



• U • C •

FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

Proteção de Infraestruturas com sprinkler e recirculação de água

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

Protection of Infrastructures with water sprinkler and recirculation systems

Autor

Tiago João Montalvo Caniço

Orientador[es]

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

Júri

Presidente	Professor Doutor Jorge Campos da Silva André Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra Professor Doutor Gilberto Vaz Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra
Vogais	Professor Doutor Miguel Abrantes de Figueiredo Bernardo de Almeida Investigador Auxiliar da Universidade de Coimbra
Orientador	Professor Doutor Domingos Xavier Filomeno Carlos Viegas Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Colaboração Institucional



Associação para o
Desenvolvimento da
Aerodinâmica
Industrial



Centro de Estudos
sobre Incêndios
Florestais

Coimbra, Setembro, 2018

Agradecimentos

Resumo

Palavras-chave: [Palavra-chave 1], [Palavra-chave 2], [Palavra-chave 3], [Palavra-chave 4], [Palavra-chave 5], [Palavra-chave 6].

Abstract

Keywords [Keyword 1], [Keyword 2], [Keyword 3], [Keyword 4],
[Keyword 5], [Keyword 6].

Índice

Índice de Figuras	viii
Índice de Tabelas	ix
Siglas	x
Siglas	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Motivação	1
1.2. Interface Urbano Florestal	1
1.3. Home Ignition Zone.....	3
1.4. Sistemas de Proteção de Construções.....	4
2. Elaboração e Construção do Sistema	7
2.1. Concepção do Protótipo.....	8
3. Metodologia de Ensaios	15
3.1. Ensaios com Chama.....	16
3.2. Ensaios com Partículas Incandescentes	20
4. Ensaios Laboratoriais	22
5. Ensaio de Campo	23
6. Implementação do Sistema.....	24
7. Conclusões.....	25
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26
[ANEXO A].....	30
[ANEXO B].....	31
[APÊNDICE A].....	32
[APÊNDICE B].....	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Casa em Santa Comba Dão que sobreviveu ao incêndio de Outubro. Foto: NiT.	4
Figura 2 - Dynamic Water Shield Fire Protection System por Yamodo, 2010.....	6
Figura 3 - Esquema do funcionamento do sistema. Esboço de 100trafficLLC.....	8
Figura 4 - Dimensões da estrutura utilizada	9
Figura 5 – Caleira	10
Figura 6 - Pente a acoplar na caleira.....	10
Figura 7	11
Figura 8	12
Figura 9	13
Figura 10.....	14
Figura 11.....	16
Figura 12.....	17
Figura 13.....	18
Figura 14.....	18
Figura 15.....	19

ÍNDICE DE TABELAS

No table of figures entries found.

SIGLAS

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

HIZ – Home Ignition Zone

IUF – Interface Urbana Florestal

LEIF – Laboratório de Estudos sobre Incêndios Florestais

1. INTRODUÇÃO

1.1. Motivação

Nestes últimos anos, tem havido uma maior sensibilização em relação aos incêndios florestais devido às incontáveis vidas que têm sido alteradas graças a estes perigos. Muitas propriedades foram destruídas de forma irreparável, e muitas vidas foram perdidas, não apenas na luta contra estas catástrofes, mas também ao serem encurraladas nas estruturas, como casas ou armazéns, pelos incêndios.

A história dos incêndios florestais indica-nos que a projeção de fagulhas e a formação de focos secundários são a causa de incêndios de muitas áreas habitadas, e as portas de entrada destas causas são os telhados, portas, e janelas, pelo que é importante encontrar uma forma de proteger estas zonas de forma a evitar a formação de incêndios das estruturas.

Embora proteger as estruturas contra os incêndios florestais seja uma prioridade, é também importante evitar o uso excessivo de água, pelo que é importante conjugar as duas necessidades na proteção de estruturas.

De facto, numa tentativa de contrariar este efeito dos incêndios florestais, existem várias propostas de possíveis sistemas que talvez consigam proteger estruturas dos incêndios florestais, enquanto aproveitam os recursos e tentando tornar estes sistemas o mais eficientes possível, no entanto, existe pouca pesquisa que forneça fortes evidências que facilitem a implementação eficiente destes sistemas. Posto isto, este projecto irá incidir nesta mesma temática. O objectivo é o de criar um sistema de sprinkler que seja capaz de proteger uma estrutura enquanto re-utiliza água, de forma eficiente.

1.2. Interface Urbano Florestal

Uma definição simples de Interface Urbano Florestal (IUF) é que esta é composta pelo espaço físico onde a vegetação e as estruturas coexistem, num ambiente propício à ocorrência de incêndios (Ribeiro, 2016). Esta definição aplica-se a grandes áreas existentes em diversos países, pelo que o estudo da IUF tem-se tornado cada vez mais

importante devido ao aumento de construções em zonas florestais que são propícias a incêndios.

Incêndios nas IUF espalham-se através dos combustíveis tanto da vegetação como das estruturas. Estes fogos podem-se originar de formas naturais ou antropogénicas. Na sua essência, o problema de incêndios florestais na IUF é a ignição de estruturas, e a melhor abordagem para reduzir a gravidade deste problema é reduzindo o potencial para ocorrerem ignições de estruturas.

Um dos exemplos mais recentes e mais notáveis de incêndios na IUF são os incêndios de Pedrógão Grande em 2017, e os incêndios de Outubro de 2017, onde aproximadamente 2000 casas e quase 550 estabelecimentos foram parcialmente ou completamente destruídos por estes eventos, deixando muitas famílias sem casa, muitos trabalhadores sem emprego, e o pior de tudo, mais de 100 pessoas mortas (CEIF, 2017; CTI, 2018). A perda devido a estes incêndios é imensurável, pelo que estes incêndios têm de ser estudados, contra-medidas têm de ser postas em ação, e as pessoas têm de ficar sensibilizadas dessas contra-medidas.

Tais casos são apenas um exemplo das catástrofes causadas pelos incêndios florestais, uma vez que a destruição de edifícios por incêndios na IUF é um problema corrente em muitas regiões no mundo (Viegas et al. 2003; Blanchi et al., 2010; Mell et al., 2010; Caton et al., 2016). O número de estruturas destruído aumenta a cada ano, e é previsto que continue a aumentar no futuro (Syphard et al., 2013; Moritz et al., 2014; Bowman et al., 2017; Coops et al., 2018). Esta tendência é geralmente atribuída a um aumento na gravidade do perigo de incêndios florestais, que é conduzida por uma expansão urbana em áreas florestais (Lucas et al., 2007; Krawchuck et al., 2009; ABCB 2010; Mell et al., 2010; IPCC 2014; Caton et al., 2016). Muitos investigadores já constataram que uma abordagem é necessária de forma a mitigar efectivamente este risco crescente, sendo essencial criar medidas de forma a melhorar a resiliência de estruturas a incêndios (Cohen 1999, 2000; Mell et al., 2010; Bradstock et al., 2012; Pellegrino et al., 2013; Calkin et al., 2014; Moritz et al., 2014; Penman et al., 2017).

1.3. Home Ignition Zone

Vários estudos acerca dos perigos dos incêndios florestais focam-se na IUF, a área onde a vegetação intersecta ou se mistura com estruturas. No entanto, estudos sugerem que as características de uma pequena parte da IUF, a home ignition zone (HIZ), determina o potencial de ignição por parte de um incêndio. A HIZ é a área que inclui a estrutura e os seus arredores, entre 30 – 60m (Platt 2014). Em Portugal, é bastante comum esta área ser composta por possíveis combustíveis, devido a desleixos nos cuidados a manter com a vegetação, lixo, ou até pelo uso de vegetação que tem uma maior susceptibilidade para servir de combustível a incêndios.

Muitos factores da HIZ determinam o potencial para ignição durante um incêndio florestal, tais como telhados de madeira facilmente inflamáveis, e materiais como árvores, ervas, terraços, ou estruturas adjacentes. Características físicas, tais como declives, também influenciam a intensidade e o comportamento dos incêndios (Cohen et al., 2001). Esta área deve ser bem regada, e deve providenciar um espaço para equipamento de bombeiros em caso de incêndio. O uso de plantas resistentes ao fogo também é importante, tais como a azinheira e o sobreiro. Estas plantas devem ser resistentes à seca, e devem ter uma humidade de folhas elevada.

Contudo, ter um espaço defensivo, embora seja útil e necessário, pode, em certos casos, não ser suficiente para contrariar o avanço de um incêndio florestal, sendo crucial utilizar outros métodos defensivos na defesa de estruturas de uma IUF. Nesta temática, inserem-se os sistemas de proteção de construções contra incêndios, como o apresentado neste trabalho.



Figura 1 - Casa em Santa Comba Dão que sobreviveu ao incêndio de Outubro. Foto: NiT

1.4. Sistemas de Proteção de Construções

Pouca pesquisa focada em sistemas de proteção de construções com o uso de sprinklers foi publicada. No entanto, já houve alguns desenvolvimentos nesta mesma vertente, graças à projeção de possíveis sistemas que poderão ser testados de forma a confirmar a sua eficiência. A necessidade de investigações científicas nos vários aspectos de sistemas de sprinkler para proteção de construções contra incêndios florestais já foi realçada em relatórios pela Fire Protection Association Australia (FPAA, 2000) e pela Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) (Potter and Leonard 2010), no entanto, estes tópicos ainda precisam de ser mais aprofundados de forma a conhecer mais acerca da eficiência dos sistemas de proteção de sprinklers.

Durante um incêndio florestal numa IUF, devido à ameaça de incêndio em propriedades tais como apartamentos, casas, escritórios, lojas ou armazéns, o tempo de reação para contrariar o avanço do incêndio é crucial de forma a alterar as consequências do mesmo.

Em muitos casos de incêndios florestais os recursos disponíveis para os bombeiros locais são limitados, isto verifica-se em incêndios em várias zonas remotas, tornando complicado o acesso a estas zonas por parte dos bombeiros. Posto isto, muitos proprietários tomam as medidas de proteção das suas propriedades nas suas próprias mãos,

tornando os meios disponíveis, como mangueiras de jardim ou sistemas de rega, métodos na luta contra o avanço de incêndios. Estas tentativas de luta contra o avanço de incêndios são muito perigosas, pois estes métodos tornam-se pouco eficazes contra as chamas devido à fraca pressão de água, impossibilidade de chegar a todos os sítios pelos quais o fogo se propaga, ventos fortes e fumo denso.

O historial de incêndios florestais em IUF mostra-nos que a projeção de tições e a formação de focos secundários são a causa de muitos incêndios em zonas habitadas, e estes entram pelas portas de entrada mencionadas previamente, tornando importante encontrar uma forma de contrariar estes incêndios ao impedir que estes tições e focos secundários consigam provocar incêndios em zonas habitadas. Neste sentido, tem havido avanços no planeamento de estratégias e sistemas que consigam proteger construções de incêndios florestais.

Pesquisando pelos primeiros sistemas de proteção de construções contra incêndios florestais, deparamo-nos por um sistema desenhado por Pierce (1929). Este sistema consiste num dispositivo que é implementado no topo de um telhado, este dispositivo liberta água em caso de incêndio, humedecendo a parte superior do edifício, protegendo o telhado de ignições por parte de tições provenientes doutros edifícios ou de vegetação. Este sistema também permite que a água caia através dos beirais até ao chão através do efeito gravítico, criando uma “cortina” protectora. Mesmo sendo um sistema bastante rudimentar, certamente mostra potencial, no entanto, desde então, outras variantes deste sistema foram desenhadas, graças à necessidade de criar um sistema que proteja construções de incêndios florestais com muita mais facilidade, utilizando uma cortina mais eficaz enquanto utiliza menos água (Candido, 1962; Ence et al., 1980; Claude, 1990; Scott, 1996; Oorange et al., 2000; Christian, 2000; Wallace, 2002; Crowley, 2003; Palmer et al., 2004; Voorhees, 2007; Hinojosa et al., 2008; Benigno, 2010)

Com novas tecnologias, o sistema de sprinkler começou a ser utilizado em muitos destes projectos, protegendo as construções dos incêndios florestais de uma forma mais eficiente graças à água pressurizada, enquanto consegue cobrir uma área maior.

Um dos sistemas que se assemelha em vários aspectos ao que é pretendido deste projecto é o “Dynamic water shield fire protection system”, desenhado por Yamodo (2010), um sistema que quando ativado cobre o telhado e as paredes de uma construção com cortinas de água finas. A água que vem de pequenas aberturas individuais, junta-se numa cobertura

fina uniforme de água, agindo como um escudo que protege as superfícies de um incêndio. É também utilizado um esgoto instalado longitudinalmente ao longo de cada parede para recolher a água que cai da cortina de água, permitindo evacuação da água para possível recirculação. Este sistema é melhor descrito na figura 2.

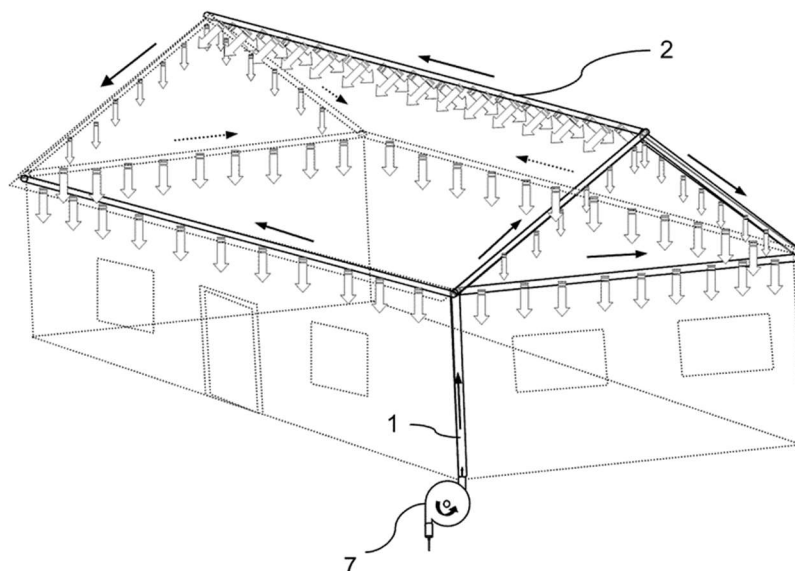


Figura 2 - Dynamic Water Shield Fire Protection System por Yamodo, 2010

Estes sistemas possuem algumas falhas, tais como o facto de alguns dos sistemas não tornarem possível a recirculação de água, de forma a não só poupar água, mas também de forma a garantir o funcionamento do sistema durante mais tempo. Outra falha é o facto de estes sistemas não focarem a cortina de água, nos casos em que é utilizada, na parede que está mais exposta ao fogo, deixando essa cortina mais fina do que pode ser necessário para proteger de forma eficaz do incêndio. Por último, estes sistemas não consideram o efeito do vento, que pode tornar a cortina de água ou a água aspergida ineficiente em certas áreas das construções.

Tendo em conta estas falhas nos sistemas apresentados, este trabalho tem como objectivo contrariar as mesmas, projectando um sistema que crie uma cortina de água que sirva de proteção a estruturas em caso de incêndio, e que crie um ciclo de recirculação de água de forma a tornar o sistema mais eficiente e viável ao obter um funcionamento mais duradouro. Este trabalho tem ainda como objectivo encontrar uma forma de lidar com o efeito do vento, ao realizar testes no túnel de combustão que consegue alcançar uma velocidade de fluxo de vento de 6m/s.

2. ELABORAÇÃO E CONSTRUÇÃO DO SISTEMA

A elaboração deste sistema foi iniciada por tomar em conta as causas vistas em muitos incêndios de estruturas causados por incêndios florestais. Estas causas são muitas vezes originadas por tições projectados pelos incêndios florestais em direcção às estruturas, ou até para os seus arredores, na sua HIZ, onde muitas vezes se encontram combustíveis propícios à propagação do incêndio. Estes incêndios são também muitas vezes causados, como referido anteriormente, pela entrada de tições pelos pontos de entrada de uma estrutura, nomeadamente as janelas, portas e telhados. Desta forma, é importante projectar um sistema de defesa que consiga não só defender da possível entrada destes tições nas estruturas, mas também de chamas nos arredores das estruturas.

Assim, considerando as causas já descritas e algumas das possíveis soluções oferecidas por outros sistemas, projectou-se um sistema com o objectivo de proteger estruturas destas causas, e também que seja facilmente implementável. A elaboração deste sistema consiste no bombeamento de água pressurizada via sprinklers instalados no telhado das estruturas, deixando o telhado húmido e protegido contra qualquer tífão ou partícula incandescente que venha na sua direcção. A água irá de seguida escorrer pelo telhado até caleiras, instaladas no beiral do telhado. Estas caleiras, serão ligeiramente inclinada de forma a permitir que a água escorra, e terão um componente acoplado, com a forma de pente, que irá criar uma cortina de água fina a partir da água que escorre pelas caleiras. Esta cortina de água irá proteger as paredes da estrutura e todas as suas portas de entrada bem como proteger contra possíveis chamas que estejam ao alcance da estrutura, e irá ainda ajudar a manter o interior da estrutura com temperaturas inferiores a níveis críticos que poderão meter em risco quaisquer seres vivos que se encontrem presos dentro da estrutura.

Após encontrar uma forma de combater as projeções de tições e de partículas incandescentes utilizando uma cortina de água, passou-se ao planeamento de um sistema de recirculação de água, que permitisse ao sistema não só economizar água, mas também prolongar o seu funcionamento. De forma a garantir que o sistema de recirculação é fácil de instalar, e prático, pegou-se no colector de água, implementado no solo de várias estruturas e utilizado para evacuar a água até a um sistema de esgoto, e utilizou-se esse conceito de

forma a evacuar a água que cai da cortina de água até um depósito de água. Esse depósito de água estará por sua vez conectado a uma bomba que irá bombear a água de volta aos sprinklers instalados no telhado. Um esquema do funcionamento deste sistema encontra-se na figura 3.

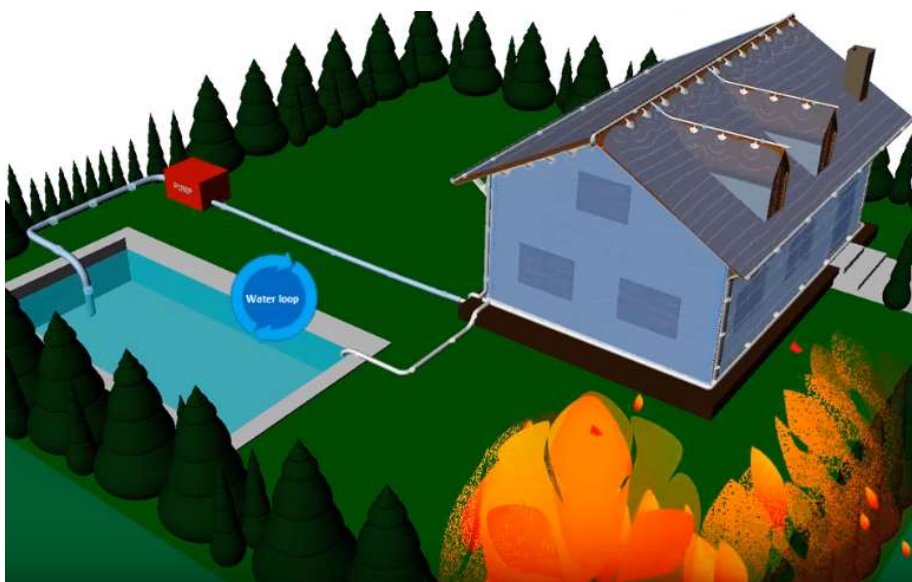


Figura 3 - Esquema do funcionamento do sistema. Esboço de 100trafficLLC

Estas ideias foram postas em prática depois de desenhar os componentes de forma a que estes estivessem às medidas de uma estrutura utilizada como protótipo.

2.1. Concepção do Protótipo

O protótipo foi desenvolvido tendo em conta os objectivos mencionados acima, nomeadamente, de proteger a estrutura contra chamas e projeções de partículas incandescentes, de recircular água, e de explorar uma forma de diminuir o efeito corruptivo do vento na cortina de água e aspersão.

O primeiro passo na implementação de um protótipo do sistema foi encontrar uma estrutura que permitisse a instalação dos componentes necessários ao sistema, pelo que foi montada uma estrutura em madeira. Nesta estrutura é essencial que o conjunto de parede + telhado tenha uma altura elevada, de forma a permitir a formação de uma cortina de água e observar a sua consistência. Foi também projectado um telhado de duas águas, para permitir

que a água expelida pelos sprinklers não só cubra o telhado por defeito, mas também que escorra até à caleira. Esta estrutura é então descrita na figura 4.

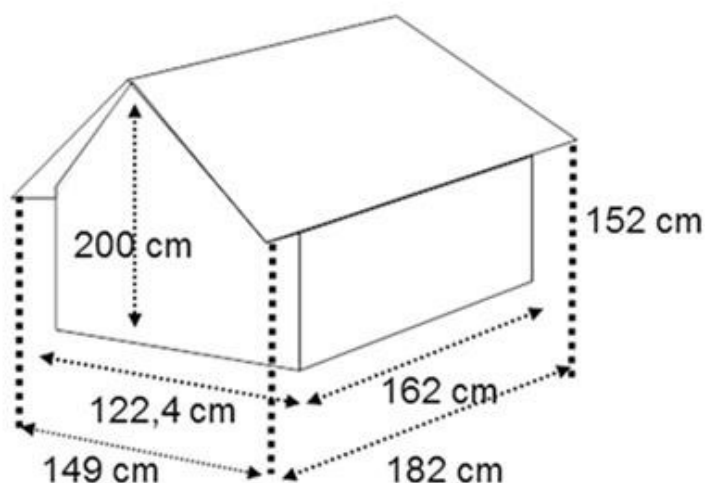


Figura 4 - Dimensões da estrutura utilizada

Com o objectivo de alcançar a distribuição de água pelas superfícies, nomeadamente as paredes, para poder defender a estrutura toda face às chamas e às projeções de partículas incandescentes, foi concebido o sistema de forma a criar uma cortina de água. Isto foi conseguido através da concepção de uma caleira, instalada no beiral da estrutura, que permite o acoplamento de um componente desenhado em forma de pente, que por sua vez separa a água que desce pela caleira criando assim uma cortina de água homogénea.

De forma a evitar tensões ou fadiga demasiado elevadas nos acoplamentos entre o “pente” e a caleira, devido ao peso do pente que terá de possuir um material resistente ao fogo, foram dimensionados 4 apoios na caleira, igualmente separados entre si de forma a regular a distribuição das cargas. Isto foi tido em conta com o comprimento da caleira, que será longitudinalmente semelhante à estrutura, de forma a re-aproveitar a água expelida pelos sprinklers, mas também evitando o excesso de peso por parte da mesma. Por fim, os pentes possuem entre si um espaçamento, embora arbitrário, mas que permite a separação da água proveniente numa cortina homogénea. As dimensões e o desenho destes componentes estão descritos nas figuras 5 e 6.

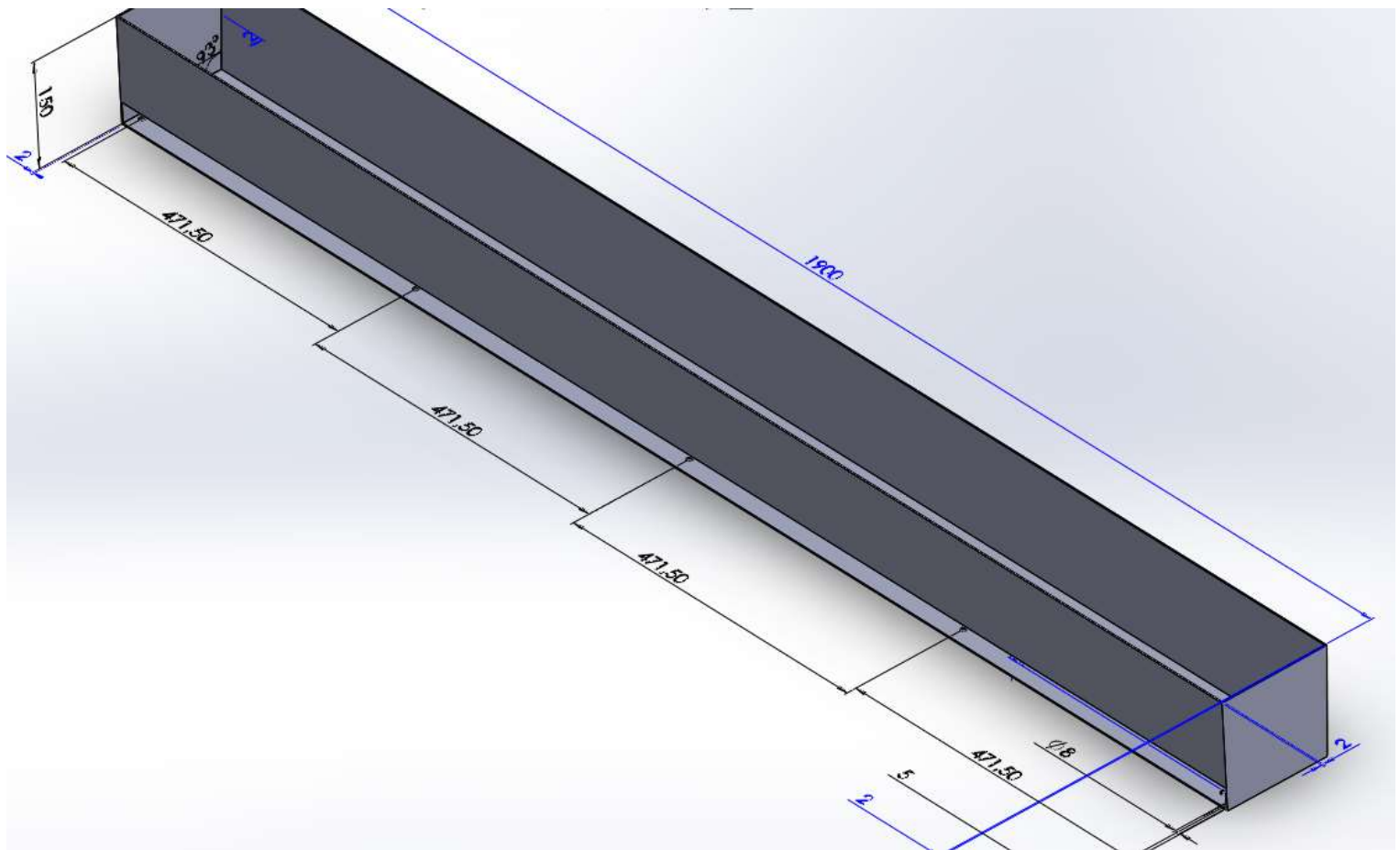


Figura 5 – Caleira

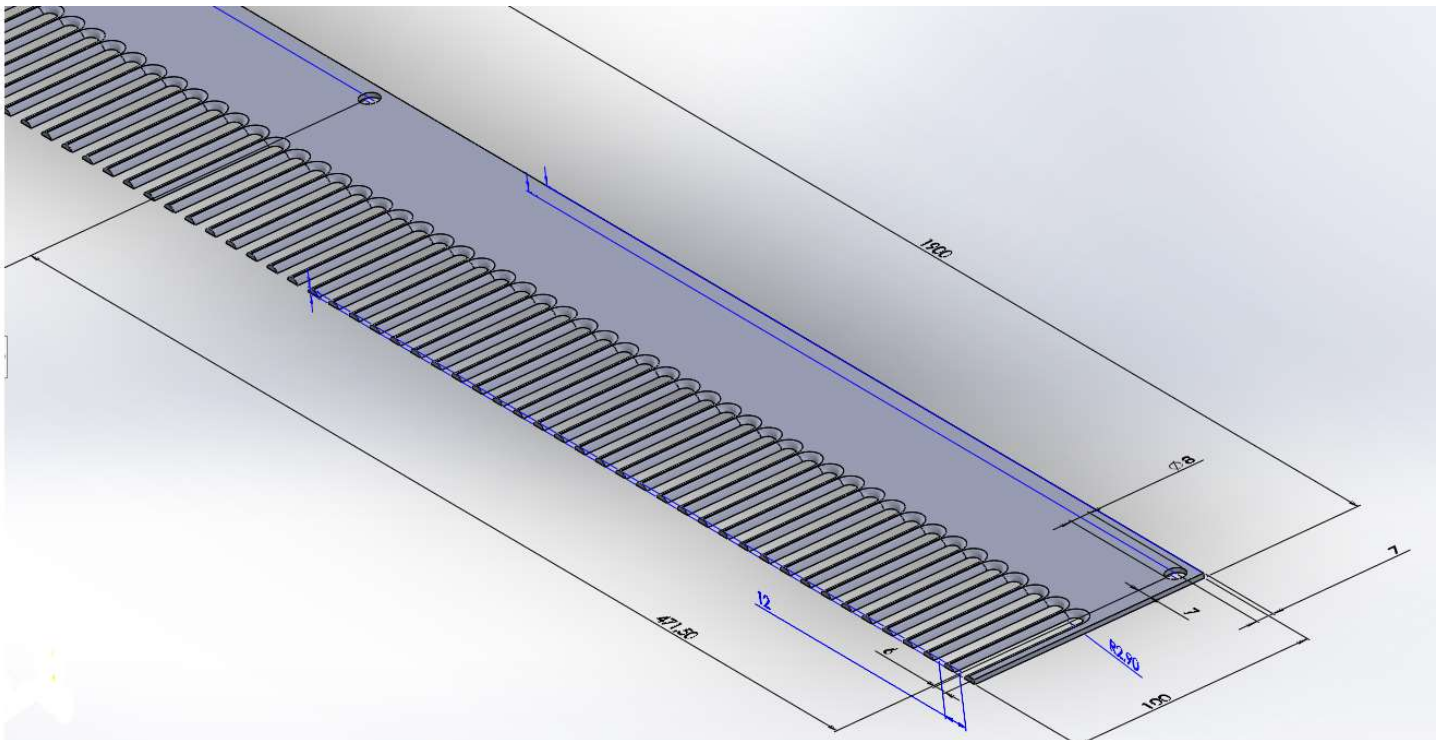


Figura 6 - Pente a acoplar na caleira

De seguida parte-se para o planeamento final da distribuição de água, a implementação dos sprinklers. Assim, partindo das bases de outros sistemas de sprinklers já concebidos para a proteção de estruturas contra incêndios, foram instalados sprinklers que distribuem água pressurizada, humedecendo o telhado por defeito, sendo assim necessário que cubram toda a estrutura. No entanto, uma vez que se pretende que a água expelida pelos sprinklers não ultrapasse a largura do telhado, de forma a minimizar as perdas, deve de ser então encontrado o número necessário de sprinklers por unidade de comprimento da cumeada do telhado.

De forma a conectar os sprinklers ao sistema de bombeagem foi construído um componente para instalar na cumeada do telhado. Este componente, que será designado por cumeada de sprinklers, tem uma entrada para conectar a mangueira que conduz a água bombeada, e quatro saídas de forma a levar essa água até aos sprinklers.

Os sprinklers e a respetiva cumeada podem ser vistos nas figuras 7 e 8.

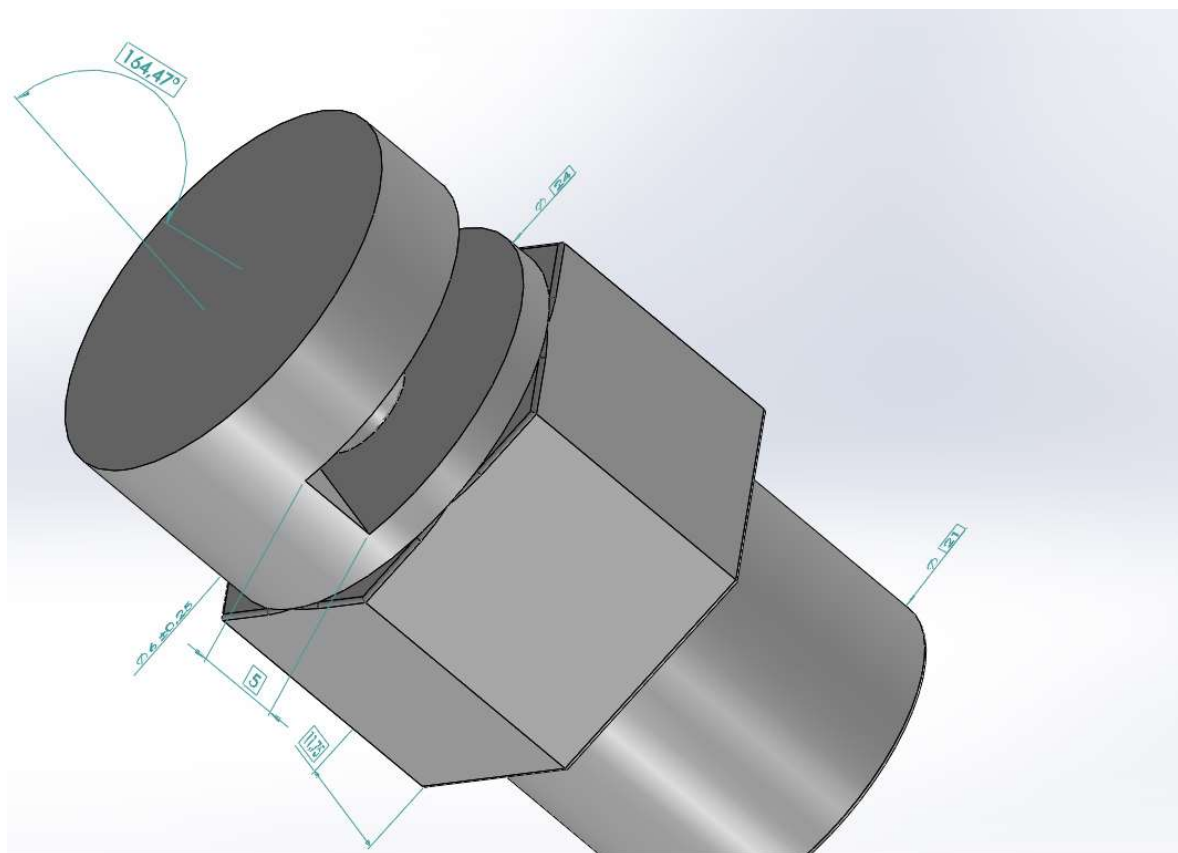


Figura 7

**Figura 8**

O próximo passo consiste na elaboração de um sistema de recirculação que permita medir a quantidade de água que pode ser re-aproveitada do processo de proteção do edifício em caso de perigo de incêndio. Assim, foi desenhado um colector de água que recolhe a água que cai diretamente da cortina de água através da força gravítica, levando-a até um depósito de água, instalado abaixo do nível do colector, permitindo assim que a água seja direccionada até esse depósito através de um orifício no colector utilizando apenas a força gravítica.

O colector possui ainda um alçapão, de forma a poder ser fechado quando o sistema não está a funcionar para prevenir a entrada de possíveis detritos ou cinza que possam cair no mesmo, evitando assim entupimentos. Este alçapão serve ainda para afunilar a água que cai da cortina de água, mitigando as perdas. Uma representação deste colector encontra-se na figura 9.

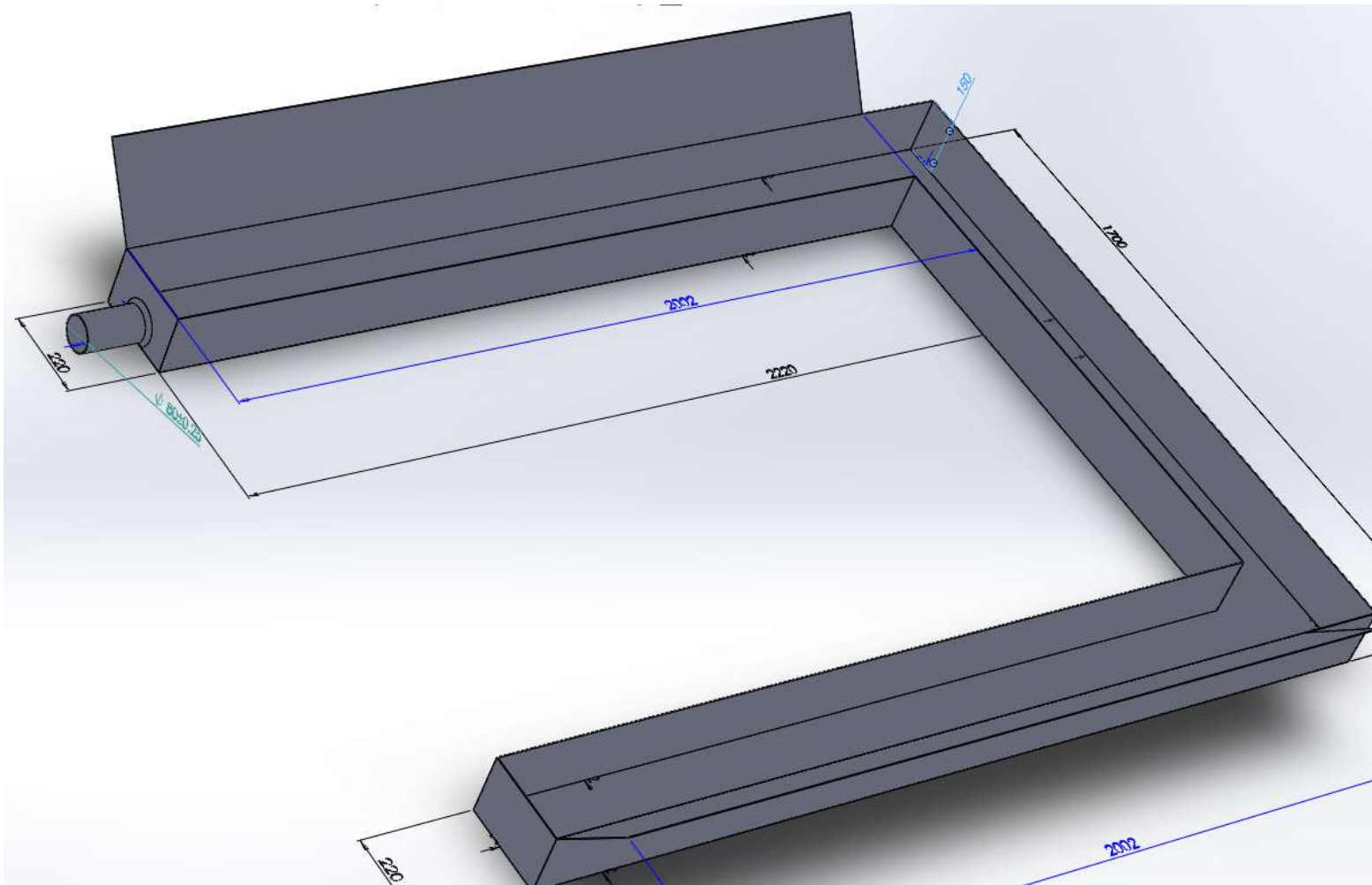


Figura 9

Por fim, é ligado o sistema de bombagem ao depósito de água que recebe a água recirculada. Neste sistema é utilizado uma bomba E-Jet 150M, com um caudal mássico máximo de $4,5\text{m}^3/\text{h}$, uma altura manométrica de 59 metros, e uma pressão operativa máxima de 6bar. A bomba é descrita na folha de dados nos anexos.



Figura 10

3. METODOLOGIA DE ENSAIOS

Os ensaios laboratoriais foram realizados no Centro de Estudos de Incêndios Florestais (CEIF), da Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial (ADAI), na Lousã.

Para estes ensaios, a estrutura mencionada no capítulo 2 foi instalada no Túnel de Combustão 2, que consiste numa plataforma horizontal com uma área de 3x8m². O túnel de combustão tem duas ventoinhas que permitem um fluxo de ar até 6m/s.

Foram realizados dois tipos de ensaios, ensaios onde se testou a capacidade do sistema face à aproximação de chamas através de leito de combustível, e ensaios onde se testou a capacidade do sistema face à projeção de partículas incandescentes.

Em todos os ensaios realizados foi utilizado um leito de palha entre a casa e o colector de água, pois a ignificação da estrutura, ainda que sendo de madeira, poderá ser complicada com as chamas obtidas em ensaios laboratoriais, e desta forma será possível verificar a eficiência do sistema em situações em que existe combustível junto a estruturas.

Toda a palha utilizada estava armazenada no CEIF, e possui uma densidade de base seca de 0,35g/cm³. De forma a calcular a massa de combustível seco, teve-se em conta a humidade de base seca, através da seguinte fórmula:

$$Massa Combustível Seco [kg] = \frac{Massa combustível [kg] * 100\%}{100\% + Humidade Base Seca[\%]}$$

Assim, foram obtidas massas de palha seca entre 700g e 1000g nos diferentes ensaios para um leito de 0,13 x 1,7m² entre a casa e o colector de água. Este leito de palha foi colocado de forma a não estar demasiado empacotado, com as palhas bem separadas, para não condicionar a sua possível ignição. Um exemplo desta disposição está na figura 11.



Figura 11

Os ensaios foram realizados em dias típicos de Verão, em que a humidade relativa (HR) do laboratório não ultrapassava os 65%, nomeadamente em média ~53%.

3.1. Ensaios com Chama

Foram realizados 18 ensaios com uso de chamas recorrendo à ignição de leito de combustível. Nestes ensaios, o combustível utilizado foi a palha, disposta num leito de dimensões 2,6 x 2m², de forma homogénea, e com as diferentes variações de condições de ensaio:

- Variação do fluxo de ar entre 0 a 3m/s;

- Variação da massa de combustível utilizado entre $\sim 2\text{kg/m}^2$ e $\sim 4\text{kg/m}^2$;
- Variação do caudal de água através de diferentes pressões de bombeamento;
- Sistema de proteção ligado ou desligado.

Estas variações foram aumentadas progressivamente de forma a verificar se existe ignição na estrutura ou no leito de combustível situado entre a estrutura e o colector de água como referido anteriormente.

Com estes ensaios foi possível observar os diferentes resultados nas variações de temperaturas, recorrendo ao uso de termopares situados no centro do leito de combustível, e junto à parede da estrutura, como demonstrado respectivamente nas figuras 12 e 13.



Figura 12

**Figura 13**

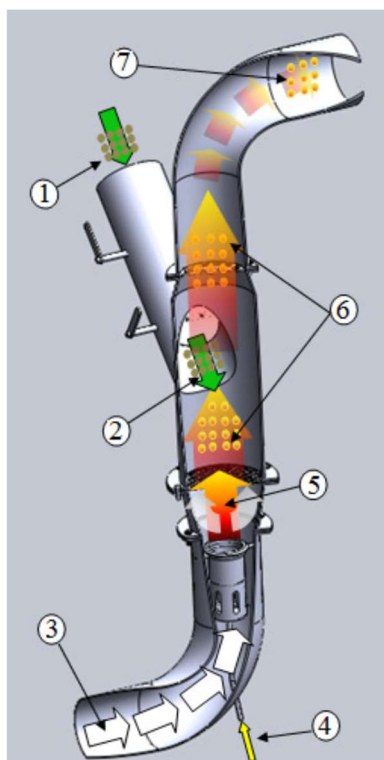
Foi também possível com estes ensaios determinar a velocidade de propagação do fogo recorrendo ao uso de fios postos ao longo do leito de combustível. Assim que o fogo alcança o primeiro fio, situado a 0,5m do início do leito de combustível, é iniciada uma cronometragem da restante propagação, com pausas de referência em cada fio alcançado, até o fogo alcançar o último fio, situado no final do leito de combustível. A partir da diferença destes tempos, e sabendo a distância entre cada fio, é possível obter a velocidade de propagação do fogo. Pode ser visto o leito de combustível bem como os ferros utilizados para inserir os fios na figura 14. As distâncias dos fios poderão ser melhor compreendidas na figura 15.

**Figura 14**

3.2. Ensaio com Partículas Incandescentes

Sendo a projecção de partículas incandescentes a principal causa de incêndios em estruturas, utilizou-se o sistema para resistir a esta projecção que pode criar focos secundários. De forma a obter esta projecção de partículas, foi utilizado um Gerador de Partículas incandescentes. Este gerador de partículas incandescentes foi inspirado no sistema de Manzello (2011), o “Baby Dragon”, e construído por Freitas (2012).

A Figura 16 resume o princípio de funcionamento do dispositivo, em que o escoamento de ar proveniente de um ventilador entra directamente pela parte inferior da conduta do dispositivo e na câmara de combustão é feita a mistura de ar e a combustão do gás propano do queimador. Na entrada para a alimentação é feita a alimentação, alternando a abertura das válvulas V1 e V2 (Figura 17). Feita a alimentação, por acção da gravidade as partículas caem para a câmara de combustão, dando início ao processo de combustão das partículas que e posteriormente são transportadas pelo escoamento, após perderem a grande parte da massa inicial, passam pelos orifícios da rede superior onde são projectadas (Freitas, 2012).



Legenda da Figura 16:

- 1 – Alimentação de Combustível
- 2 – Entrada de Combustível para a Câmara de Combustão
- 3 – Escoamento de ar proveniente do ventilador
- 4 – Entrada de gás propano para o queimador
- 5 – Mistura do escoamento de ar com a combustão de gás propano do queimador
- 6 – Combustão e transporte de partículas
- 7 – Projecção de partículas

Figura 16 – Esquema de funcionamento do gerador de partículas por Freitas (2012)

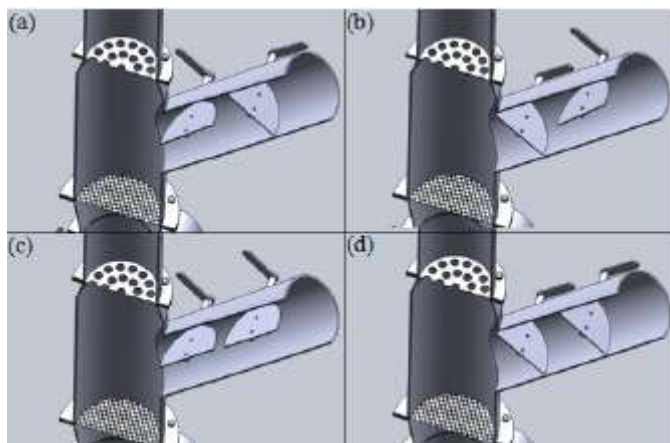


Figura 17 – Vista em corte das válvulas por Freitas (2012)

Legenda da Figura 17:

- (a) V1 fechada / V2 aberta;
- (b) V2 fechada / V1 aberta;
- (c) V1 / V2 abertas;
- (d) V1 / V2 fechadas.

A alimentação utilizada para gerar as partículas é de pellets, utilizadas em diferentes massas (150g e 300g), e utilizando as diferentes frequências do gerador de partículas (30Hz; 40Hz; 50Hz), e uma pressão de gás propano entre (0,1 – 0,3bar).

4. ENSAIOS LABORATORIAIS

5. ENSAIO DE CAMPO

6. IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA

7. CONCLUSÕES

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCB (2010) An investigation of possible Building Code of Australia (BCA) adaptation measures for climate change. Australian Building Codes Board. (Canberra, ACT)

Benigno, G. M. (2010). U.S. Patent No. US20110192616A1. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Blanchi R, Lucas C, Leonard J, Finkele K (2010) Meteorological conditions and wildfire-related houseloss in Australia. *International Journal of Wildland Fire*, 19, 914-926.

Bowman DMJS, Williamson GJ, Abatzoglou JT, Kolden CA, Cochrane MA, Smith AMS (2017) Human exposure and sensitivity to globally extreme wildfire events. *Nature Ecology & Evolution*, 1, 0058.

Bradstock RA, Cary GJ, Davies I, Lindenmayer DB, Price OF, Williams RJ (2012) Wildfires, fuel treatment and risk mitigation in Australian eucalypt forests: Insights from landscape-scale simulation. *Journal of Environmental Management*, 105, 66-75.

Calkin DE, Cohen JD, Finney MA, Thompson MP (2014) How risk management can prevent future wildfire disasters in the wildland-urban interface. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111, 746-751.

Candido, B. (1962). U.S. Patent No. US3179181A. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Caton SE, Hakes RSP, Gorham DJ, Zhou A, Gollner MJ (2016) Review of Pathways for Building Fire Spread in the Wildland Urban Interface Part I: Exposure Conditions. *Fire Technology*, 1- 45.

CEIF (2017). O complexo de incêndios de pedrógão grande e concelhos limítrofes, iniciado a 17 de junho de 2017.

Christian, W. (2000). U.S. Patent No. US6450264B1. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Claude, R. (1990). U.S. Patent No. FR2665641A1. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Cohen JD (1999) Reducing the wildland fire threat to homes: Where and how much? U.S. Forest Service, Pacific Southwest Research Station, USDA Forest Service General Technical Report PSW-GTR-173. (Albany, California)

Cohen JD (2000) Preventing disaster: home ignitability in the wildland-urban interface. *Journal of Forestry*, 98, 15-21.

Cohen JD, Johnson H, Walther L (2001) Saving homes from wildfires: regulating the Home Ignition Zone. *Zoning News* May 2001, 1–5. (American Planning Association: Washington, DC)

Coops NC, Hermosilla T, Wulder MA, White JC, Bolton DK (2018) A thirty year, fine-scale, characterization of area burned in Canadian forests shows evidence of regionally increasing trends in the last decade. *PLOS ONE* 13(5): e0197218.

Crowley, J. (2003). U.S. Patent No. US20040216899A1. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

CTI (2018). Avaliação dos incêndios ocorridos entre 14 e 16 de outubro de 2017 em Portugal Continental.

Ence, G. R., & Ence, R. D. (1980). U.S. Patent No. US4330040A. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Freitas E (2012) “Construção e Calibração De Um Gerador De Partículas Incandescentes.” Universidade de Coimbra.

Hinojosa, A., & Martinez, C. (2008). U.S. Patent No. US7909111B1. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

IPCC (2014) Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part B: Regional aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

Krawchuk MA, Moritz MA, Parisien MA, Van Dorn J, Hayhoe K (2009) Global pyrogeography: The current and future distribution of wildfire. *PLoS ONE*, 4, e5102.

Lucas C, Hennessy K, Mills G, Bathols J (2007) Bushfire weather in southeast Australia: Recent trends and projected climate change impacts. Bushfire CRC, Bureau of Meteorology Research Centre, Consultancy report prepared for The Climate Institute of Australia.

Mell WE, Manzello SL, Maranghides A, Butry D, Rehm RG (2010) The wildland–urban interface fire problem – current approaches and research needs. *International Journal of Wildland Fire*, 19, 238-251.

Moritz MA, Batllori E, Bradstock RA, Gill AM, Handmer J, Hessburg PF, Leonard J, McCaffrey S, Odion DC, Schoennagel T (2014) Learning to coexist with wildfire. *Nature*, 515, 58-66.

Orrange, T., & Sweeton, G. J. (2000). U.S. Patent No. US6360968B1. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Palmer, G., Mendoza, T., Mettler, D., Paxon, J., & Zugmier, G. (2004). U.S. Patent No. US20050126794A1. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Pellegrino JL, Bryner NP, Johnsson EL (2013) Wildland-urban interface fire research needs: Workshop summary report. National Institute of Standards and Technology, NIST Special Publication 1150.

Penman TD, Eriksen C, Horsey B, Green A, Lemcke D, Cooper P, Bradstock RA (2017) Retrofitting for wildfire resilience: What is the cost? *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 21, 1-10.

Pierce, C. T. (1929). U.S. Patent No. US1831880A. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Platt RV (2014) Wildfire hazard in the home ignition zone: an object-oriented analysis integrating LiDAR and VHR satellite imagery. *Applied Geography* 51, 108–117.

Ribeiro, L. (2016). Os incêndios na interface urbano-florestal em Portugal: uma análise de diagnóstico. Universidade de Coimbra.

Scott, J. M. (1996). U.S. Patent No. US5732511A. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Suzuki, S, & Manzello, SL (2011) On the Development and Characterization of a Reduced Scale Continuous Feed Firebrand Generator. USA: International Association of Fire Safety Science.

Syphard AD, Massada AB, Butsic V, Keeley JE (2013) Land use planning and wildfire: development policies influence future probability of housing loss. *PLoS ONE*, 8, e71708.

Viegas D, Allgöwer B, Koutsias N, Eftichidis G (2003) Fire spread and the wildland urban interface problem. In 'International Workshop on Fires in the WUI, WARM Project', Athens, Greece, May 15-16, 93–103.

Vorhees, R. J. (2007). U.S. Patent No. US20090151961A1. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Wallace, G. B. (2002). U.S. Patent No. US6523616B1. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Yamodo, I. H. (2010). U.S. Patent No. EP2366434A1. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

[ANEXO A]

[ANEXO B]

[APÊNDICE A]

[APÊNDICE B]