

• U • C •

FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

Análise de Acidentes com Viaturas. Sistema de Proteção de Autotanques.

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia
Mecânica na Especialidade de Produção e Projeto

Analysis of Accidents Involving Firefighting Vehicles. System of Protection of Firefighting Vehicles.

Autor

Duarte Miguel Carvalho Vale Soares

Orientadores

Domingos Xavier Filomeno Carlos Viegas

Jorge Rafael Nogueira Raposo

Júri

Presidente	Professor Doutor José Manuel Baranda Moreira da Silva Ribeiro Professor Assistente da Universidade de Coimbra
Orientador	Professor Doutor Jorge Rafael Nogueira Raposo Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra
Vogais	Professor Doutor Gilberto Cordeiro Vaz Professor Adjunto do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

Colaboração Institucional



Associação para o
Desenvolvimento da
Aerodinâmica Industrial

Coimbra, Setembro, 2018

Agradecimentos

O percurso académico encerra com a presente dissertação de mestrado. Os desafios e dificuldades encontrados, ao longo dos 5 anos, foram superados graças à colaboração e apoio de diversas pessoas, às quais não poderei deixar de prestar o meu sincero agradecimento. De forma especial, agradeço:

Ao Professor Doutor Xavier Viegas por me proporcionar a oportunidade de fazer a dissertação num tema tão importante e que me é bastante próximo.

Ao Jorge Raposo, por todo o apoio e disponibilidade demonstrado nas diversas fases de execução desta dissertação, bem como pelo bom ambiente criado ao longo destes meses.

Ao Nuno Luís e ao Gonçalo Rosa pela ajuda na preparação dos ensaios, permitindo um melhor funcionamento de todo o processo de trabalho.

Aos meus pais e irmão, por me proporcionarem a oportunidade de realizar todo este percurso académico e também por todo o apoio incondicional e fundamental, demonstrado em todos os momentos.

À minha avó, pela força e carinho demonstrado.

A toda a minha família, que foi um grande suporte, de forma direta e indireta, principalmente ao meu tio que me deu a conhecer a Engenharia Mecânica e ao meu avô por todos os ensinamentos transmitidos, e que certamente estarão orgulhosos por verem concluída esta etapa.

À Ana, pelo grande suporte, afeição, cumplicidade e companhia durante os melhores e os piores momentos, sendo crucial no término desta etapa.

Aos meus amigos por todo apoio e pela grande amizade demonstrada.

Por fim, não poderei esquecer aqueles que foram a grande inspiração para a realização deste trabalho. Um obrigado a todos os Bombeiros, com especial atenção para os Bombeiros Voluntários de Fão, corporação da qual faço, orgulhosamente, parte.

Resumo

Os incêndios florestais (IF) têm provocado, ao longo das últimas décadas, enormes prejuízos económicos, ambientais e sociais havendo a lamentar a perda de centenas de vidas humanas. Para além dos prejuízos referidos, há ainda a registar os danos causados ao nível das viaturas de combate a incêndios e da sua tripulação.

Desta forma, a segurança das populações e bombeiros assume primordial importância, sendo, para tal, necessário investir fortemente na prevenção e, sobretudo na criação de novos equipamentos de proteção individual e conjunta (veículo e ocupantes) bem como no aperfeiçoamento dos já existentes.

Nesta dissertação, pretendeu-se, primeiramente, dar a conhecer alguns acidentes ocorridos com viaturas de combate a incêndios, quer em Portugal, quer no estrangeiro, perante uma frente de fogo. Também, os estudos já realizados sobre esta temática e ainda os sistemas de proteção já existentes nas viaturas de combate a incêndios. Numa segunda fase efetuou-se uma série de ensaios laboratoriais, com a finalidade de se determinar a fiabilidade de um novo sistema de proteção de viaturas. Posteriormente, analisou-se a capacidade de proteção do sistema, dado que estes veículos estão expostos a condições térmicas e de radiação bastante elevadas. Este sistema de proteção consiste na combinação de uma tela resistente ao fogo com um sistema de aspersão de água, pré-instalado na viatura segundo as novas normas de fabrico de viaturas de combate de IF, de forma a reduzir a temperatura interior da cabine, relativamente à exterior, causada pela fonte de fogo. Esta proteção é o resultado de vários trabalhos de investigação e vários testes executados, sendo que se ambiciona alcançar o sistema mais eficiente. Foram também analisados e interpretados os dados obtidos que conduziram às conclusões que serão apresentadas no último capítulo deste trabalho.

Palavras-chave: Sistema de proteção térmica, Segurança em incêndios, Veículos de combate a incêndios florestais, Incêndios rurais, Segurança pessoal, Segurança coletiva.

Abstract

Forest fires have caused enormous economic, environmental and social damages over the last decades, and the death of hundreds human lives. In addition to the above-mentioned losses, there is also a record of the damages caused to the fire-fighting vehicles and their crew. The populations and the firefighter's safety have a huge importance in the fire incidents management nowadays. In order to do this, it is necessary to invest hardly in prevention, and especially in the creation of new individual (firefighter) and collective protection equipment (vehicle and occupants) as well as the improvement of previous failures and accidents.

In this dissertation, first, it was intended to make known some occurred accidents with fire fighting vehicles, at a fire front, in Portugal and abroad the country, in this accidents the leak of protection of the people and of the equipment's was clearly recognized as one of the causes that gave origin to the accidents. In addition, research was done about the studies already carried out on this subject and also the protections systems already existing and installed in fire-fighting vehicles state of the art. In a second phase, a set of laboratory tests were carried out, in order to determine the reliability of a new vehicle protection system proposed by the research center of ADAI. Subsequently, the protection system capacity was analyzed, trough experimental tests performed in the facilities of the laboratory of forest fire research of ADAI, that is equipped with a unique test rig that allows the burning of forest fuels to create a fire front where the vehicles are exposed to very high thermal and radiation conditions. The protection system used consists in the combination of a fire resistant screen with a water spray system, known as sprinklers, in order to reduce the interior temperature of the cabin, relative to the outdoor, produced by a heat source outside. This protection is the result of several research works and several tests performed, aiming to achieve the most efficient system. The data obtained who led to the conclusions that will be present in the last chapter of this work were also analyzed and interpreted.

Keywords Thermal protection system, Forest fires, Firefighting vehicles, Fire security, Individual security, Collective security.

Índice

Índice de Figuras	ix
Índice de Tabelas	xiii
Simbologia e Siglas	xv
Simbologia.....	xv
Siglas	xv
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objetivos.....	1
1.3. Estrutura da tese.....	1
2. ESTADO DA ARTE	3
2.1. Acidentes ocorridos	3
2.2. Estudos efetuados	7
2.3. Sistemas de proteção.....	8
2.3.1. Aspersores (Sprinklers)	9
2.3.2. Cortinas de proteção ao fluxo de calor	10
2.3.3. Canhões de água	10
2.3.4. Thermo-gel	11
2.3.5. Sistema em teste	12
3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL	14
3.1. Sistemas utilizados.....	14
3.1.1. Estrutura de queima	14
3.1.2. Cabine de ensaio	15
3.1.3. Sistemas de medição e processamento de dados	15
3.1.4. Tela de proteção.....	18
3.2. Procedimento dos ensaios	19
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
4.1. Ensaio da série 1- Tipologia C.....	23
4.1.1. Temperaturas registadas	24
4.1.2. Variação da massa do combustível.....	25
4.1.3. Fluxo total, radiativo e convectivo	26
4.1.4. Fluxo de calor e potência libertada.....	27
4.2. Ensaio da série 2	30
4.2.1. Temperaturas registadas	30
4.2.2. Variação da massa de combustível.....	31
4.2.3. Fluxo total, radiativo e convectivo	32
4.2.4. Fluxo total e potência libertada	33
5. CONCLUSÕES e TRABALHOS FUTUROS	36
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

ANEXO A 40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Viatura ardida dos Bombeiros de Miranda do Douro.....	5
Figura 2.2 Acidente que provocou uma vítima mortal (2013).....	6
Figura 2.3 Troço da Estrada Nacional 236-1 (2017).....	7
Figura 2.4 Viatura equipada com sistema de aspersores.....	9
Figura 2.5 Cortina de proteção colocada numa viatura.....	10
Figura 2.6 Sistema de proteção com canhão de água.....	11
Figura 2.7 Aplicação de thermo-gel em viatura.....	12
Figura 3.1 Estrutura de queima (ADAI).....	14
Figura 3.2 Estrutura de queima durante ensaio (ADAI).....	15
Figura 3.3 Cabine utilizada nos ensaios (ADAI).....	15
Figura 3.4 Células de carga usadas nos ensaios (ADAI).....	16
Figura 3.5 Medidor de fluxo (ADAI).....	16
Figura 3.6 Termopares colocados no exterior da cabine (ADAI).....	17
Figura 3.7 Termopares colocados no interior da cabine (ADAI).....	17
Figura 3.8 Medidor de humidade (ADAI).....	18
Figura 3.9 Tela de proteção da cabine (ADAI).....	19
Figura 3.10 Tipologia A.....	19
Figura 3.11 Tipologia B.....	20
Figura 3.12 Tipologia C.....	20
Figura 3.13 Tipologia D.....	20
Figura 3.14 Tipologia E.....	21
Figura 4.1 Realização do ensaio da tipologia C (ADAI).....	23
Figura 4.2 Temperaturas registadas, ensaio S1D03.....	24
Figura 4.3 Variação da massa de combustível, ensaio S1D03.....	25
Figura 4.4 Fluxo total, radiativo e convectivo, ensaio S1D03.....	26
Figura 4.5 Fluxo total e potência libertada, ensaio S1D03.....	27
Figura 4.6 Estado da cabine no final do ensaio de tipologia E (ADAI).....	29
Figura 4.7 Realização do ensaio S2D01 (ADAI).....	30
Figura 4.8 Temperaturas registadas, ensaio S2D01.....	30

Figura 4.9 Variação da massa de combustível, ensaio S2D01.....	31
Figura 4.10 Fluxo total, radiativo e convectivo, ensaio S2D01.....	32
Figura 4.11 Fluxo total e potência libertada, ensaio S2D01.....	33
Figura 0.1 Temperaturas registadas, ensaio S1D01.....	40
Figura 0.2 Variação da massa de combustível, ensaio S1D01.....	40
Figura 0.3 Fluxo total, radiativo e convectivo, ensaio S1D01.....	41
Figura 0.4 Fluxo total e potência libertada, ensaio S1D01.....	41
Figura 0.5 Temperaturas registadas, ensaio S1D02.....	42
Figura 0.6 Variação da massa de combustível, ensaio S1D02.....	42
Figura 0.7 Fluxo total, radiativo e convectivo, ensaio S1D02.....	43
Figura 0.8 Fluxo total e potência libertada, ensaio S1D02.....	43
Figura 0.9 Temperaturas registadas, ensaio S1D04.....	44
Figura 0.10 Variação da massa de combustível, ensaio S1D04.....	44
Figura 0.11 Fluxo total, radiativo e convectivo, ensaio S1D04.....	45
Figura 0.12 Fluxo total e potência libertada, ensaio S1D04.....	45
Figura 0.13 Temperaturas registadas, ensaio S1D05.....	46
Figura 0.14 Variação da massa de combustível, ensaio S1D05.....	46
Figura 0.15 Fluxo total, radiativo e convectivo, ensaio S1D05.....	47
Figura 0.16 Fluxo total e potência libertada, ensaio S1D05.....	47
Figura 0.17 Temperaturas registadas, ensaio S2D02.....	48
Figura 0.18 Variação da massa de combustível, ensaio S2D02.....	48
Figura 0.19 Fluxo total, radiativo e convectivo, ensaio S2D02.....	49
Figura 0.20 Fluxo total e potência libertada, ensaio S2D02.....	49
Figura 0.21 Temperaturas registadas, ensaio S2D03.....	50
Figura 0.22 Variação da massa de combustível, ensaio S2D03.....	50
Figura 0.23 Fluxo total, radiativo e convectivo, ensaio S2D03.....	51
Figura 0.24 Fluxo total e potência libertada, ensaio S2D03.....	51
Figura 0.25 Temperaturas registadas, ensaio S2D04.....	52
Figura 0.26 Variação da massa de combustível, ensaio S2D04.....	52
Figura 0.27 Fluxo total, radiativo e convectivo, ensaio S2D04.....	53
Figura 0.28 Fluxo total e potência libertada, ensaio S2D04.....	53
Figura 0.29 Temperaturas registadas, ensaio S2D05.....	54
Figura 0.30 Variação da massa de combustível, ensaio S2D05.....	54
Figura 0.31 Fluxo total, radiativo e convectivo, ensaio S2D05.....	55

Figura 0.32 Fluxo total e potência libertada, ensaio S2D05..... 55

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 Dados das viaturas afetadas em incêndios no ano de 2017.	4
Tabela 4.1 Valores atingidos nos ensaios da série 1.	28
Tabela 4.2 Valores atingidos nos ensaios da série 2.	34

SIMBOLOGIA E SIGLAS

Simbologia

m_f – Humidade do combustível

HR – Humidade relativa do ar

T – Temperatura

t – Tempo

CR – Coeficiente de redução

Δm – Variação de massa

m_i – Massa inicial

m_f – Massa final

Δt – Intervalo de tempo

Siglas

ADAI – Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial

CEIF – Centro de Estudos sobre Incêndios Florestais

DEM – Departamento de Engenharia Mecânica

FCTUC – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

ICNF – Instituto da Conservação Nacional das Florestas

LEIF – Laboratório de Estudos sobre Incêndios Florestais

NI – National Instruments

VECI – Veículo Especial de Combate a Incêndios

VFCI – Veículo Florestal de Combate a Incêndios

VLCI – Veículo Ligeiro de Combate a Incêndios

VRCI – Veículo Rural de Combate a Incêndios

VUCI – Veículo Urbano de Combate a Incêndios

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

Os fogos florestais não são um problema exclusivo da atualidade. Sempre existiram a nível mundial e mais concretamente a nível nacional.

Ao longo das últimas décadas, Portugal tem sido assolado por um número cada vez maior de incêndios florestais que causaram enormes prejuízos económicos, ambientais e sociais, em muitos casos com consequências dramáticas. Segundo dados do ICNF, só no ano de 2017 arderam, em Portugal, 442.418 hectares, mais do dobro do ano anterior (160.490 hectares). Além da área ardida, este ano ficou marcado pela perda trágica de mais de uma centena de vidas humanas.

Com os fogos florestais a atingirem enormes proporções, é importante repensar a segurança de pessoas e bens. Nesse sentido, surge a necessidade de se investir mais na proteção de pessoas e bens e, no caso dos bombeiros, a necessidade aperfeiçoar os equipamentos de proteção individual e das suas viaturas, tornando-os mais eficazes e resistentes ao fogo.

1.2. Objetivos

A presente dissertação tem como finalidade desenvolver, testar e analisar um sistema de proteção de viaturas de combate a incêndios que apresente maior eficácia do que as já existentes, acrescido de um fácil e rápido acionamento em caso de emergência, perante uma frente de fogo.

Este trabalho consistiu numa série de ensaios com um conjunto de materiais (tela protetora e aspersores), com a finalidade de se testar a capacidade de proteção dos ocupantes da cabine, tendo em conta as temperaturas atingidas.

1.3. Estrutura da tese

Esta dissertação encontra-se dividida em 5 capítulos.

O capítulo 1 faz o enquadramento do tema, expõe os objetivos e a sua metodologia.

O capítulo 2 é dedicado ao estado da arte, onde se expõe os acidentes ocorridos anteriormente e também alguns dos sistemas de proteção de viaturas já existentes.

No capítulo 3 é descrita a metodologia experimental, evidenciando toda a preparação e procedimento dos ensaios.

Já no capítulo 4 apresentam-se os resultados obtidos nos ensaios realizados nas instalações do LEIF tanto no exterior, como no interior.

Por fim, no capítulo 5 são apresentadas as conclusões retiradas de todo o trabalho realizado.

2. ESTADO DA ARTE

2.1. Acidentes ocorridos

Nos últimos anos, vários operacionais foram surpreendidos nas suas viaturas durante o combate a incêndios florestais o que os obrigou a tomar decisões instantâneas sobre as suas melhores chances de sobrevivência: na viatura ou num *fire shelter*.

São conhecidos também vários casos de pessoas (civis) que ficaram encurraladas pelo fogo. Foi o caso recente que se verificou no ano de 2017 em Portugal, havendo a registar mais de uma centena de vítimas mortais.

Ainda no ano de 2017, algumas corporações de bombeiros em Portugal viram os seus meios de combate ou apoio, dizimados pelas chamas. Na Tabela 2.1 é possível verificar as viaturas que foram afetadas em incêndios, neste período de tempo sendo que a maioria dos casos aconteceu no mês de Outubro, uma vez que foi neste período que ocorreram as situações mais gravosas. Nestes dados não se apresentam as ambulâncias destruídas, uma vez que não são meios de combate direto, sendo apenas de socorro ou apoio, não se encontrando maioritariamente expostos. Está também discriminado o estado de destruição, sendo que houve viaturas destruídas na totalidade bem como apenas parcialmente ardidas.

Tabela 2.1 Dados das viaturas afetadas em incêndios no ano de 2017.

Mês	Corporação de Bombeiros	Viatura
Abril	Vol. Mondim de Basto	VLCI
Junho	Vol. Portimão	VFCI
Julho	Vol. Alijó	VRCI
Julho	Vol. Sabugal	VFCI
Agosto	Vol. Ervedosa do Douro	VRCI
Setembro	Vol. Sátão	VECI
Outubro	Vol. Sertã	VFCI
Outubro	Vol. Sertã	VFCI
Outubro	Vol. Leiria	VFCI
Outubro	Mun. Leiria	VFCI
Outubro	Vol. Mira	VFCI
Outubro	Vol. Vila Nova de Poiares	VFCI
Outubro	B. Sapadores Porto	VUCI

Em Portugal, um dos acidentes mais graves ocorreu no concelho de Mortágua a 28 de Fevereiro de 2005 (um dos piores anos a nível de ocorrências de incêndios florestais), neste acidente perderam a vida quatro operacionais de combate que se encontravam no local, havendo o registo de uma viatura queimada (Viegas, 2005).

No ano de 2014, no dia 16 de Julho, deflagrou um incêndio em Macedo de Cavaleiros. Durante o combate foi solicitada a ajuda de várias corporações de bombeiros, estando entre elas a corporação de Miranda do Douro que viria a perder uma viatura (Figura 2.1). De registar que não houve mortos neste incidente (Viegas, 2014).



Figura 2.1 Viatura ardida dos Bombeiros de Miranda do Douro.

Também um pouco por todo o mundo houve acidentes marcantes, tal como descreve Mangan, (1997) e abaixo explicitados, onde é já visível a preocupação com a necessidade de proteção dos operacionais.

Em 1958, no Wandilo Fire na Austrália, 11 bombeiros foram surpreendidos por uma mudança rápida do fogo: três sobreviveram e oito morreram. Dos três sobreviventes, um colocou-se na roda numa estrada arenosa, e os outros dois ficaram na cabine até se ter incendiado.

Em outubro de 1985, três bombeiros do condado de Santa Bárbara abandonaram o veículo de bombeiros quando as luzes e componentes de plástico derreteram e as janelas dianteiras e laterais queimaram com o calor. Eles abrigaram-se em *fire shelters* e sobreviveram sem ferimentos.

Já em 1987, no Crank Firein, na Califórnia do norte, os bombeiros refugiaram-se na cabine do veículo até ao momento em que os componentes de plástico começaram a derreter. Eles abandonaram o abrigo e usaram *fire shelters* como capas protetoras quando fugiram da área ardida.

Em 1990, no Wenatchee Heights Fire, no centro de Washington, o chefe dos bombeiros local tentou escapar da sua viatura, quando o calor se tornou tão intenso que fez explodir o pára-brisas, vendo-se forçado a deixar o veículo e correr entre zonas de chamas, sofrendo queimaduras de terceiro grau em grande parte do seu corpo.

Em 1995, um movimento rápido das chamas, perto de Boise, surpreendeu dois bombeiros voluntários na cabine do veículo. Nenhum bombeiro possuía material de proteção contra incêndio, e ambos morreram no veículo.

Como não são apenas entidades de combate que se encontram sob risco durante um incêndio rural ou florestal, são apresentadas duas situações muito recentes em que a população sucumbiu às chamas.

-Acidente da Queirã (2013):

Neste acidente, que ocorreu no dia 23 de agosto, foi vítima uma pessoa, quando tentava auxiliar uma equipa de sapadores florestais no combate a uma frente de fogo que se propagava numa encosta a meio da qual se tinham posicionado, a qual acabou por escapar ao controle. A manobra de fuga que empreenderam foi dificultada pelo facto de as duas viaturas estarem viradas uma para a outra, sem possibilidade de cruzar, devido à pouca largura da estrada, como é possível verificar na Figura 2.2. As duas viaturas acabaram por ser destruídas pelo fogo e o senhor sofreu lesões graves de que viria a falecer no dia 17 de setembro (Viegas et al., 2013).



Figura 2.2 Acidente que provocou uma vítima mortal (2013).

-Incêndio de Pedrógão Grande (2017):

Na estrada nacional (EN236-1), representada na Figura 2.3, na localidade de Várzeas, várias pessoas ficaram cercadas pelo fogo quando tentavam fugir do mesmo, acabando por sucumbir às chamas. No momento em que as chamas tocaram a estrada nacional, muitos carros arderam devido às altas temperaturas que se faziam sentir. Faleceram neste local cerca de 30 pessoas que ainda tentaram abandonar as viaturas em chamas.



Figura 2.3 Troço da Estrada Nacional 236-1 (2017).

Fica claro que os incêndios são uma potencial fonte de perigo não só para quem combate, mas também para a população em geral, pelo que é necessário estudar e criar sistemas que protejam a vida de todos.

2.2. Estudos efetuados

Vários estudos foram efetuados e desenvolvidas experiências de forma a determinar os possíveis problemas numa emergência, bem como procurar determinar soluções para eliminar ou diminuir as consequências.

As três fases de um incêndio florestal estão identificadas por Knight (2003). Estas são:

1. A fase de aproximação, onde as cargas de radiação do fogo que se aproxima são a principal ameaça;
2. A fase de imersão da chama, onde o calor transferido e a ignição podem ocorrer pelo contacto direto da chama, tanto nos lados barlavento e sotavento como na zona abaixo da viatura de combate;
3. A fase de recuo, onde o incêndio passou a zona da viatura mas permanecem as cargas de calor por radiação;

Após um estudo da *Bush Fire Cooperative Research Centre*- Leonard (2008), utilizando viaturas civis para testar o seu comportamento perante uma frente de fogo foi possível obter os seguintes resultados:

- A forma mais rápida e eficaz de proteção dos gases tóxicos é a utilização de um cobertor de lã (na ausência de proteções para o efeito).

- A aproximação do fogo é maior na frente do carro, em relação à lateral ou traseira do veículo.

- O contacto direto do fogo com o veículo torna praticamente insustentável a permanência dos ocupantes, dentro da viatura. Isto deve-se, principalmente à presença de gases tóxicos em elevada quantidade.

- O design do veículo e os seus materiais constituintes são a razão fundamental para o melhor ou pior resultado.

- A existência de gases tóxicos e a rarefação de oxigénio provocam efeitos psicológicos que podem ser fatais.

Knight, (1988) sugere que a temperatura máxima que permite a sobrevivência humana é de 100°C. Por outro lado, Bond et al., (1986), sugere uma temperatura máxima de 120°C durante 15 minutos de exposição. Quanto mais alta a temperatura, menor será o tempo de permanência com capacidade de sobrevivência.

Beuttner (1950) e Stoll e Greene (1959) descobriram que o limite de dor ocorre quando as temperaturas da pele atingem o intervalo entre 42°C e 45°C. O limiar da dor acontece se o fluxo de sangue na pele se torna incapaz de remover o calor que chega à superfície da pele e se inicia a danificação das células (Knight et al., 2017).

Os ocupantes do veículo têm uma grande influência na temperatura do ar dentro da cabine. Conclui-se que as cabines dos camiões, neste momento, possuem robustez térmica suficiente para prevenir queimaduras em situações básicas. Também o sistema de proteção através de Sprinklers é minimamente eficaz com apoio de um tanque com cerca de 500 litros de água, usando uma cuidadosa utilização do sistema (Knight et al., 2017).

2.3. Sistemas de proteção

Foram já desenvolvidos sistemas que permitem a proteção das viaturas e dos seus ocupantes.

Os pontos sensíveis de uma cabine são os vidros das janelas, pois a falha destes provoca sérios riscos à integridade dos ocupantes e são materiais que permitem a passagem da elevada radiação das chamas. Da mesma forma, também os pneus das viaturas e os plásticos tornam-se perigosos, sendo considerados combustíveis pela facilidade de ignição.

É, então, imprescindível proteger as janelas e portas dos veículos da radiação, bem como arrefecer toda a envolvente da cabine, para que a temperatura interior não seja tão elevada. No corrente momento os sistemas utilizados são:

- Sprinklers (Aspersores)
- Cortinas anti-fogo
- Canhões de água
- Termo gel

Todos estes sistemas apesar de oferecerem alguma segurança, ainda possuem lacunas, como mais adiante se verá, desta forma é urgente criar um sistema mais eficaz, sabendo de antemão que o objetivo é extremamente difícil de atingir.

2.3.1. Aspersores (Sprinklers)

De acordo com a *Home Fire Sprinkler Coalition* a utilização dos sistemas de sprinklers reduzem o risco de morte num incêndio em cerca de 80%.

O funcionamento de um sistema de aspersores é visível na Figura 2.4.

Os aspersores são dispositivos concebidos para reagir a um determinado ativador, por libertação automática de um fluxo de água distribuído nos padrões especificados e em quantidades designadas para as áreas que estão a proteger.

Apesar deste sistema poder ser de certa forma eficaz, apresenta desvantagens, como ser sensível a ventos fortes, que desviam a água das zonas a proteger, depender da integridade da bomba, assim como, depender de uma reserva considerável de água que não poderá ser utilizada no combate ao fogo (Viegas et al., 2011).



Figura 2.4 Viatura equipada com sistema de aspersores.

2.3.2. Cortinas de proteção ao fluxo de calor

As cortinas de proteção, ilustradas na Figura 2.5, são constituídas por um material ignífugo que inibe a passagem de radiação para o interior da cabine através dos vidros.

Testes executados mostram que a utilização de cortinas anti-fogo produzem um ambiente mais seguro na cabine. É necessária extrema atenção à existência de filtros de ar. (*USDA Forest Service Technology and Development Vehicle Burnover Project*)

Na proteção contra o incêndio usa-se a combinação de dois materiais (folha de alumínio e manta de fibra sintética) tendo como princípio a reflexão de radiação. No entanto, também pode resistir-se mais ao calor convectivo devido ao facto de a manta ser embebida em água, que em contacto com calor é absorvido, devido à evaporação da mesma no seu interior (Viegas et al., 2011).

Estes é um sistema bastante eficaz, no entanto não protege toda a cabine, principalmente no exterior, pois permite a ignição de componentes. Tem também o inconveniente de se deteriorarem quando expostas às chamas durante algum tempo, havendo libertação de gases tóxicos prejudiciais para quem se encontra dentro da viatura.



Figura 2.5 Cortina de proteção colocada numa viatura.

2.3.3. Canhões de água

Este é um sistema com um aparelho de combate a incêndios, que pode ser rapidamente e facilmente montado sobre um camião comum. O módulo inclui, geralmente, uma bomba acoplada a um motor para bombear a água. Este sistema permite arremessar água diretamente contra a frente de fogo ou em outra qualquer direção, evitando e

suprimindo o fogo ao mesmo tempo. O sistema modular tem como grande desvantagem o facto de consumir grandes quantidades de água (Viegas et al., 2011).

O canhão de água, ilustrado na Figura 2.6 é um dos sistemas menos eficazes uma vez que está totalmente dependente de grande capacidade de água, bem como de uma rápida intervenção sobre as chamas que cercarem a viatura. Desgastam os operacionais numa altura crítica para a sobrevivência.



Figura 2.6 Sistema de proteção com canhão de água.

2.3.4. Thermo-gel

O *thermo-gel* é um concentrado de gel que, quando adicionado a água, se transforma num gel retardante de fogo, absorvendo-o na superfície onde este é aplicado. Este sistema foi desenvolvido pela empresa *BushFire Defence*.

“Um retardante de fogo é uma substância que é usada para retardar ou parar a propagação do fogo ou reduzir sua intensidade. Os retardadores de fogo estão disponíveis como pó, para serem misturados com água, como espumas de combate ao fogo e gel ignífugo.” (Wikipédia, 2018)

Pode aplicar-se com as mangueiras dos bombeiros ou através dos sistemas de aspersores, fornecendo uma zona isolante entre o fogo e a superfície protegida (neste caso a cabine) (Monteiro (2016)).

O *thermo-Gel* adere a todos os tipos de superfícies, criando uma barreira superior que efetivamente protege por horas. É compatível com o meio ambiente e pode ser usado em todos os tipos de vegetação, uma vez que é um produto não tóxico, o que não põe em causa os ocupantes.

É especialmente especialmente favorável em viaturas que não possuam grande quantidade de água, como é o caso dos veículos ligeiros de combate a incêndios (VLCI), bem como em veículos com função de apoio ao combate ou veículos de civis.



Figura 2.7 Aplicação de thermo-gel em viatura.

2.3.5. Sistema em teste

O objetivo deste trabalho é desenvolver e testar um sistema de proteção que apresente maior eficácia que as restantes, acrescido de um fácil e rápido acionamento em caso de emergência.

Uma forma simples de melhorar a proteção dos veículos passa por aproveitar os pontos positivos dos sistemas já existentes excluindo os menos bons.

Foi este o ponto de partida da equipa da ADAI para o desenvolvimento de um sistema que combina a proteção por sprinklers com as cortinas anti-fogo (refletoras).

A tela foi preparada previamente com as dimensões corretas para proteger a cabine indicada. Em seguida fixou-se esta tela num quadro, também ele fixo ao tejadinho da cabine, podendo ser desenrolada rapidamente.

No trabalho executado anteriormente, por Teixeira (2015), numa dissertação de mestrado, foi usada uma proteção em lã de vidro humedecida no interior, no entanto a proteção cedia às chamas após um contacto prolongado. Contrariamente a essa dissertação, neste caso, optou-se pela utilização de uma tela refletora e ignífuga, não humedecida, apenas com refrigeração no interior.

Foram realizados testes em que se simulou uma frente de fogo real a atingir uma cabine protegida com sprinklers e cortinas anti-fogo. Os testes desenvolvidos foram efetuados no LEIF, na Lousã, quer no exterior como no interior.

3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Para a realização dos ensaios foi colocada uma cabine junto de uma estrutura que simula uma frente de fogo e os sistemas de medição preparados para o processamento dos dados obtidos que serão descritos de seguida.

3.1. Sistemas utilizados

3.1.1. Estrutura de queima

A estrutura de queima existente no LEIF, simula de forma eficaz uma frente de fogo. A estrutura, na Figura 3.1, é inovadora, pois não existe em mais nenhum laboratório a nível mundial, que faça uso de material vegetal combustível para a geração da frente de fogo.

É uma estrutura composta por um conjunto de 20 cestos (10 na parte inferior e 10 na parte superior) que se podem separar, fazendo 5 conjuntos espaçados, o que permite variar o comprimento da frente de fogo. Também possibilita criar frentes com alturas de chamas diferentes, uma vez que permite a queima de combustível na parte superior. Neste caso será usado mato, como ilustrado na Figura 3.2, pois é o principal combustível nos incêndios florestais em Portugal.



Figura 3.1 Estrutura de queima (ADA).



Figura 3.2 Estrutura de queima durante ensaio (ADAI).

3.1.2. Cabine de ensaio

A cabine utilizada para os ensaios, representada na Figura 3.3 foi fornecida pela empresa Jacinto, uma das maiores empresas de carroçamento de veículos de bombeiros. Trata-se de uma cabine que permite a simulação de um veículo de combate a incêndios utilizado pelas diversas entidades envolvidas no teatro de operações. Nos ensaios realizados a cabine encontrou-se sempre sob proteção, quer de sprinklers, quer de tela. Os ensaios foram realizados apenas com uma cabine, para que a análise dos resultados seja mais correta.

Simulando um elemento da tripulação foi colocado na cabine um manequim equipado com um equipamento de proteção individual. Para auxílio à medição dos dados foram-lhe colocados termopares.



Figura 3.3 Cabine utilizada nos ensaios (ADAI).

3.1.3. Sistemas de medição e processamento de dados

Para serem efetuadas as medições e o posterior processamentos dos dados obtidos, foi necessário ter os devidos equipamentos para cada uma dessas variáveis. Assim, apresentam-se, em seguida, os equipamentos utilizados:

- Medição da variação de massa

Para ser executada esta medição foram utilizadas as células de carga (AEP transducers) com resolução 0,5 e carga máxima de 500Kg. Foi colocada uma célula em cada estrutura da simulação de frente de fogo - Figura 3.4 - de modo a analisar os dados obtidos no software *Quick Analyzer*, sendo que a ligação entre o software e as células foi feita por cabos USB. Este software encontra-se disponível nos computadores instalados no LEIF na Lousã.



Figura 3.4 Células de carga usadas nos ensaios (ADAI).

- Medição do fluxo de calor

A medição do fluxo de calor foi executada através de dois medidores de fluxo da marca Vattel, com registo de fluxo total, ângulo de 180° e de fluxo radiativo com ângulo safira de 120°, sendo refrigerado com água. Este medidor, da Figura 3.5, permite obter os valores dos fluxos radiativo e total, que posteriormente foram analisados de maneira a verificar a potência calorífica libertada pelo fogo durante a queima do combustível e que incide na tela. Esta análise pode ser comparada com valores referência já estudados anteriormente por especialistas.



Figura 3.5 Medidor de fluxo (ADAI).

- Medição da temperatura

Para efetuar a medição da temperatura serão utilizados termopares. Estes termopares são do tipo K, embainhados com 0,5mm de diâmetro e um tempo de resposta de 0,2s.

Os termopares permitem a medição das temperaturas e transferem-nas para um computador, mais especificamente no programa da NI, signal express, onde posteriormente são feitos os registos.

A colocação destes termopares encontra-se ilustrada nas Figura 3.6 e Figura 3.7 onde é possível verificar os pontos onde foram colocados os 5 medidores utilizados nos primeiros ensaios, sendo que nos ensaios posteriores não foi utilizado o termopar número 4.



Figura 3.6 Termopares colocados no exterior da cabine (ADAI).



Figura 3.7 Termopares colocados no interior da cabine (ADAI).

- Medição da humidade

O teor de humidade do combustível (mato) é medido para o cálculo do peso do combustível necessário. Para efeitos de controlo, foi determinado através de um analisador de humidade, Figura 3.8, que determina a quantidade de água existente no combustível.

Encontra-se apresentado o cálculo de obtenção do m_f :

$$m_f = \left[\frac{m_i - m_f}{m_i} \right] * 100 \quad (3.1)$$



Figura 3.8 Medidor de humidade (ADA).

- Medição de caudal

O medidor de caudal serviu para controlar a quantidade de água aspergida pelo sistema de sprinklers. Desta forma, foi possível utilizar, de forma correta, o caudal de água pretendido em cada ensaio. A variação de caudal está diretamente ligada com a pressão de funcionamento da bomba elétrica utilizada para bombear a água desde o depósito até ao sistema de aspersores. A pressão desta bomba elétrica variou entre os 5 e os 8 bar.

3.1.4. Tela de proteção

A tela de proteção utilizada, serve para inibir a passagem de radiação das chamas para o interior da cabine. Permite reduzir a quantidade de calor que atravessa para dentro e que aqueceria drasticamente o ar ambiente.

Os componentes que constituem as telas e os limites de temperatura de cada uma estão especificados no artigo Batista et al. (2018) Modelling and testing of fireproof fabric barriers with active water cooling for protection against wild fires.

A tela (TVL 126) tem uma espessura de 0,5 mm e 520 g/m², pelo que se torna um material de uso bastante fácil. Tem temperatura de serviço contínua de 600°C, sendo que

pelos testes efetuados no estudo para o artigo referenciado, a temperatura de falha da tela foi de 927,8°C.



Figura 3.9 Tela de proteção da cabine (ADAI).

3.2. Procedimento dos ensaios

Colocou-se a cabine à distância de 1 ou 2 metros da estrutura de queima de forma a obter resultados mais credíveis. Na cabine são colocados termopares quer no seu interior, quer no seu exterior. Para a simulação de uma frente de fogo, são utilizados apenas os 2 conjuntos de cestos, nos quais são carregados 40 kg de combustível, distribuídos pelo 4 cestos inferiores.

De forma a poder comparar os resultados dos diferentes sistemas de proteção, os ensaios foram realizados segundo diferentes tipologias:

Tipologia A - cabine a 2 metros, com tela e sprinklers com caudal de 60 l/min;

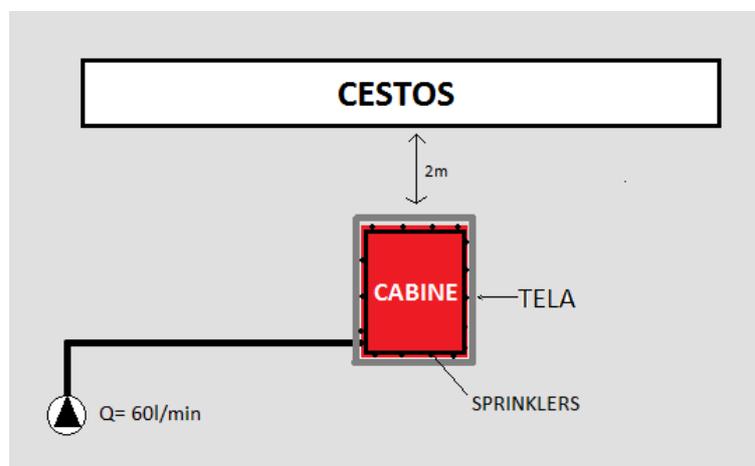


Figura 3.10 Tipologia A.

Tipologia B - cabine a 1 metro, com tela e sprinklers com caudal de 60 l/min;

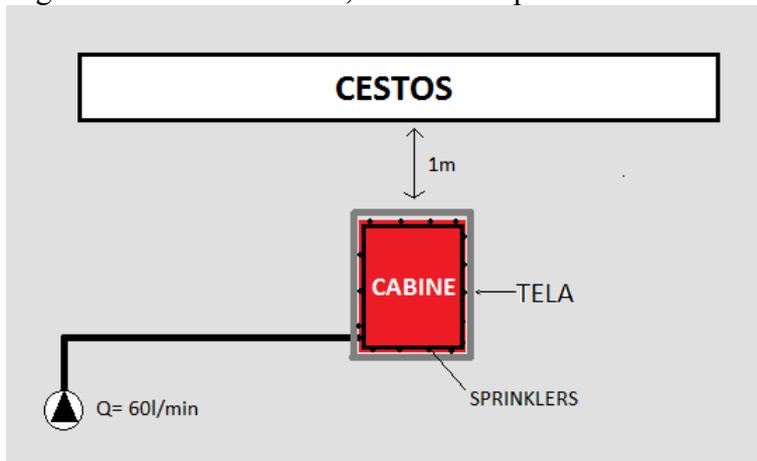


Figura 3.11 Tipologia B.

Tipologia C - cabine a 1 metro, com tela e sprinklers com caudal de 30 l/min;

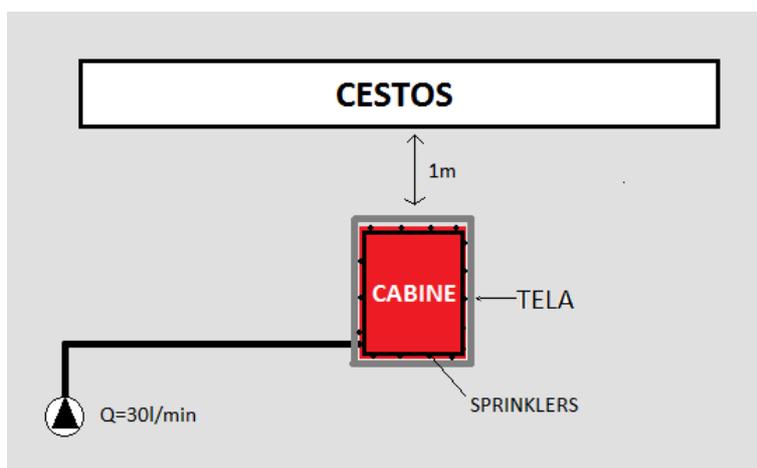


Figura 3.12 Tipologia C.

Tipologia D - cabine a 1 metro, com tela apenas;

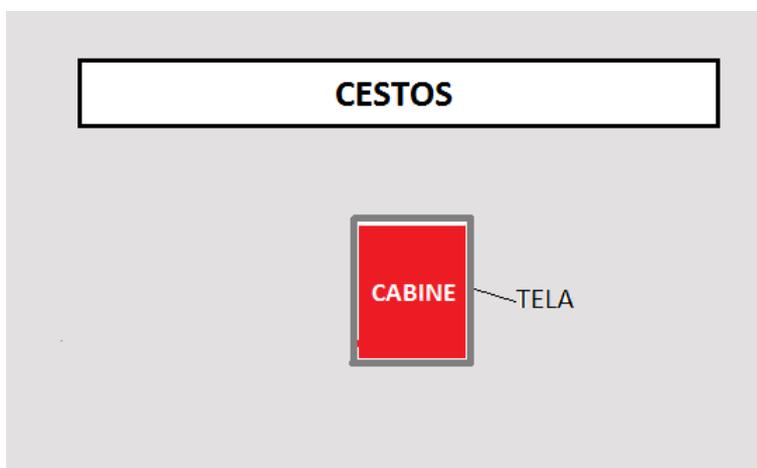


Figura 3.13 Tipologia D.

Tipologia E - cabine a 1 metro, com sprinklers com caudal de 30 l/min;

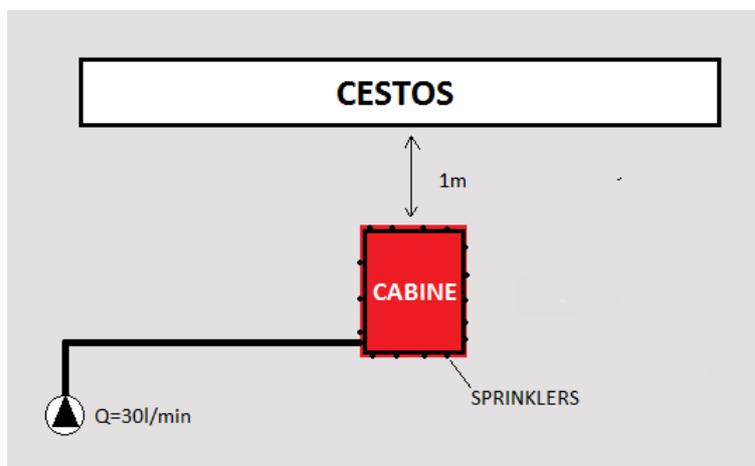


Figura 3.14 Tipologia E.

Os ensaios da primeira série efetuaram-se pela seguinte ordem:

- 1- Tipologia A
- 2- Tipologia B
- 3- Tipologia C
- 4- Tipologia D
- 5- Tipologia E

Numa balança é pesado cada cesto de combustível e num medidor de humidade é analisada uma porção do combustível para se obter o valor da humidade, para corrigir a carga de combustível, de maneira a utilizar sempre a mesma quantidade de combustível seco.

Na realização dos primeiros testes, foram utilizados 5 termopares colocados em pontos diferentes de forma a registarem os valores do local onde se encontram. A colocação foi feita tendo em conta os pontos mais sensíveis e fulcrais para uma análise mais correta, conforme as Figura 3.6 e Figura 3.7.

Posteriormente foram executados mais 5 ensaios, para se retirarem conclusões mais fiáveis. Estes ensaios foram realizados da seguinte forma:

- 1- Tipologia B
- 2- Tipologia C
- 3- Tipologia D
- 4- Tipologia B
- 5- Tipologia C

Nos quatro primeiros ensaios o combustível utilizado foi o mato, na quantidade de 40 Kg. No último foi testado um combustível diferente, neste caso palha, na quantidade de 20 Kg.

De forma a obter-se a potência calorífica libertada procedeu-se ao cálculo pela equação seguinte:

$$P_{libertada} = Q_{comb} * \frac{\Delta m}{\Delta t} \quad (3.2)$$

Sendo, $Q_{comb} = 20MJ/Kg$.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados alguns dos resultados obtidos nos ensaios realizados no LEIF.

Estes dois ensaios ilustrados servem de modelo aos restantes efetuados. Para não se tornar um trabalho repetitivo na análise dos gráficos, apresentam-se os valores obtidos mais elevados, numa tabela e é feita uma análise geral de cada série de testes. Todos os gráficos obtidos, que não se apresentem a seguir, encontram-se no Anexo A.

4.1. Ensaio da série 1- Tipologia C

Proteção de tela e sprinklers (30 l/min) a 1 metro da frente de fogo.



Figura 4.1 Realização do ensaio da tipologia C (ADAI).

4.1.1. Temperaturas registadas

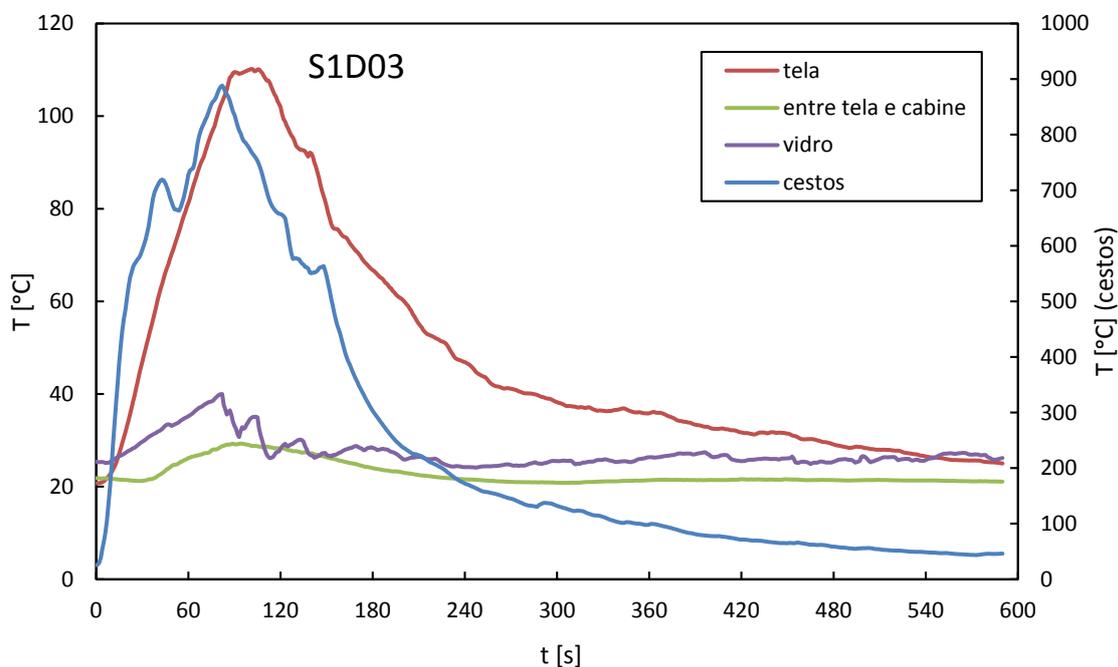


Figura 4.2 Temperaturas registadas, ensaio S1D03.

O gráfico, da Figura 4.2, permite observar que as temperaturas atingidas durante o ensaio efetuado com a tipologia C.

Através dos gráficos de temperatura possível verificar as temperaturas máximas e o momento em que estas ocorreram, mas também proporciona a observação da evolução temporal das temperaturas dos diferentes pontos onde foram colocados os termopares. Desta forma, torna-se mais simples comparar as temperaturas atingidas, entre as diferentes tipologias testadas.

Deve-se referir que em alguns dos gráficos de temperatura não se encontram representados todos os termopares em análise, devido a anomalias que impossibilitaram normal registo de dados. A colocação dos termopares, que aqui apresentam os dados registados, encontra-se ilustrada nas Figura 3.6 e Figura 3.7.

Algumas temperaturas têm maior importância em relação a outras. É essencial verificar a temperatura que a cabine atinge e a relação com a temperatura atingida pela frente de fogo, de maneira a auxiliar a análise da eficácia do sistema. Uma vez que as temperaturas não são um fator suficiente para fazer uma análise credível, é necessário centrar a atenção nos restantes aspetos registados.

4.1.2. Variação da massa do combustível

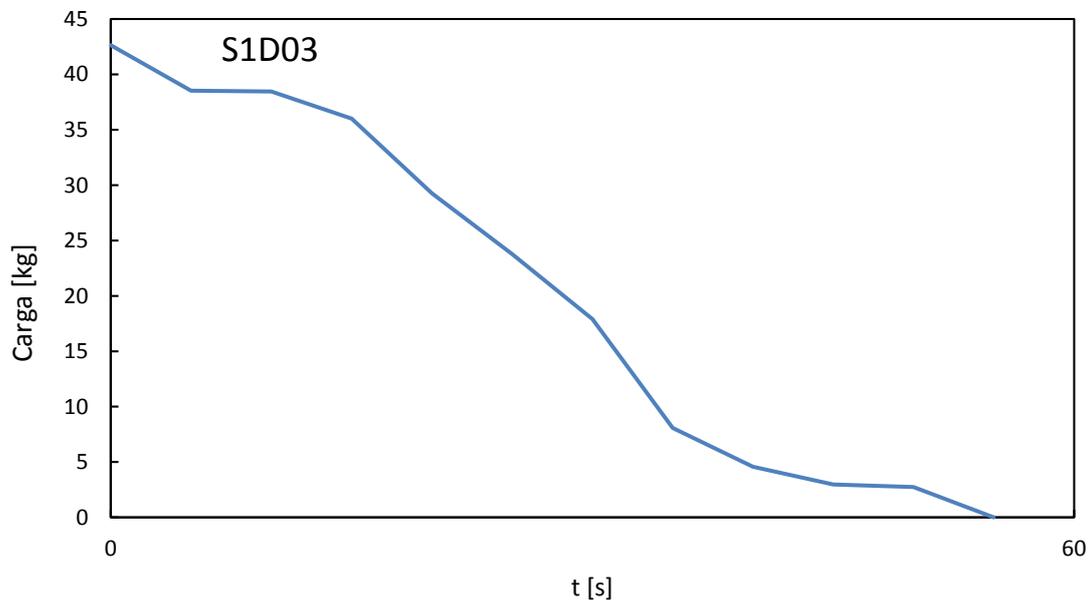


Figura 4.3 Variação da massa de combustível, ensaio S1D03.

A Figura 4.3, apresenta o gráfico da variação de massa do combustível, onde é possível verificar a evolução da massa do combustível que se encontra a arder durante o ensaio. Esta variação está relacionada com a taxa de combustão nos conjuntos de cestos. Uma vez que a carga nos cestos varia de forma semelhante, opta-se por apresentar apenas a variação total, para se obter uma análise mais simples.

O declive observado no gráfico demonstra a taxa de queima do combustível ao longo de todo o ensaio. Quanto maior for o declive, mais intensa será essa queima, logo tornará o ensaio mais rápido, uma vez que o combustível se suprime mais rapidamente. Por vezes, observam-se pequenas oscilações na variação da massa, que provêm da sensibilidade das células de carga e se devem à presença de vento, influenciando a existência de movimento da estrutura de queima.

4.1.3. Fluxo total, radiativo e convectivo

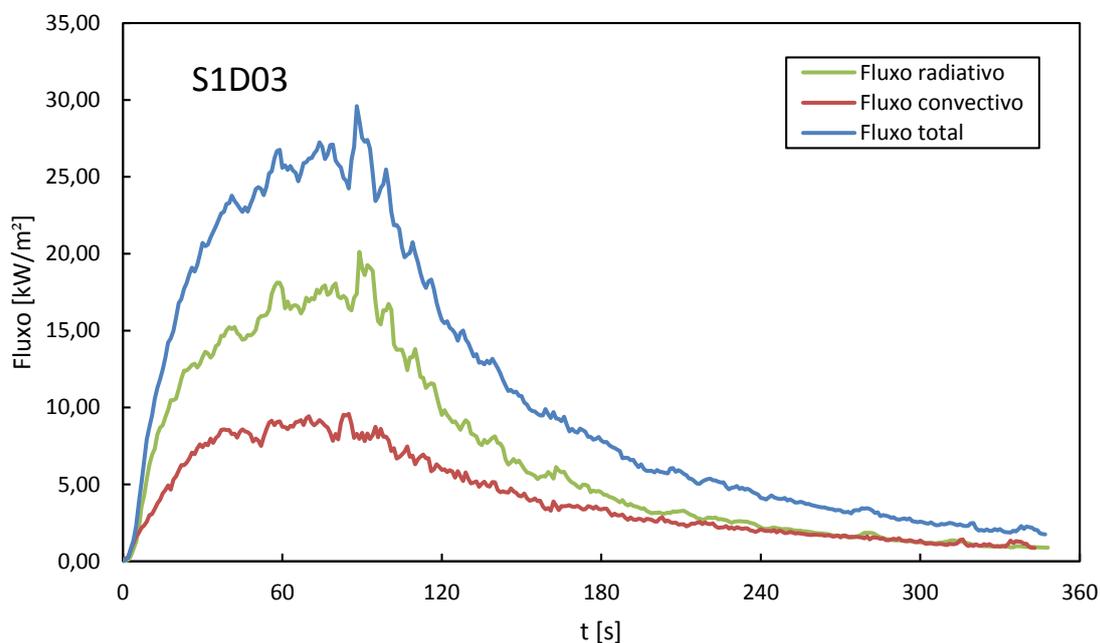


Figura 4.4 Fluxo total, radiativo e convectivo, ensaio S1D03.

Na Figura 4.4 apresentam-se as curvas de valores do fluxo radiativo, fluxo convectivo e do fluxo total que chegam à zona da cabine, provenientes da frente de fogo. Neste caso, a tela é quem recebe os fluxos com maior incidência.

Os fluxos são recebidos, pelo medidor, junto da cabine, portanto, os valores apresentados representam exatamente os valores que atingem a tela, ou a cabine, na ausência de tela. Quanto maior for o calor produzido pelas chamas, maior será o fluxo total recebido na zona de ensaio. É possível verificar a relação existente entre o aumento de temperatura das chamas nos cestos com o aumento do fluxo recebido.

Deve-se referir que o fluxo total representa a soma do fluxo radiativo com o fluxo convectivo. Quando ocorre uma aproximação das chamas aos medidores de fluxo, o fluxo radiativo aumenta significativamente em relação ao convectivo. Por outro lado, quando as chamas se afastam, nota-se um aumento dos valores de fluxo convectivo. Em determinados ensaios foram neutralizados valores de pico anómalos.

4.1.4. Fluxo de calor e potência libertada

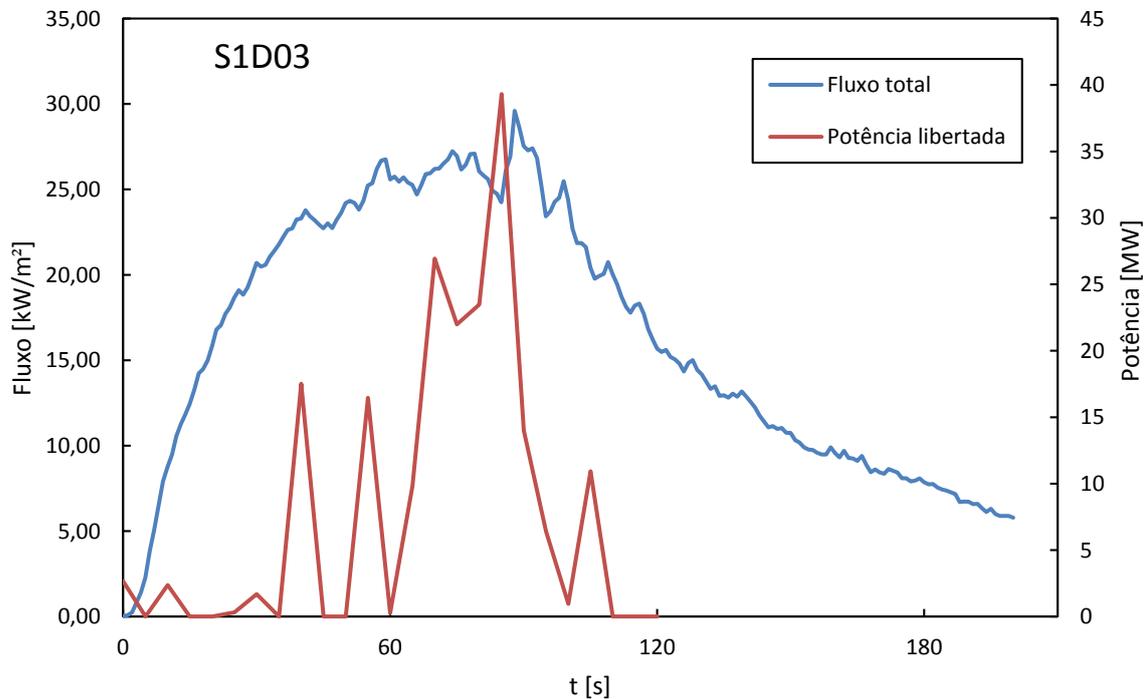


Figura 4.5 Fluxo total e potência libertada, ensaio S1D03.

De forma a relacionar a potência libertada pelo combustível em queima com o fluxo de calor total recebido nos sensores, utiliza-se o gráfico da Figura 4.5 onde se verifica o ponto de maior potência libertada. É notório que o ponto mais elevado de potencia coincide com a zona de valor mais elevado de fluxo. No entanto, grande parte da potência libertada pelo combustível a arder dissipa-se para a zona em redor, logo, a cabine não recebe a totalidade do fluxo de calor, tal como se observa na diferença entre os valores da potência e os do fluxo total recebido. Como é evidente, existe uma separação temporal entre os picos, do fluxo total e da potência libertada, em consequência da distância entre os cestos de queima e a cabine.

Com estes dados consegue-se ter a perceção da intensidade da frente de fogo da simulação, em relação a uma frente real (baixa, moderada, elevada ou extrema).

- Ensaio da série 1:

Nos ensaios da 1ª série a humidade do combustível (m_f) variou entre os 12,5% e os 16%, tendo sido apurado este último valor nos primeiros ensaios.

Na Tabela 4.1 serão apresentados os valores máximos registados nos restantes ensaios, bem como uma breve análise de comparação entre as diferentes tipologias preparadas e testadas nos ensaios da série 1.

Tabela 4.1 Valores atingidos nos ensaios da série 1.

Tipologia	T _{máx} (cestos) [°C]	T _{máx} (exterior) [°C]	T _{máx} (vidro) [°C]	Fluxo total máx [kW/m ²]	Potência máx [MW]	CR [T (vidro)/ T (cestos)]
A	472,64	82,45	34,92	26,63	78,49	0,0739
B	617,01	-	40,36	28,78	25,99	0,0654
C	888,32	110,23	40,00	29,60	39,31	0,0450
D	527,28	164,60	39,18	40,51	47,59	0,0743
E	688,85	161,82	44,44	58,98	68,20	0,0645

Nesta tabela é possível observar aqueles que foram os valores máximos atingidos durante os cinco ensaios diferentes. Os dados de temperatura, fluxo e potência máximos apresentados são os mais relevantes para a análise do comportamento do sistema de proteção. Além disso, foi criado um parâmetro de relação entre as temperaturas máximas atingidas nos cestos e nos vidros, de maneira a tornar visível a redução de temperatura desde os cestos até ao interior da cabine. Pretende-se que este coeficiente apresente os valores mais baixos possíveis, sendo melhor a proteção, quanto mais baixa a relação. O CR foi calculado pela equação aqui apresentada:

$$CR = \frac{T_{\text{máx}}(\text{vidro})}{T_{\text{máx}}(\text{cestos})} \quad (4.1)$$

Assim, constata-se que o coeficiente mais baixo é apresentado pela tipologia C, que utilizou a tela refletora em conjunto com o sistema de aspersores. Neste ensaio, as temperaturas nos cestos da estrutura de queima ultrapassaram os 880°C, porém, essa temperatura elevada não se refletiu no interior da cabine, pois chegou-se a um máximo de apenas 40°C, algo que é perfeitamente tolerável para um humano em boas condições de saúde. Também importa verificar a potência máxima, bem como o fluxo total máximo registados em cada teste. Também nestes, se constata que, o ensaio com a configuração C

possui valores considerados elevados para os parâmetros, como a potência libertada de quase 40MW, que representa um incêndio de intensidade elevada.

Numa análise geral, observa-se que o coeficiente mais elevado foi registado na tipologia D, onde não se utiliza água como arrefecimento, contudo, foi nesse ensaio que se obteve a temperatura mais elevada no exterior da tela, verificando-se uma grande redução desde o exterior até ao interior do sistema. A tipologia E atingiu temperaturas, no manequim, que poriam em causa a segurança e a vida dum ocupante caso se tratasse de uma situação real. Também os danos causados na viatura neste ensaio, visíveis na Figura 4.6, revelam que o sistema de aspersores, por si só, não é total garantia de proteção, algo que já foi observado em trabalhos executados anteriormente.

Os valores alcançados quer de fluxo total, quer de potência libertada encontram-se entre as gamas normais para ensaios de fogo, pelo que se consideram ensaios aceitáveis.



Figura 4.6 Estado da cabine no final do ensaio de tipologia E (ADAI).

Novos ensaios:

Uma vez que estes ensaios efetuados não são suficientes para retirar opiniões totalmente conclusivas, procedeu-se à realização de novos testes, desta vez realizados no interior devido ao perigo de incêndio que se verificava no exterior pelas temperaturas elevadas e baixa humidade relativa (HR). Desta forma, não haverá vento a influenciar o comportamento das chamas, tal como foi desejado na primeira bateria de testes, no exterior.

4.2. Ensaio da série 2

Proteção de tela e sprinklers (60 l/min) a 1 metro da frente de fogo.



Figura 4.7 Realização do ensaio S2D01 (ADAI).

4.2.1. Temperaturas registadas

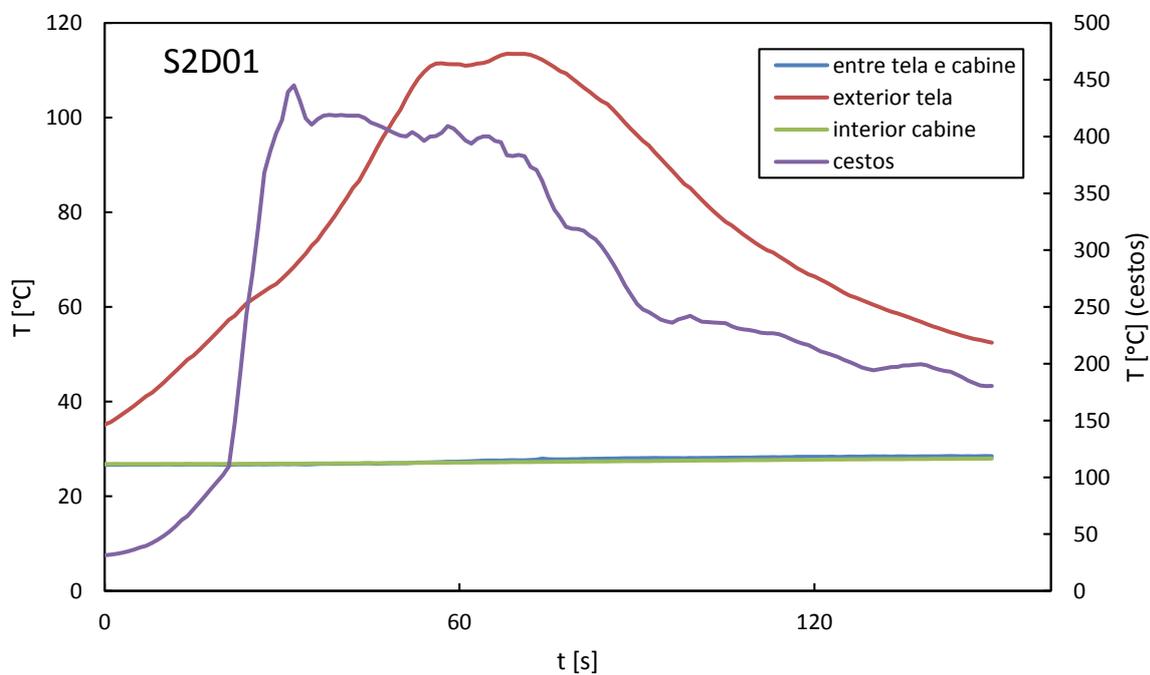


Figura 4.8 Temperaturas registadas, ensaio S2D01.

É possível verificar, na Figura 4.8, que as temperaturas as curvas das temperaturas exteriores ao sistema de proteção seguem um perfil muito semelhante às que

foram registadas nos ensaios da série 1. Por outro lado não há grande variação nas temperaturas que se encontram dentro do sistema, algo que não aconteceu de forma tão vincada, nos anteriores. Regista-se, então uma ligeira diferença no comportamento das curvas de temperatura interiores ao sistema protetor.

Este tipo de gráfico serve de auxílio ao estudo do melhor sistema de proteção, uma vez que as temperaturas atingidas são um dos pontos fundamentais para se perceber a viabilidade de cada tipologia.

4.2.2. Variação da massa de combustível

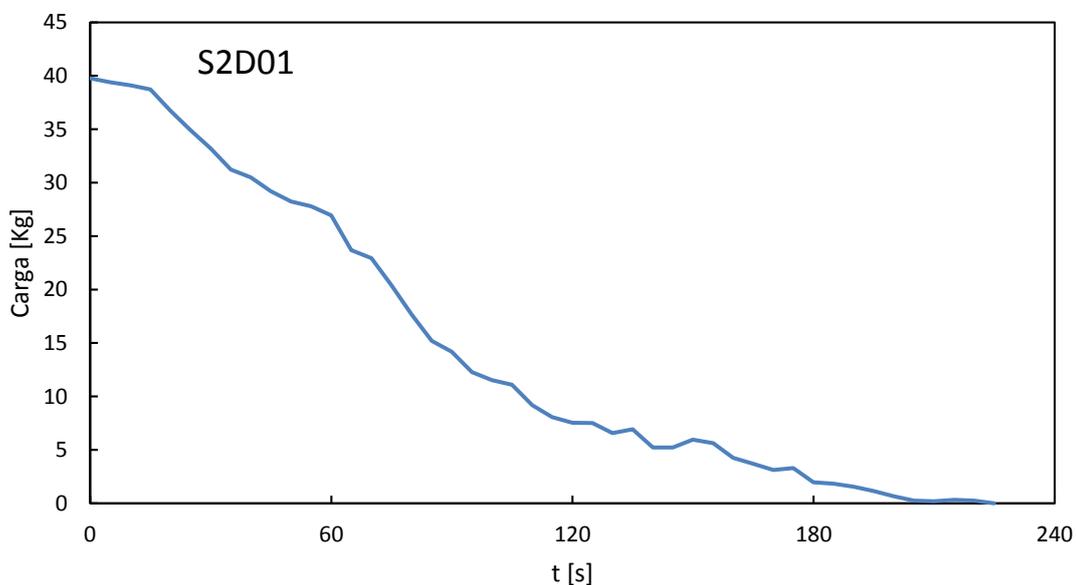


Figura 4.9 Variação da massa de combustível, ensaio S2D01.

O primeiro ensaio desta segunda fase de testes decorreu com uma variação de carga dos cestos praticamente gradual ao longo de toda a queima. A duração do ensaio está diretamente ligada à taxa de combustão do mato inserido na estrutura de queima. Quanto maior a taxa de combustão, mais rápido será o ensaio.

A curva apresentada no gráfico da Figura 4.9, segue a tendência das curvas, de variação da massa de combustível, dos restantes ensaios da 2ª série, havendo apenas as diferenças quanto ao maior ou menor declive em certas fases dos ensaios, havendo tendência para um abrandamento na perda de massa ao longo do tempo, tanto nas fases iniciais, como nas finais.

4.2.3. Fluxo total, radiativo e convectivo

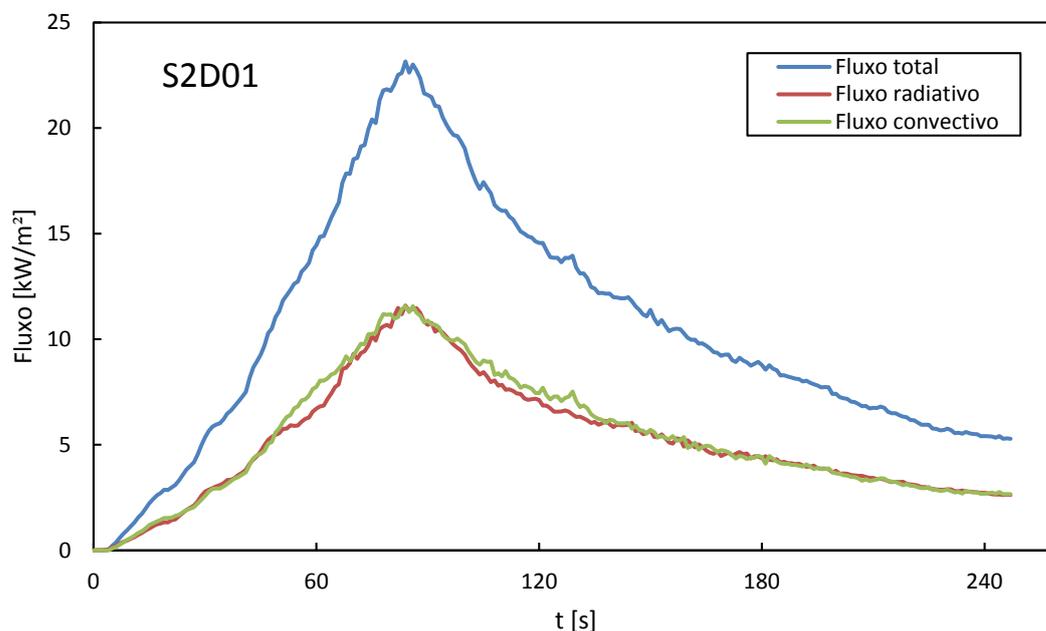


Figura 4.10 Fluxo total, radiativo e convectivo, ensaio S2D01.

No que diz respeito aos valores de fluxos registados, verifica-se a existência das curvas do fluxo radiativo, convectivo e do fluxo total. O fluxo radiativo e o fluxo total são valores fornecidos pelos medidores, sendo que o fluxo convectivo é retirado diretamente do facto do fluxo total ser a soma entre os fluxos convectivo e radiativo.

Nesta segunda bateria de ensaios não houve alterações de aproximação ou afastamento das chamas, pois como os ensaios foram realizados no interior, não havia vento a influenciar os testes. Assim, não há grande diferenciação entre o fluxo convectivo e o fluxo radiativo, como se observa ao longo dos gráficos de fluxo desta série.

A convecção existente nesta simulação deve-se ao afastamento de 1 metro entre as chamas e a cabine, não havendo alterações da orientação das chamas.

4.2.4. Fluxo total e potência libertada

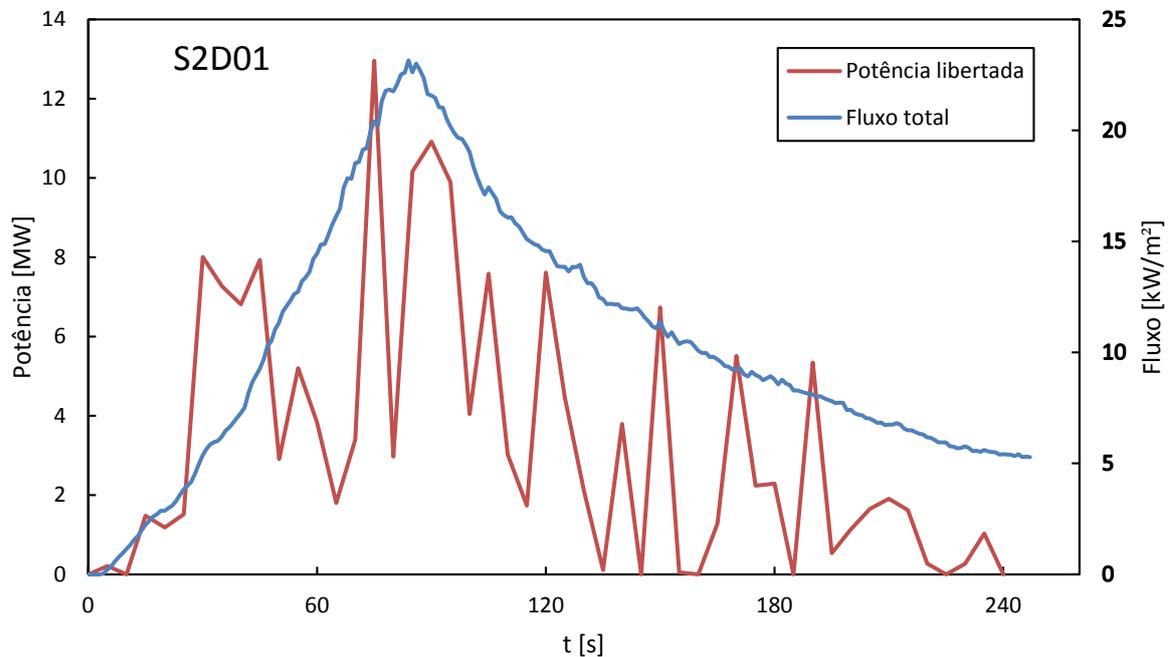


Figura 4.11 Fluxo total e potência libertada, ensaio S2D01.

No gráfico apresentado na Figura 4.11, analisa-se a relação entre a potência libertada pelo combustível a arder e o fluxo total que é recebido pelos sensores de fluxo que se encontra à distância de um metro em relação às chamas. Está posicionado junto da cabine de forma a receber exatamente o mesmo fluxo que é recebido por esta, sendo que na verdade atinge principalmente o sistema de proteção.

O afastamento entre a estrutura de queima e a cabine, cria um ligeiro intervalo de tempo de desfasamento, como é possível notar nos picos atingidos.

Verifica-se também a existência de dissipação de energia para toda a zona envolvente, sendo a potência máxima libertada muito mais elevada que o fluxo total máximo recebido pelos sensores. A intensidade do fogo pode ser avaliada através dos valores máximos de potência libertada na estrutura.

- Ensaio da série 2:

Nos ensaios da 2ª série a humidade do combustível (m_f) variou entre os 7,8% e os 8,2%, tendo sido apurado este último valor no primeiro ensaio. Também a HR foi bastante baixa, situando-se cerca dos 25%.

Na próxima tabela - Tabela 4.2- estarão apresentados os valores máximos atingidos nos 5 ensaios realizados no interior do LEIF, tendo apenas sido usadas 3 tipologias diferentes, como se pode observar. Como para a tipologia B e C foram feitos 2 ensaios, é possível verificar os valores obtidos em cada.

Tabela 4.2 Valores atingidos nos ensaios da série 2.

Tipologia	T_{máx} (cestos) [°C]	T_{máx} (exterior) [°C]	T_{máx} (vidro) [°C]	Fluxo total máx [kW/m²]	Potência máx [MW]	Coefficiente [T (vidro)/ T (cestos)]
B	445,18	113,48	28,19	23,01	12,96	0,0633
	443,17	113,52	31,97	23,10	12,96	0,0721
C	782,52	109,02	28,78	22,15	18,64	0,0368
	499,53	66,13	29,73	8,23	32,93	0,0595
D	642,	187,11	31,19	28,08	19,67	0,0397

Os ensaios da 2ª série foram realizados com apenas 3 tipologias, uma vez que a tipologia E foi descartada, por razões explicadas anteriormente, e a tipologia A não permitia uma análise em condições tão gravosas como nas restantes.

Sendo assim, de forma a clarificar os resultados optou-se por repetir 2 tipologias, que apenas se diferenciam no caudal de água aspergida.

Mais uma vez, ficou demonstrado que a tipologia C resultados mais satisfatórios, como se verifica na Tabela 4.2, pelo baixo coeficiente atingido em ambos os ensaios desta configuração. Verifica-se, ainda, que as potências libertadas pelo combustível a arder apresentam valores menos elevados em relação aos ensaios exteriores. No entanto, para a configuração C a potência indica um fogo de intensidade moderada e elevada, para os primeiro e segundo ensaios, respetivamente.

Deve-se salientar que a tipologia D, na qual não se faz uso do sistema de aspersores, obteve melhores resultados em relação a uma quantidade elevada de água aspergida sob a tela, caso da configuração B, tendo melhor coeficiente e sendo os fluxos e a potência mais elevadas.

O segundo ensaio da configuração C foi realizado com um combustível diferente, razão pela qual se constata valores díspares de fluxo total, de potência libertada

e até da temperatura no exterior da tela, em relação a todos os restantes ensaios realizados no interior do LEIF.

A gama de temperaturas apresentadas correspondem a valores aceitáveis em ensaios deste género, bem como o intervalo de valores de fluxo total máximo, situado entre os 8 e os 28kW/m². Quanto à potência máxima libertada nas chamas, entre os 12 e os 33MW, correspondem a valores de intensidade moderada e elevada da frente de fogo, segundo Alexander e Lanoville (1989), confirmando a exigência imposta ao sistema de proteção ao longo dos ensaios.

5. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Ao longo desta dissertação procurou-se determinar a capacidade de proteção e resistência ao fogo por parte de um sistema inovador de proteção em veículos de combate a incêndios. Para esse efeito, inicialmente, fez-se a pesquisa de alguns acidentes ocorridos no passado e também de estudos já efetuados sobre esta temática, de forma a perceber quais os pontos críticos dos autotanques, bem como os sistemas protetores que existem atualmente.

Numa segunda fase, procedeu-se à preparação e execução dos ensaios. Estes ensaios realizaram-se no LEIF, onde estão reunidas condições para um estudo aprofundado de incêndios florestais e suas consequências. Foi utilizada uma cabine de um autotanque para simular o veículo. A fase de preparação dos ensaios foi morosa, um pouco por consequência da utilização de instrumentação desconhecida até então. A tela utilizada, foi aquela que apresentou melhores resultados no total do conjuntos de testes, com e sem água, executados por investigadores da ADAI.

A etapa da realização dos ensaios dividiu-se em duas séries de testes. A primeira série de ensaios foi executada no exterior do laboratório, estando a estrutura de queima e consequentemente o combustível sujeitos às condições atmosféricas existentes no momento de cada ensaio. Por outro lado, a segunda série de teste foi realizada no interior do laboratório, o que permite controlar alguns fatores como o vento ou a temperatura do ar.

Os ensaios foram feitos variando o sistema de proteção da cabine, de forma a determinar o melhor modo de proteger o veículo e os seus ocupantes. Desta forma, foram testados vários sistemas, nomeadamente a proteção de conjunto de uma tela protetora combinado com a atuação de aspersores de água utilizando caudais diferenciados em cada teste (30l/min e 60l/min), mas também a atuação isolada da tela e do sistema de aspersores.

Uma das dificuldades sentidas foi o facto de nunca se conseguir uma repetição exata dos ensaios. Cada ensaio é único nas suas intensidades e temperaturas, não sendo possível reproduzir, novamente, com exatidão. Assim, todos os testes efetuados foram alvo de uma preparação bastante cuidada, no entanto não impediu a ocorrência de falhas, que prejudicam a normal recolha de dados.

Contudo, os dados obtidos nos ensaios experimentais foram analisados posteriormente tendo-se observado os seguintes indicadores:

- O sistema de proteção de aspersores, além de utilizar um caudal elevado de água, é suscetível ao vento e a aproximação das chamas faz evaporar grande parte da água que deve cobrir a cabine. Por estes factos é um sistema rejeitado na forma de atuação independente.
- A atuação solitária da tela como proteção da cabine é eficaz, no entanto poderá ser menos resistente com o passar do tempo de exposição às chamas.
- O sistema conjunto de aspersores com a tela obteve resultados bastante satisfatórios, mas não foi notória uma vantagem do caudal de água mais elevado, de 60l/min, para o menos elevado, de 30l/min. Sendo assim, crê-se que, um caudal com cerca de 30 litros por minuto, seja suficiente para o sistema de proteção permitindo uma aspersão de água durante mais tempo.
- Aproveitando o facto de terem sido feitos ensaios no exterior e no interior, verifica-se que o comportamento do sistema foi melhor nos ensaios executados no interior do laboratório. Este facto pode dever-se à influência do vento, pelo que se exige que o sistema não seja vulnerável neste fator.

Como trabalhos futuros será necessário criar um sistema de fácil acionamento que assegure a execução num caso de emergência. Seria também vantajoso garantir que a existência de vento não influencia a eficiência do sistema de proteção, pelo que seria útil garantir uma total cobertura por parte da tela.

Deve salientar-se que para o ótimo funcionamento do sistema protetor e garantir a sobrevivência de todos os ocupantes de um veículo cercado pelas chamas, não deve ser descurada toda a segurança que se toma já como garantida, nomeadamente a utilização do equipamento de proteção individual, o uso de sistemas de pressurização de ar na cabine e também a não utilização de materiais facilmente inflamáveis no interior da viatura.

A segurança de todos os elementos envolvidos num incêndio é de extrema importância e deve ter-se sempre presente o perigo que representa a aproximação das chamas. Apesar do estudo que tem vindo a ser feito ao longo dos anos, e sendo este tópico de difícil e demorado estudo, existe a necessidade de se continuar a investigação da segurança.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alexander, M.E. e Lanoville, R.A. (1989) “Predicting fire behavior in the black spruce-lichen woodland fuel type of western and northern Canada.” [Diário] // Can., North. Cent. edmonton, Alberta, and Gov. Northwest territ., Dep. Renewable Ressor., Terri. FireCent., FortSmith, Northwest Territories. – Canada.
- Batista, R. et al. (2018) “Modelling and testing of fireproof fabric barriers with active water cooling for protection against wild fires de 2018”.
- Bond, A. and Cheney N.P., (1986). A Discussion Paper on techniques and Equipment For Bush Firefighters Entrapped by Fire. CSIRO, National Bushfire Research Unit, Canberra, Australia.
- Buettner, K. (1950) “Effects of extreme heat on man”, JAMA, 144(9):732-738.
- ICNF, (2016) “Incêndios florestais 2016”, Em: <http://www2.icnf.pt/portal/florestas/dfci/relat/rel-if/2016>.
- ICNF, (2017) “Incêndios florestais 2017”, Em: <http://www2.icnf.pt/portal/florestas/dfci/relat/rel-if/2017>.
- Knight, I (1988) “What Intensity of Fire Can a Fire Fighter Survive in a Reflective Shelter”. Em: Knight, I. (eds.) Fire Technology, Springer, 24, 312-332.
- Knight, I. (2003) “Definition of Bushfire Burnover Conditions” [Relatório].
- Knight, I. et al. (2015) “Thermal Factors for Human Survival in Fire Tanker Burn-overs”, Em: https://www.researchgate.net/publication/267430045_Thermal_Factors_for_Human_Survival_in_Fire_Tanker_Burn-overs.
- Leonard, J. (2008) “Cars put to the test in bushfire conditions- Bushfire CRC” *Fire Australia magazine*.
- Mangan, R. (1997) “Surviving fire entrapments”, University of Minnesota Publications Library, Minnesota.
- Monteiro, N. (2016) “Estudo de Sistemas de Proteção de Tripulações de Veículos de Combate a Incêndios Florestais”. Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica na especialidade de Energia e Ambiente, Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Retardante de fogo, in Wikipedia, acessado a 10 de março de 2018, em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Retardante_de_chamas.
- Teixeira, J. (2015) “Segurança de Veículos em Incêndios Florestais”. Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica na especialidade de Energia e Ambiente, Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra.

- Viegas D.X. et al. (2005) “Estudo do acidente ocorrido no Concelho de Mortágua” - 28 de Fevereiro de 2005 [Relatório]. - Coimbra : ADAI-CEIF.
- Viegas D.X. et al., (2011) ”Incêndios Florestais” Verlag Dashofer, Lisboa, Vol. I.
- Viegas D.X., (2014) “Nota Técnica Sobre o Acidente de Macedo de Cavaleiros” - 26 de Agosto [Relatório]. - Coimbra : ADAI – CEIF.
- Viegas, D.X. et al. (2013) “Os grandes incêndios florestais e os acidentes mortais ocorridos em 2013” – Dezembro [Relatório]. - Coimbra : ADAI/LAETA.

ANEXO A

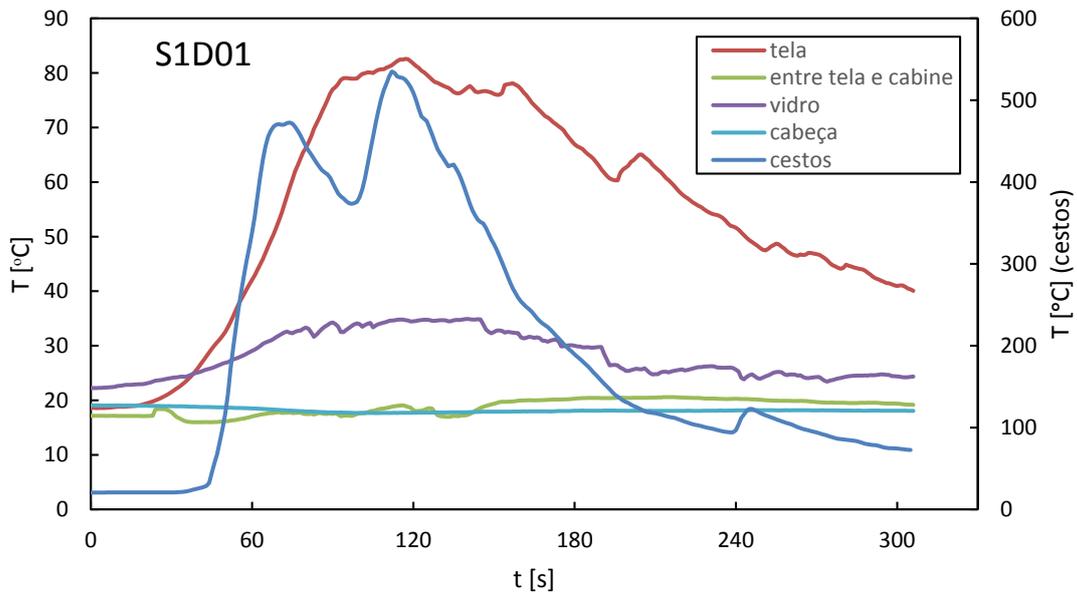


Figura 0.1 Temperaturas registradas, ensaio S1D01.

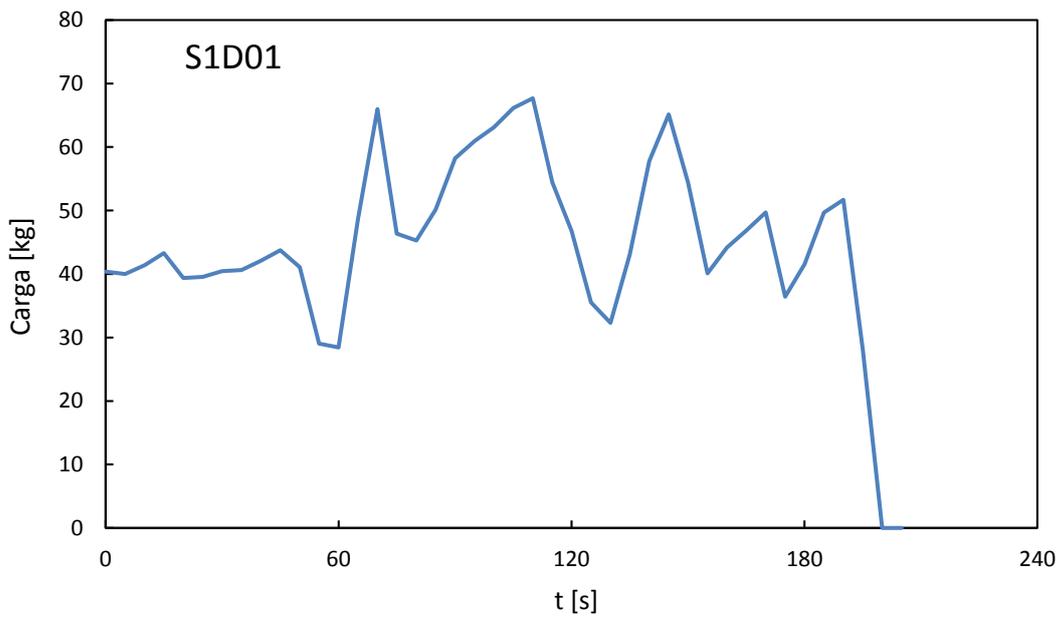


Figura 0.2 Variação da massa de combustível, ensaio S1D01.

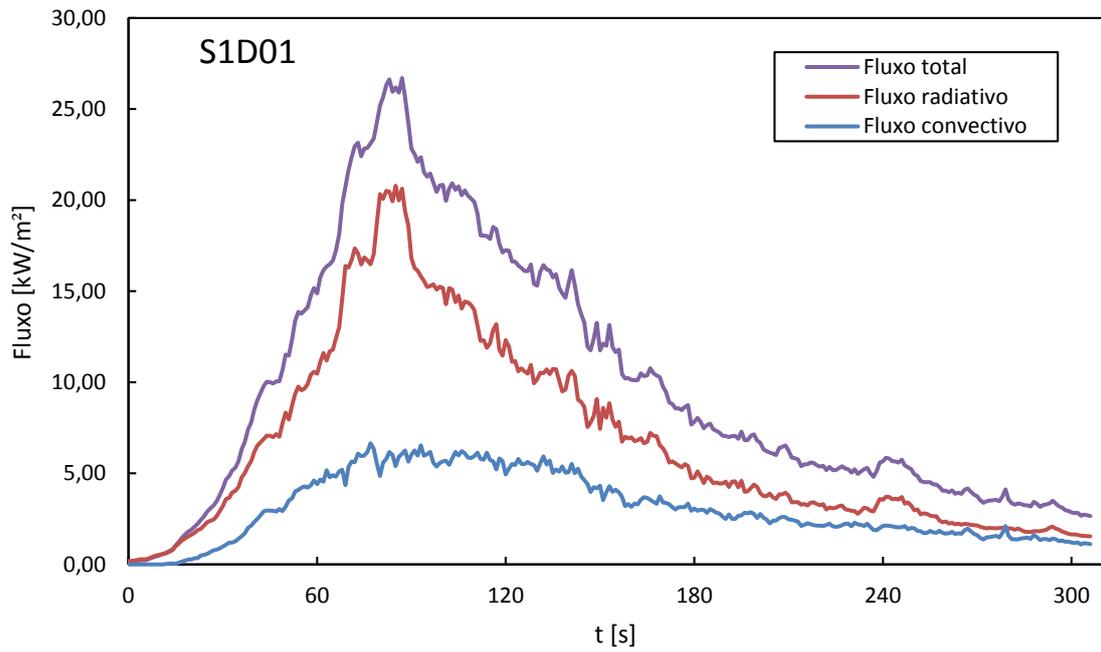


Figura 0.3 Fluxo total, radiativo e convectivo, ensaio S1D01.

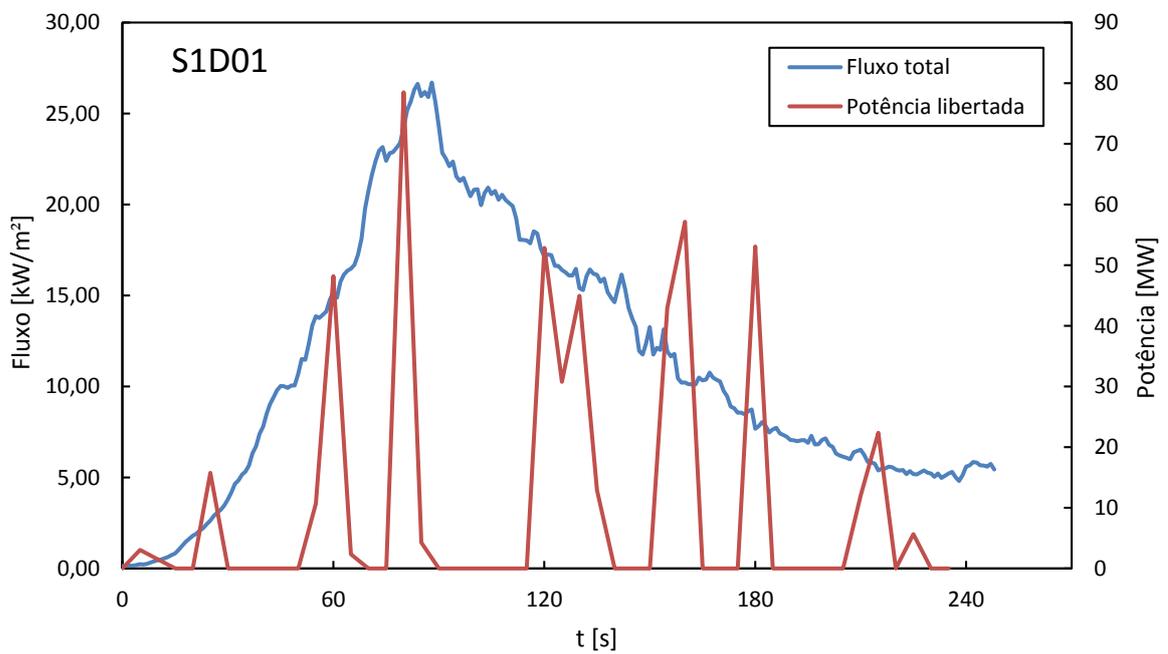


Figura 0.4 Fluxo total e potência libertada, ensaio S1D01.

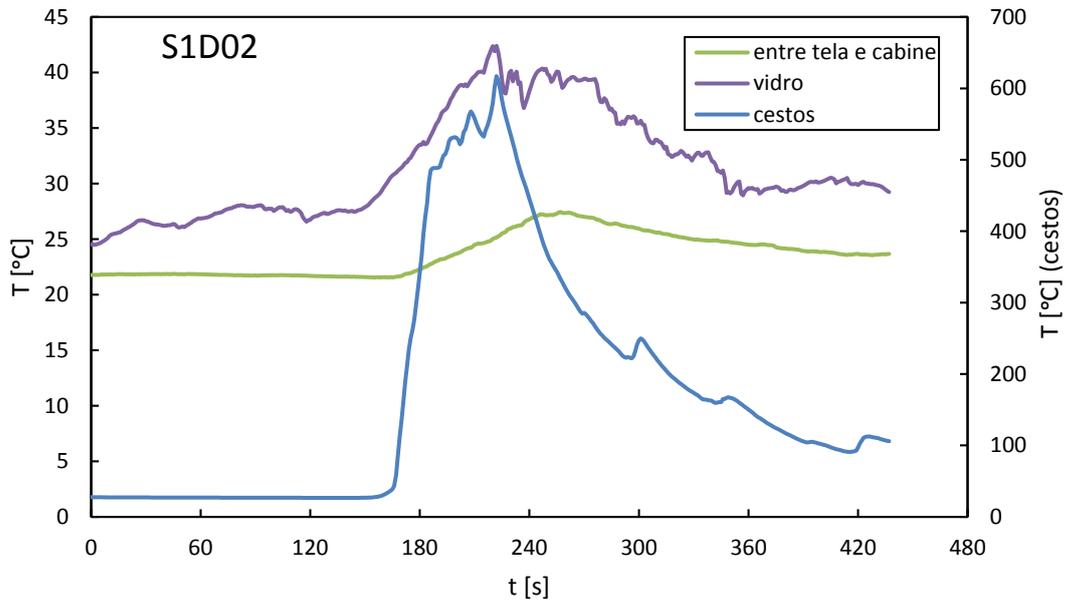


Figura 0.5 Temperaturas registadas, ensaio S1D02.

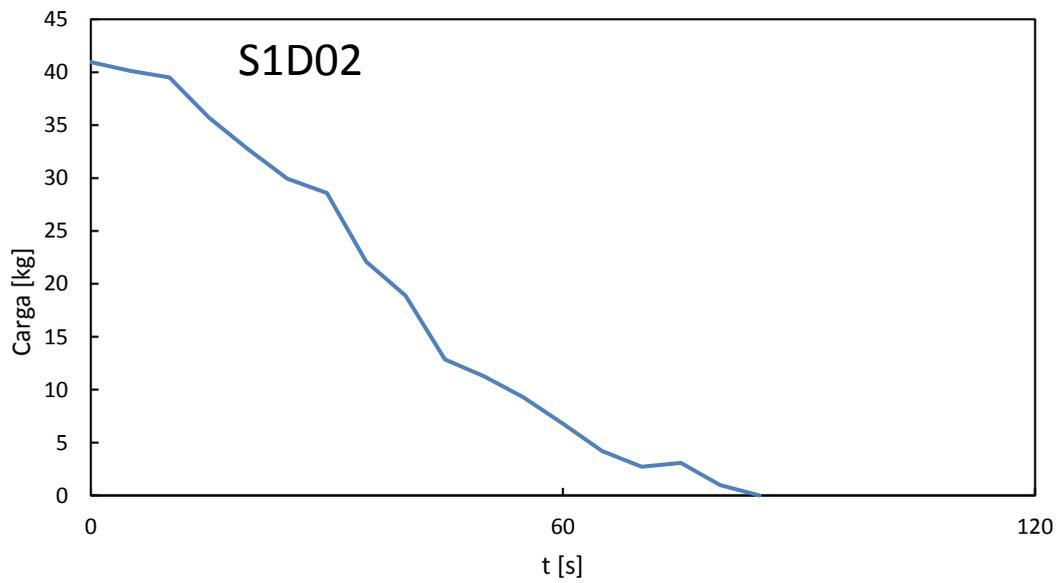


Figura 0.6 Variação da massa de combustível, ensaio S1D02.

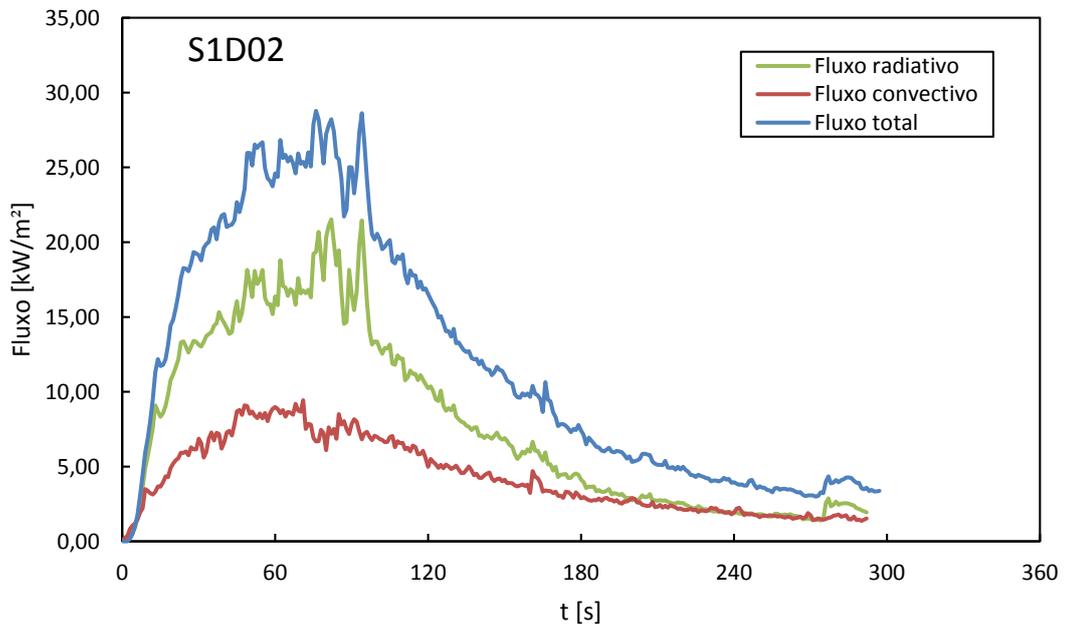


Figura 0.7 Fluxo total, radiativo e convectivo, ensaio S1D02.

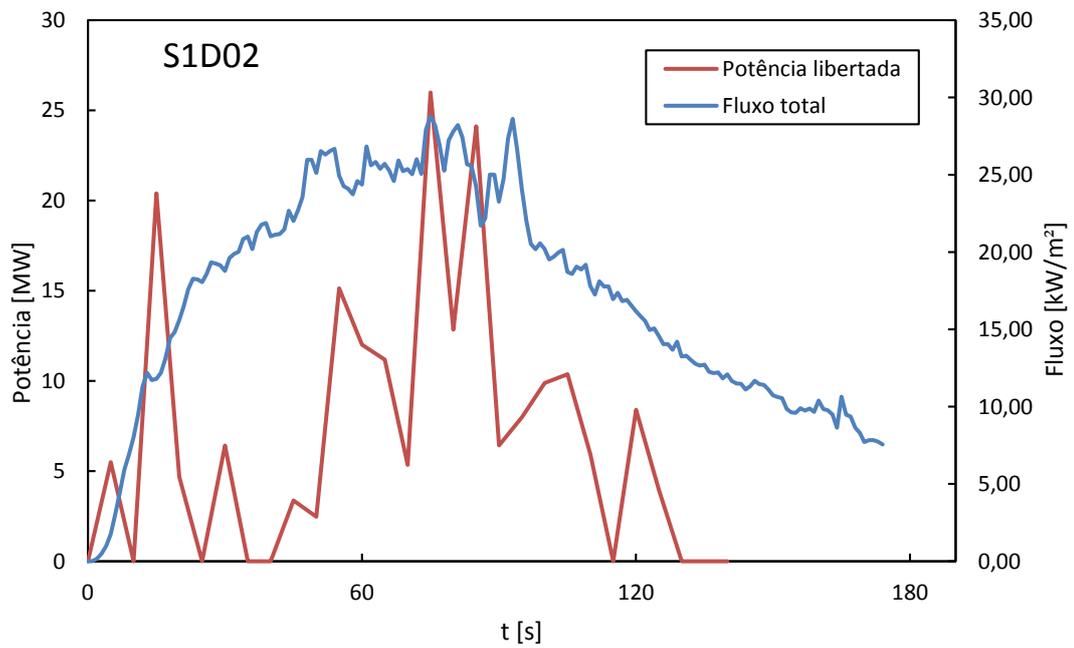


Figura 0.8 Fluxo total e potência libertada, ensaio S1D02.

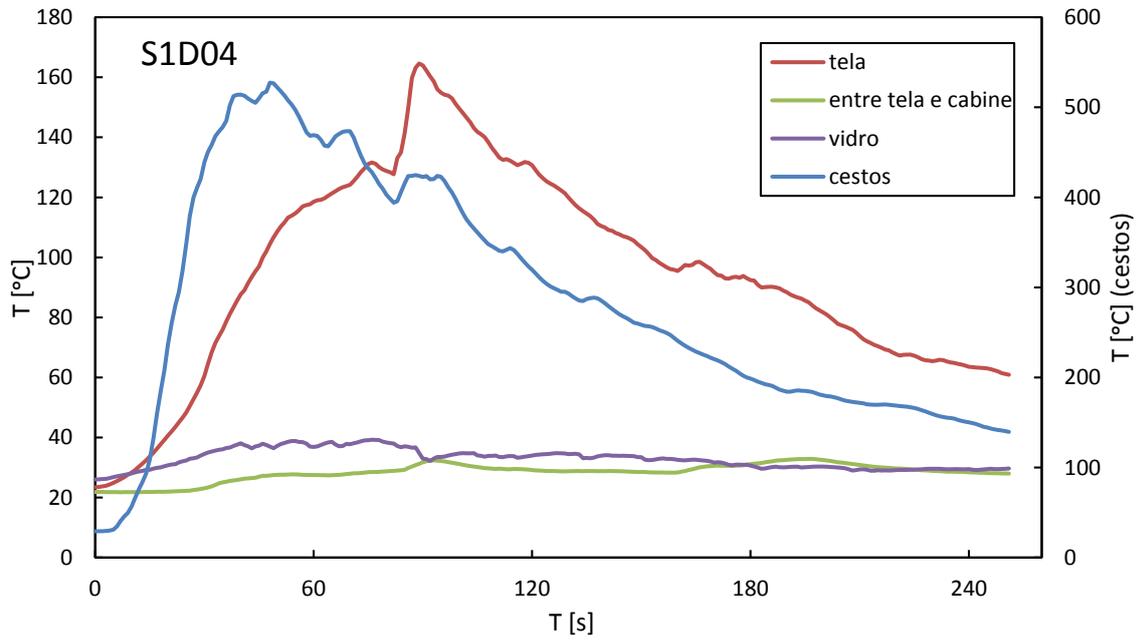


Figura 0.9 Temperaturas registadas, ensaio S1D04.

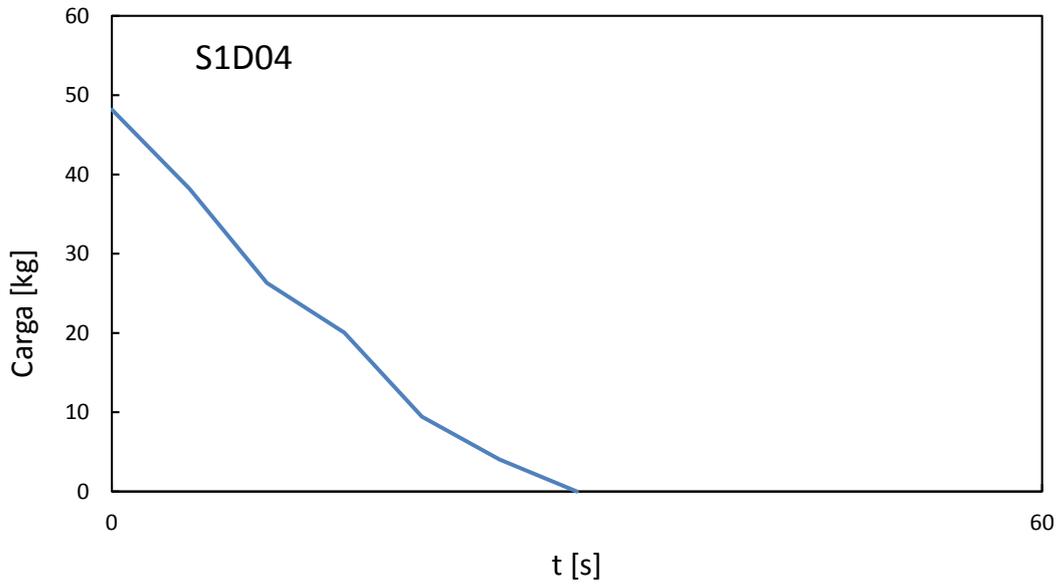


Figura 0.10 Variação da massa de combustível, ensaio S1D04.

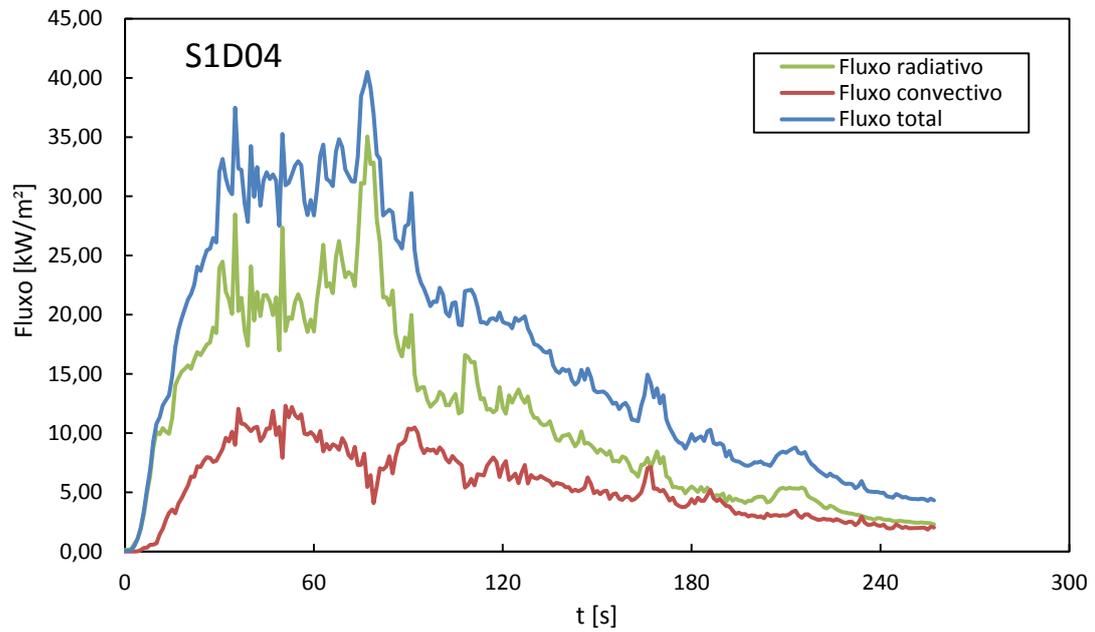


Figura 0.11 Fluxo total, radiativo e convectivo, ensaio S1D04.

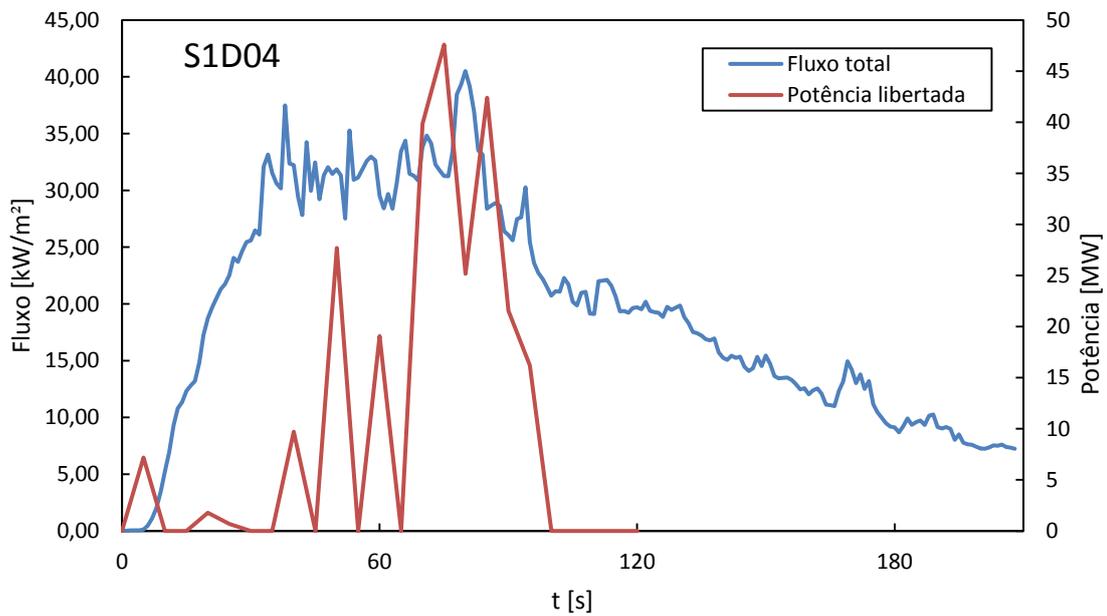


Figura 0.12 Fluxo total e potência libertada, ensaio S1D04.

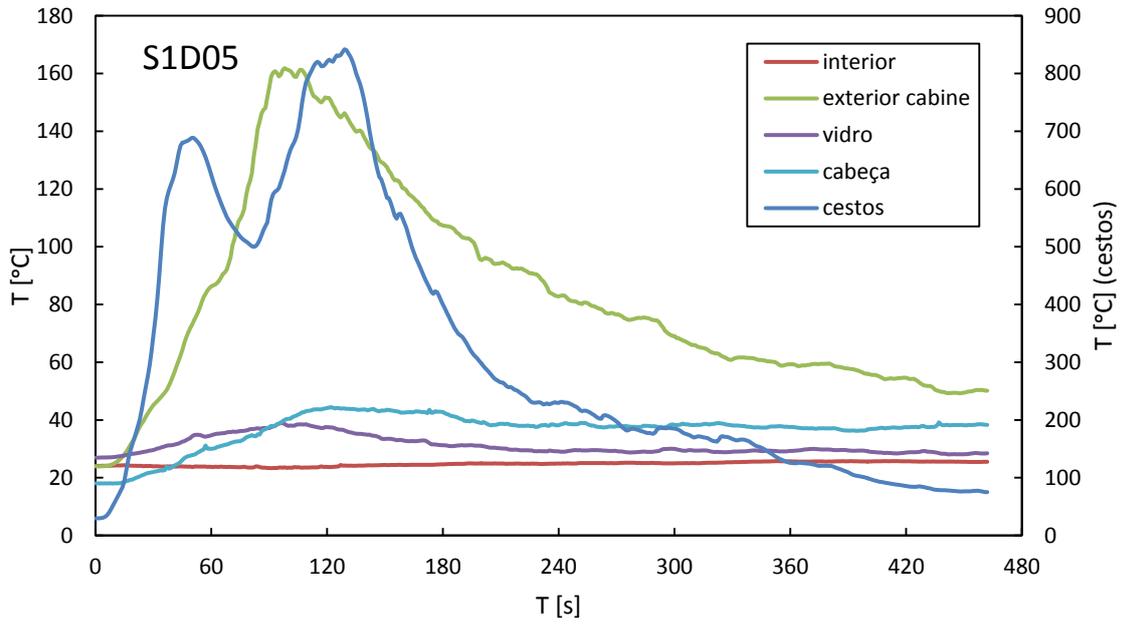


Figura 0.13 Temperaturas registadas, ensaio S1D05.

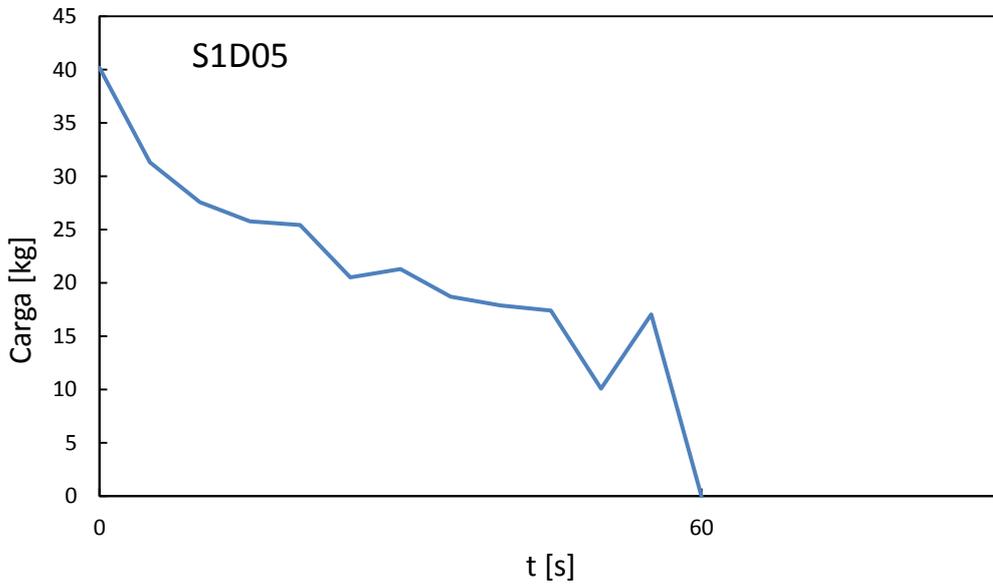


Figura 0.14 Variação da massa de combustível, ensaio S1D05.

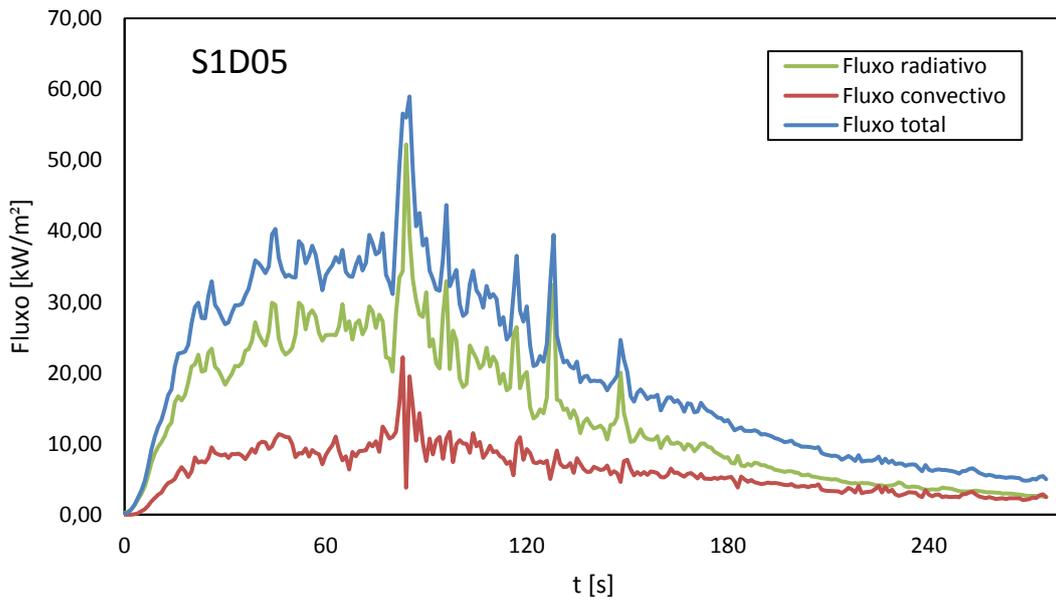


Figura 0.15 Fluxo total, radiativo e convectivo, ensaio S1D05.

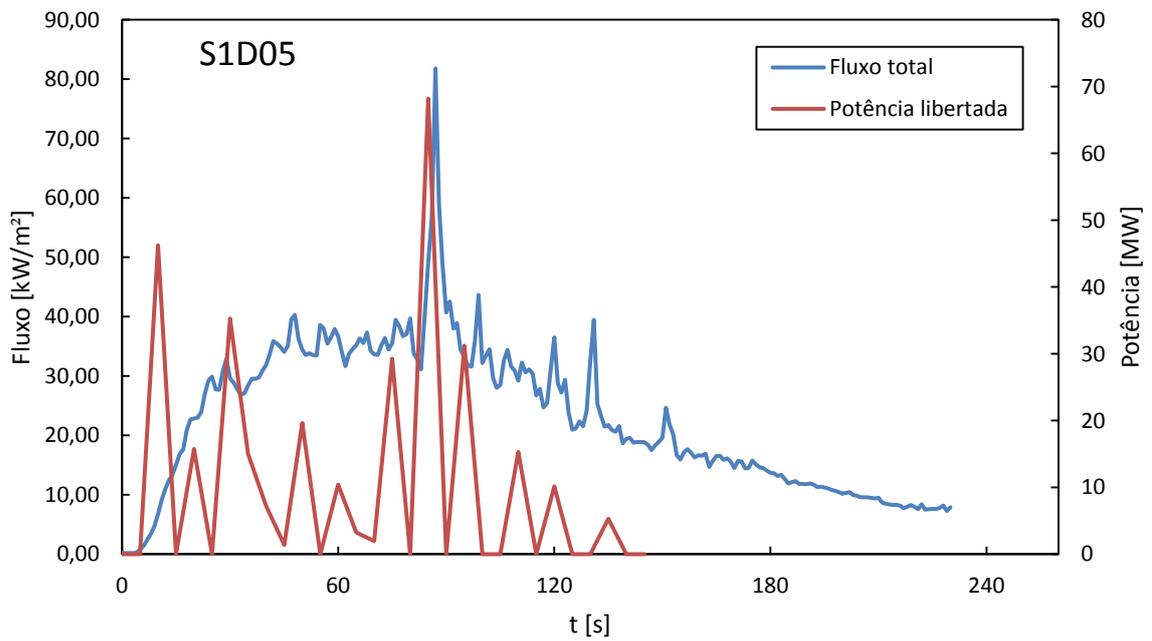


Figura 0.16 Fluxo total e potência libertada, ensaio S1D05.

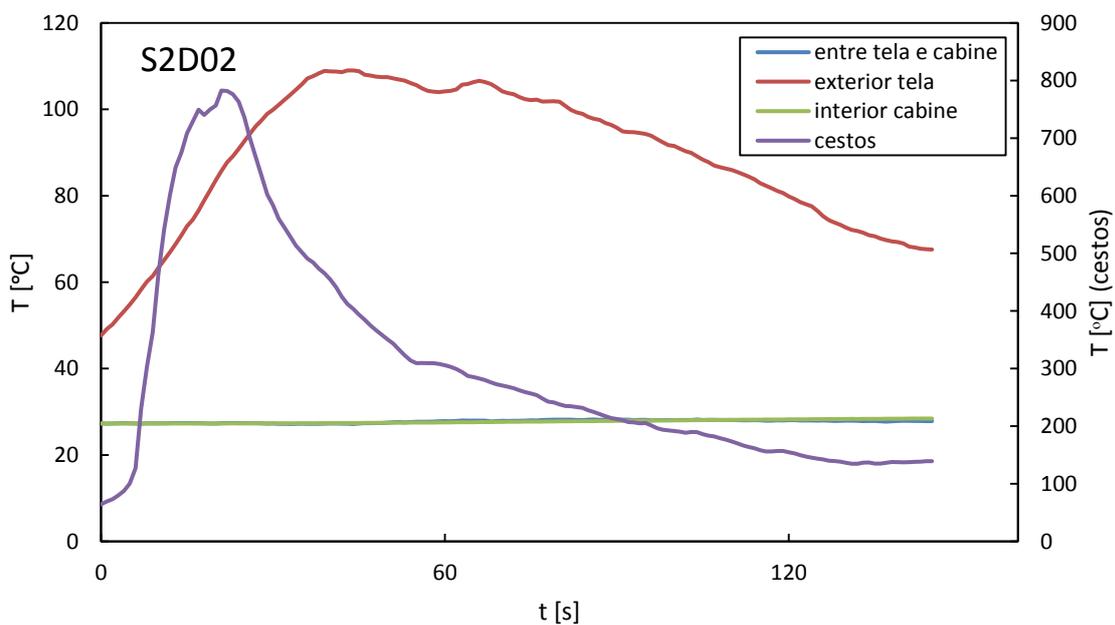


Figura 0.17 Temperaturas registadas, ensaio S2D02.

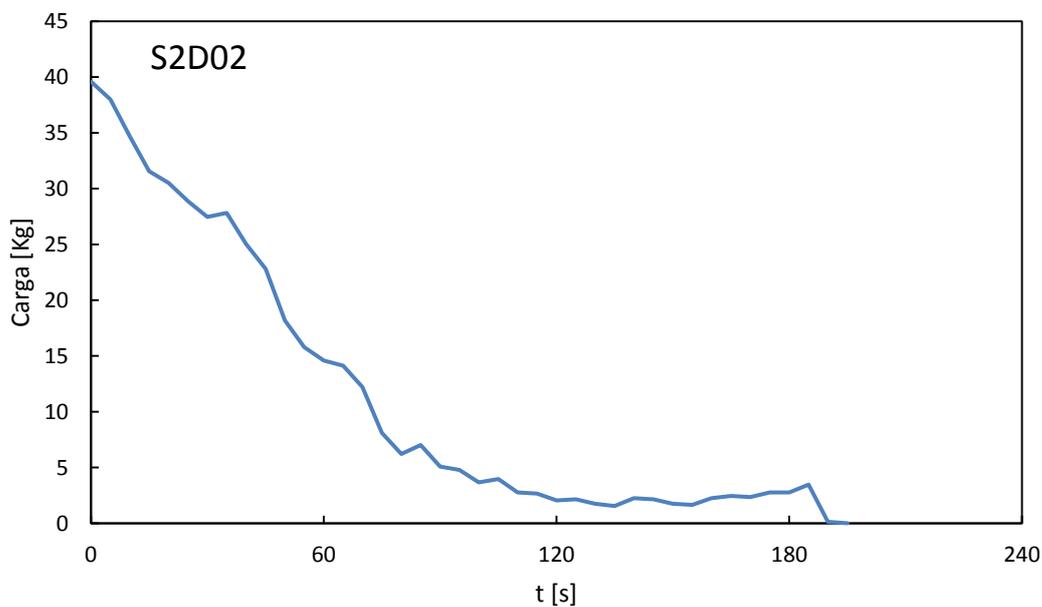


Figura 0.18 Variação da massa de combustível, ensaio S2D02.

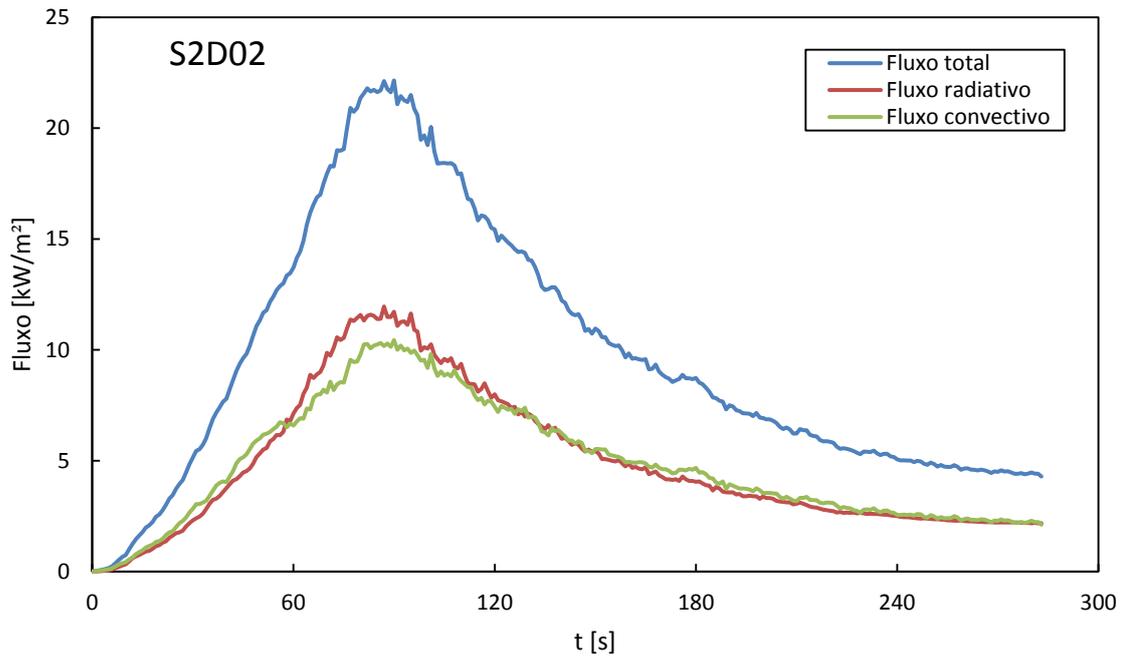


Figura 0.19 Fluxo total, radiativo e convectivo, ensaio S2D02.

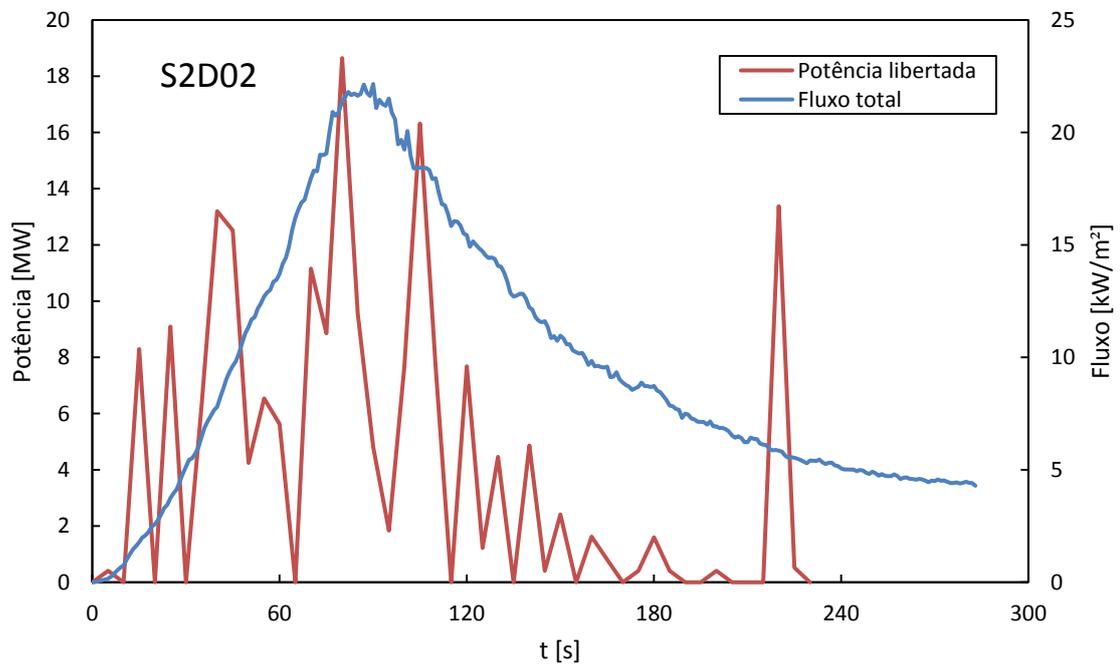


Figura 0.20 Fluxo total e potência libertada, ensaio S2D02.

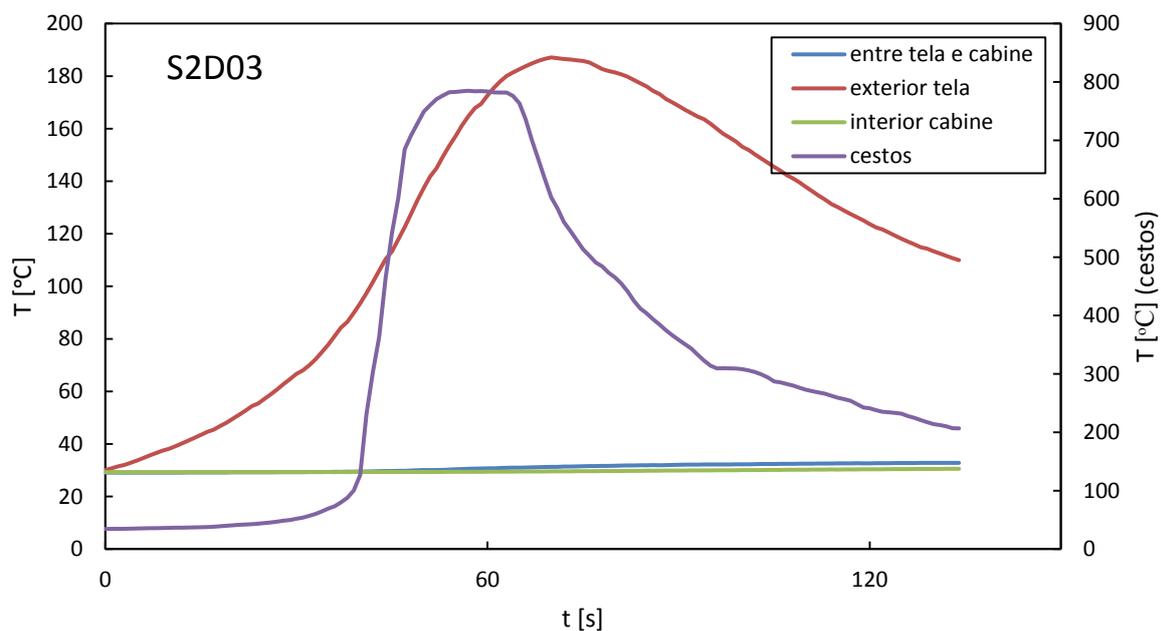


Figura 0.21 Temperaturas registadas, ensaio S2D03.

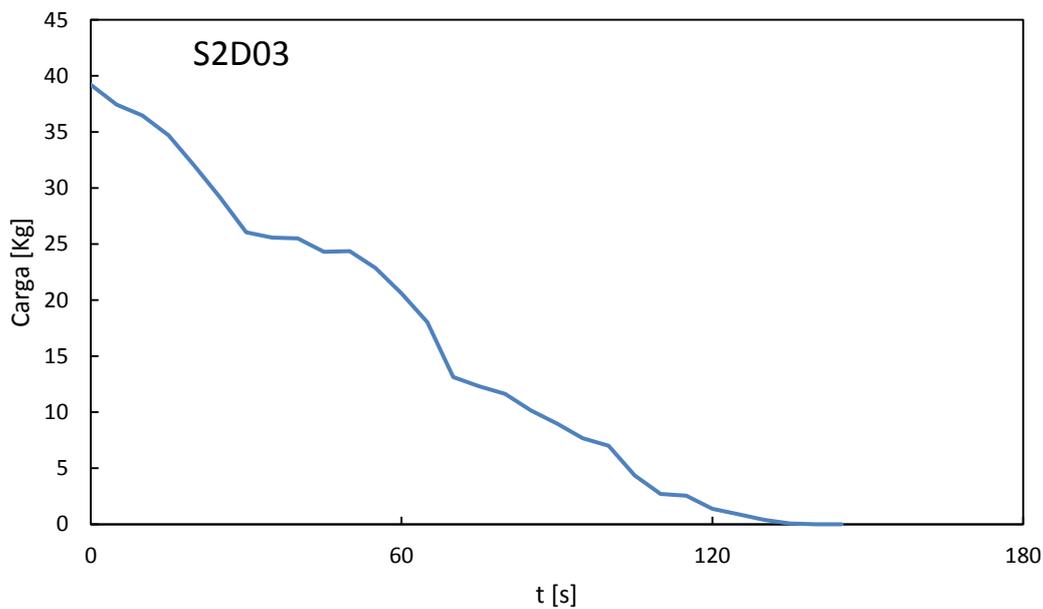


Figura 0.22 Variação da massa de combustível, ensaio S2D03.

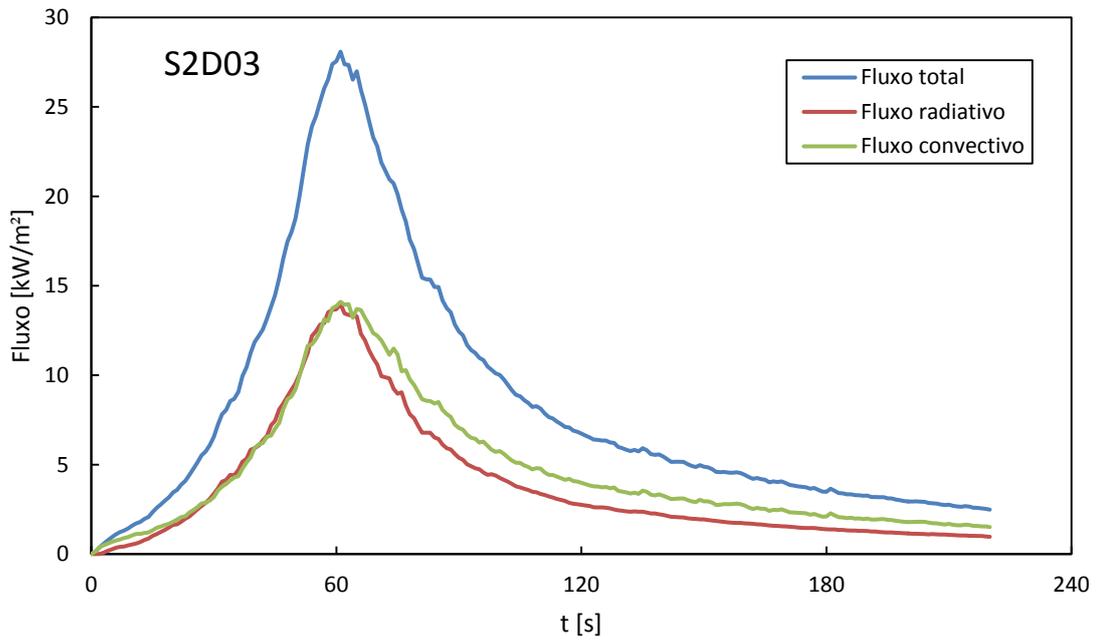


Figura 0.23 Fluxo total, radiativo e convectivo, ensaio S2D03

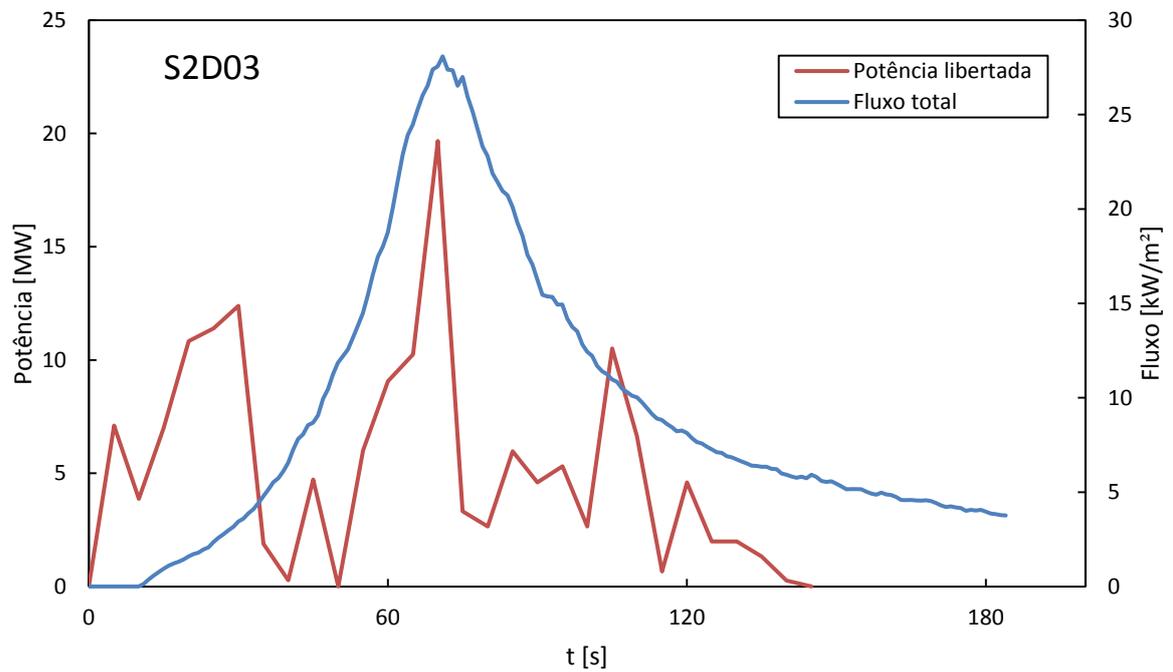


Figura 0.24 Fluxo total e potência libertada, ensaio S2D03.

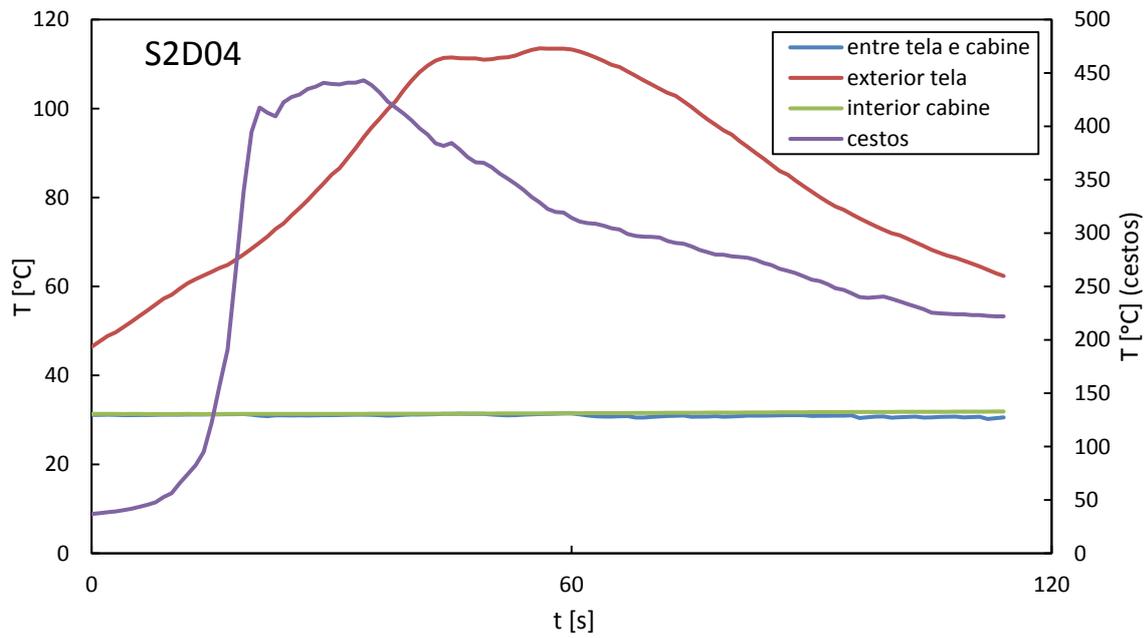


Figura 0.25 Temperaturas registadas, ensaio S2D04.

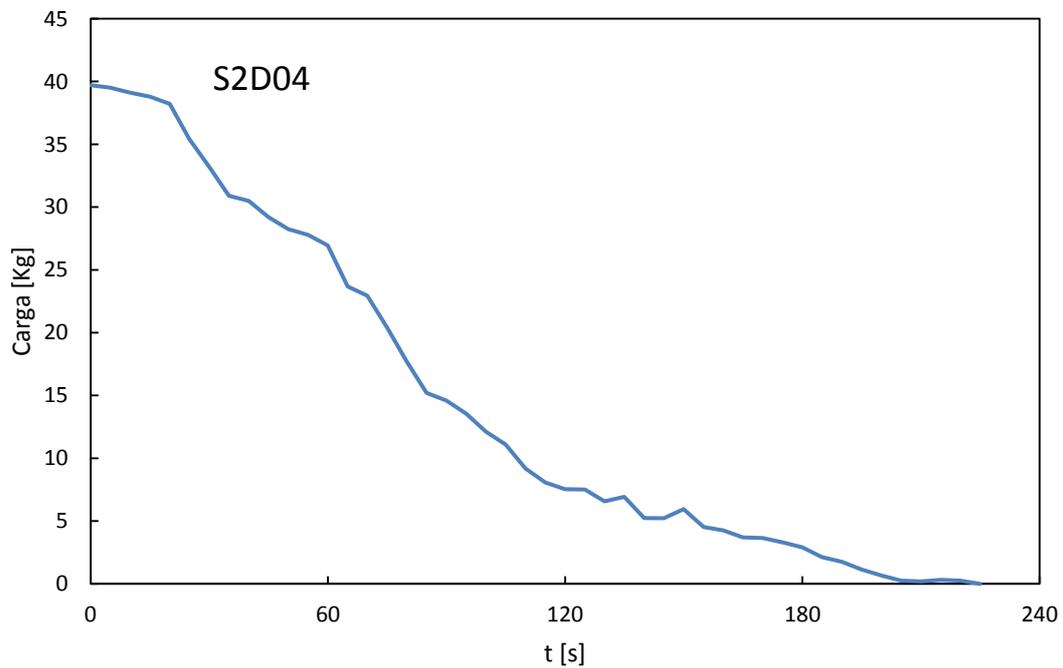


Figura 0.26 Variação da massa de combustível, ensaio S2D04.

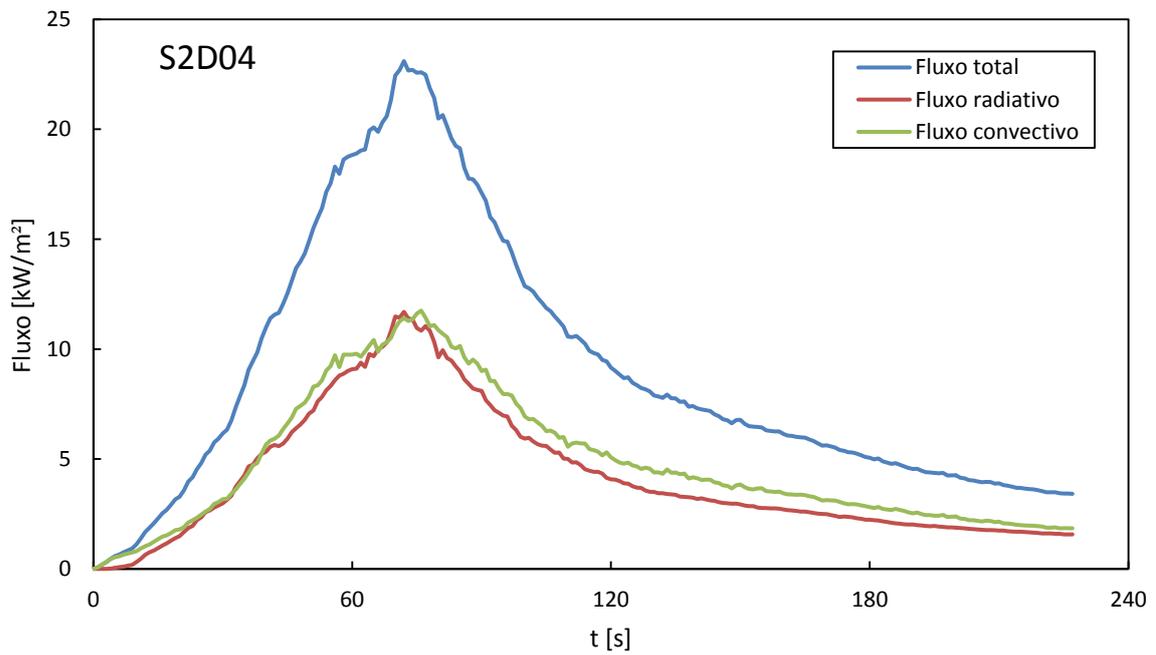


Figura 0.27 Fluxo total, radiativo e convectivo, ensaio S2D04.

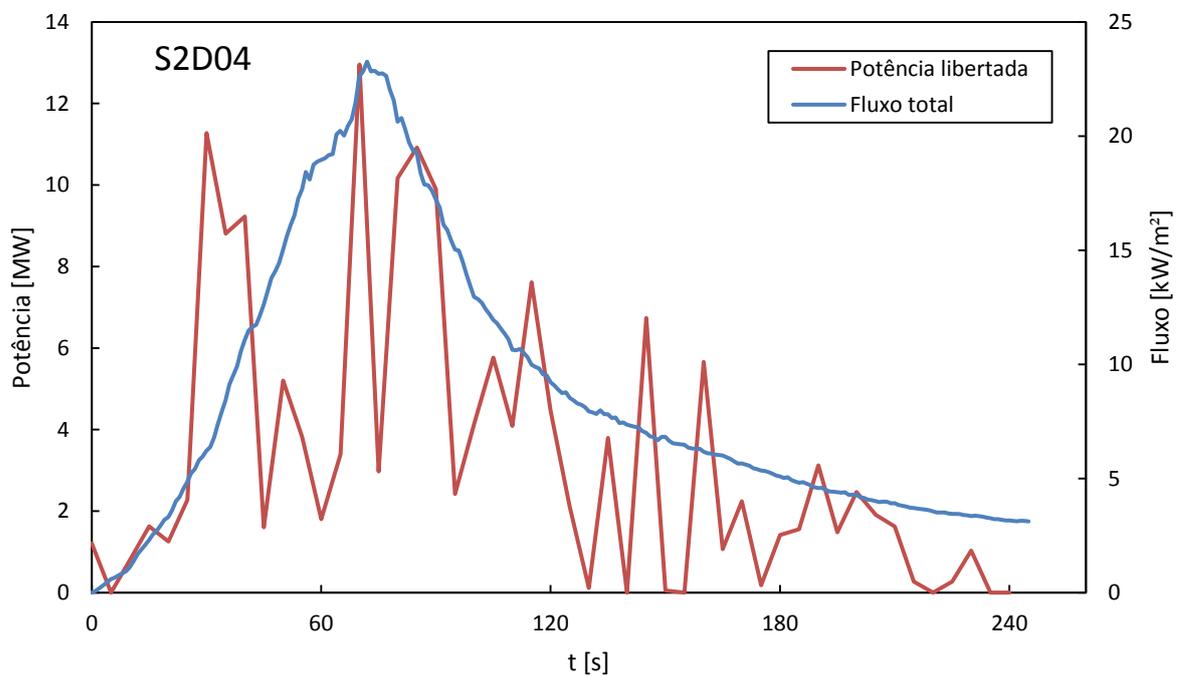


Figura 0.28 Fluxo total e potência libertada, ensaio S2D04.

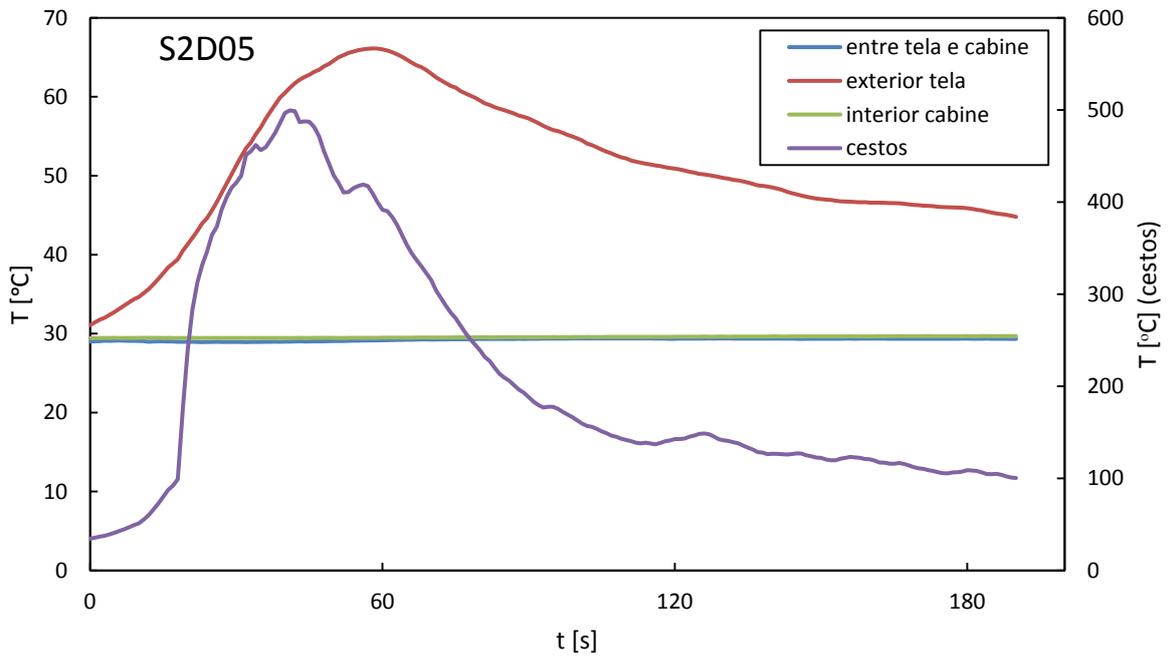


Figura 0.29 Temperaturas registadas, ensaio S2D05.

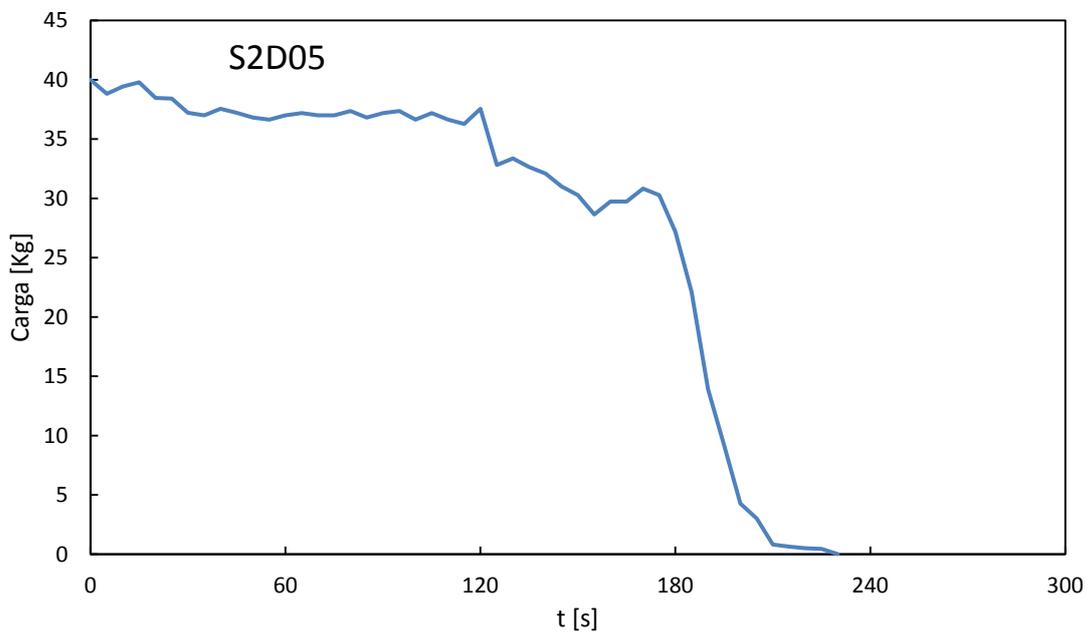


Figura 0.30 Variação da massa de combustível, ensaio S2D05.

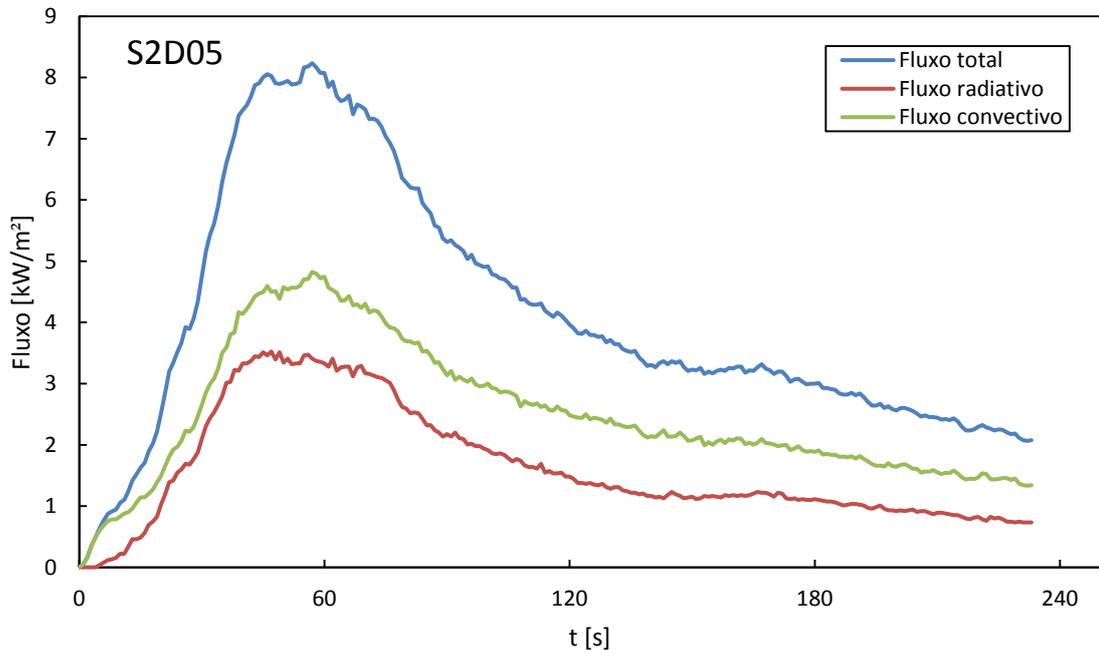


Figura 0.31 Fluxo total, radiativo e convectivo, ensaio S2D05.

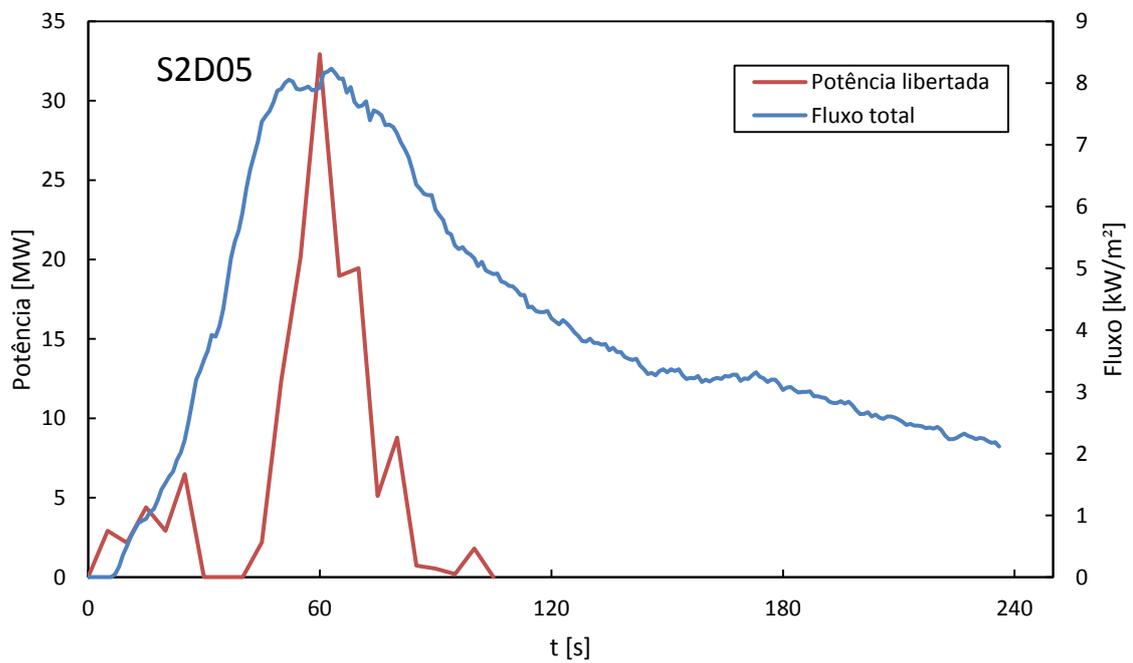


Figura 0.32 Fluxo total e potência libertada, ensaio S2D05.