



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

José Pedro Lopes Pinho Barge

**PROTEÇÃO DE SISTEMAS DE
TELECOMUNICAÇÕES**

Dissertação no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica no ramo de Produção e Projeto orientada pelo Professor Doutor Domingos Xavier Filomeno Carlos Viegas e apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra

Setembro de 2019

1 2



9 0

FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE
COIMBRA

Proteção de Sistemas de Telecomunicações

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

Protection of Telecommunication Systems

Autor

José Pedro Lopes Pinho Barge

Orientador

Professor Doutor Domingos Xavier Filomeno Carlos Viegas

Coorientador

Doutor Jorge Rafael Nogueira Raposo

Júri

Presidente	Professor Doutor José Manuel Baranda Moreira da Silva Ribeiro Professor da Universidade de Coimbra
Orientador	Professor Doutor Domingos Xavier Filomeno Carlos Viegas Professor Catedrático da Universidade de Coimbra Professor Doutor Carlos Xavier Pais Viegas Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra
Vogais	Professor Doutor Gilberto Cordeiro Vaz Professor Adjunto do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra Professor Doutor Jorge Rafael Nogueira Raposo Professor Doutor da Universidade de Coimbra



ADAÍ



CEIF

Coimbra, setembro, 2019

“É Coimbra a cidade, que entrou dentro de ti

Cidade sem ter idade

Os sonhos nascem aqui.”

Amanhecer, Fado Coimbra

AGRADECIMENTOS

Chegando ao fim deste trabalho, não podia deixar de agradecer a quem contribui para a sua execução e a quem me acompanhou de perto ao longo dos últimos anos.

Em primeiro lugar, ao Professor Doutor Domingos Xavier Viegas pelas oportunidades que me proporcionou, que me fizeram crescer enquanto estudante e enquanto Homem. Queria ainda agradecer-lhe, em nome de todos os civis, por diariamente se mostrar ativo no estudo contínuo desta grande problemática do nosso país, que são os incêndios

Ao Doutor Jorge Raposo pela ajuda incansável que me foi dando ao longo desta jornada.

Ao Doutor Luís Reis por toda a ajuda, preocupação e compreensão que teve comigo em todo o processo.

A toda a equipa da ADAI, em especial ao Gonçalo e ao Nuno, pela camaradagem e por todo o apoio prestado.

À Associação Académica de Coimbra por todos os horizontes que me abriu e pela forma como me fez crescer. Ao Alexandre Amado, Ana Fernandes, João Ferreira, Mariana Gaspar, Vítor Hugo e Salomé Afonso, foi e sempre será um prazer chamar-vos de amigos para a vida!

Aos melhores amigos que alguém pode ter! Foi desde aquele segundo dia, na Alta de Coimbra, que se formou a minha verdadeira família Mecânica. Obrigado por tudo Ana Carolina, André Almeida, André Ferreira, André Pimenta, Anthony Silva, Daniela Castela, Flávio Pécurto, Gabriela Gomes, Igor Scotelaro, João Maia, José Martins, José Nogueira, Mariana Almeida, Marta Vilela, Miguel Santos e Rúben Rodrigues.

Ao meu padrinho Manuel! Esta conquista também é tua! Obrigado por tudo!

Não podia acabar sem agradecer às pessoas mais importantes da minha vida: a minha família. Às minhas cunhadas por me ajudarem em tudo o que podem como umas verdadeiras irmãs mais velhas! Aos meus irmãos por serem os meus ídolos desde pequeno e por tentarem sempre que desse o meu máximo. Por fim, aos meus pais, que são os verdadeiros obreiros de tudo isto, obrigado pelos valores e ensinamentos que sempre me passaram. A todos vós, amo-vos!

RESUMO

Os incêndios florestais são todos os anos um assunto presente na mente dos portugueses. A destruição e devastação que este fenómeno causa é sinónimo de pânico e assombramento devido à sua imprevisibilidade e dificuldade de controlo.

O objetivo deste trabalho é estudar uma barreira térmica para servir como proteção de infraestruturas de telecomunicações, face ao risco da sua exposição aos incêndios florestais, podendo assim dar condições às pessoas de pedir ajuda em caso de incêndio e tornar o combate ao fogo mais acessível pelo ser humano. Este é um estudo pioneiro e será de grande importância para o futuro do nosso país.

Numa primeira fase, foi feito um estudo sobre acontecimentos e problemas do passado que ocorreram concretamente em estações de rádios, para depois se desenhar o estudo. Posteriormente, dividiu-se o estudo em duas áreas práticas, uma de análise em tempo real e outra de análise experimental, com vista a perceber se a proteção é eficiente para o que se pretende. Estes ensaios experimentais foram todos realizados em ambientes controlados, onde se tinha bem definido as variáveis e condicionantes dos mesmos.

Após a realização dos ensaios e a obtenção dos resultados, foi realizada uma análise para se concluir sobre se a estrutura protetora é favorável ou não para o sistema.

Este estudo enquadra-se num projeto que nasce de um protocolo entre a Universidade de Coimbra, a Telcabo e a Vodafone.

Palavras-chave: Estação de rádio; armário; estrutura protetora

ABSTRACT

In Portugal, every year, wild fire is a dramatic issue present in people's mind. The destruction caused by this phenomenon brings panic and fear.

The main aim of this work is to develop a thermal barrier that can protect the radio communications' infrastructure when it is exposed to a wildfire. This will allow people to ask for help during the wild fire and it will help the authorities that combat the wild fire.

Firstly, it was made a study about the problems that happened in radio communications' infrastructure, in order to plan the next steps of the main work. After this first step, the study was divided in two phases: the first one is the analysis in real time of the temperature inside the radio box. The second one was the exposure of the radio box and its protection to a wild fire, in order to realize how efficient is the projected protection. These experiences were all made in controlled environment and the variables in study were very well defined.

After the experiences , the results were analysed to conclude if the protection was efficient or not.

This study is supported by a protocol between ADAI (University of Coimbra), Telcabo and Vodafone.

Keywords Radio Station; radio box, protection

ÍNDICE

Agradecimentos	i
Resumo	iii
Abstract.....	v
Índice	vii
Índice de Figuras	ix
Índice de Tabelas	xii
Simbologia e Siglas	xiii
Simbologia.....	xiii
Siglas	xiii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Motivação	2
1.2. Objetivos.....	3
1.3. Estado da Arte.....	3
1.3.1. Fogo e a sua formação	3
1.3.2. Proteção ativa e proteção passiva	5
1.3.3. Estações de radiocomunicações.....	5
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	9
2.1. Convecção.....	9
2.1. Radiação.....	10
3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL	13
3.1. Estrutura protetora	13
3.2. Estação de Rio de Vide	15
3.3. Ensaios Experimentais	19
4. DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	27
4.1. Estação de Rio de Vide	27
4.1.1. Resultados e efeitos na Temperatura	27
4.1.2. Resultados e efeitos na Humidade	29
4.2. Resultados e discussão dos ensaios experimentais	30
4.2.1. Evolução das temperaturas	30
4.2.2. Variação da velocidade do vento	32
4.2.3. Variação da distância do leito ao sistema.....	34
4.2.4. Ensaios sem vento	35
4.2.5. Compilação de resultados.....	37
5. CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS DE ESTUDO	39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
ANEXO A	43
ANEXO B	45
ANEXO C	47
ANEXO D	49

ANEXO E	51
ANEXO F.....	52
ANEXO G.....	54
ANEXO H.....	56
ANEXO I.....	58
ANEXO J	60
ANEXO K.....	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Parceiros do protocolo do estudo.....	3
Figura 1.2. Triângulo do fogo no tempo e no espaço (MORITZ et al, 2005).....	4
Figura 1.3. Estação de rádios de Rio Vide	6
Figura 2.1. Exemplo prático de convecção.	10
Figura 2.2. Exemplo demonstrativo da Radiação.....	12
Figura 3.1. Foto da estrutura protetora a aplicar na Estação de Rio de Vide	14
Figura 3.2. Esquema elétrico da estação meteorológica.....	16
Figura 3.3. Aplicação da Estação meteorológica	18
Figura 3.4. Sensores de vento da estação meteorológica	18
Figura 3.5. Mapeamento da mesa de ensaios.	21
Figura 3.6. Exemplo demonstrativo da montagem de um dos ensaios.	22
Figura 3.7. Esquema de montagem do fluxómetro.	23
Figura 3.8. Exemplo de um ensaio com proteção a decorrer.	23
Figura 3.9. Exemplo de um ensaio sem proteção, a decorrer.....	24
Figura 3.10. Alvo de calibração	25
Figura 3.11. Exemplo de uma imagem de um dos vídeos filmados pela câmara de infravermelhos.....	26
Figura 4.1. Registos das Temperaturas na estação meteorológica de 3 de junho a 3 de agosto.(Tekkon).	27
Figura 4.2. Diferença de temperatura entre o interior e exterior sem protecção.	28
Figura 4.3. Diferença de temperaturas entre o interior e exterior com protecção.....	28
Figura 4.4. Registos das Humidades na estação meteorológica de 3 de junho a 3 de agosto. Fonte: Tekkon	29
Figura 4.5. Figura da evolução das temperaturas do ensaio 4.....	30
Figura 4.6. Figura da evolução das temperaturas do ensaio 10.....	31
Figura 4.7. Figura da evolução das temperaturas do ensaio 1	32
Figura 4.8. Figura da evolução das temperaturas do ensaio 11.....	32
Figura 4.9. Figura da evolução das temperaturas do ensaio 6.....	34
Figura 4.10. Figura da evolução das temperaturas do ensaio 14.....	34
Figura 4.11. Figura da evolução das temperaturas do ensaio 17.....	35
Figura 4.12. Figura da evolução das temperaturas do ensaio 18.....	36

Figura A.1. Figura da evolução das temperaturas do ensaio 1.....	43
Figura A.2. Figura da evolução das temperaturas do ensaio 2.....	43
Figura A.3. Figura da evolução das temperaturas do ensaio 5.....	44
Figura A.4. Figura da evolução das temperaturas do ensaio 6.....	44
Figura B.1. Figura da evolução das temperaturas do ensaio 3.....	45
Figura B.2. Figura da evolução das temperaturas do ensaio 4.....	45
Figura B.3. Figura da evolução das temperaturas do ensaio 7.....	46
Figura B.4. Figura da evolução das temperaturas do ensaio 8.....	46
Figura C.1. Figura da evolução das temperaturas do ensaio 9.....	47
Figura C.2. Figura da evolução das temperaturas do ensaio 10.....	47
Figura C.3. Figura da evolução das temperaturas do ensaio 13.....	48
Figura C.4. Figura da evolução das temperaturas do ensaio 14.....	48
Figura D.1. Figura da evolução das temperaturas do ensaio 11.....	49
Figura D.2. Figura da evolução das temperaturas do ensaio 12.....	49
Figura D.3. Figura da evolução das temperaturas do ensaio 15.....	50
Figura D.4. Figura da evolução das temperaturas do ensaio 16.....	50
Figura E.1. Figura da evolução das temperaturas do ensaio 18.....	51
Figura E.2. Figura da evolução das temperaturas do ensaio 17.....	51
Figura F.1. Figura da evolução do fluxo de calor total do ensaio 1.....	52
Figura F.2. Figura da evolução do fluxo de calor total do ensaio 2.....	52
Figura F.3. Figura da evolução do fluxo de calor total do ensaio 5.....	53
Figura F.4. Figura da evolução do fluxo de calor total do ensaio 6.....	53
Figura G.1. Figura da evolução do fluxo de calor total do ensaio 3.....	54
Figura G.2. Figura da evolução do fluxo de calor total do ensaio 4.....	54
Figura G.3. Figura da evolução do fluxo de calor total do ensaio 6.....	55
Figura G.4. Figura da evolução do fluxo de calor total do ensaio 7.....	55
Figura H.1. Figura da evolução do fluxo de calor total do ensaio 9.....	56
Figura H.2. Figura da evolução do fluxo de calor total do ensaio 10.....	56
Figura H.3. Figura da evolução do fluxo de calor total do ensaio 13.....	57
Figura H.4. Figura da evolução do fluxo de calor total do ensaio 14.....	57
Figura I.1. Figura da evolução do fluxo de calor total do ensaio 11.....	58
Figura I.2. Figura da evolução do fluxo de calor total do ensaio 12.....	58
Figura H.3. Figura da evolução do fluxo de calor total do ensaio 15.....	59
Figura I.4. Figura da evolução do fluxo de calor total do ensaio 16.....	59

Figura J.1. Figura da evolução do fluxo de calor total do ensaio 18	60
Figura J.2 Figura da evolução do fluxo de calor total do ensaio 17.	60
Figura K.1. Cálculo ROS <i>Dynamic</i> para o ensaio 18.....	61
Figura K.2. Cálculo ROS <i>Dynamic</i> para o ensaio 17.....	61

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1. Caraterísticas manta protetora para a estrutura.	13
Tabela 3.2. Variáveis dos ensaios experimentais	19
Tabela 3.3. Lista dos ensaios.....	24
Tabela 4.1. Compilação das variáveis em estudo.....	37

SIMBOLOGIA E SIGLAS

Simbologia

m_f – Humidade do combustível;

HR – Humidade relativa do ar;

T – Temperatura;

t – Tempo;

Δx – Variação de distância;

Δt – Intervalo de tempo;

I – Intensidade linear da Chama;

h – Altura máxima da chama;

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 da Natureza e das Florestas

LEIF – Laboratório de Estudos sobre Incêndios Florestais

ANACOM – Autoridade Nacional de Comunicações

ROS – *Rate of Spread*

1. INTRODUÇÃO

O território português sofre, ano após ano, a ação de incêndios florestais. Relativamente ao ano catastrófico que foi 2017, verificaram-se dois episódios em concreto que trouxeram um novo enquadramento deste tema ao nosso país, visto que é um tema bastante suscetível de fascínio e pânico. É então importantíssimo que se estude o comportamento do fogo para que o combate ao mesmo seja considerado menos difícil, mas é também importantíssimo a ação preventiva, que passa essencialmente pela manutenção das propriedades limpas, ou seja, sem combustível para a reação.

Os incêndios florestais destroem as florestas e outras infraestruturas físicas, e podem, em caso extremos, provocar o término da vida das pessoas (Viegas, 2004). Entre os dias de 17 e 21 de junho de 2017, ocorreram nos concelhos de Pedrogão Grande, Pampilhosa da Serra, Figueiró dos Vinhos e Castanheira de Pera, incêndios que afetaram gravemente as infraestruturas de redes e comunicações dessas zonas. Neste acontecimento inúmeros problemas e falhas foram aparecendo com a falta de preparação para uma situação de tal dimensão, entre os quais a impossibilidade de comunicações por falha das estações de radio telecomunicações. *“A falha do sistema de comunicações terá contribuído para a falta de coordenação dos serviços de combate e de socorro, para a dificuldade de pedido de socorro por parte das populações e para o agravamento das consequências do incêndio.”* (Centro de Estudos sobre Incêndios Florestais, 2017). Este constrangimento fez com que várias pessoas deixassem de conseguir pedir ajuda às autoridades, estando assim sujeitas a situações atípicas e de tanto perigo que algumas delas perderam a vida, e fez ainda com que as autoridades que combatem o fogo não conseguissem comunicar entre si, comprometendo assim o seu combate da melhor forma, já que a falta de comunicação sobre o desenrolar do acontecimento e as táticas de combate não estavam a ser comunicadas a todos os elementos das diferentes entidades.

Após este acontecimento, segundo o relatório da ANACOM, para além dos hectares ardidos e do número elevado de vidas humanas perdidas, foram destruídos vários quilómetros de cabos de fibra ótica e de cobre, bem como cerca de cinco milhares de postes de madeira da rede elétrica. No mês seguinte à catástrofe, a ANACOM foi avaliar os efeitos da catástrofe nas infraestruturas de redes públicas e de comunicações telefónicas da região,

dando especial atenção para as que estavam instaladas paralelamente à Autoestrada 13, Estrada Nacional 350, e ao Itinerário Complementar 8.

De uma forma geral, a conclusão foi de que as estações de radiocomunicações se encontravam em zonas cuja vegetação consistia essencialmente em eucaliptos, pinheiros e vegetação rasteira sem zona de separação. Existiam sítios em que a vegetação era tão vasta e as árvores tão próximas da estação, que as suas próprias copas cobriam a mesma, tornando-as assim mais suscetíveis a um incêndio florestal. Para além disso denotaram que os cabos de baixa tensão (fonte de corrente da estação) estavam completamente desprotegidos e não estavam colocados de uma forma uniforme. É de notar que uma vegetação moderadamente contínua, com uma altura compreendida entre 0,5m e 1m, estabelece um risco de incêndio elevado (Forestis, 2007).

Posto isto, aquando de um incêndio de grandes dimensões, seria expectável que os sistemas de radiocomunicações não funcionassem dentro da normalidade pois ou os cabos se iriam destruir, deixando de haver alimentação à estação, ou a temperatura dentro da caixa dos rádios seria tão elevada que comprometeria o bom funcionamento dos mesmo, podendo até desligá-los.

1.1. Motivação

A presença deste tema do dia a dia português é cada vez mais frequente. Os incêndios, que ocorrem na sua maioria no verão, causam inúmeros problemas, nomeadamente ambientais, económicos, sociais e humanos. Para além das consequências ambientais devido à desflorestação, perda de vidas selvagens e biodiversidade, degradação do solo, destruição de veículos, casas e infraestruturas e a libertação de dióxido de carbono para a atmosfera, a consequência mais chocante é, indubitavelmente, a perda de vidas humanas.

No Sul da Europa, Portugal é o país mais afetado pelos incêndios florestais (Pereira, Carreiras, Silva, & Vasconcelos, 2006). Desde o ano 2000 verificou-se a perda de mais de 160 portugueses, tendo este valor sofrido um grande aumento no ano de 2017 no incêndios de junho e outubro. Nestes acontecimentos em específico, as comunicações via rádio foram afetadas ao ponto de não funcionarem, logo nasce a grande motivação deste trabalho, que tem como objetivo continuar as inúmeras pesquisas realizadas na Universidade de Coimbra e analisar o efeito do fogo sobre as estações de rádio do país de forma a que, em situações futuras, não se voltem a repetir os acontecimentos tristes do passado.

1.2. Objetivos

Este estudo terá por finalidade o desenvolvimento de barreiras térmicas para a proteção de infraestruturas de telecomunicações, face ao risco de exposição de incêndios florestais. Este é um estudo pioneiro neste tema em específico e pretende estudar uma estrutura protetora que permita o bom funcionamento dos rádios apesar do aumento de temperatura no interior do armário. O limite de temperatura para que o bom funcionamento não seja comprometido é 60 °C. A proteção será colocada em volta da caixa dos rádios e é composta por uma estrutura em aço inoxidável, projetada pela Telcabo, que será coberta por uma manta de fibras de vidro.

O trabalho será dividido em duas fases. Na primeira fase será colocada uma estação meteorológica na Estação de Rio Vide para se analisar o comportamento da estação de rádio sem estar sujeita ao fogo, com e sem proteção. Por sua vez, na segunda fase, serão realizados testes experimentais para se analisar o comportamento da caixa protetora dos rádios quando exposta a fogo extremo. Nesta fase também será estudada a influência do sistema de ventilação da caixa sobre a generalidade do sistema.

Este estudo enquadra-se num projeto que nasce de um protocolo entre a Universidade de Coimbra, a Telcabo e a Vodafone.



Figura 1.1. Parceiros do protocolo do estudo.

1.3. Estado da Arte

1.3.1. Fogo e a sua formação

Com o iniciar de um estudo sobre incêndios florestais é necessário, em primeira instância, conhecer e estudar o fenómeno fogo.

O fogo é uma reação química exotérmica definida no tempo e espaço entre um combustível (material sólido, líquido ou gasoso capaz de arder) e um material comburente que atuam em cadeia com uma energia inicial de ativação (provocada por uma outra chama ou faísca, por exemplo) numa ação de combustão ou oxidação (Mimami, 2008). Na reação do fogo é então libertada energia, essencialmente sob a forma de radiação e convecção, expressa de forma visível naquilo que chamamos de chama que, enquanto tiver combustível, dá seguimento à sua reação em cadeia.

Nas condições certas, estes três elementos aliados a um ambiente que possua uma boa quantidade de oxigénio (ar atmosférico tem cerca de 20%), temperaturas de ambiente altas e baixa humidade pode-se desencadear fogo descontrolado que se dá pelo nome de incêndio florestal ou urbano.

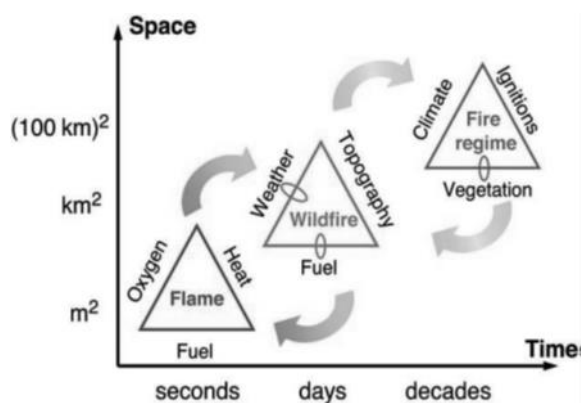


Figura 1.2. Triângulo do fogo no tempo e no espaço (MORITZ et al, 2005).

Ora segundo o *Canadian Interagency Forest Fire Centre* (CIFFC, 2003), o que define realmente o comportamento do fogo é “o modo como o combustível entra em ignição, como a chama se desenvolve e propaga, determinado pela interação entre o combustível, o clima e a topografia”. Por isso os fatores decisivos para o comportamento do fogo são o tipo de combustível, a topografia e por fim a envolvência meteorológica (Beck et al, 2005). Relativamente ao combustível os fatores mais decisivos são o seu tipo, quantidade e teor de

humidade. Relativamente à topografia, têm ação direta no comportamento do fogo fatores como a elevação e orientação do terreno. Por fim, os fatores decisivos e relativos à envolvente meteorológica são a temperatura e humidade relativa do ar, a direção e velocidade do vento e a presença ou não de precipitação.

1.3.2. Proteção ativa e proteção passiva

Os sistemas de proteção contra incêndios classificam-se como sistemas de proteção ativa e sistema de proteção passiva.

Os sistemas de proteção ativa são sistemas de natureza mecânica ou eletrónica, que têm como principal função detetar o fogo e iniciar uma ação contra o mesmo. Um exemplo deste sistema com foro mais eletrónico é um detetor de fumo, como os que hoje em dia são usados em diversas áreas de trabalho. Por sua vez, um exemplo de um sistema de proteção ativa de foro mecânico é os utensílios como os extintores para combate direto do fogo.

Já os sistemas de proteção contra incêndios passivos são, como o próprio nome indica, estáticos, e concedem a mesma proteção quer exista um incêndio a acontecer ou não. Um exemplo prático deste tipo de sistema são as paredes contrafogo ou uma determinada distância de segurança que se dá a uma estrutura para não a colocar em risco caso estejamos na presença de um incêndio.

Concluindo, neste estudo pretendemos avaliar uma proteção passiva contra incêndio.

1.3.3. Estações de radiocomunicações

As estações de radiocomunicações são um conjunto de vários dispositivos (um transceptor de radiocomunicação, uma linha de transmissão e uma antena) que permitem a comunicação via rádio entre as pessoas no seu dia a dia.

Um transceptor é um dispositivo que conjuga num só aparelho as funcionalidades de transmissor e recetor; a linha de transmissão é um sistema que é utilizado na transmissão de energia eletromagnética; e, por fim, as antenas são os dispositivos que transformam a energia eletromagnética proveniente das linhas de transmissão em energia irradiada ou vice-versa.



Figura 1.3. Estação de rádio de Rio Vide

As caixas dos rádios possuem em redor do seu interior um material polimérico com função de isolante térmico.

Em suma, o bom funcionamento das estações de radiocomunicações é crucial para o dia a dia do cidadão português e torna-se assim numa peça fundamental também no combate aos incêndios.

Posto isto, e para que situações como a de 2017 não voltem a acontecer no futuro, a ANACOM estabeleceu um conjunto de requisitos importantes e obrigatórios para as estações de radiocomunicações, entre os quais a criação de uma faixa pavimentada com pelo menos dois metros de largura, para evitar a presença de vegetação muito perto da estação e ainda a limpeza num raio de cinquenta metros de todo o tipo de possível combustível para a fogo: o corte das árvores e o desbaste das suas respetivas copas numa distância mínima da estação, deixando assim a estação menos vulnerável a incêndios, a limpeza das folhas e/ou ramos secos no espaço interior à vedação da estação e por fim proteger e uniformizar a zona de

cabos de baixa tensão. Todas estas alterações têm em vista o não comprometimento do sistema e a facilidade de acesso à estação em qualquer situação.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Sempre que existem componentes de um ou mais sistemas a diferentes temperaturas existe um processo de transferência de energia, denominado por transferência de calor. No decorrer do incêndio florestal, e em específico para este trabalho, os principais fenómenos de transferência de energia a estudar de forma mais profunda são convecção e radiação.

2.1. Convecção

A troca de energia entre uma parede sólida e um fluido a diferentes temperaturas é superior quando o fluido se encontra em movimento devido ao fenómeno da convecção. Este processo de transferência de calor está diretamente ligado ao regime de escoamento que deve ser conhecido para se conseguir estudar o fenómeno em causa.

Existem dois tipos de convecção. O primeiro é a chamada convecção natural e resulta do movimento das diferentes densidades do fluido devido às diferentes temperaturas; o segundo é conhecido por convecção forçada e resulta de um escoamento que é criado por meios externos como por exemplo ventiladores ou bombas.

Quando se trata de trocas de energia entre um fluido e um sólido, recorremos à *Lei de Arrefecimento de Newton*, que é dada por:

$$Q = h_{\text{conv}} \times (T_s - T_a)$$

em que:

h_{conv} – coeficiente de transmissão de calor por convecção da superfície;

T_s – temperatura de superfície;

T_a – temperatura do fluido.

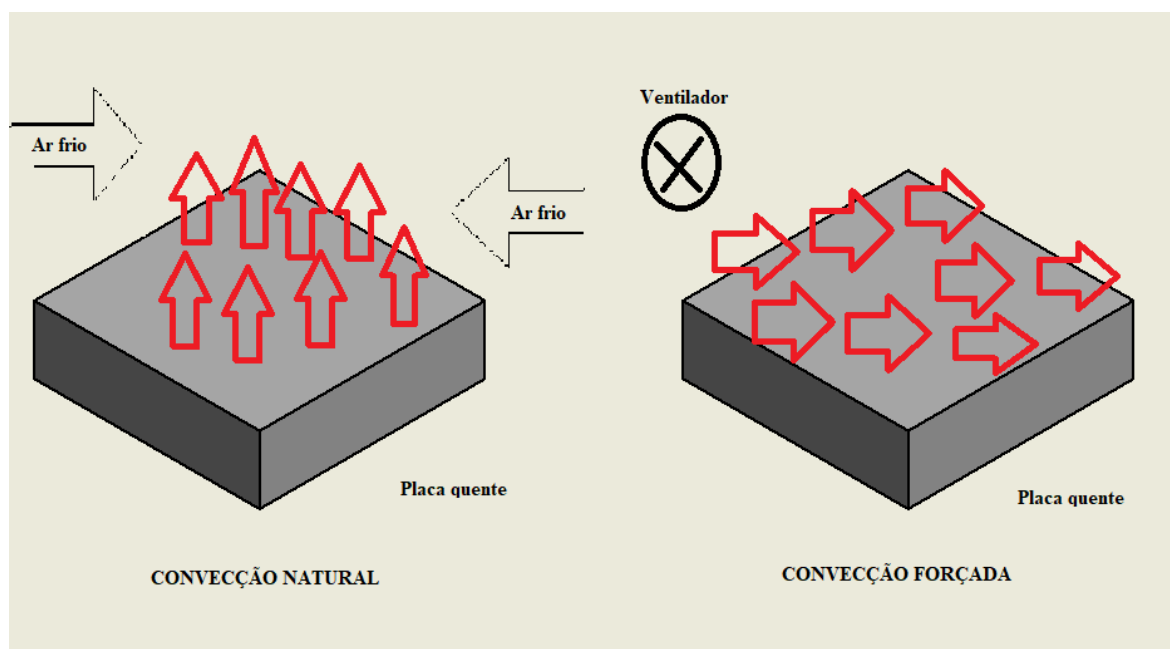


Figura 2.1. Exemplo prático de convecção.

2.1. Radiação

Radiação térmica pode definir-se como o fluxo de radiação eletromagnética emitido por um corpo sólido, líquido ou gasoso. O fenómeno de radiação destaca-se da convecção pois neste processo não existe contacto físico direto entre os componentes que estão a diferentes temperaturas. Por isso, todos os corpos emitem radiação térmica de forma proporcional à sua temperatura. Dois exemplos bastantes práticos do fenómeno são o sistema Sol–Terra ou o sistema lareira-casa em que, apesar de não existir qualquer contato físico entre os elementos do sistema, um deles é sempre aquecido pelo outro por radiação.

Todos os corpos estão por isso a trocar energia radiante com o sistema em que estão presentes. Nos corpos reais, a energia incidente pode ser absorvida, refletida ou refletida como mostra a seguinte equação:

$$a + r + t = 1$$

em que:

a – fração de radiação incidente que é absorvida;

r – fração de radiação incidente que é refletida;

t – fração de radiação incidente que passa o corpo sem ser absorvida ou refletida.

Neste fenómeno é fundamental ter presente o conceito de corpo negro - corpo que absorve toda a radiação que incide sobre ele. Esta definição é a base para conseguir-se calcular o calor transmitido por radiação pois:

$$q_n = \sigma A T^4$$

em que:

σ – constante de Stefan-Boltzman ($\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{°C}^{-1}$);

A – área da superfície;

T – temperatura do corpo.

Relativamente às superfícies dos corpos reais, estes emitem e absorvem uma quantidade total de energia menor que os corpos negros. Regra geral, esta diminuição resulta de um fator chamado emissividade (ϵ) que traduz o quociente entre a energia radiante do corpo real e a energia que o corpo negro irradiaria. Logo

$$q = \epsilon \sigma A T^4$$

Consequentemente

$$\epsilon = \frac{q}{q_n}, 0 < \epsilon < 1$$

Por fim, para dois corpos reais mantidos a temperaturas constantes sujeitos a temperaturas diferentes, respetivamente T_i e T_j , a troca de calor por radiação térmica é dada por:

$$q = \sigma A_i (T_i^4 - T_j^4) F_e F_{i,j}$$

em que:

F_e – fator de emissividade pois não se tratam de dois corpos reais;

$F_{i,j}$ – fator relativo à geometria e disposição dos corpos.

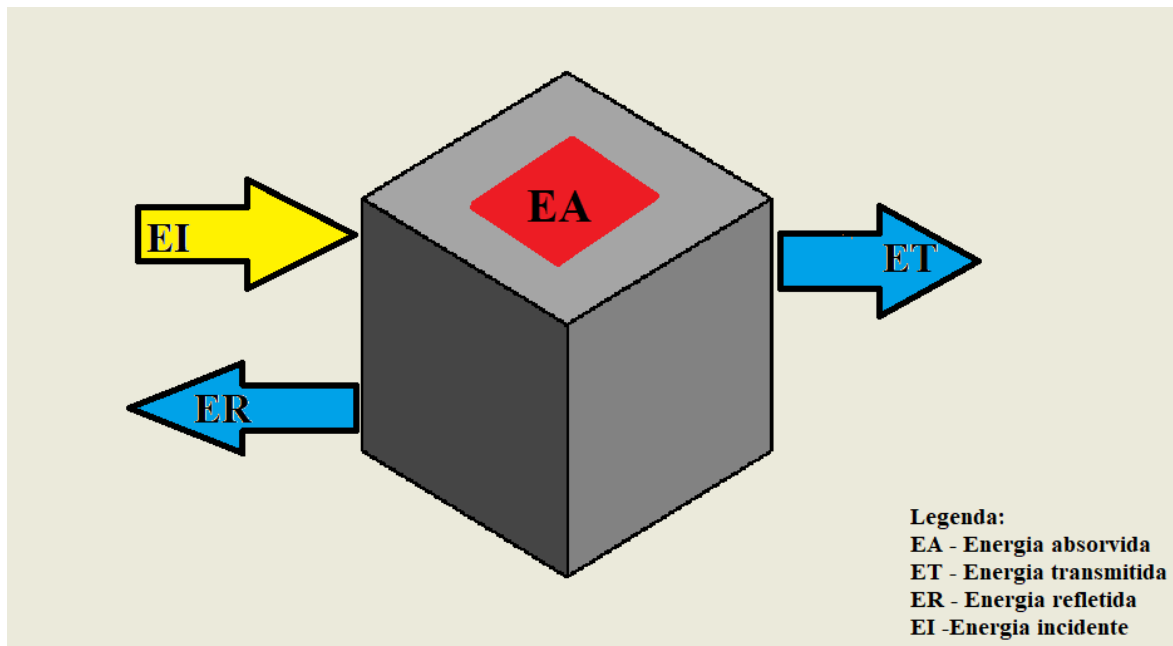


Figura 2.2. Exemplo demonstrativo da Radiação.

3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Com vista ao sucesso deste trabalho e a melhoria do comportamento das caixas de rádio, decidiu-se dividir o estudo em duas fases. Uma primeira fase onde se estudará o efeito da proteção em tempo real no armário e uma segunda fase onde se estudará o comportamento do armário quando exposto ao fogo.

3.1. Estrutura protetora

Tal como referido anteriormente, a proteção é formada por uma estrutura em aço (projetada conjuntamente pela ADAI e pela Telcabo) que é coberta por uma manta revestida a alumínio. Esta manta, que é essencialmente constituída por fibra de vidro, é um componente que foi selecionado num estudo anterior (Batista, 2018), onde se teve em consideração diversos fatores como por exemplo a espessura, a densidade, as temperaturas de serviço, o preço, o fornecedor e o seu comportamento na exposição ao fogo. A manta escolhida tem então as seguintes especificações:

Tabela 3.1. Caraterísticas manta protetora para a estrutura.

Referência do fornecedor	Espessura [mm]	Densidade [g/m ²]	Temperatura de Serviço [°C]	Revestimento
TVL 126	5,0	520	600	Alumínio



a)



b)

Figura 3.1. Foto da estrutura protetora a aplicar na estação de Rio de Vide

Como se pode observar, existe uma manta superior e inferior na estrutura, desfasadas em cerca de 20 centímetros para existir circulação de ar.

Para concluir, referir que a frente do armário se encontra orientada para Noroeste, tal como mostra a seta na seguinte figura 3.5.



Figura 3.2. Orientação do armário - Fonte: Google Maps.

3.2. Estação de Rio de Vide

De forma a perceber a eficiência da estrutura protetora decidiu-se estudar a influência que ela teria no comportamento das temperaturas do armário em tempo real. Assim, avançou-se para a criação de uma estação meteorológica na estação de rádios de Rio Vide.

Nesse local, o objetivo era estudar as variações que podiam acontecer com as seguintes propriedades:

- i) Temperatura exterior;
- ii) Temperatura entre os rádios;
- iii) Temperatura na lateral da caixa dos rádios;
- iv) Humidade exterior;
- v) Humidade interior;
- vi) Orientação do vento;
- vii) Velocidade do vento.

De forma a garantir um registo com qualidade destes dados, a ADAI procedeu à aquisição de equipamentos para a estação junto da Bresimar, SA. Esses equipamentos são:

- i) Uma plataforma de registo de dados – *Tekkon, Wireless Sensors Technology*;
- ii) Um controlador *DataLogger* com *software DMX 100* para envio de dados para a plataforma;
- iii) Dois sensores de vento para obter dados de direção e velocidade do mesmo;
- iv) Cinco sondas para medições de temperaturas e humidades.

Este sistema foi montado segundo o esquema elétrico seguinte, projetado pelo Engenheiro Ernesto Afonso, da Bresimar, SA.

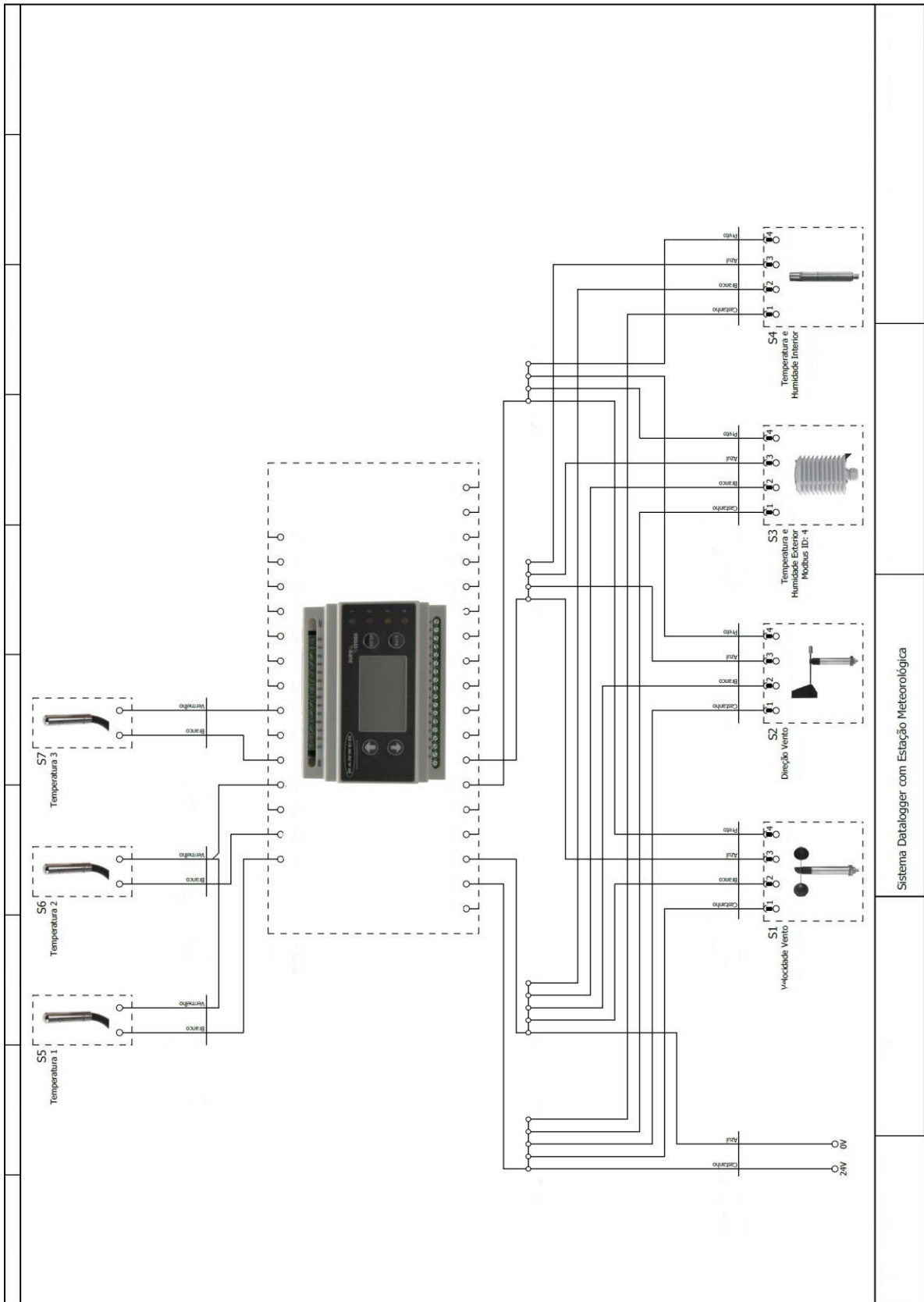


Figura 3.3. Esquema elétrico da estação meteorológica.

Como se pode observar, todas as sondas e sensores estavam ligados ao controlador *DataLogger*, que por sua vez estava ligado a uma fonte de alimentação de 220 Volts. Em primeira instância, todos os equipamentos foram ligados e testados nas instalações da ADAI para serem posteriormente instalados na estação de Rio Vide, conseguindo assim conhecer os equipamentos, o *software* de configuração do sistema e a plataforma de registo de dados.

De forma sucinta, no *software* DMX 100 procedeu-se à configuração dos sensores de vento, dos sensores de temperatura e dos medidores de humidade que estavam todos ligados em paralelo, com o controlador *DataLogger*. O controlador tinha como função registar e enviar a cada dez segundos, os dados medidos nos sensores para a plataforma, via sistema *Global System for Mobile* (GSM), através um cartão móvel cedido pela Vodafone.

Os dados seriam enviados para a plataforma segundo a seguinte configuração nominal:

- i) T1 – Temperatura exterior (°C);
- ii) T2– Temperatura interior nas costas do armário (°C);
- iii) T3 – Temperatura interior na lateral do armário (°C);
- iv) T4 – Temperatura interior dos rádios (entre os Delta) (°C);
- v) Humidade exterior (%);
- vi) Humidade interior (%);
- vii) Velocidade do vento (m/s);
- viii) Orientação do vento (graus).

A montagem da estação meteorológica foi então efetuada no dia 3 de junho de 2019 da seguinte forma:

- i) Controlador *DataLogger* inserido entre os rádios, ligado à corrente da caixa;
- ii) Sensores de vento a cerca de 5 metros de altura;
- iii) Sondas de temperaturas e humidades colocadas consoante designação anterior.

Posteriormente, no dia 3 de julho procedeu-se à aplicação da estrutura protetora e da manta para se analisarem as diferenças nas variáveis inicialmente selecionadas. No dia 26 de julho, a proteção foi retirada da estação de Rio Vide para uso nos ensaios experimentais. As Figuras 3.3 e 3.4 são fotografias esquemáticas da montagem da estação.

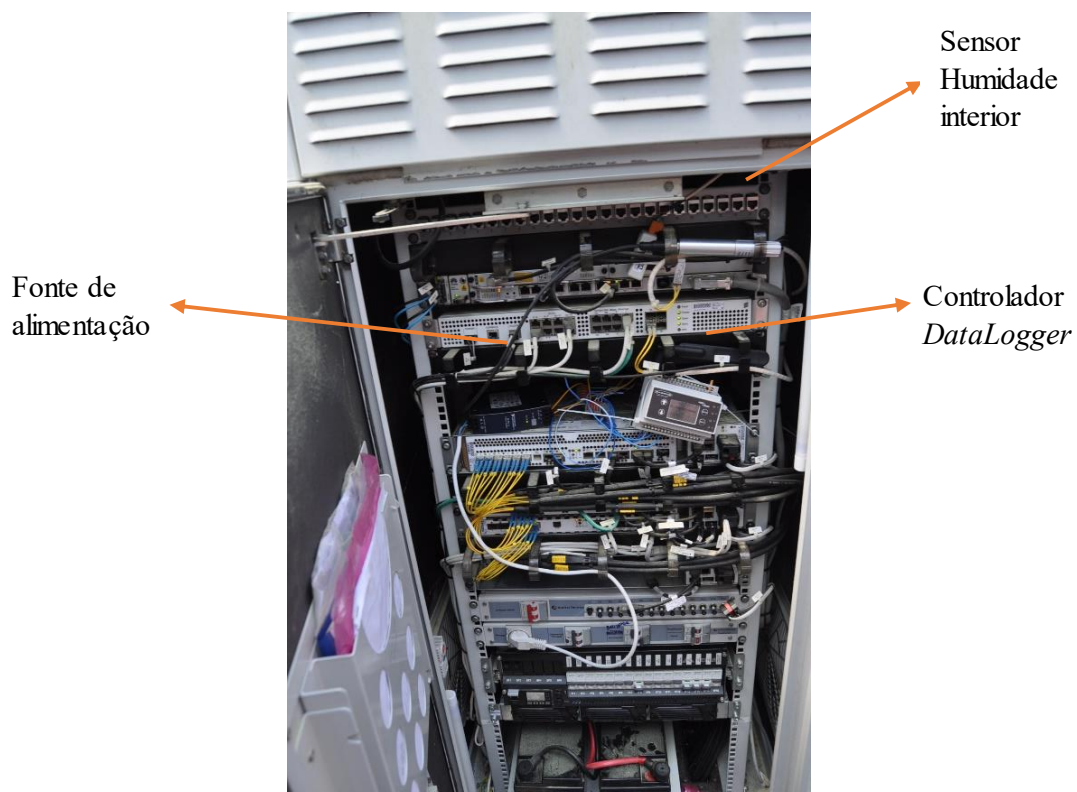


Figura 3.4. Aplicação da Estação meteorológica

Sensores de vento

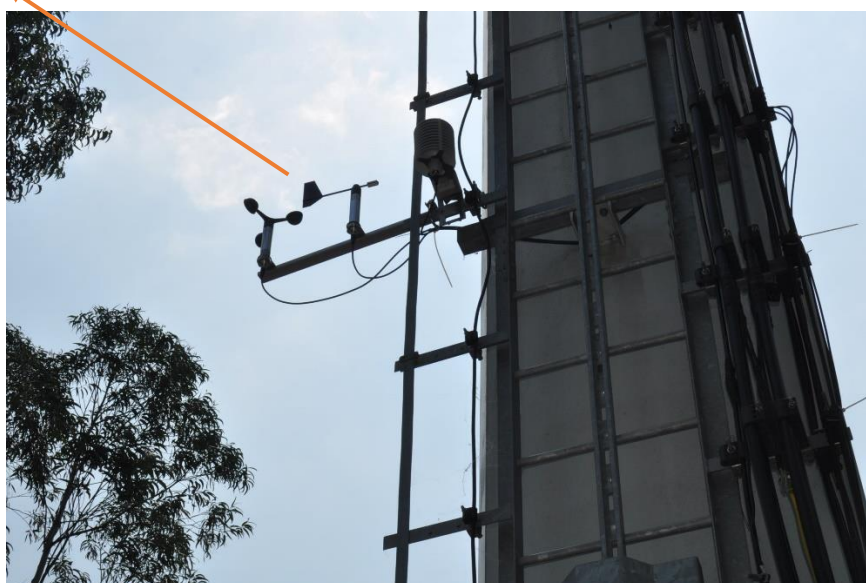


Figura 3.5. Sensores de vento da estação meteorológica

3.3. Ensaio Experimentais

Assim como foi dito anteriormente, foi desde sempre fundamental estudar-se o comportamento da caixa dos rádios quando exposta ao fogo com e sem proteção para se avaliar a eficiência da mesma. Os ensaios foram realizados no LEIF e estudaram-se diversas variáveis de forma a interpretar qual seria o comportamento real da caixa dos rádios.

Em primeira instância, elaborou-se uma lista de todas as variáveis que seriam importantes para o estudo. As variáveis e os seus *inputs* são:

Tabela 3.2. Variáveis dos ensaios experimentais

U – Velocidade do Vento (m/s)	Proteção	Ventilação	Δx (m)
0	Ativa	ON	1
1	Inativa	OFF	1,5
2			

Definiu-se também todos os materiais a usar nos ensaios experimentais. Foram eles:

- i. Armário;
- ii. Estrutura protetora (quando aplicável);
- iii. Um aquecedor de 2000W para simular o débito de potência térmica dos rádios;
- iv. Cinco termopares para medir temperaturas momentâneas;
- v. Um fluxómetro para medir o fluxo calor radiativo e convectivo;
- vi. Um computador com o software *FlexLogger*, conectado a um *chassi* para ligação dos equipamentos;
- vii. Uma câmara térmica;
- viii. Uma máquina fotográfica;
- ix. Duas câmaras de vídeo;
- x. Combustível para o fogo – mato seco;
- xi. Uma balança de humidades.

Na caixa dos rádios colocou-se um termopar na sua posição para se obter a temperatura atingida naquela zona. O termopar lateral, está colocada na lateral, por sua vez orientada para Sudeste.

Após a seleção de todos estes materiais, procedeu-se a uma primeira montagem e configuração dos equipamentos. A configuração foi feita através de um software denominado *FlexLogger* que, para além da configuração dos equipamentos de medição, foi o responsável pela leitura e registo dos dados.

A configuração no *FlexLogger* da seguinte ordem:

- i. Termopar 1 – temperatura na parte traseira dos rádios;
- ii. Termopar 2 – temperatura na frente da caixa;
- iii. Termopar 3 - temperatura na zona dos rádios;
- iv. Termopar 4 – temperatura no espaço de passagem de ar da manta;
- v. Termopar 5 – temperatura da manta;
- vi. Medidor fluxo de calor sob a forma de Radiação
- vii. Medidor fluxo de calor total

De seguida, definiu-se como mapeamento final da mesa de ensaios experimentais o demonstrado na Figura 3.5:

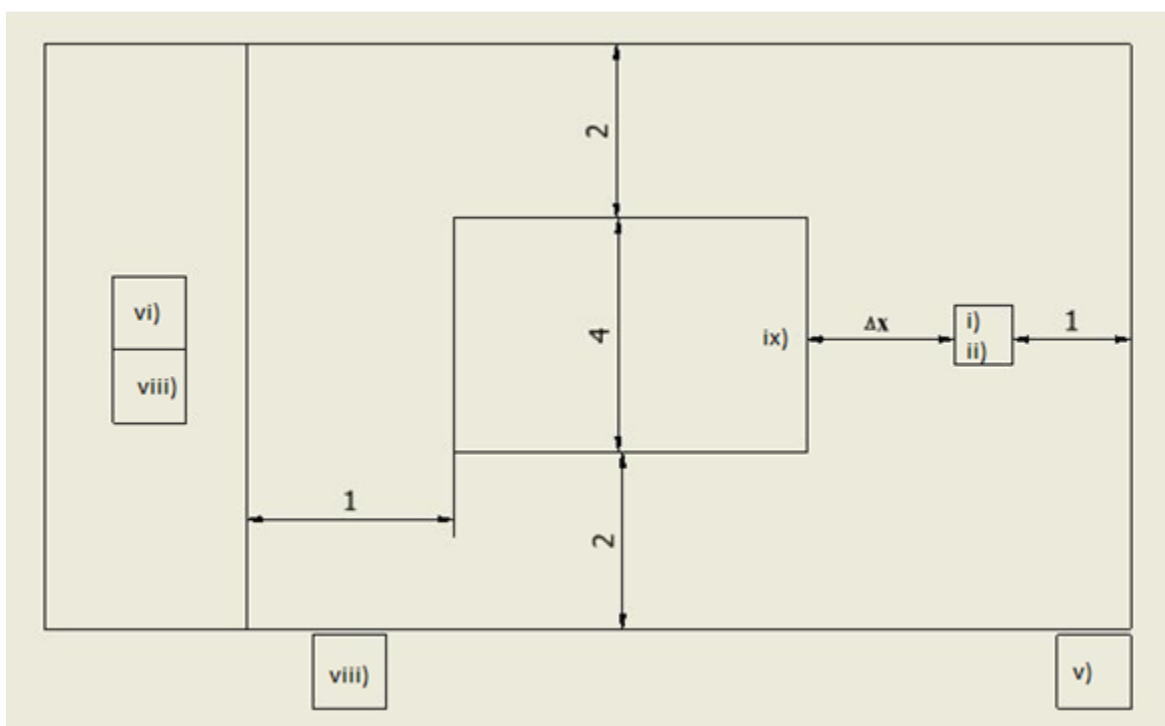


Figura 3.6. Mapeamento da mesa de ensaios.

As posições dos equipamentos de medição eram as seguintes:

- i. Um termopar na frente do armário a 1,30 m de altura, no eixo de simetria;
- ii. Um termopar colocado na parte de trás do armário, no interior a cerca de 40 cm da sua base;
- iii. Um termopar colocado na parte lateral esquerda do armário, no interior a cerca de 40 cm da sua base;
- iv. Um termopar colocado no eixo de simetria da manta inferior de proteção, a 1,30 m de altura, (quando aplicável);
- v. Um termopar colocado na zona de passagem de ar da estrutura protetora (quando aplicável);
- vi. Um fluxómetro colocado em frente ao eixo de simetria do armário ou da manta protetora (quando aplicável), a 1,10 m de altura;
- vii. Uma câmara de IR com respetivo computador para registos e uma câmara de vídeo colocadas em cima do túnel de vento, no meio da mesa de ensaios;
- viii. Uma câmara de vídeo colocada na lateral da mesa de ensaios.

O procedimento experimental foi o seguinte:

- i. Colocar na mesa de ensaios todos os equipamentos segundo o mapeamento definido e delimitação da área de combustível, segundo a figura anterior;
- ii. Verificar o funcionamento e a configuração dos equipamentos no software *FlexLogger*;
- iii. Determinar a humidade do combustível;
 - a. Colocar aproximadamente uma grama de combustível na balança de humidades;
 - b. Calcular a massa de combustível necessária para a área definida para cada ensaio, pela seguinte fórmula:

$$m_f = \left[\frac{m_i - m_f}{m_i} \right] * 100$$

- iv. Colocar a quantidade de mato, calculada anteriormente, na respetiva área;
- v. Registrar a temperatura e humidade do ar;
- vi. Ligar as câmaras para se gravarem e registarem os ensaios;

- vii. Fazer a ignição do combustível;
- viii. Ligar os ventiladores e ajustar à velocidade de vento pretendida;
- ix. O ensaio é dado como acabado quando todo o combustível estiver consumido pelas chamas.

Os registos no *FlexLogger* eram realizados de segundo a segundo de forma a nos permitir estudar com precisão a evolução das temperaturas e do calor recebido por convecção e radiação.

Realizaram-se os ensaios com manta protetora, de forma a deixar a situação teoricamente mais penosa para o armário para a segunda fase.

Por fim, encontram-se algumas fotografias demonstrativas da mesa de ensaios.



Figura 3.7. Exemplo demonstrativo da montagem de um dos ensaios.



Figura 3.8. Esquema de montagem do fluxómetro.



Figura 3.9. Exemplo de um ensaio com proteção a decorrer.



Figura 3.10. Exemplo de um ensaio sem proteção, a decorrer.

Os ensaios foram feitos pela seguinte ordem:

Tabela 3.3. Lista dos ensaios

Ensaio	Proteção	Ventilação	$\Delta x(m)$	U(m/s)
1	INATIVA	ON	1,0	1
2	INATIVA	ON	1,0	2
3	INATIVA	OFF	1,0	1
4	INATIVA	OFF	1,0	2
5	INATIVA	ON	1,5	1
6	INATIVA	ON	1,5	2
7	INATIVA	OFF	1,5	1
8	INATIVA	OFF	1,5	2
9	ATIVA	ON	1,0	1
10	ATIVA	ON	1,0	2
11	ATIVA	OFF	1,0	1
12	ATIVA	OFF	1,0	2
13	ATIVA	ON	1,5	1
14	ATIVA	ON	1,5	2
15	ATIVA	OFF	1,5	1
16	ATIVA	OFF	1,5	2
17	ATIVA	ON	1,0	0
18	INATIVA	ON	1,0	0

Após a realização de todos estes ensaios procedeu-se ao uso do software *Fire Ros Calculator* (Abouali, 2017) para se obter os valores das velocidades de propagação (ROS – *Rate of Spread*). Para tal, foi necessário que antes de qualquer ensaio experimental fosse realizada a calibração da câmara de infravermelhos através de um alvo de calibração como mostra a Figura 3.10.



Figura 3.11. Alvo de calibração

A utilização deste alvo é necessária para que o programa seja capaz de calcular corretamente as medidas do leito, pois sabendo que o alvo de calibração possui vários quadrados de 250 mm de lado, o software, ROS, consegue calcular as medidas do leito.

Para se conseguir obter as velocidades de propagação dinâmicas ao longo do leito de combustível, é necessário obter, através dos vídeos da câmara de infravermelhos, imagens dos vídeos sequenciadas por um intervalo de tempo constante. Mais tarde, estas imagens serão importadas para o ROS que procederá à sua análise e nos dará o valor da velocidade dinâmica de propagação que se define como declive da reta que relaciona a distância e o tempo por onde passou o fogo entre dois pontos (Viegas, 2006).

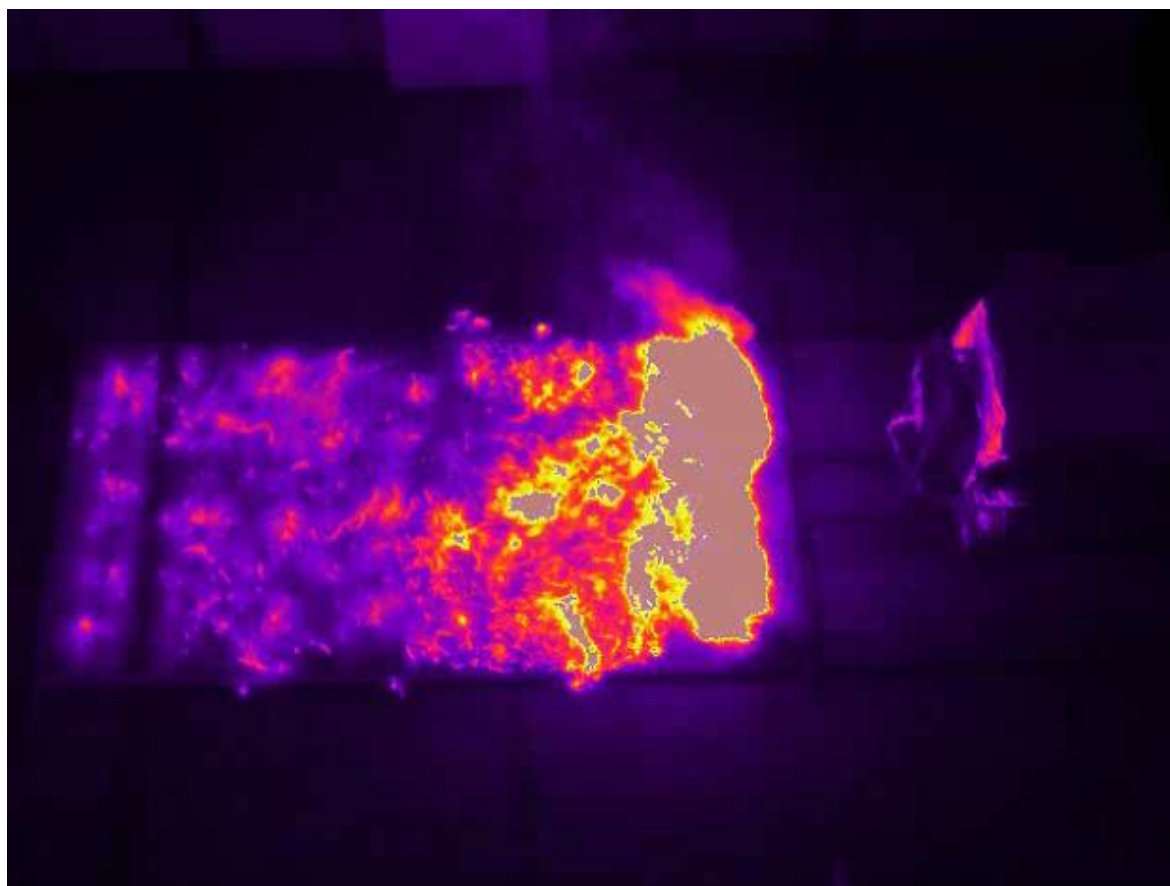


Figura 3.12. Exemplo de uma imagem de um dos vídeos filmados pela câmara de infravermelhos

Os valores registados pelo *FlexLogger* para o fluxo de calor total são dados em Volts. De forma a se proceder à sua análise, os valores devem ser convertidos para Watt por metro quadrado, segundo a seguinte razão:

$$1,007\text{mV} \leftrightarrow 1 \text{ W/cm}^2$$

Por fim, e de forma a analisar a intensidade da chama que é o melhor indicador do comportamento do fogo (Bryam, 1959), aplicaremos a seguinte fórmula:

$$I = \left(\frac{h}{0,1754} \right)^{\frac{1}{0,461}}$$

(Fonte: Viegas, Xavier, Incêndios Florestais)

Onde:

I – intensidade do fogo;

H – altura da chama.

4. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

4.1. Estação de Rio de Vide

4.1.1. Resultados e efeitos na Temperatura

Tal como foi dito no capítulo anterior, no dia 3 de junho procedeu-se à instalação da estação meteorológica. Por sua vez, no dia 3 de julho, aplicou-se a manta protetora que foi posteriormente retirada no dia 26 de julho para os ensaios experimentais. Na plataforma *Tekkon*, conseguimos extrair o seguinte gráfico:

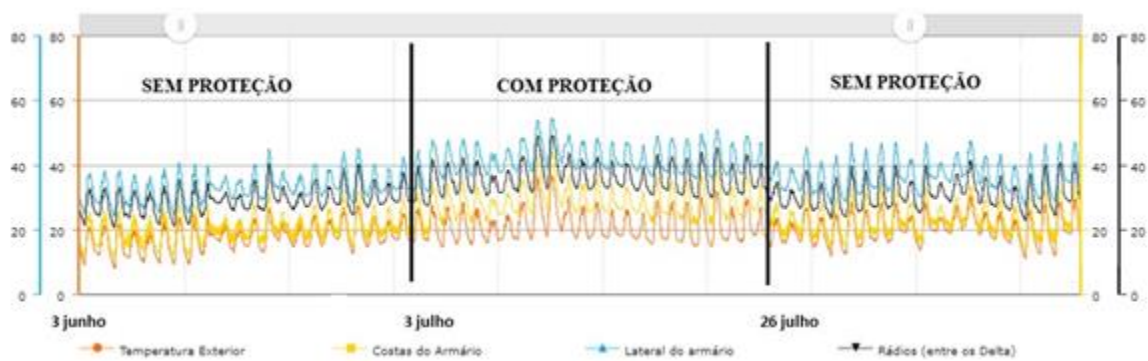


Figura 4.1. Registos das Temperaturas na estação meteorológica de 3 de junho a 3 de agosto. (*Tekkon*).

Para se avaliar as diferenças, procedeu-se à realização de um novo gráfico, gráfico esse onde ficasse representado as diferenças entre a temperatura exterior e as outras temperaturas medidas nos restantes termopares – temperatura na frente do armário, temperatura nas costas do armário e temperatura na lateral do armário. Os resultados desta diferença deram origem aos seguintes gráficos:

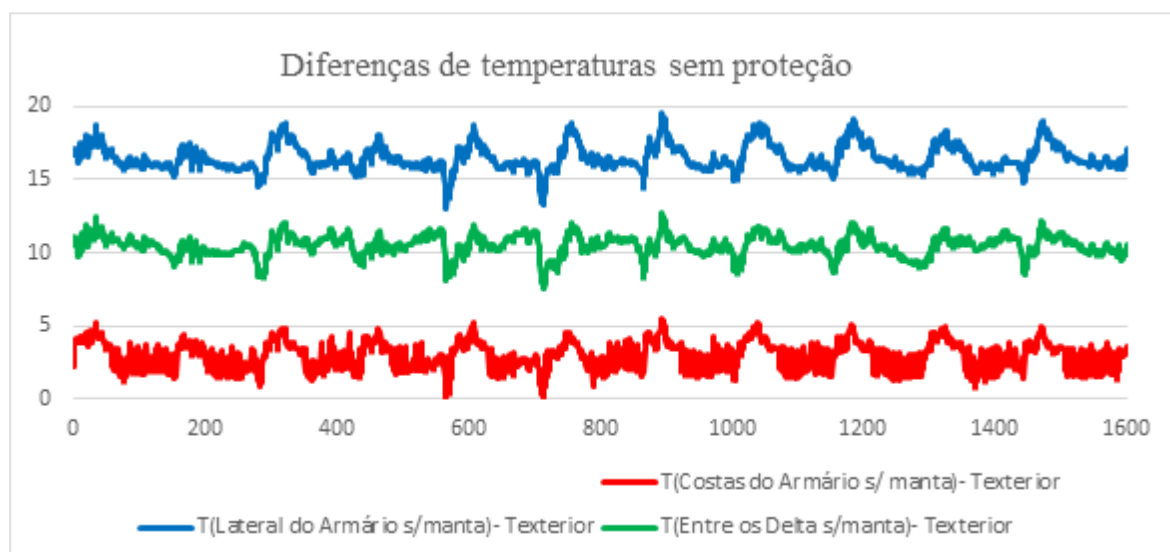


Figura 4.2. Diferença de temperatura entre o interior e exterior sem protecção.

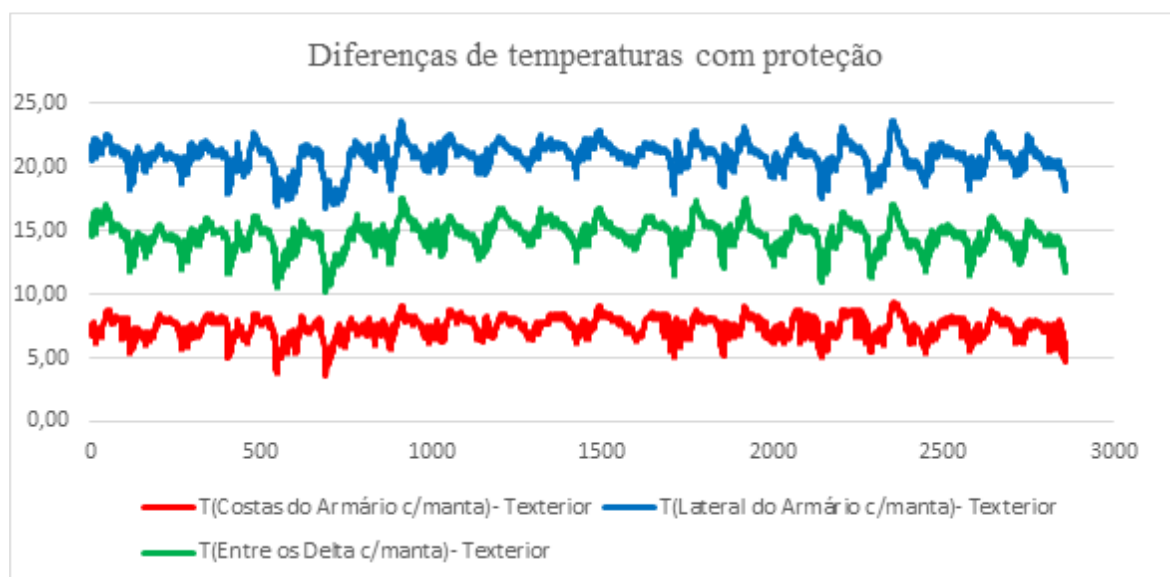


Figura 4.3. Diferença de temperaturas entre o interior e exterior com protecção.

Quando a proteção está aplicada existe uma diferença de temperatura na ordem dos 5 °C, devido ao efeito da manta da proteção, que desfavorece as trocas térmicas e o equilíbrio com o exterior. A temperatura do interior do armário subiu então 5 °C, podendo-se observar que a proteção realiza uma espécie de efeito de estufa na caixa. Contudo, em nenhum momento, a temperatura atingiu os 60°C, não colocando em causa o bom funcionamento dos rádios.

4.1.2. Resultados e efeitos na Humidade

Relativamente aos valores da humidade interior e exterior, obtivemos o gráfico apresentado na Figura 4.4:

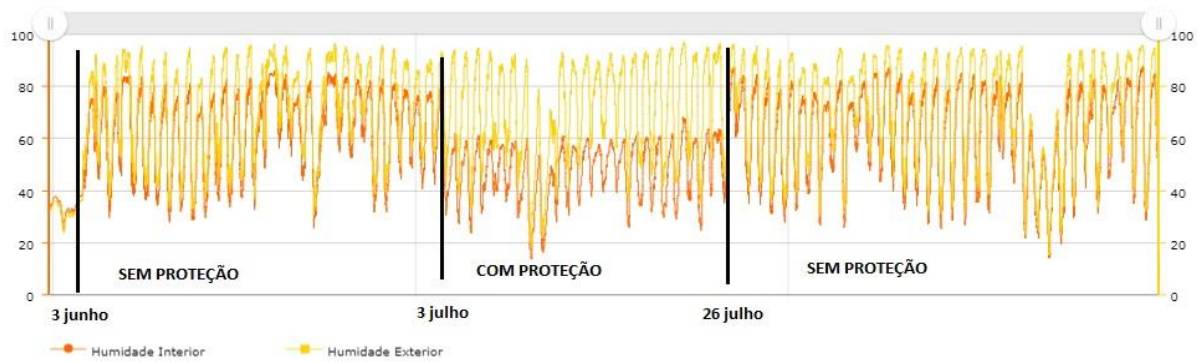


Figura 4.4. Registos da Humidade na estação de Rio de Vide, de 3 de junho a 3 de agosto. Fonte: Tekkon

Quando existe proteção, verifica-se uma diminuição considerável da humidade interior (linha laranja) na ordem dos 20%.

4.2. Resultados e discussão dos ensaios experimentais

Tal como foi dito no capítulo 3, nos ensaios experimentais considerámos diversas variáveis para obter o registo do maior número de possibilidades. Em primeira análise será importante considerar como variável principal a presença ou não da proteção. Em seguida, será interessante observar a influência que a refrigeração da caixa terá nas temperaturas da mesma.

4.2.1. Evolução das temperaturas

Os casos mais extremos dos ensaios experimentais estão representados nas Figuras 4.5 e 4.6:

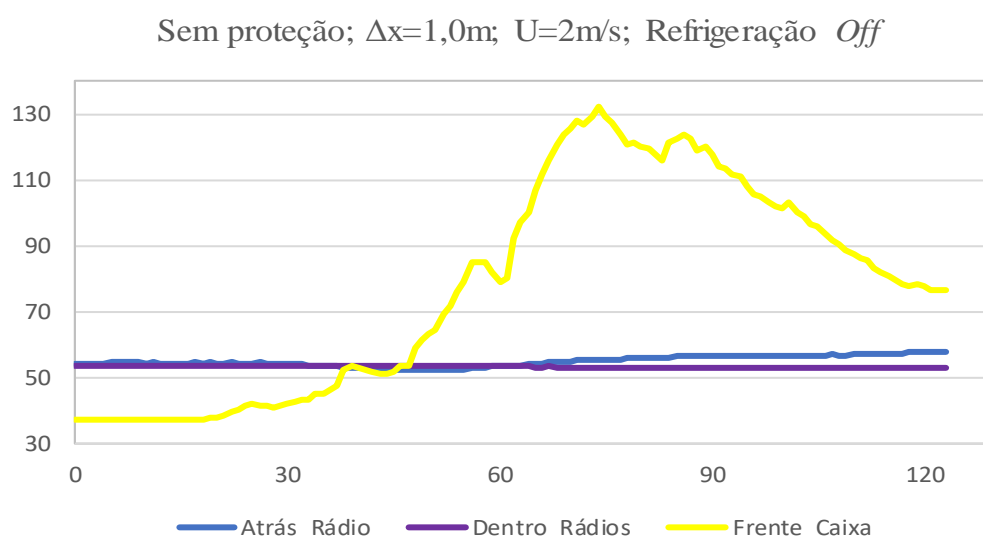


Figura 4.5. Figura da evolução das temperaturas do ensaio 4.

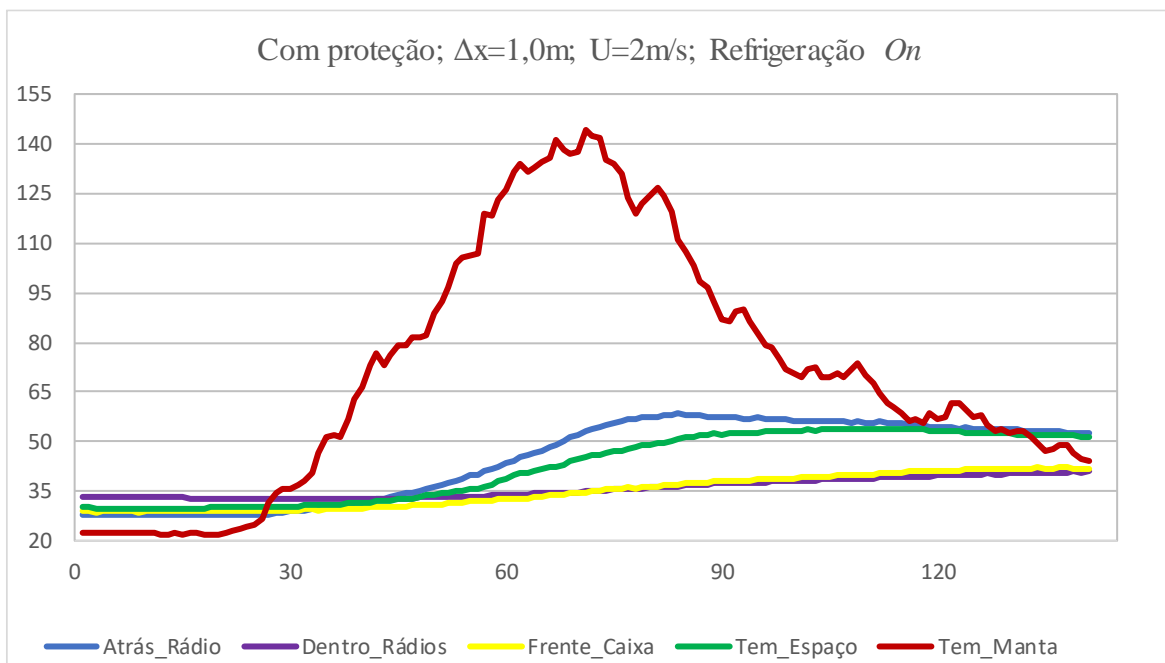


Figura 4.6. Figura da evolução das temperaturas do ensaio 10.

Quando o armário se encontra no seu funcionamento normal, sem proteção, sem estar sujeita ao fogo e com a ventilação desligada, a temperatura na zona dos rádios mantém-se entre os 50 e os 55 °C. Por sua vez, com a proteção ativa e com a ventilação ligada, a temperatura na zona dos rádios mantém-se entre os 30 e os 35 °C.

Considerando que a ignição da frente de fogo foi feita aos 30 segundos do ensaio, conseguimos reparar que o gradiente de temperatura é sempre maior na frente da caixa ou na manta quando a proteção está aplicada. Isto deve-se ao facto de ser o primeiro elemento do sistema a receber o calor por radiação e convecção.

Quando o armário sem proteção está sujeito ao fogo, com a refrigeração desligada, o gradiente de temperatura na zona dos rádios é praticamente nulo, mantendo-se na ordem dos 50 °C. Por sua vez, quando o armário com proteção, que se encontra a uma temperatura na ordem dos 30°C, está sujeito ao fogo, com a refrigeração ligada, sofre um aumento de temperatura muito maior. Contudo, pela observação das figuras 4.5 e 4.6, reparamos que a temperatura na zona dos rádios nunca chega a atingir valor da ordem dos 50 °C, como acontece quando a refrigeração da caixa está desligada.

A parte traseira da caixa sofre um aumento da temperatura devido ao comportamento das correntes de convecção de calor criadas pela ventilação do sistema, não sendo prejudicial ao bom funcionamento dos rádios.

4.2.2. Variação da velocidade do vento

Sem proteção; $\Delta x=1,0m$; $U=1 m/s$; Refrigeração *On*

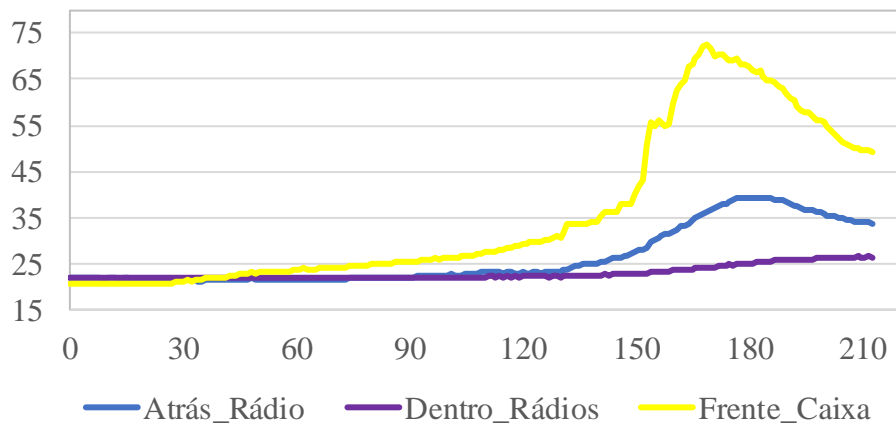


Figura 4.7. Figura da evolução das temperaturas do ensaio1

Com proteção; $\Delta x=1,0m$; $U=1 m/s$; Refrigeração *Off*

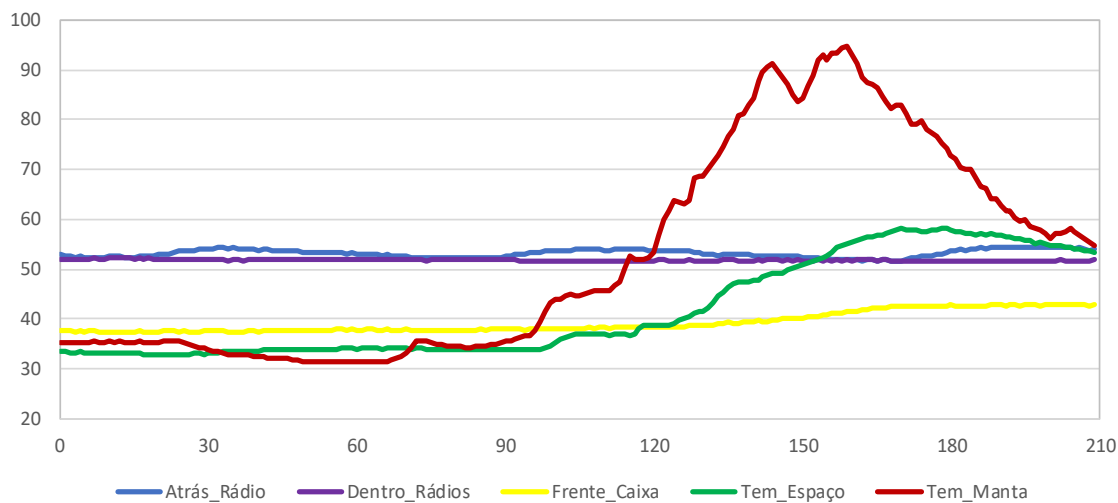


Figura 4.8. Figura da evolução das temperaturas do ensaio 11.

Comparando com as Figuras 4.5 e 4.6, verificamos que quando a velocidade do vento foi diminuída, a temperatura máxima atingida pela manta da proteção (quando aplicável) ou da frente da porta foi significativamente inferior. Isto acontece porque com a diminuição da velocidade do vento, o fluxo de calor deixa de ser tão bem direcionado ao armário.

Quando o armário se encontra no seu funcionamento normal, sem proteção, sem estar sujeita ao fogo e com a ventilação ligada, a temperatura na zona dos rádios mantém-se entre

os 20 e os 25°C. Por sua vez, com a proteção ativa e com a ventilação desligada, a temperatura na zona dos rádios mantém-se entre os 30 e os 35°C.

Considerando que a ignição da frente de fogo foi feita aos 30 segundos do ensaio, conseguimos reparar que o gradiente de temperatura é novamente superior na frente da caixa ou na manta quando a proteção está aplicada. Isto deve-se por ser ao facto de ser o primeiro elemento do sistema a receber o calor por radiação e convecção.

Quando o armário com proteção, que se encontra a uma temperatura na ordem dos 50 °C, está sujeito ao fogo, com a refrigeração ligada, não sofre variação significativa. Por sua vez, quando o armário sem proteção está sujeito ao fogo, com a refrigeração ligada, o gradiente de temperatura na zona dos rádios é na ordem dos 10°C. Contudo, pela observação das figuras 4.7 e 4.8, reparamos que o aumento da temperatura na zona dos rádios nunca chega a atingir valor da ordem dos 50°C como acontece quando a refrigeração da caixa está desligada.

Mais uma vez, a parte traseira da caixa sofre um aumento da temperatura devido ao comportamento das correntes de convecção de calor criadas pela ventilação do sistema, não sendo prejudicial ao bom funcionamento dos rádios.

4.2.3. Variação da distância do leito ao sistema

As Figuras 4.9 e 4.10 são relativas aos ensaios onde se aumentou a distância do leito à caixa de armários e proteção (quando aplicável).

Sem proteção; $\Delta x=1,5m$; $U=2m/s$; Refrigeração *On*

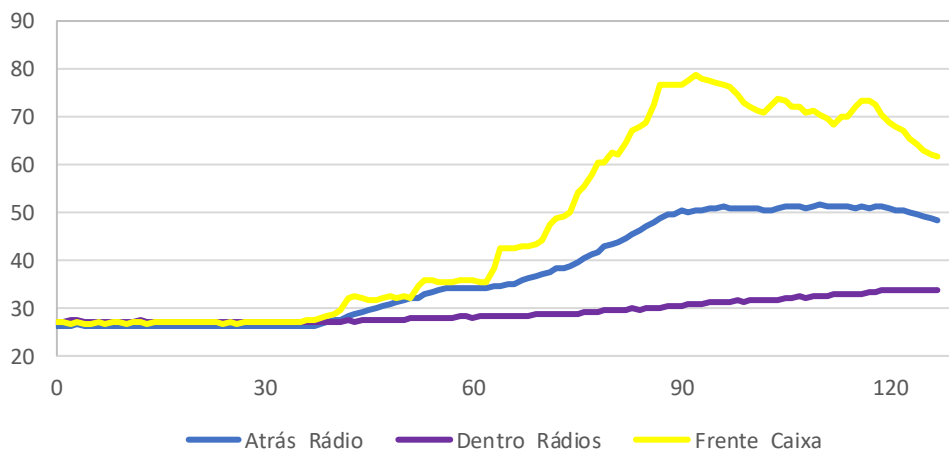


Figura 4.9. Figura da evolução das temperaturas do ensaio 6.

Com proteção; $\Delta x=1,5m$; $U=2m/s$; Refrigeração *On*

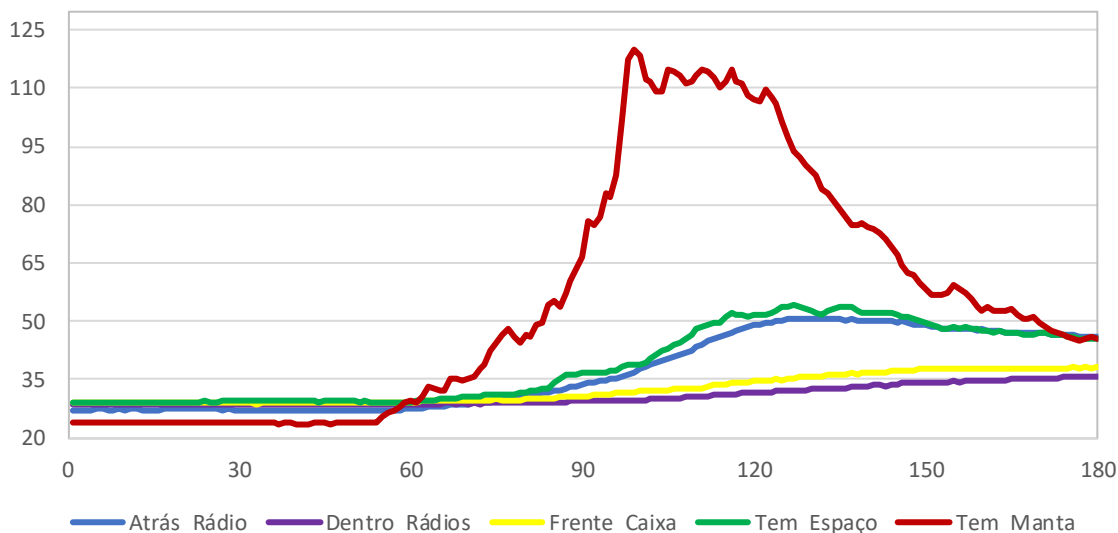


Figura 4.10. Figura da evolução das temperaturas do ensaio 14.

Em primeira análise, comparando com as mesmas condições de vento, verifica-se que quando a distância ao leito aumentou, a temperatura máxima atingida pela frente da

caixa dos rádios diminuiu na ordem dos 50 °C e que, quando a proteção está aplicada, a temperatura atingida pela manta diminuiu cerca de 30 °C..

No que diz respeito à temperatura sentida na zona dos rádios, as alterações são idênticas às já referidas anteriormente, ou seja, apesar de haver um aumento de temperatura na zona, devido à ação da refrigeração, esse aumento nunca coloca em causa o bom funcionamento dos rádios.

Como tal, é benéfico para o sistema que a distância ao combustível seja tão grande quanto o possível.

4.2.4. Ensaio sem vento

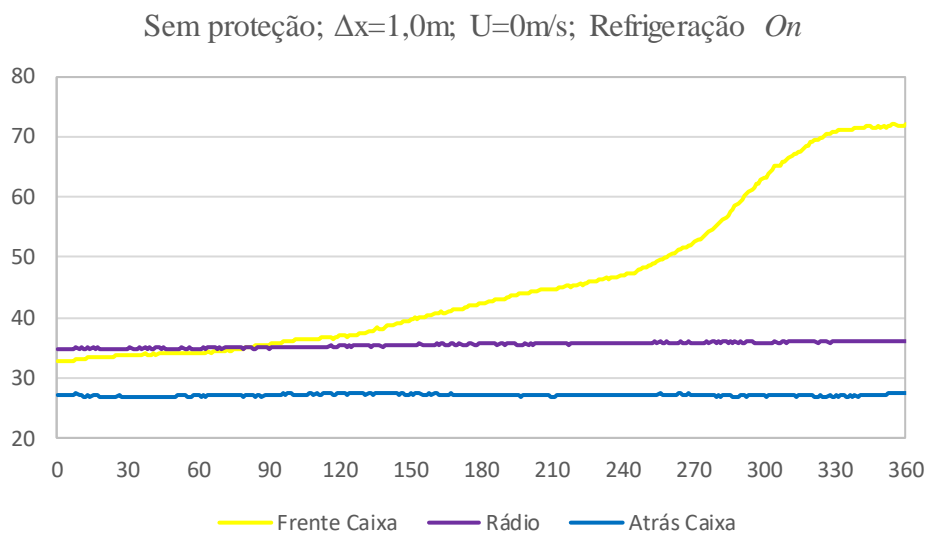


Figura 4.11. Figura da evolução das temperaturas do ensaio 17.

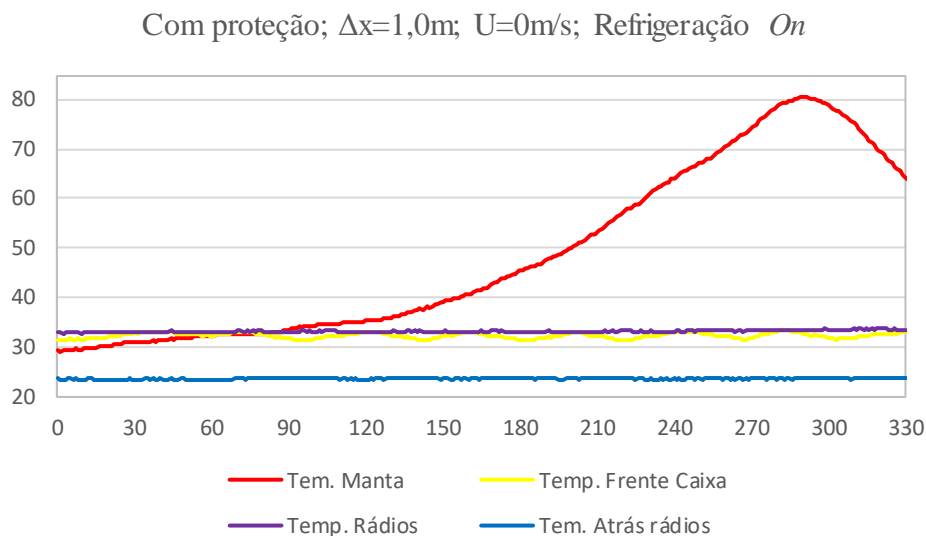


Figura 4.12. Figura da evolução das temperaturas do ensaio 18

Quando analisamos os ensaios sem vento, representados nas Figuras 4.11 e 4.12, reparamos desde logo que o tempo de ensaio é bastante superior pois devido à inexistência de fluxo de oxigénio a reação do fogo não é favorecida.

Considerando que a ignição da frente de fogo foi realizada ao segundo 15, reparamos que o aumento da temperatura da frente de rádios ou da manta protetora (quando aplicável) é muito mais lento também. Quando a proteção está aplicada, a temperatura da frente da caixa mantém-se praticamente inalterada, não havendo também oscilações nas temperaturas do interior do armário.

A temperatura da zona dos rádios quando estamos perante a proteção ativa ou não, não sofre alterações significativas, mantendo-se sempre na ordem dos 35°C, devido à refrigeração estar ligada.

Em anexo, encontram-se todas as figuras relativas às experiências.

4.2.5. Compilação de resultados

Todos os resultados obtidos estão compilados na tabela 4.1.:

Tabela 4.1. Compilação das variáveis em estudo

Proteção	Ventilação	$\Delta x(m)$	U (m/s)	T _{máx, Frente Caixa} (°C)	T _{máx, Manta} (°C)	T _{máx, Rádios} (°C)	Fluxomáx Calor (KW/m ²)	Intensidade Chama (KW/m)
ATIVA	ON	1,0	0	33,4	80,5	33,7	14,7	0,189
ATIVA	ON	1,0	1	38,9	108,9	37,2	31,2	0,203
ATIVA	ON	1,0	2	42,0	144,1	40,9	35,1	0,403
ATIVA	OFF	1,0	1	43,0	94,7	52,2	19,0	0,198
ATIVA	OFF	1,0	2	50,9	207,1	53,0	28,6	0,460
ATIVA	ON	1,5	1	31,4	53,12	29,5	12,1	0,154
ATIVA	ON	1,5	2	38,2	119,8	36,2	21,2	0,404
ATIVA	OFF	1,5	1	35,5	70,5	36,4	14,6	0,201
ATIVA	OFF	1,5	2	43,6	104,8	49,4	31,4	0,386
INATIVA	ON	1,0	0	72,0	NA	36,2	15,2	0,189
INATIVA	ON	1,0	1	72,6	NA	26,8	23,1	0,207
INATIVA	ON	1,0	2	121,4	NA	36,9	41,4	0,391
INATIVA	OFF	1,0	1	75,7	NA	52,6	20,1	0,200
INATIVA	OFF	1,0	2	132,4	NA	53,6	41,3	0,470
INATIVA	ON	1,5	1	44,6	NA	28,1	12,7	0,139
INATIVA	ON	1,5	2	79,1	NA	34,0	25,6	0,413
INATIVA	OFF	1,5	1	60,3	NA	41,8	14,8	0,194
INATIVA	OFF	1,5	2	104,1	NA	50,6	39,6	0,383

Quando as velocidades do vento são maiores, as temperaturas aumentam em toda a sua gama pois o fluxo máximo de calor direcionado à estrutura é superior.

Denota-se também que sempre que a velocidade do vento aumenta, a intensidade máxima das chamas e o fluxo de calor direccionado no armário é maior, provocando então um maior aumento de temperaturas. Analisando as figuras, notamos ainda que as temperaturas do sistema também são superiores quando a velocidade do vento aumenta, fruto do maior fluxo de calor direcionado para o armário ou para a estrutura protetora.

Quando estamos perante uma situação de proteção ativa, o fluxo de calor que seria direcionado sobre o armário é absorvido pela manta, o que faz com que a temperatura dessa manta se eleve de forma bastante significativa. Isto permite que o armário não seja aquecido de igual forma, logo as temperaturas da frente da caixa serão menores. Por tudo isto, considera-se o efeito da manta como um efeito favorável.

Quando o sistema está sujeito ao fogo, verificamos que as temperaturas na zona dos rádios, quando a proteção está ativa, nunca são superiores às temperaturas sentidas nessa mesma zona quando a proteção está inativa, independentemente de o sistema ser ou não refrigerado. Por tudo isto, considera-se que a presença da estrutura protetora, em face de um incêndio florestal, é favorável.

No que concerne à ação da refrigeração, denotamos que quando está ativa, é criado no sistema um aumento de temperatura bastante superior àquele que é criado quando está inativa. Contudo verifica-se que quando a refrigeração está ativa, as temperaturas máximas no sistema não são, em momento algum, superiores àquelas registadas quando a refrigeração está inativa. Por tudo isto, considera-se que o sistema de ventilação ativo é favorável ao bom funcionamento da caixa dos rádios.

É importante referir que quando aumentámos o valor da distância do leito à caixa de rádio, as temperaturas do sistema diminuíram. Por isso, considera-se que o aumento da distância do armário ao leito de combustível, na medida do possível, como um ponto favorável.

É de realçar ainda que, quando o armário não está sujeito ao fogo, como na primeira fase do estudo, as temperaturas do sistema aumentam cerca de 5 °C, devido ao efeito de estufa produzido pela manta, sem que nunca se chegue a atingir o limite suportado pelos rádios, de 60°C.

5. CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS DE ESTUDO

Após a análise e discussão dos resultados conclui-se que a refrigeração do armário é uma peça fundamental do sistema e deve trabalhar sempre que possível, pois torna muito mais fácil a manutenção da estabilidade térmica e das gamas de temperatura de segurança.

Relativamente à proteção, denota-se que a influência aquando da presença do fogo é positiva, pois reduz consideravelmente o impacto sentido pelo armário. Verifica-se que com a utilização da proteção, as temperaturas atingidas pelo armário e pelos rádios não aumentam tanto como quando o sistema está desprotegido, impedindo assim que sejam atingidas, na exposição ao fogo, temperaturas suficientemente elevadas ao ponto de comprometer o bom funcionamento dos mesmos.

Quando o armário não está sujeito ao fogo, a sua temperatura inicial é cerca de 5°C superior quando coberto para proteção, devido ao efeito de estufa por ela produzido. Logo, de forma preventiva e calculista relativamente à presença de um incêndio florestal, a estrutura protetora deve ser aplicada em todas as estações de rádio, estando o sistema de refrigeração em pleno funcionamento para que seja reduzido, dentro do possível, o efeito de estufa da proteção.

De forma a desenvolver e aumentar o rendimento desta proteção, seria benéfico perceber como seria o comportamento do armário e a conseqüente evolução das suas temperaturas se a manta protetora não possuísse parte refratária (revestimento de alumínio). Seria também interessante e seguro para as estações de rádios, estudar o comportamento do fogo nos cabos elétricos e ainda a influência que uma outra estrutura protetora poderia ter sobre os mesmos. Por fim, tendo a refrigeração um papel tão importante para a segurança de funcionamento dos rádios, sugere-se que seja estudado o efeito que a refrigeração terá se colocada nas laterais do armário, ao invés da localização adotada neste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. <https://www.parlamento.pt/sites/COM/XIILeg/GTARAPIF/Paginas/RelatorioFiscal.aspx> (acedido a 3 de agosto);
2. Instituto Português do Mar e da Atmosfera.
<http://www.ipma.pt/pt/publicacoes/boletins.jsp?cmbDep=sis&idDep=sis&idTema=&curAno=-1> (acedido a 5 de agosto);
3. Estudo geral:
<https://estudogeral.sib.uc.pt/handle/10316/112/browse?type=author&order=ASC&rpp=20&authority=rp59333>
4. *Fireproof building panels* <https://patents.google.com/patent/US4744186A/en>.
(acedido a 3 de agosto)
5. Laboratório de Estruturas e Resistência ao Fogo <http://lerf.web.ua.pt/>
6. *Fiberglass Mesh Can be Used for Fireproof Window Screen*
<http://www.security-screens.org/securityscreens/fiberglass-mesh.html>
7. Relatório do grupo de trabalho dos Incêndios Florestais de 2017
<https://www.anacom.pt/render.jsp?contentId=1436120>
8. MORITZ, Max A.; MORAIS, Marco E.; SUMMERELL, Lora A.; CARLSOM, J.M; DOYLE, Jonh (2005) – *Wildfires, complexity and highly optimized tolerance*, University of California, Vol. 12, nº50, pp.17913, disponível em <http://www.pnas.org/content/102/50/17912.full.pdf+html> (acedido a e de março).
9. Viegas, Domingos Xavier. (2004). *Cercados Pelo Fogo*. Minerva Coimbra. Coimbra.
10. Viegas, Domingos Xavier. (2004). *Cercados Pelo Fogo*. Minerva Coimbra. Coimbra, 2009.
11. Forestis (2007) – *Guia Prático de intervenção em áreas florestais sensíveis aos riscos – Risco de erosão, incêndios, fitossanitários*, Projeto Florestar – Sustentabilidade da Floresta.
12. Pereira, J.M.C., J.M.B. Carreiras, J.M.N. Solva, & M.J. Vasconvelos (2006) – “Alguns conceitos básicos sobre os fogos rurais em Portugal.
13. Van Wagner, C.E. “*Effect of slope on fire spread rate.*”, *Canadian Forestry Service Bymonthly Research Notes*, 1977: 33 (1), 7-8

14. Beck, J., Parminter, J., Alexander, M., MacDermid, E., Van Nest, T. and Beaver, A. “Fire ecology and management.” *Forestry handbook for British Columbia*. Faculty of Forestry, University of British Columbia, Vancouver, B.C., Canada: 5th edition., 2005.
15. Bryam, G. M. 1959, *Combustion of forest fuel*. in *Forest fire: control and use*. Edited by K. P. Davis. McGraw-Hill, New York
16. Centro de Estudos sobre Incêndios Florestais, O complexo de incêndios de Pedrógão Grande e concelhos limítrofes, iniciado a 17 de junho 2017, 2017
17. Abouali, Abdelrahman. 2017. “Fire ROS Calculator”
https://github.com/AAbouali/Fire_ROS_Calculator
18. VIEGAS Xavier, ROSSA Carlos, MÁRIO Luis. Incêndios Florestais. Lisboa, Portugal, Verlag Dashoer Edições Profissionais, Unip., Lda., 2011
19. Baptista, R.M, Mecanismos de Proteção Ativa de Pessoas e Infraestruturas Conta Incêndios Florestais. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra

ANEXO A

Gráficos relativos aos ensaios sem proteção e com a refrigeração ligada.

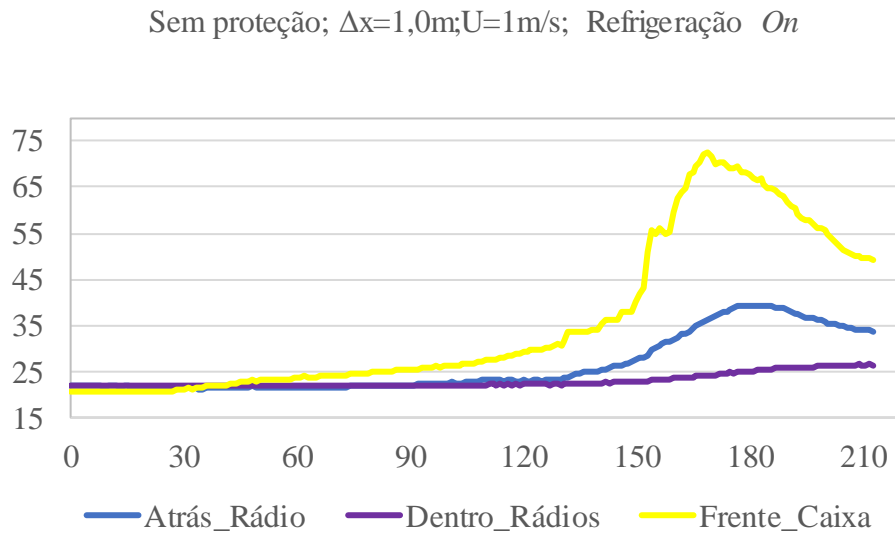


Figura A.1. Figura da evolução das temperaturas do ensaio 1

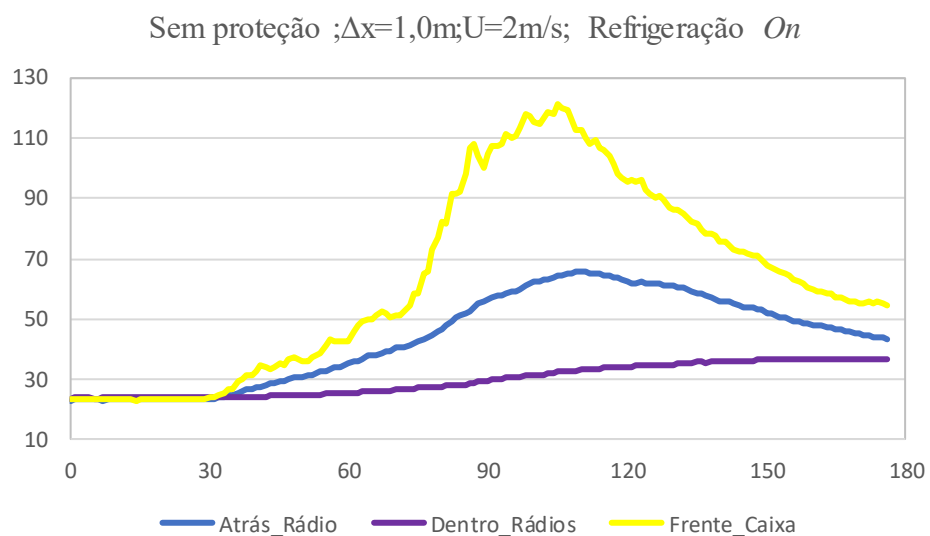


Figura A.2. Figura da evolução das temperaturas do ensaio 2

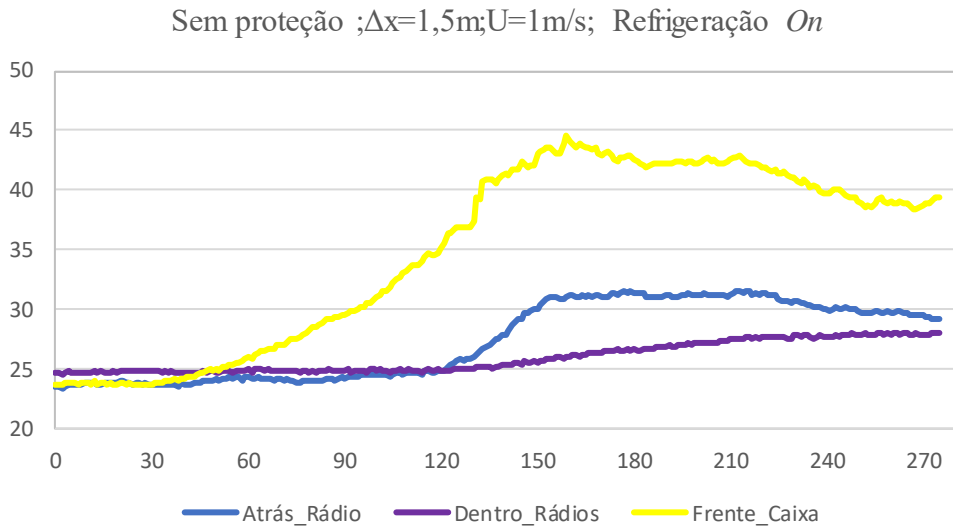


Figura A.3. Figura da evolução das temperaturas do ensaio 5

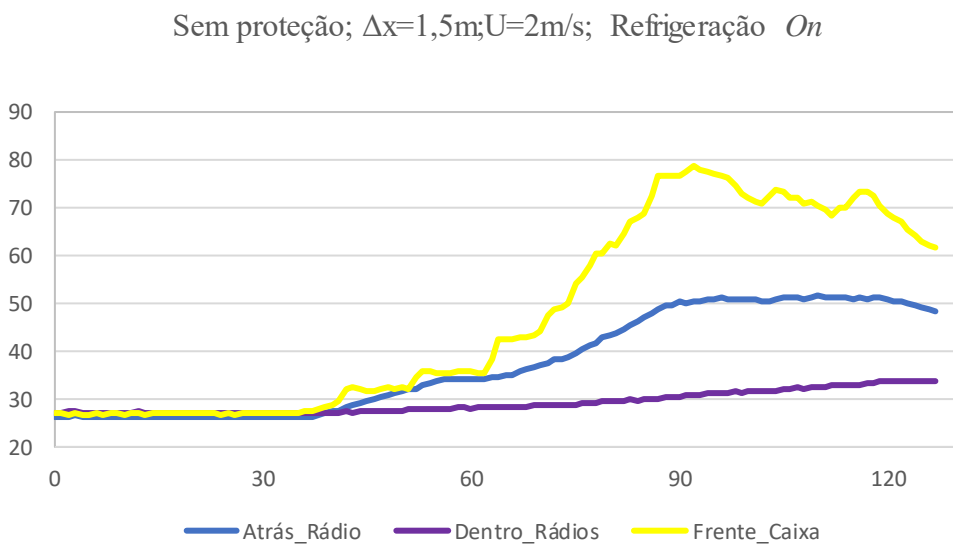


Figura A.4. Figura da evolução das temperaturas do ensaio 6

ANEXO B

Gráficos relativos aos ensaios sem proteção e com a refrigeração desligada.

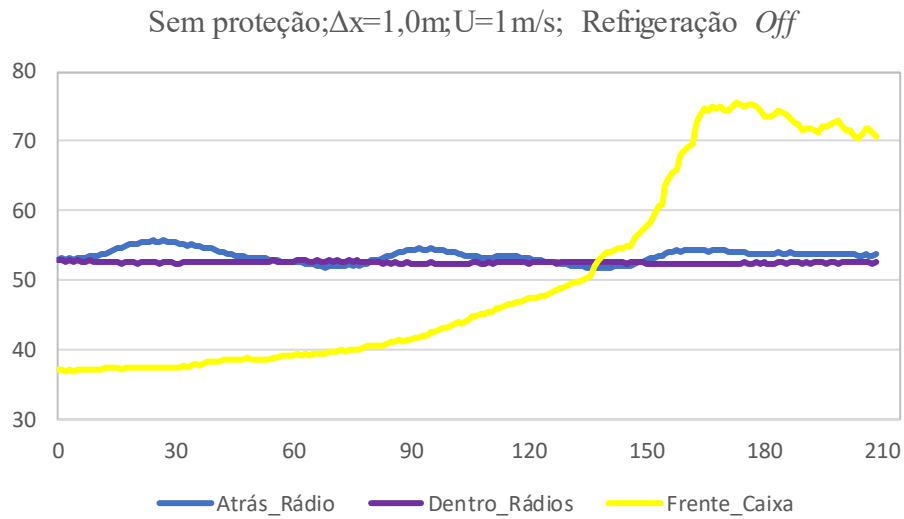


Figura B.1. Figura da evolução das temperaturas do ensaio 3

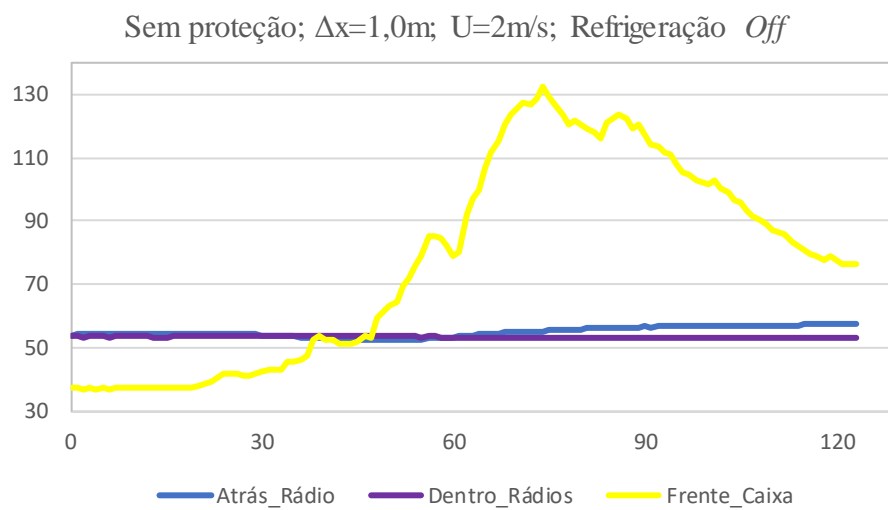


Figura B.2. Figura da evolução das temperaturas do ensaio 4

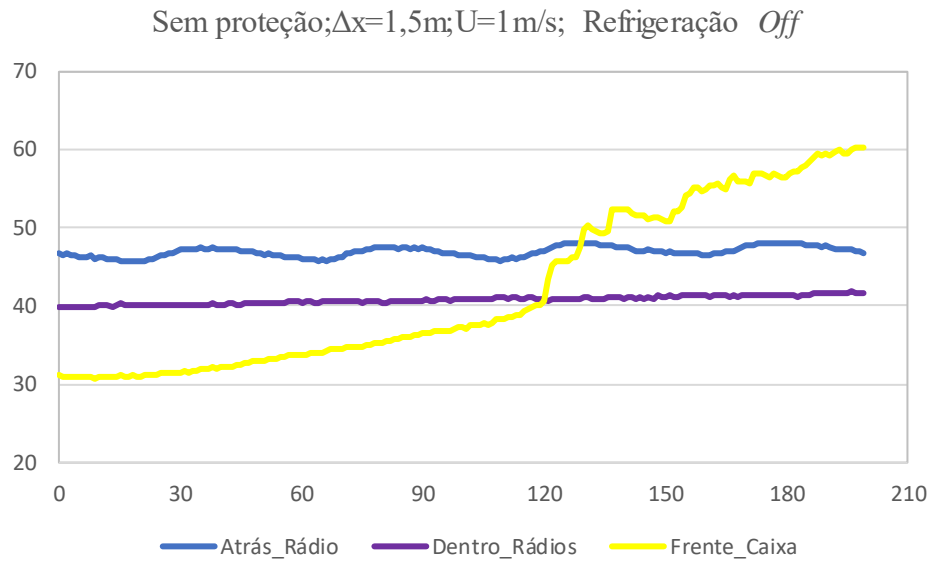


Figura B.3. Figura da evolução das temperaturas do ensaio 7

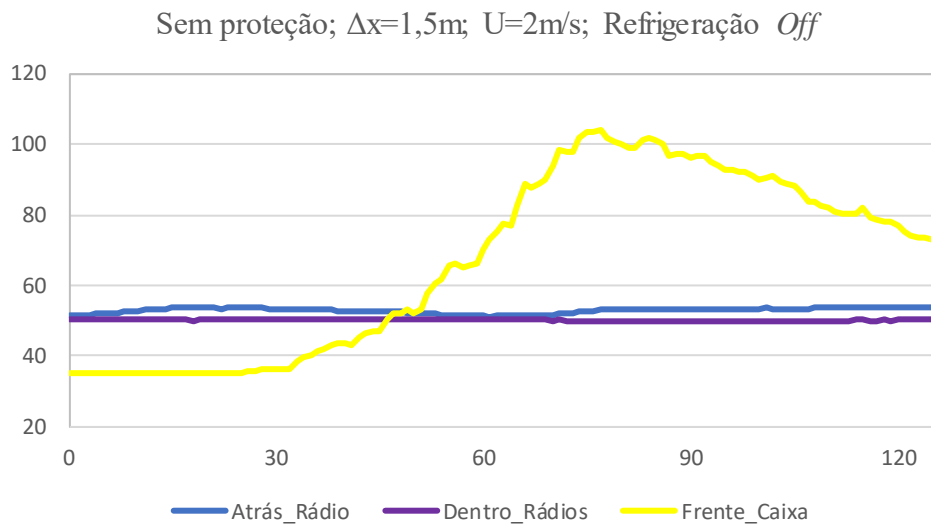


Figura B.4. Figura da evolução das temperaturas do ensaio 8

ANEXO C

Gráficos relativos aos ensaios com proteção e com a refrigeração ligada.

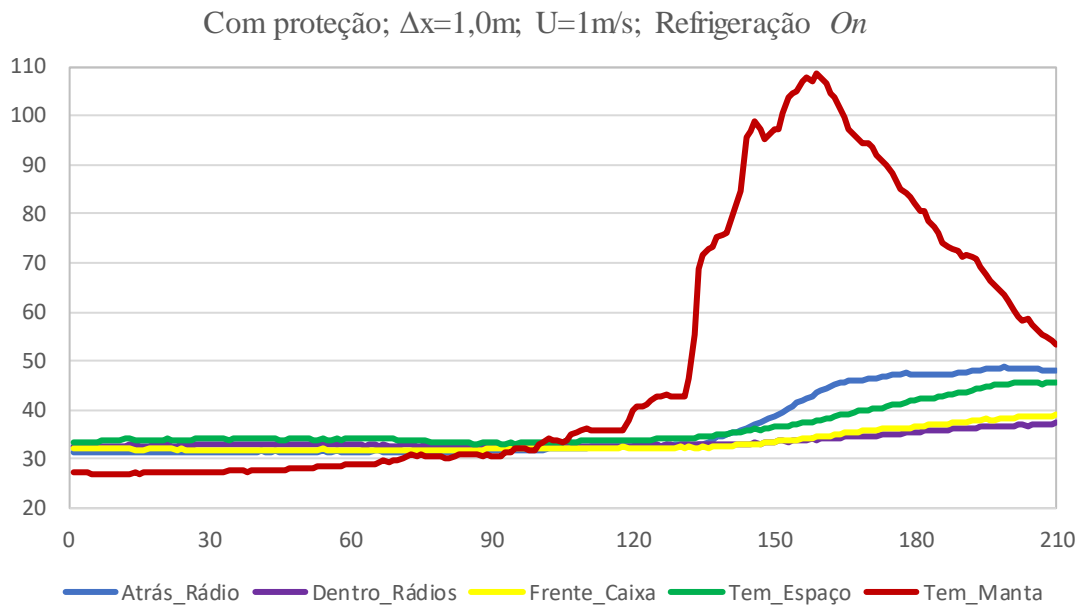


Figura C.1. Figura da evolução das temperaturas do ensaio 9

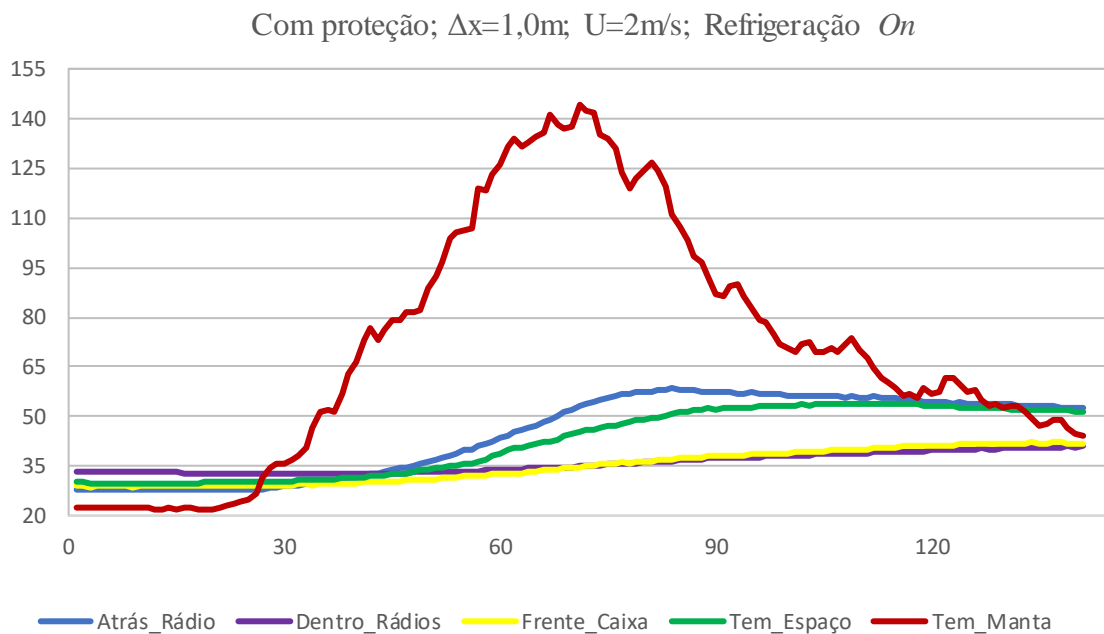


Figura C.2. Figura da evolução das temperaturas do ensaio 10

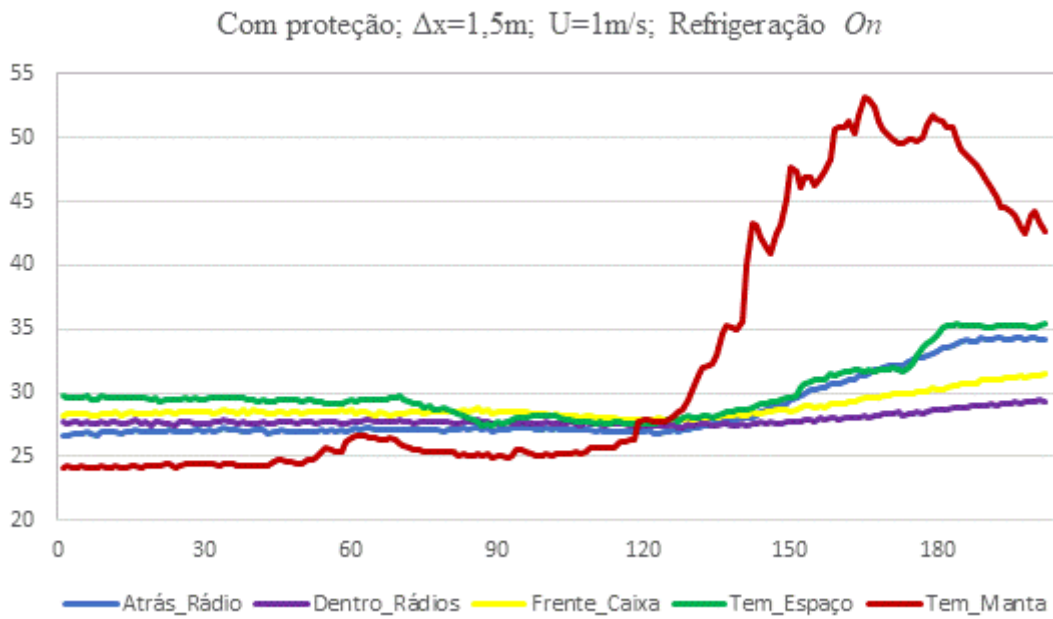


Figura C.3. Figura da evolução das temperaturas do ensaio 13

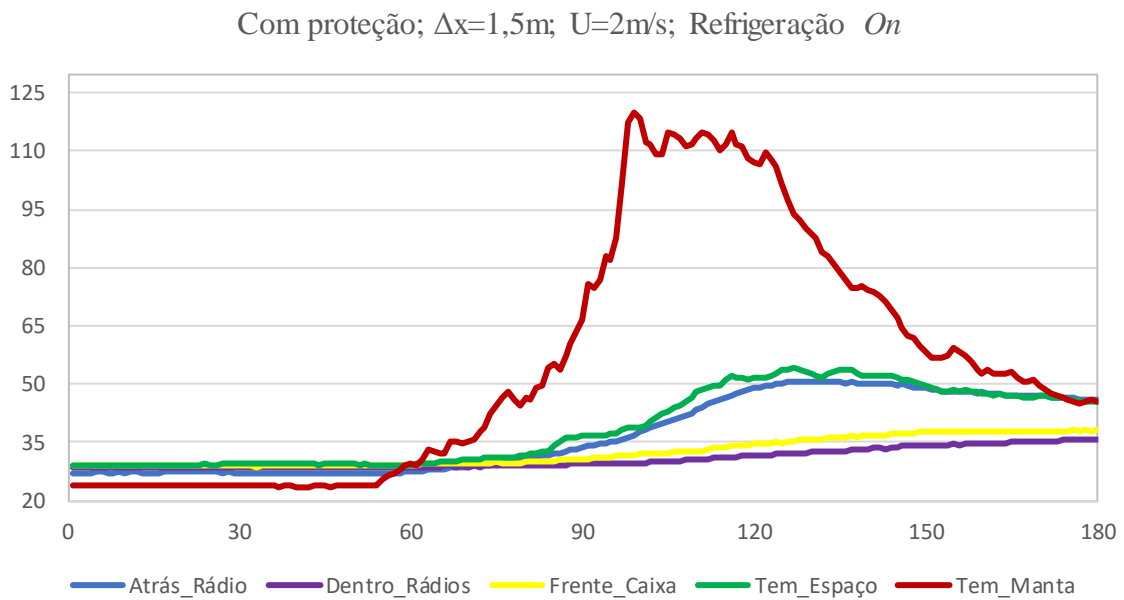


Figura C.4. Figura da evolução das temperaturas do ensaio 14

ANEXO D

Gráficos relativos aos ensaios com proteção e com a refrigeração desligada.

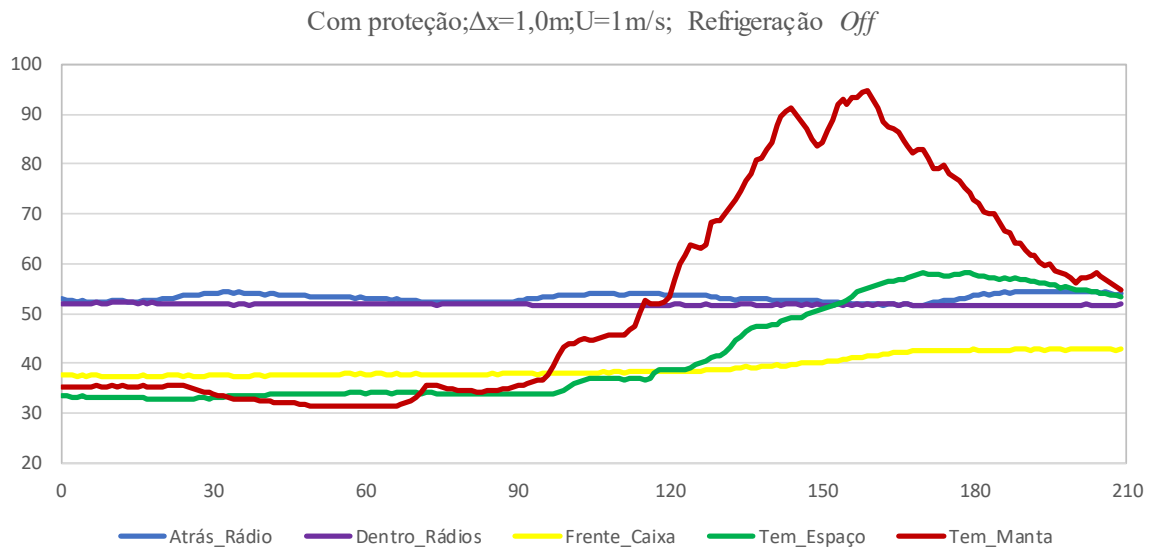


Figura D.1. Figura da evolução das temperaturas do ensaio 11

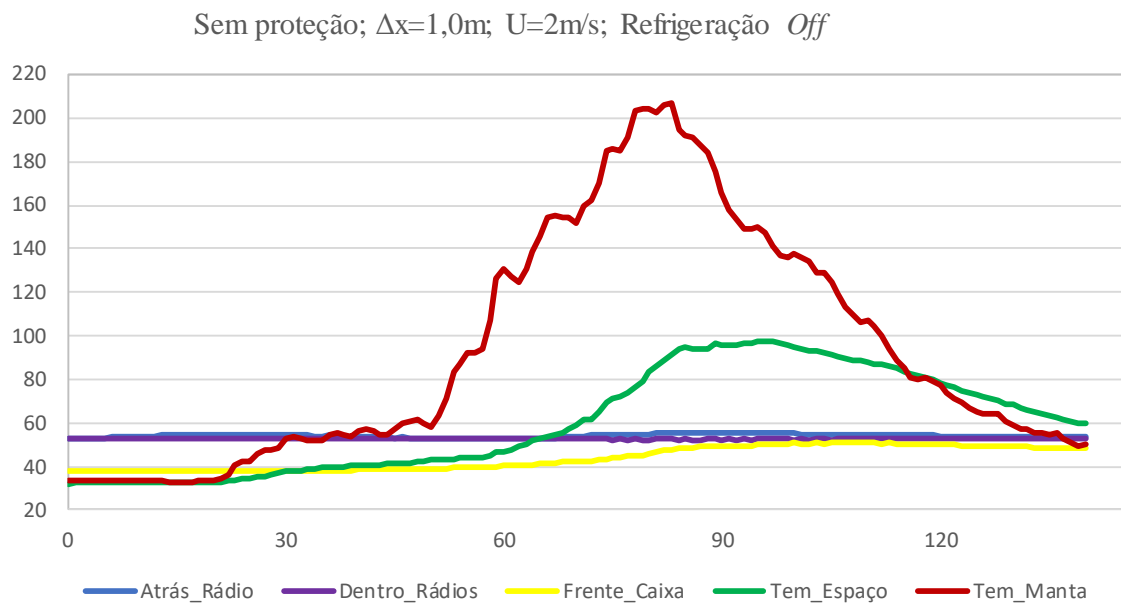


Figura D.2. Figura da evolução das temperaturas do ensaio 12

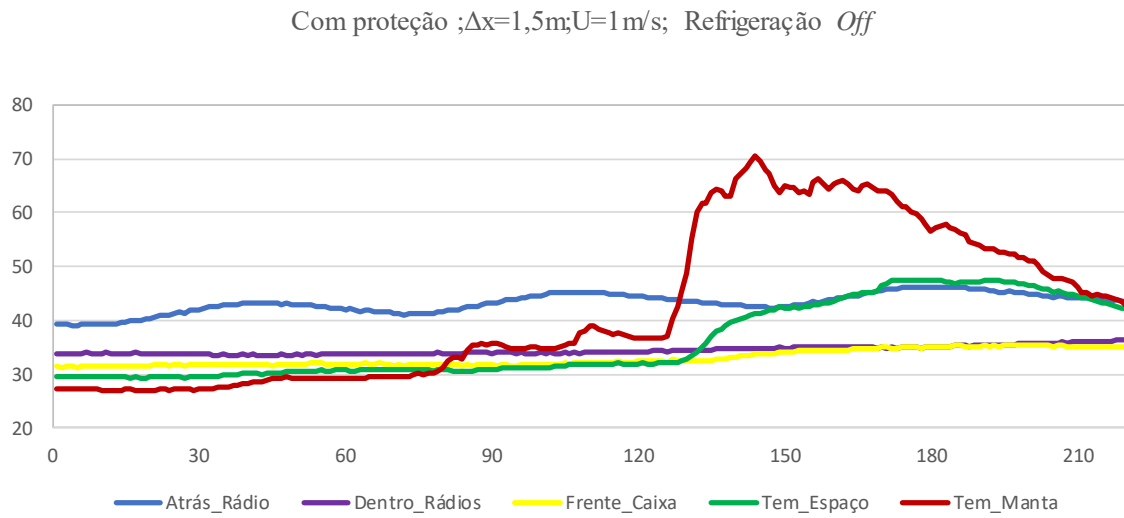


Figura D.3. Figura da evolução das temperaturas do ensaio 15

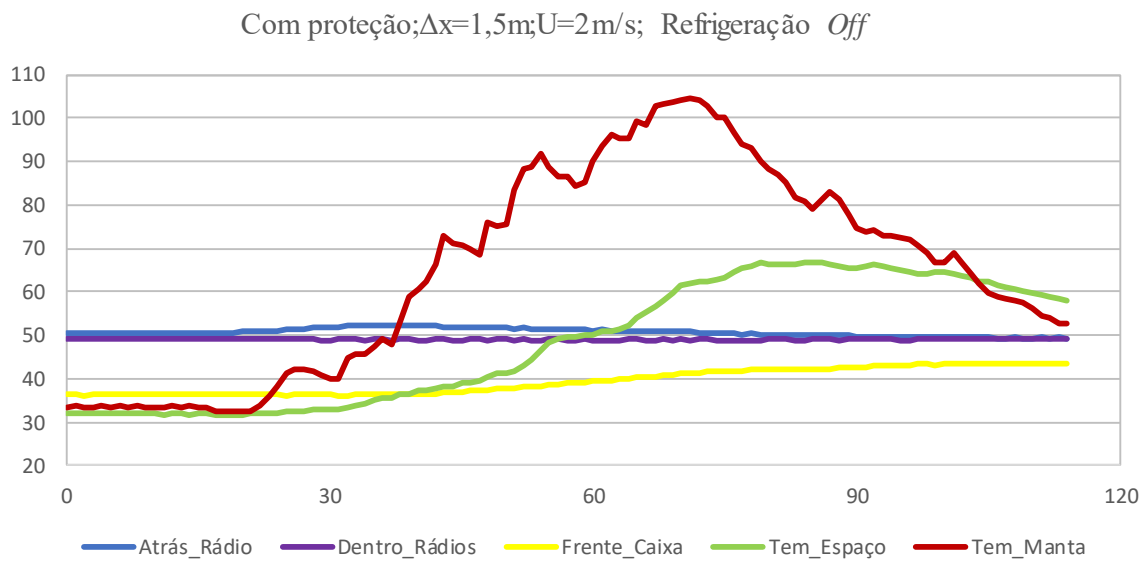


Figura D.4. Figura da evolução das temperaturas do ensaio 16

ANEXO E

Gráficos relativos aos ensaios com e sem proteção, mas sem vento.

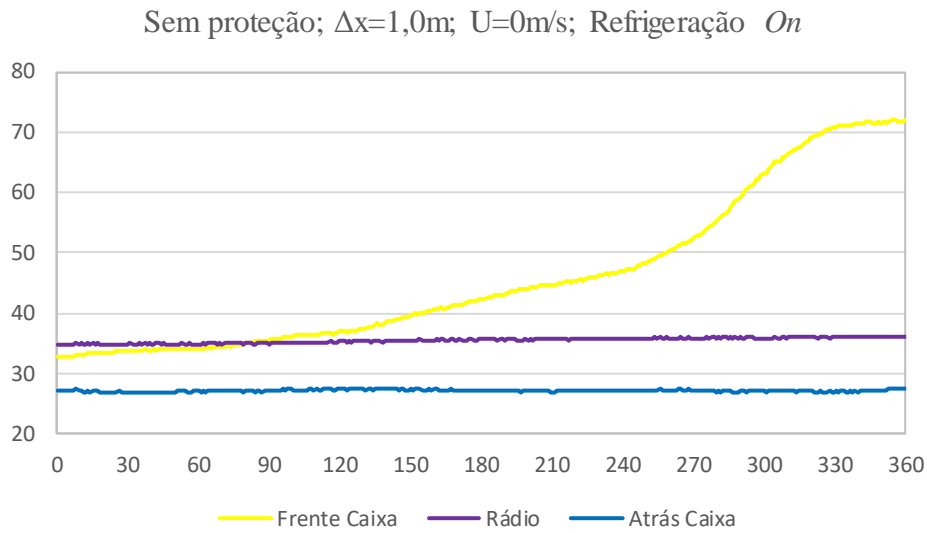


Figura E.1. Figura da evolução das temperaturas do ensaio 18

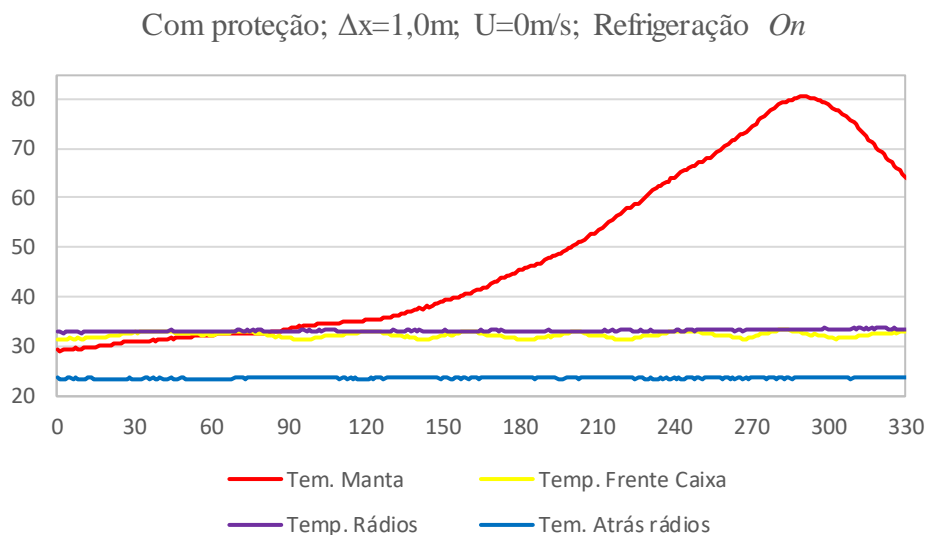


Figura E.2. Figura da evolução das temperaturas do ensaio 17

ANEXO F

Figuras relativas à evolução do fluxo de calor total aos ensaios sem proteção e com refrigeração ligada.

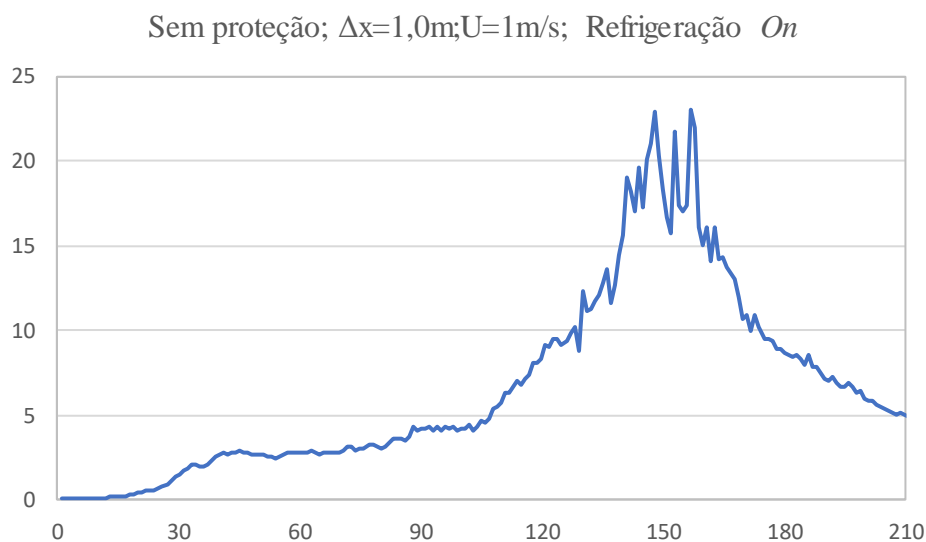


Figura F.1. Figura da evolução do fluxo de calor total do ensaio 1

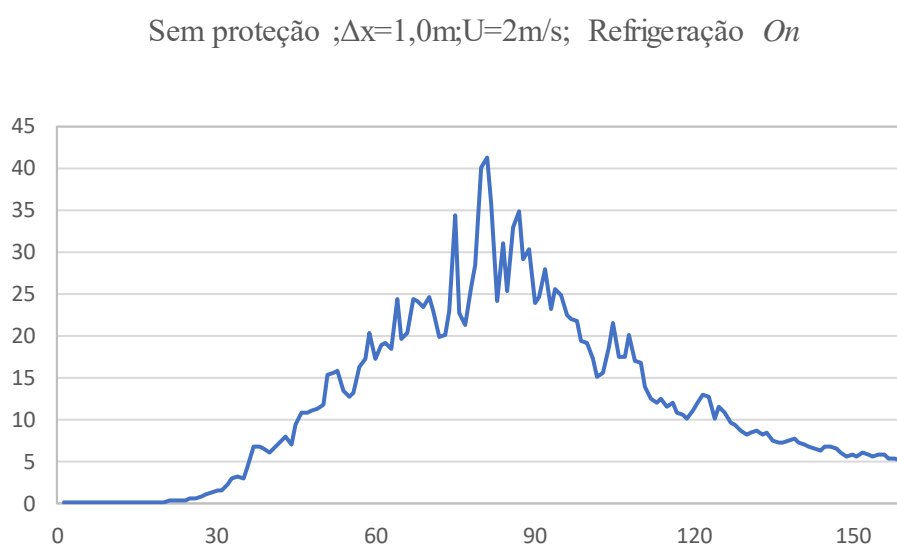


Figura F.2. Figura da evolução do fluxo de calor total do ensaio 2

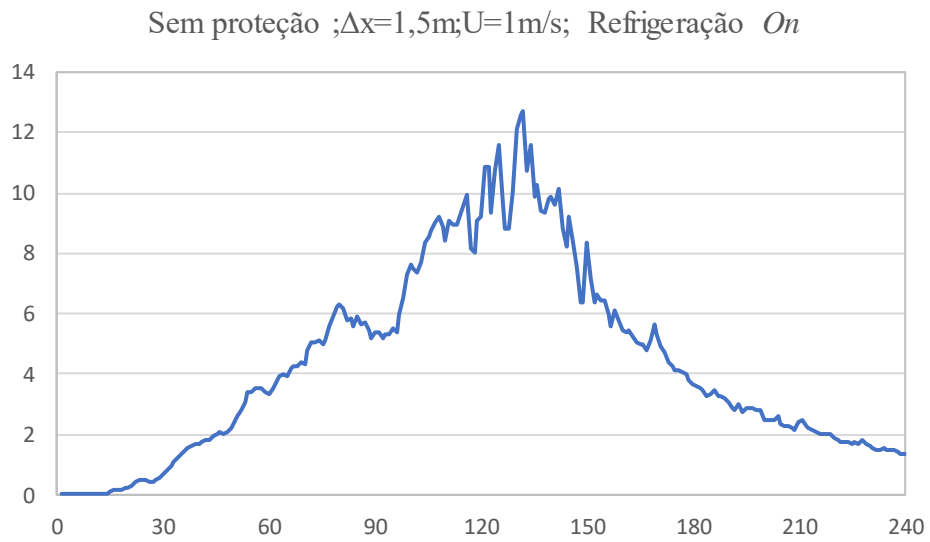


Figura F.3. Figura da evolução do fluxo de calor total do ensaio 5

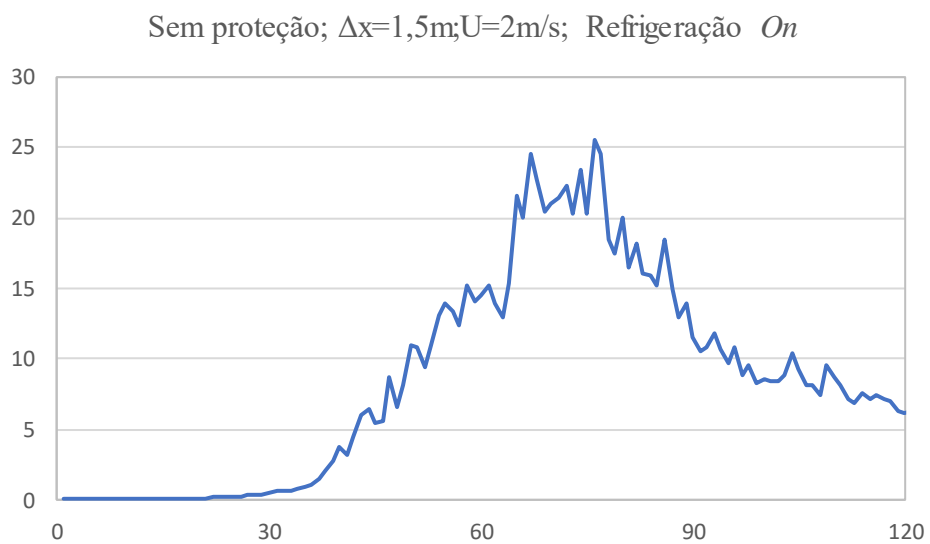


Figura F.4. Figura da evolução do fluxo de calor total do ensaio 6

ANEXO G

Figuras relativas à evolução do fluxo de calor total aos ensaios sem proteção e com refrigeração desligada.

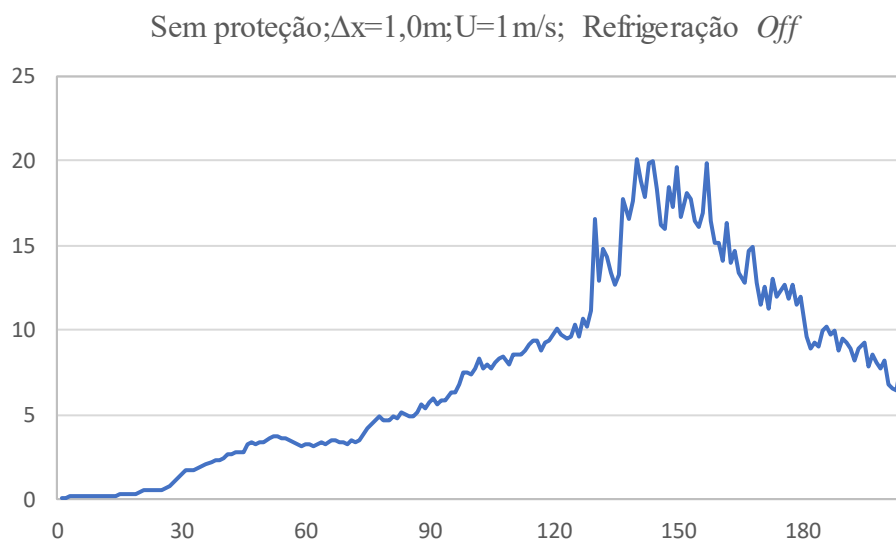


Figura G.1. Figura da evolução do fluxo de calor total do ensaio 3

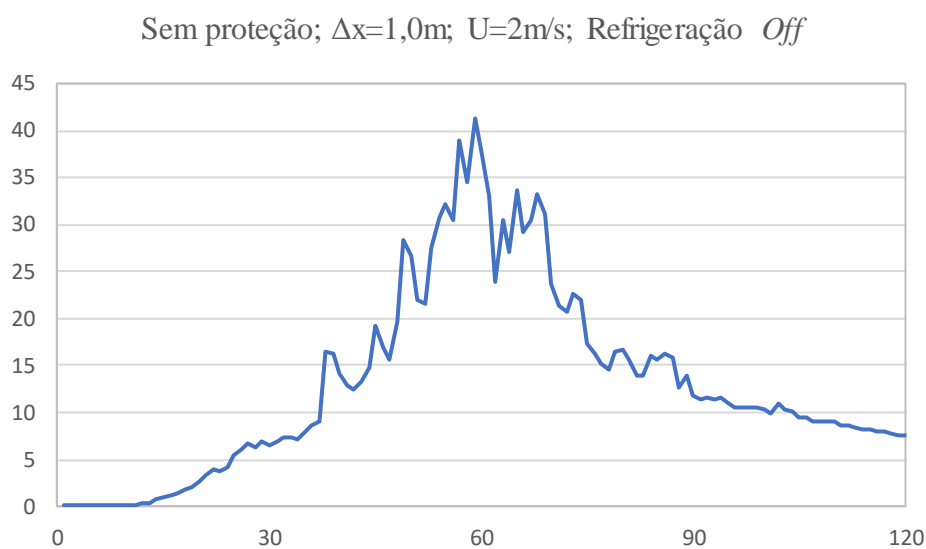


Figura G.2. Figura da evolução do fluxo de calor total do ensaio 4

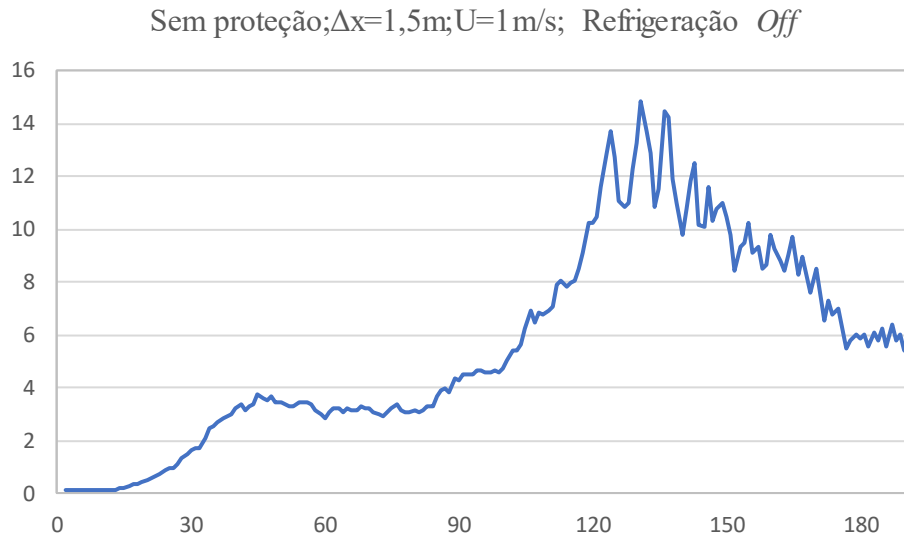


Figura G.3. Figura da evolução do fluxo de calor total do ensaio 6

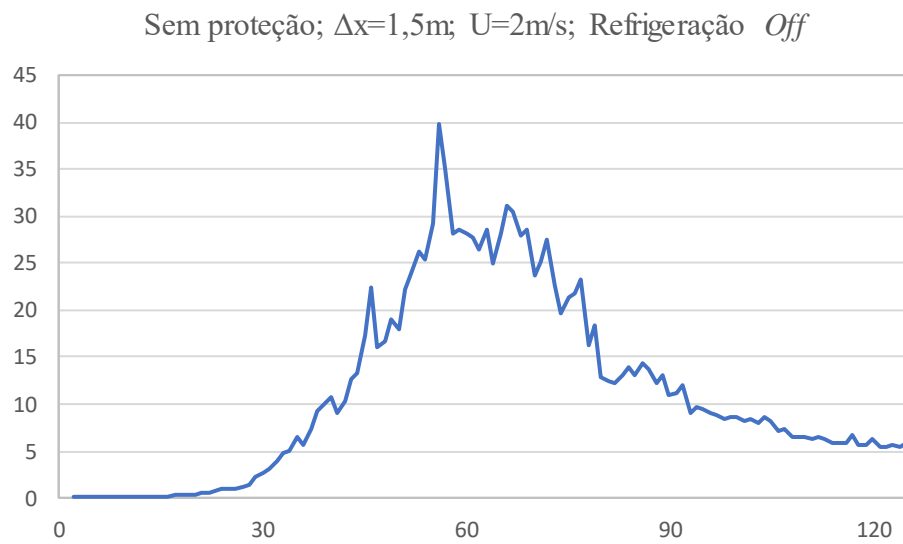


Figura G.4. Figura da evolução do fluxo de calor total do ensaio 7

ANEXO H

Gráficos relativos à evolução do fluxo total de calor relativo aos ensaios com proteção e com a refrigeração ligada

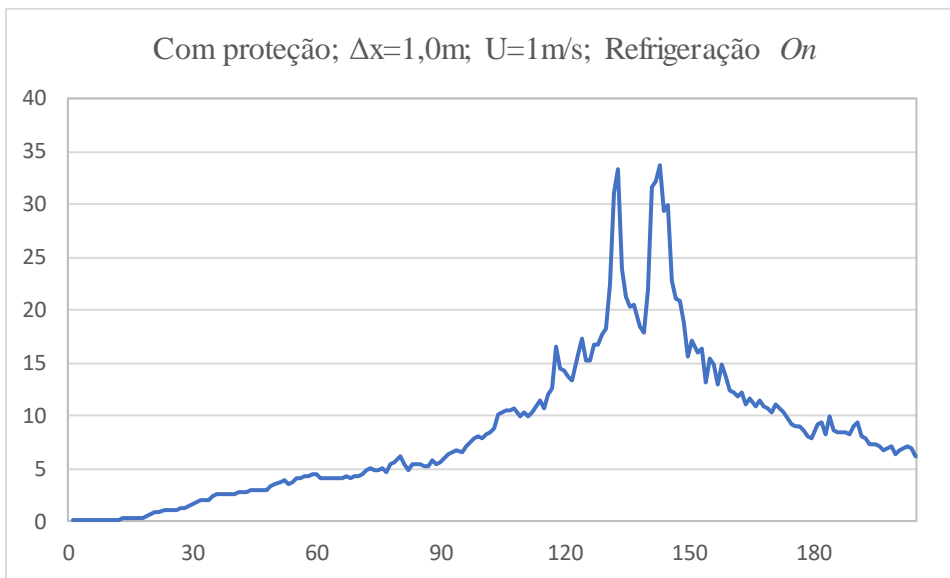


Figura H.1. Figura da evolução do fluxo de calor total do ensaio 9

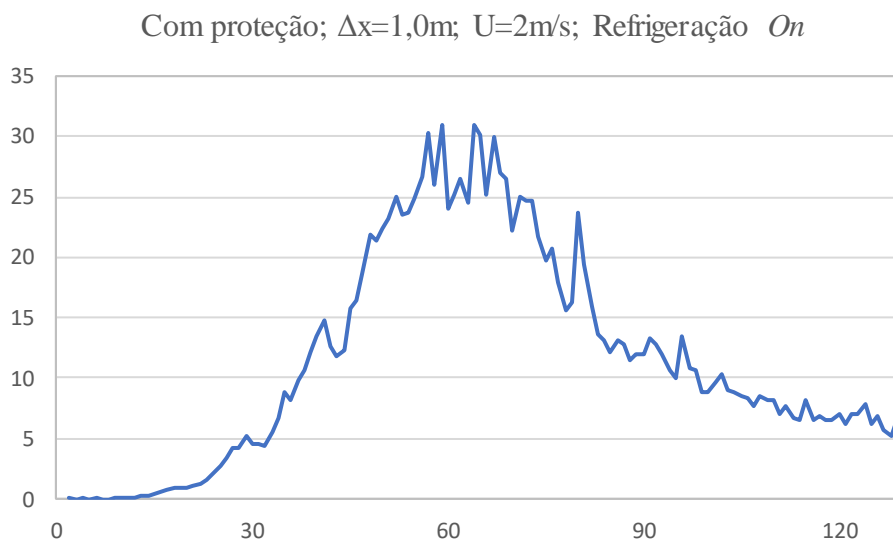


Figura H.2. Figura da evolução do fluxo de calor total do ensaio 10

Com proteção; $\Delta x=1,5m$; $U=1m/s$; Refrigeração *On*

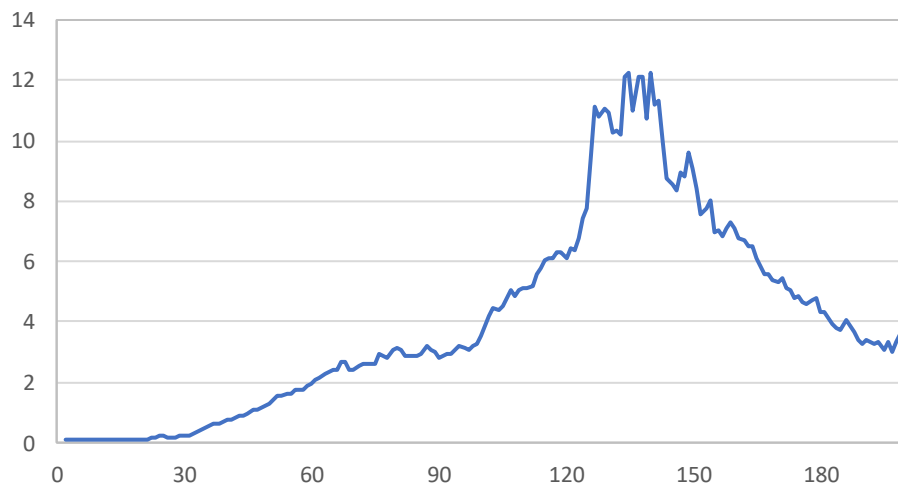


Figura H.3. Figura da evolução do fluxo de calor total do ensaio 13

Com proteção; $\Delta x=1,5m$; $U=2m/s$; Refrigeração *On*

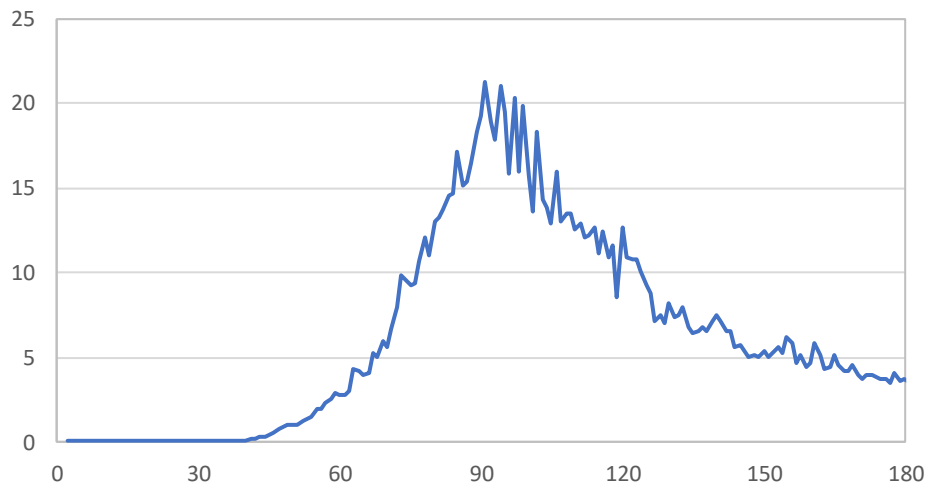


Figura H.4. Figura da evolução do fluxo de calor total do ensaio 14

ANEXO I

Gráficos relativos à evolução do fluxo total de calor relativo aos ensaios com proteção e com a refrigeração desligada.

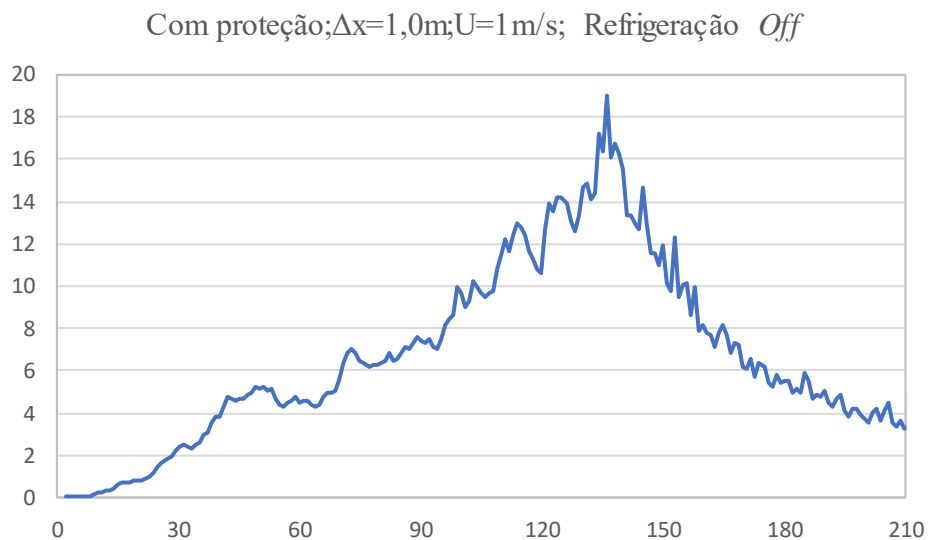


Figura I.1. Figura da evolução do fluxo de calor total do ensaio 11

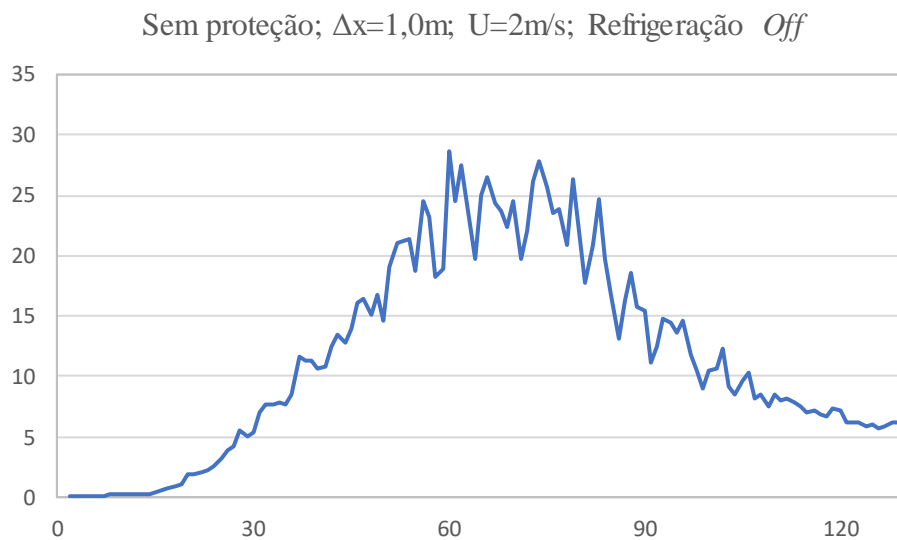


Figura I.2. Figura da evolução do fluxo de calor total do ensaio 12

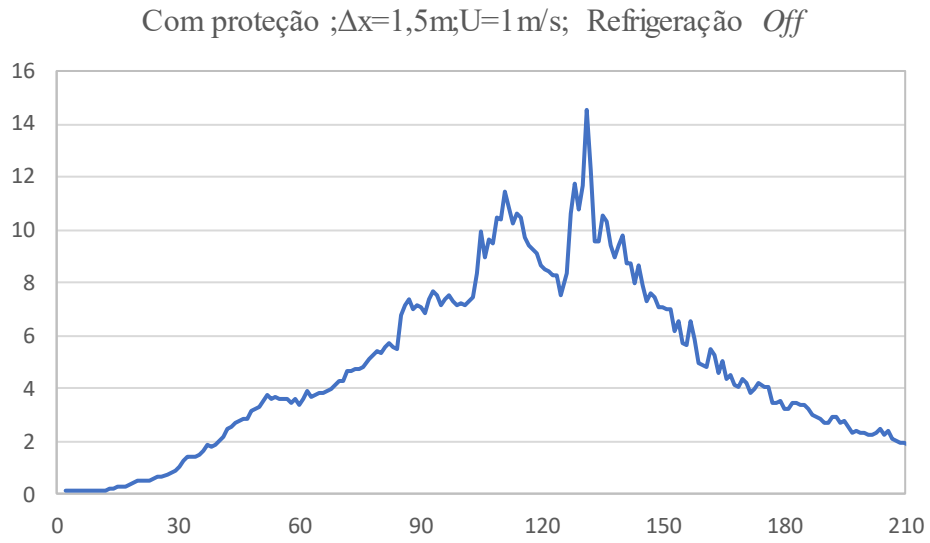


Figura H.3. Figura da evolução do fluxo de calor total do ensaio 15

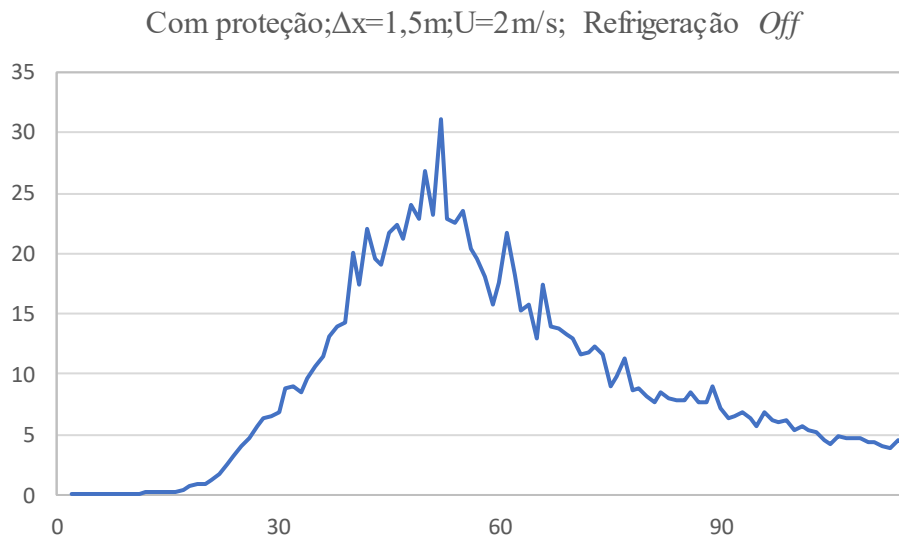


Figura I.4. Figura da evolução do fluxo de calor total do ensaio 16

ANEXO J

Gráficos relativos à evolução do fluxo total de calor relativo aos ensaios sem vento.

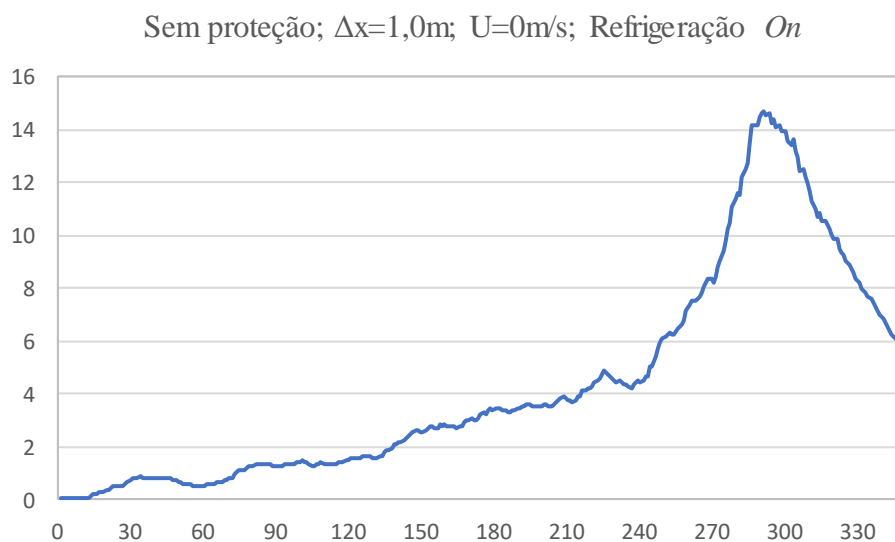


Figura J.1. Figura da evolução do fluxo de calor total do ensaio 18

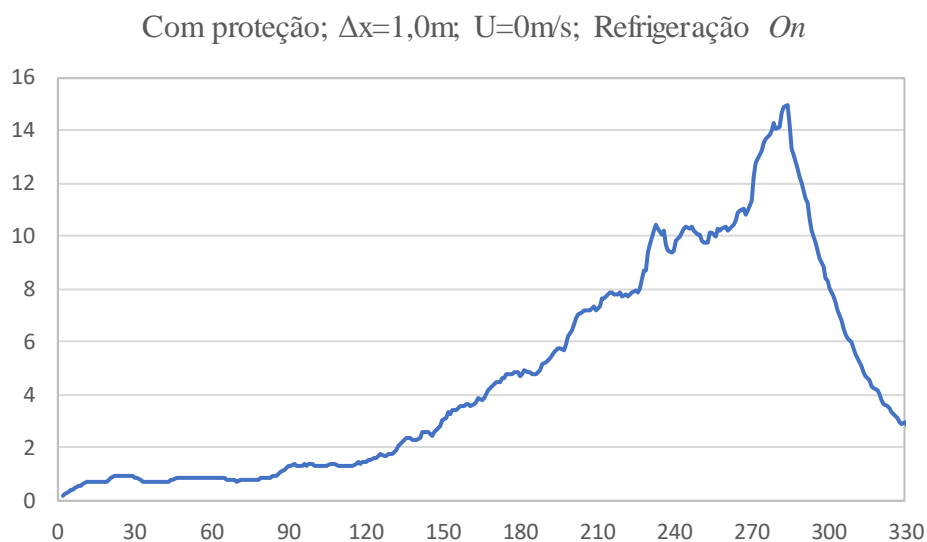


Figura J.2 Figura da evolução do fluxo de calor total do ensaio 17.

ANEXO K

Figuras relativas ao uso do ROS para os ensaios sem vento. Nos restantes ensaios esse estudo não foi aplicado devido a um problema de calibração

Postion of the lines where the ROS was calculated along them

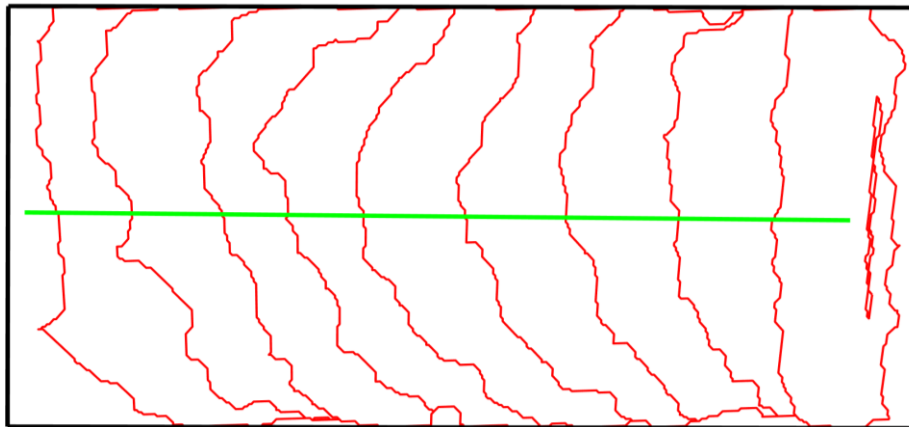


Figura K.1. Cálculo ROS *Dynamic* para o ensaio 18

Valor máximo de ROS *Dynamic*: 1,53 cm/s

Postion of the lines where the ROS was calculated along them

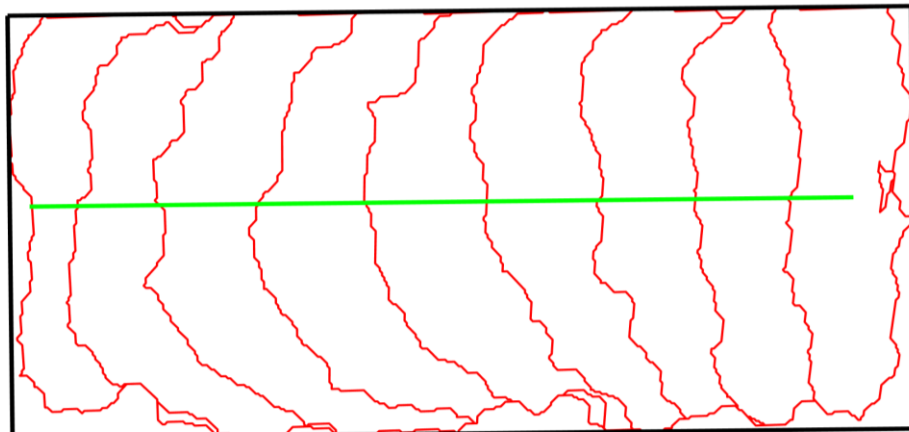


Figura K.2. Cálculo ROS *Dynamic* para o ensaio 17.

Valor máximo de ROS *Dynamic*: 1,68 cm/s