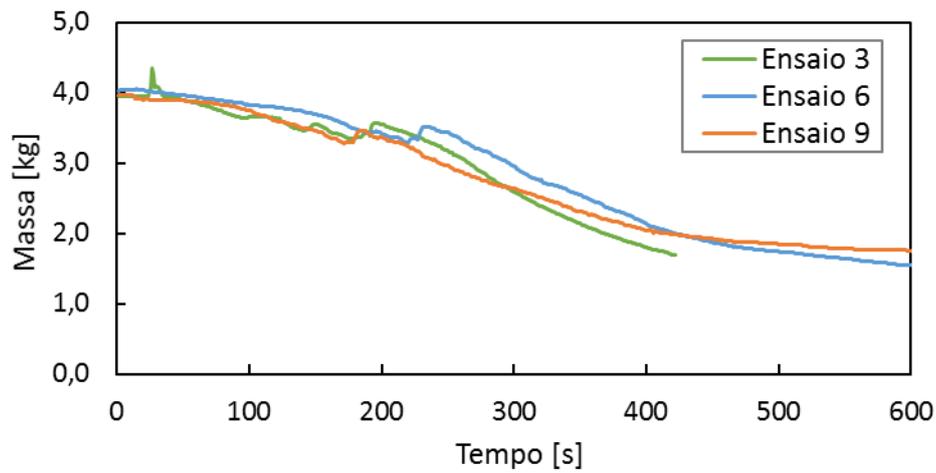


Figura 0.33. Gráfico comparativo da variação de massa nos ensaios com ignição do tipo C.

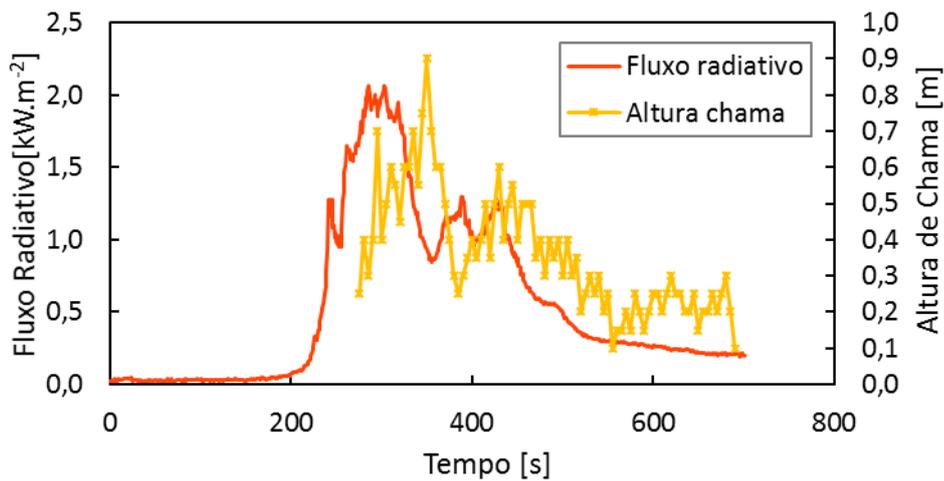


Figura 0.34. Gráfico comparativo do fluxo radiativo e altura de chama no Ensaio 6.

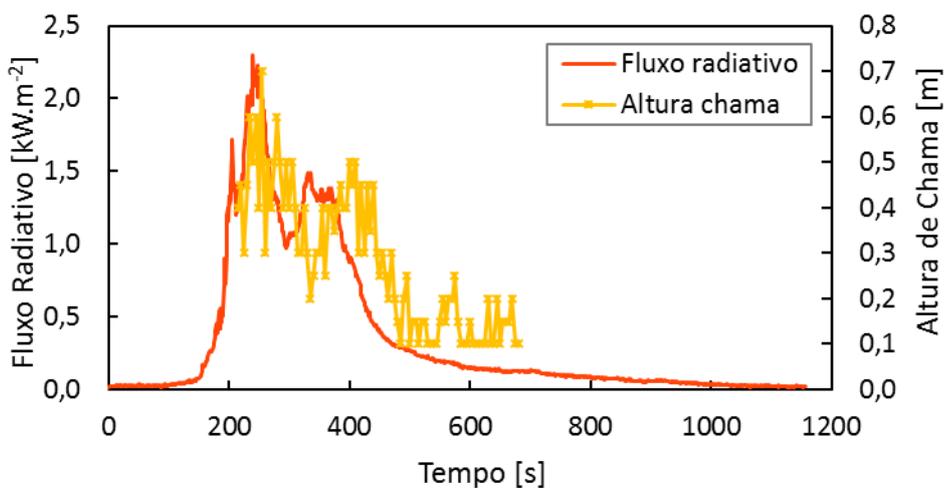


Figura 0.35. Gráfico comparativo do fluxo radiativo e altura de chama no Ensaio 9.

APÊNDICE B

Ensaio das Caravanas

Ensaio 0



Figura 0.1. Fotografias do Ensaio 0 (CEIF/ADAI).

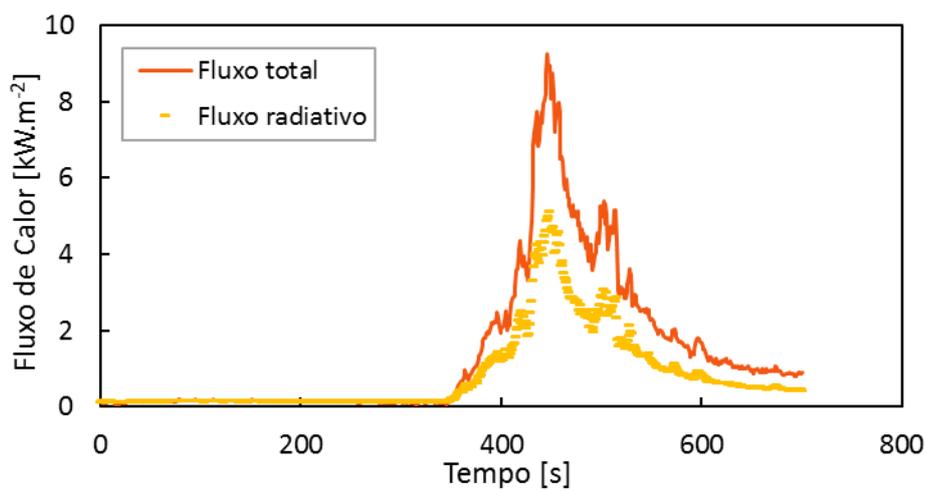


Figura 0.2. Gráfico de fluxo de calor, Ensaio 0

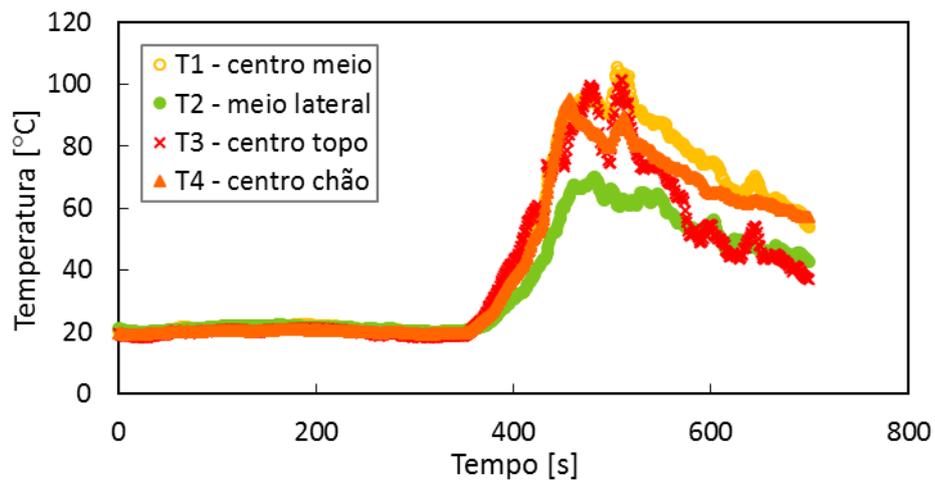


Figura 0.3. Gráfico de temperaturas do exterior da caravana, Ensaio 0.

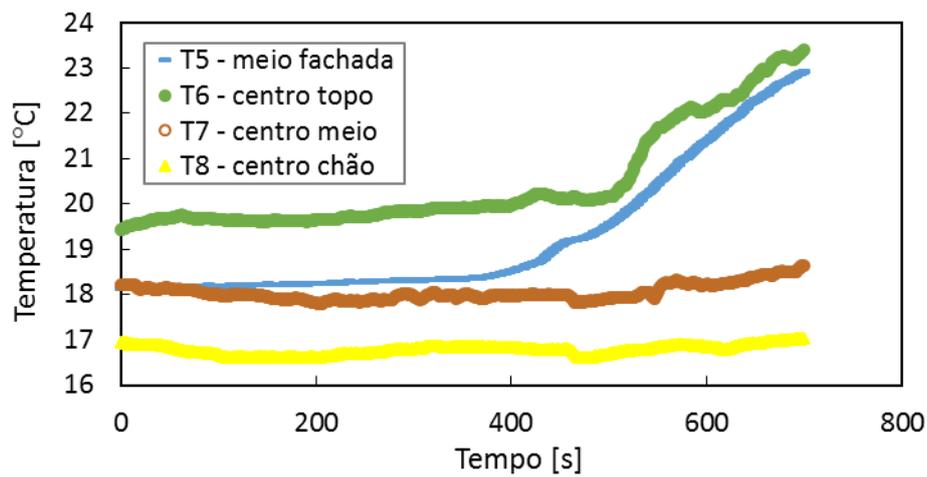


Figura 0.4. Gráfico de temperaturas do interior da caravana, Ensaio 0.

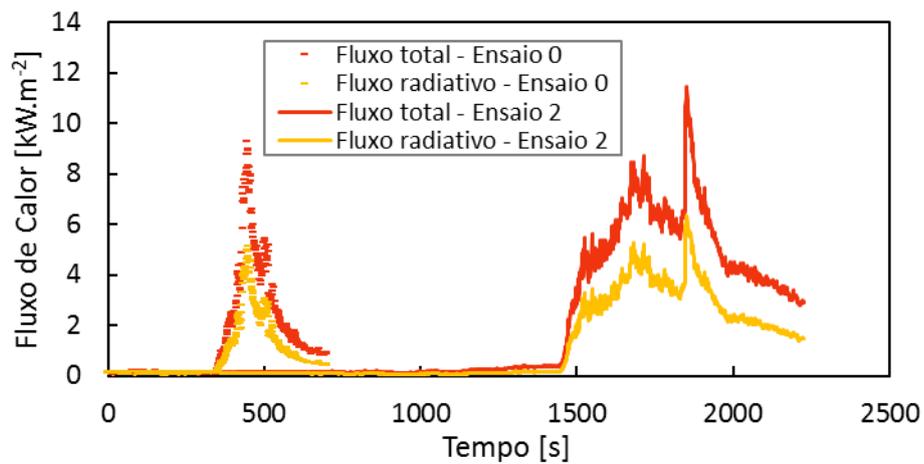


Figura 0.5. Gráfico comparativo do fluxo de calor nos Ensaios 0 e 2.