



FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

MESTRADO INTERDISCIPLINAR EM DINÂMICAS SOCIAIS, RISCOS  
NATURAIS E TECNOLÓGICOS

**UM ESTUDO SOBRE OS INCÊNDIOS  
FLORESTAIS OCORRIDOS NO ESTADO DE  
VITÓRIA (AUSTRÁLIA), EM FEVEREIRO DE 2009**

**RICARDO FILIPE SILVA DE OLIVEIRA**

**COIMBRA  
SETEMBRO DE 2010**

Dissertação para a obtenção do grau de mestre em Dinâmicas Sociais; Riscos Naturais e Tecnológicos, no curso interdisciplinar das Faculdades de Letras, Ciências e Tecnologia e de Economia da Universidade de Coimbra

**Especialidade:** Ciências do Risco

**Orientador:** Professor Doutor Domingos Xavier Viegas

**Co-orientador:** Doutor Carlos Gonçalves Rossa

*'Those who cannot remember the past are condemned to repeat it.'*  
*George Santayana (1863 – 1952)*

À Sofia e à Jaqueline



## **Resumo**

Em consequência dos incêndios florestais ocorridos no Estado Australiano de Vitória (*Victoria*), em Fevereiro de 2009, perderam-se 173 vidas, foram destruídas milhares de casas e outras infra-estruturas públicas e privadas, e ardeu uma área superior a 400000 ha, em cerca de 10 horas. Estes trágicos eventos viriam a ficar conhecidos como *Black Saturday Bushfire*. Condições meteorológicas sem precedentes, com valores recorde de risco de incêndio florestal, facilitaram as ignições acidentais e intencionais, de um grande número de incêndios, causando uma elevada dispersão de recursos humanos e materiais.

No presente estudo é feita uma descrição e análise dos eventos vividos em Vitória nos dias 7 e 8 de Fevereiro. Foram analisados detalhadamente dois dos seis grandes incêndios eclodidos a 7 de Fevereiro e que estiveram associados ao maior número de acidentes mortais: os incêndios de Kilmore e Murrindindi. Estes progrediram rapidamente em condições de comportamento extremo, favorecidos por ventos na ordem dos 90 km/h e temperaturas do ar superiores a 45°C, tornando inúteis quaisquer esforços de contenção.

Foi feita uma identificação e caracterização dos combustíveis florestais predominantes nas áreas afectadas, uma avaliação da topografia, e foram analisadas as condições meteorológicas antes e durante os incêndios. A situação na interface urbano-florestal foi caracterizada em termos de infra-estruturas existentes e respectivos materiais de construção. Foram analisadas as causas dos incêndios, a propagação inicial, comportamento do fogo durante os eventos, e a resposta operacional e humanitária. É também feito um balanço dos impactos socioeconómicos e ambientais resultantes desta catástrofe.

Foi avaliada a combustibilidade de leitos de folhada de *Eucalyptus globulus* e de leitos de folhada de *Eucalyptus obliqua*, espécies muito comuns em Portugal e em Vitória, respectivamente. Este estudo experimental permitiu compreender o que poderia ser esperado em termos de comportamento do fogo, caso Portugal experimentasse condições meteorológicas análogas às observadas em Vitória.

**Palavras-chave:** incêndios florestais, *Black Saturday*, meteorologia, Interface Urbano - Florestal, impactos ambientais e socioeconómicos.

## ***Abstract***

As a result of forest fires in the Australian state of Victoria in February 2009, 173 lives were lost, thousands of houses and other public and private infrastructures were destroyed, and an area of over 400000 ha were burned in about 10 hours. These tragic events were to become known as *Black Saturday Bushfire*. Unprecedented weather conditions, with record levels of forest fire risk, facilitated the intentional and accidental ignitions, and the large number of fires that scattered human and material resources.

In the present study a description and analysis of the events experienced in Victoria on 7 and 8 February 2009 is made. Two of the six major fires that started on the 7<sup>th</sup> February and that were associated to the highest number of fatal accidents, Kilmore and Murrindindi fires, were analyzed in detail. They progressed quickly in conditions of extreme behaviour, favored by winds of around 90 km/h and air temperatures above 45°C, making impossible any suppression efforts.

An identification and characterization of the predominant forest fuels in the affected areas and a topography assessment were made, and weather conditions were analyzed before and during fires. The situation in the Wildland-Urban Interface was characterized in terms of existing infrastructures and construction materials. The causes of the fires, the initial spread, fire behavior during the events, and operational and humanitarian response were analyzed. An assessment of socioeconomic and environmental impacts resulting from this disaster was also made.

The combustibility of fuel beds of *Eucalyptus globulus* leaves and *Eucalyptus obliqua* leaves, species very common in Portugal and Victoria, respectively, was evaluated. This experimental study allowed understanding what could be expected in terms of fire behaviour, if Portugal experienced weather conditions similar to those observed in Victoria.

**Keywords:** forest fires, *Black Saturday*, meteorology, Wildland-Urban Interface. environmental and socioeconomic impacts.

## ***Agradecimentos***

Aproveito, antes de mais, para dirigir uma palavra de agradecimento a todos quanto, em algum momento, me apoiaram na realização deste Projecto e que, com o decorrer do tempo foram caindo no anonimato, mas sem os seus pequenos gestos, a conclusão do mesmo teria sido bem mais difícil.

Não posso deixar de agradecer, desde já, à minha filha, a futura compreensão pela privação que tem tido da companhia do pai nestes primeiros anos de vida em consequência da realização deste trabalho e de outros projectos.

Agradeço ao meu estimado orientador Professor Domingos Xavier Viegas pela disponibilidade, simplicidade e sabedoria com que me esclareceu e me indicou alternativas de modo a solucionar os problemas.

Agradeço ao Doutor Carlos Rossa e ao Eng.º Luís Mário Ribeiro, pela forma clara e concisa com que me ajudaram a ultrapassar as dificuldades que foram surgindo ao longo do trabalho. Em particular ao Eng.º Luís Mário Ribeiro cujo trabalho de apoio foi em tudo semelhante ao de um co-orientador.

Manifesto ainda o meu agradecimento ao Eng.º David Davim, ao Eng.º Célio Duarte, à Eng.ª Telma Domingues, e ao Nuno Luís pelo apoio e paciência demonstrados ao longo deste trabalho.

O meu obrigado ao Professor António Campar de Almeida pela transmissão de conhecimentos, a todos os amigos, em especial ao Luís Silva, pela forma saudável como sempre me ajudou.

À ADAI – Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial, pelas condições disponibilizadas para a realização do programa experimental.

Por último, e não por menor importância, mas sim porque os últimos são os primeiros, um agradecimento particular à minha esposa, pela força que me tem transmitido e pela dedicação que tem tido para comigo ao longo de mais de uma década de vida em comum.

A todos, o meu muito obrigado, pela confiança em mim depositada.



## *Índice*

Resumo .....	I
Abstract .....	II
Agradecimentos .....	III
Índice.....	IV
Lista de siglas .....	V
1. Introdução e objectivos .....	1
1.1. Introdução .....	1
1.2. Objectivos .....	2
1.3. O problema dos incêndios florestais .....	3
1.4. Revisão bibliográfica.....	4
1.5. Incêndios do passado.....	8
1.6. Metodologia .....	11
2. Análise dos principais incêndios de 2009 .....	13
2.1. Casos de estudo de Kilmore e Murrindindi .....	13
2.1.1. Incêndio de Kilmore .....	14
2.1.2. Incêndio de Murrindindi .....	16
2.2. Condições biofísicas associadas aos incêndios de Kilmore e Murrindindi .....	18
2.2.1. Formações vegetais.....	18
2.2.2. Condições climáticas .....	21
2.2.3. Topografia.....	22
2.2.4. Interface urbano-florestal.....	25
2.3. Situação durante os incêndios de Kilmore e Murrindindi .....	25
2.3.1. Causas dos incêndios e propagação inicial .....	25
2.3.2. Condições meteorológicas e risco de incêndio .....	27
2.3.3. Comportamento do fogo e situação na IUF .....	36
2.3.4. Comportamento humano, resposta operacional e humanitária .....	47
2.4. Estudo de outros incêndios .....	50
2.5. Situação após os incêndios .....	56
2.5.1. Impactos socioeconómicos .....	56
2.5.2. Impactos ambientais .....	59
3. Comparação com Portugal .....	62
3.1. Áreas ardidadas.....	63
3.2. Programa experimental.....	64
3.2.1. Caracterização física dos combustíveis .....	64
3.2.2. Análise elementar dos combustíveis.....	67
3.2.3. Resposta às condições ambientais .....	67
3.2.4. Caracterização da inflamabilidade .....	71
3.2.5. Caracterização da combustibilidade .....	73
4. Considerações finais.....	79
Referências bibliográficas .....	84

## ***Lista de siglas***

**ACT** - *Australian Capital Territory*

**ADAI** - Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial

**BAL** - Bushfire Attack Level

**CEIF** - Centro de Estudos sobre Incêndios Florestais

**CFA** - *Country Fire Authority*

**CRC** - *Cooperative Research Centre*

**CSIRO** - *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization*

**DAP** - Diâmetro à Altura do Peito

**DSE** - *Department of Sustainability and Environment*

**EMA** - Estação Meteorológica Automática

**ESTA** - *Emergency Service and Telecommunications Agency*

**EVC** - *Ecological Vegetation Classification*

**FDI** - Fire Danger Index

**FFDI** - Forest Fire Danger Index

**GFDI** - Grass Fire Danger Index

**ICC** - Incident Control Centre

**IF** - Incêndio Florestal

**IMT** - Incident Management Team

**LEIF** - Laboratório de Estudos sobre Incêndios Florestais

**PI** - Ponto de Início

**VBRC** – Victorian Bushfires Royal Commission



## ***1. Introdução e objectivos***

### **1.1. Introdução**

No passado dia 7 de Fevereiro de 2009 no Estado de Vitória (Austrália), ocorreu um conjunto de incêndios florestais (IF), em condições climáticas e meteorológicas extremas que, em cerca de 10 horas, destruíram mais de 400000 ha e causaram a morte de 173 pessoas, naquele que constitui certamente um dos piores eventos relacionados com os IF na história recente.

Este trabalho é parte integrante de um estudo sobre estes incêndios, que está a ser promovido pelo Centro de Estudos sobre Incêndios Florestais (CEIF) da Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial (ADAI). Este trabalho foi feito com base na informação disponível até à data da sua elaboração pelo que, novos estudos mais actualizados poderão conduzir a resultados diferentes.

A Austrália é uma comunidade habituada à realidade dos IF e detentora de uma enorme cultura ambientalista. Já desde meados do séc. XIX, esta comunidade monitoriza os IF e estuda de forma detalhada as alterações e impactos por estes originados. No seguimento desses estudos são publicados relatórios detalhados das conclusões obtidas. Ainda assim, não estão isentos das consequências terríveis que podem ter os IF, como foram exemplo os eventos associados aos IF de 2009.

O elevado número de vítimas registado, a dimensão da área ardida e os elevados prejuízos materiais (destruição de milhares de casas, milhares de cabeças de gado ovino e bovino) são fruto de um evento que só se poderá verificar se estiverem reunidas um conjunto de situações particulares das quais se destacam as condições meteorológicas muito adversas. Embora, com base nos registos existentes, não sejam os mais gravosos em termos de área ardida e prejuízos materiais registados no território Australiano, os IF ocorridos no Estado de Vitória, em Fevereiro de 2009, foram sem dúvida os que provocaram o maior número de vítimas mortais, colocando o evento em oitavo lugar no ranking mundial de vítimas mortais provocadas por IF. Setenta e oito comunidades foram afectadas directamente, mais de 2000 habitações foram destruídas e mais de 60 empresas desapareceram no seguimento da destruição das suas infra-estruturas. Com efeito, esta foi uma tragédia sem precedentes, perpetuando o dia dos acontecimentos mais gravosos na memória colectiva dos seus habitantes como o *Black Saturday* (Sábado Negro).

O CEIF é um centro de investigação científica que se dedica há mais de duas décadas ao estudo do problema dos IF, com mérito reconhecido a nível Nacional e Internacional. No seguimento desta catástrofe, este centro, parceiro da entidade coordenadora do Programa Nacional Australiano de Investigação Científica sobre Incêndios Florestais, não ficou alheio à situação, desencadeando os mecanismos necessários para analisar estes acontecimentos. Entre estes esforços destaca-se a realização de uma missão à Austrália em Julho de 2009 com a duração de duas semanas, com o intuito de visitar as áreas afectadas pelos incêndios, levada a cabo por três elementos da equipa do CEIF/ADAI.

O presente trabalho foi desenvolvido na sequência das diligências efectuadas pelo CEIF/ADAI, com vista a analisar e explicar os acontecimentos associados a estes IF. Teve por base a informação recolhida durante a missão à Austrália, previamente referida, relatórios técnicos fornecidos pelo CRC e outra bibliografia, e um conjunto de testes de laboratório. O objectivo deste programa experimental foi determinar a inflamabilidade, a combustibilidade, e resposta do teor de humidade de espécies florestais às condições atmosféricas típicas do continente Australiano e de Portugal Continental.

Tal como o princípio do *actualismo* (Hutton e Lyell, século XVIII) pretende explicar o presente pelos acontecimentos do passado e cujo enunciado é: “*a chave do presente, está no passado, ou a chave do futuro encontra-se no presente*”, também estes eventos proporcionaram, de forma trágica, um corpo de ilações e conhecimentos que ajudarão a minimizar futuros impactos ou danos. Os ensinamentos a retirar vão com certeza constituir a chave do sucesso da prevenção e combate aos IF no futuro.

## **1.2. Objectivos**

Este estudo teve como principal motivação, face às consequências trágicas destes incêndios, como foram a perda de um número tão elevado de vidas, perceber as circunstâncias destes acontecimentos e até que ponto são inevitáveis ou se existe algo que possa ser feito no sentido de minimizar os impactos destas catástrofes.

Em termos de objectivos gerais, pretendeu-se, neste trabalho, dar resposta, entre outras, às seguintes questões:

- O porquê dos IF ocorridos em Vitória durante este período;
- O que é que particularizou estes IF;
- Quais os factores determinantes na sua origem e propagação;

- Qual a resposta operacional e humanitária face à situação;
- Quais os principais impactos.

### **1.3. O problema dos incêndios florestais**

Os IF acontecem um pouco por todo o Mundo, com maior incidência numa faixa bem delimitada no globo terrestre, caracterizadas por condições climáticas particulares, como é o caso da localização em estudo. Como é reconhecido de uma forma geral (Do Ó *et al.*, 2010), atribui-se o aumento dos seus efeitos nefastos a fenómenos de alterações climáticas a nível global. Estas alterações são sentidas com maior incidência em determinadas regiões. Em BoM (2009a) é referido que na Austrália houve um aquecimento de quase 1°C nos últimos 100 anos, o qual foi mais vincado nas áreas do interior do País.

A destruição ambiental provocada pelos IF causa um duplo impacto. Por um lado, afecta as espécies isoladamente enquanto elementos de determinado ecossistema, assim como as relações entre os seus diferentes elementos (Do Ó *et al.*, 2010). Por outro lado, a fauna e flora existentes antes do fogo são substituídas por espécies adaptadas aos IF. Estas consequências, de carácter ambiental, afectam também o ser humano, na medida em que os ecossistemas providenciam em grande parte a satisfação das suas necessidades. Um exemplo é o dos recursos hídricos, que podem sofrer efeitos muito negativos em consequência dos incêndios. Estes impactos estão relacionados com as elevadas quantidades de nutrientes contidos nas cinzas que são transportadas no pós-incêndio (ex. nitratos e fósforo) e que, em quantidades elevadas, alteram as propriedades da água. Os resultados negativos dos IF serão mais ou menos prejudiciais para o ambiente em função de um conjunto de factores, tais como: duração, intensidade, extensão e frequência dos incêndios e da vulnerabilidade do ecossistema.

Os impactos socioeconómicos têm-se agravado ao longo das últimas décadas em consequência do aumento da afectação de zonas urbanas pelo fogo. Os Estados vêm incrementadas as despesas com a prevenção e combate aos IF, já que os produtos da floresta representam parte significativa dos PIB e empregam uma parte importante da mão-de-obra no sector primário (INE, 2007). Por outro lado os IF, cada vez mais, causam problemas em regiões onde, até há pouco tempo, seria pouco provável que isso acontecesse, como é o caso do Norte da Europa.

Finalmente, o impacto mais trágico dos IF é sem dúvida a perda de vidas em consequência de acidentes relacionados com o fogo. Estes acidentes podem estar

relacionados com acções de supressão (quando o Homem vai ao encontro do fogo) ou com a invasão da IUF pelos IF (quando o fogo vem ao encontro do Homem). Este é um flagelo que se verifica por todo o Mundo e, face às alterações climáticas, será expectável um escalar do problema e consequentemente que mais vidas humanas sejam ameaçadas no futuro em consequência deste fenómeno (Viegas, 2007).

#### **1.4. Revisão bibliográfica**

##### *A problemática dos IF na Austrália*

Como já foi dito, o problema dos IF na Austrália não é recente. Os registos cronológicos evidenciam que a problemática dos IF é acompanhada pelos seus habitantes muito antes de o continente apresentar a divisão administrativa que se conhece nos dias de hoje. Em VBRC (2009), é feita uma revisão histórica dos maiores IF de Vitória.

Em *Government Agencies Fire Liaison Committee* (2005) é apresentado um guia orientador para construção de aceiros para o Estado da Austrália do Sul, com os seguintes objectivos: reduzir os efeitos do fogo sobre a vida, a comunidade e os bens individuais; abordar de uma forma uniforme a construção e manutenção de aceiros de um modo seguro, eficaz, ambientalmente sustentável e prático. Este guia serviu para planear a prevenção de IF ao nível dos distritos, da região e do Estado, em propriedades públicas e particulares.

##### *Propriedades dos complexos combustíveis*

Sendo que o comportamento do fogo depende da topografia, das condições meteorológicas e do complexo combustível (Beck *et al.*, 2005), este último parâmetro é o único em que o Homem tem capacidade de intervenção à escala da paisagem. Neste sentido, a definição de metodologias para a identificação de complexos combustíveis torna-se de grande interesse. O combustível é, por definição, todo o material orgânico vivo ou morto que pode inflamar-se e alimentar as chamas de um IF (Sullivan e McCaw 2009).

Em Cruz (2005) é apresentado um guia fotográfico para a identificação de combustíveis florestais da região centro de Portugal. O guia define modelos de combustíveis florestais, e para cada um é apresentada uma estimativa do comportamento potencial do fogo. Usando esse guia de forma adaptada, em Viegas *et al.* (2009) é feita uma caracterização das espécies presentes nas áreas afectadas pelos IF do *Black Saturday*.

A inflamabilidade das partículas de combustível é um parâmetro com contribuição significativa para a combustibilidade de um leito de combustível florestal. Em Valette (1992) é apresentado um estudo respeitante às características da inflamabilidade das espécies mediterrâneas. São propostos protocolos de realização deste tipo de testes e de análise de resultados. É concluído que a inflamabilidade descreve a reacção dos combustíveis a uma fonte de calor, como função das características do combustível e do seu estado de secura.

### Comportamento do fogo

A previsão do comportamento do fogo é uma tarefa difícil, dada a complexidade dos fenómenos que constituem a combustão e propagação de um incêndio. Van Wagner (1971) refere que o comportamento do fogo é demasiado complicado para permitir uma modelação adequada, obtida directamente pela teoria sem recorrer à experimentação. De facto, mesmo depois de mais de um século de investigação ainda não existem modelos que prevejam de forma fiável qual o comportamento futuro de um IF (Rossa, 2009).

Um dos factores que introduz maior dificuldade na modelação do comportamento do fogo é o seu comportamento dinâmico, ou seja, a alteração das propriedades de propagação ao longo do tempo mesmo para condições de fronteira constantes (Viegas, 2004a). Viegas (2006) propõe o conceito de quadrado de fogo, em substituição do conceito tradicional do triângulo do comportamento do fogo, com a inclusão do factor tempo. Este conceito invalida a consideração de propagação em regime permanente, tal como é admitido no modelo de Rothermel (1972). Uma das consequências do comportamento dinâmico de um incêndio é o comportamento eruptivo, caracterizado por uma aceleração violenta da velocidade de propagação acompanhada pelo aumento da intensidade do fogo. Este tipo de comportamento é tipicamente observado em desfiladeiros e em encostas muito inclinadas e está associado a um grande número de acidentes mortais (Viegas, 2004b).

Outro dos fenómenos de comportamento do fogo associado a eventos extremos é a propagação por projecção de partículas. Este tipo de propagação representa uma elevada perigosidade já que está associada a encurralamentos pelo fogo dos agentes responsáveis pela sua supressão. Um dos exemplos dos esforços de análise deste fenómeno ainda mal compreendido é o projecto SPOTFIRE, financiado pela FCT, levado a cabo pela equipa do CEIF/ADAI. Este trabalho visa aumentar o conhecimento da geração e transporte de partículas em combustão e posterior ignição de leitos de



combustível. Um exemplo dos resultados deste projecto é o estudo da aerodinâmica de partículas em combustão apresentado em Almeida *et al.* (2009).

### Interface Urbano-Florestal

Apesar dos efeitos nefastos que um IF pode ter sobre a natureza, a verdade é que os seus impactos só acabam por ter uma influência significativa a curto prazo na vida do ser humano quando se aproximam das estruturas urbanas. A zona onde se estabelece a fronteira entre os complexos combustíveis e as infra-estruturas humanas é chamada de interface urbano-florestal (IUF).

O problema do fogo na IUF foi colocado em evidência nos IF do *Black Saturday*. A situação da IUF representa, a nível global, um enorme problema na gestão do espaço florestal. Viegas (2008) coloca o problema da IUF em 2º lugar na listagem da importância de questões associadas aos IF, logo imediatamente a seguir à questão da segurança pessoal.

Em Caballero *et al.* (2007) é feito um estudo a respeito de algumas questões ligadas à IUF, onde se verifica que nos últimos anos a problemática tem vindo a crescer. Isto deve-se em parte ao abandono das áreas agrícolas, fruto de uma consequente migração interna campo/cidade. Este abandono leva a uma ausência de gestão dos combustíveis, tornando as zonas em questão mais vulneráveis. Deste modo os meios de supressão acabam por ser concentrados nestas zonas de forma a salvaguardar as vidas e os bens, impedindo um controlo mais eficaz da progressão do incêndio. Como consequência o IF progride livremente durante longos períodos de tempo, aumentando desta forma o saldo final das áreas ardidadas. Os autores concluem neste trabalho, que deverá existir um compromisso entre o desenvolvimento urbano e a segurança das áreas envolventes. Recomendam ainda a criação de plataformas de segurança em redor das casas com a finalidade de melhorar a segurança das mesmas e a consequente libertação do pessoal operacional para o combate ao IF. Outra questão abordada neste trabalho foi a da vegetação à volta das casas. Certas espécies que vulgarmente são utilizadas nos arranjos dos jardins em redor das habitações, como é o caso do *Cupressus*, devem ser evitadas por serem muito inflamáveis. Os autores referem ainda que apesar da existência de faixas limpas de vegetação à volta das habitações, não significa inequivocamente a ausência de ignições dentro das mesmas, como será abordado mais à frente.

Outra questão relevante relacionada com a IUF e que afecta significativamente a resistência ao fogo das infra-estruturas urbanas, é a dos materiais empregues nas construções. Em Caballero *et al.* (2004), concluiu-se que, na sua grande maioria, as habitações ardem de dentro para fora. Isto implica que o fogo tem de penetrar na habitação, seja por partículas em combustão que entram através de aberturas (ex. janelas abertas, respiros), ou por ignição de materiais dentro da habitação provocada por exposição a radiação do incêndio. Em ADAI (2008) realizou-se um estudo sobre os materiais que constituem os telhados e de que forma estes contribuem para a resistência das habitações ao fogo. Concluiu-se que os telhados em bom estado, constituídos em telhas cerâmicas, podem ser um meio eficaz de protecção das habitações. Em Leonard *et al.* (2009) é apresentado um relatório respeitante às tipologias das construções e materiais empregues. São apresentadas conclusões acerca da resistência de determinadas infra-estruturas ao fogo, em função de determinadas condições de exposição, como sejam, a proximidade da vegetação, os ventos, o contacto com as chamas, ou os efeitos radiativos.

Em FEMA (2008), considerando que os IF são um desastre natural comum e até de certa forma necessário (renovação de ecossistemas), são apresentadas informações respeitantes ao comportamento do fogo em áreas de IUF. São também apresentadas recomendações respeitantes à construção das habitações de forma a minimizar os riscos de incêndio, das quais se destacam a posição que a habitação ocupa no terreno (topografia), a criação de espaços de defesa (faixas limpas em redor das habitações), o revestimento dos espaços que mais facilmente igniciam (ex. telhados) em materiais não combustíveis, e a criação de infra-estruturas comunitárias tais como pontos de água comuns ou caminhos florestais para a passagem de tripulações de emergência.

### Comportamento humano

Ainda que a ocorrência de acidentes associados aos IF tenham uma forte dependência do comportamento do fogo, existe uma componente importante decorrente do comportamento humano. De facto, a reacção que os indivíduos ou as comunidades têm face ao perigo podem ditar desfechos completamente diferentes.

Nas últimas duas décadas assistiu-se a um evoluir dos estudos e à incorporação de determinados parâmetros na gestão dos IF em Vitória, dos quais se destaca um conjunto de estratégias de sobrevivência para o indivíduo ou para a comunidade, regulamentação das mesmas, identificação de grupos de risco (vulnerabilidades sociais).

Em VBRC (2009) é apresentado um estudo de Bianchi *et al.* (2008), onde os autores concluem que as mortes dentro das habitações na passagem da frente de fogo são raras. Normalmente, as mortes ocorrem fora das habitações e, segundo este trabalho, o local à passagem de uma frente de fogo mais seguro para quem se encontra encurralado por um incêndio será a própria habitação. Existem, no entanto, outras linhas de pensamento que defendem que a opção mais segura é abandonar a habitação.

### 1.5. Incêndios do passado

Nesta secção, será feita uma referência aos incêndios considerados mais relevantes, tendo em consideração o número de vítimas mortais e os impactos socioeconómicos e ambientais.

**Tabela 1.1** – Síntese dos IF ocorridos em Vitória no passado. (Fonte: Romsey Australia: Summary of Major Bush Fires in Australia Since 1851)

Data	Principais áreas afectadas	Fatalidades	Áreas ardidas ( $\times 10^3$ ha)	Casas destruídas
6-Fev-1851	Portland, Westernport, Wimmera, Dandemong " <i>Black Thursday</i> "	12	5000	SD
1-Fev-1898	South Gippsland " <i>Red Tuesday</i> "	12	260	2000
1-Dez-1905	Dandenong Ranges	12	SD	SD
1-Fev-1919	Otway Ranges	3	SD	SD
1-Jan-1923	Mansfield	1	SD	SD
1-Fev-1926	Noojee, Kinglake, Warburton, Erica, Dandenong Ranges	60	400	SD
1-Jan-1932	Gippsland	9	206	SD
1-Jan-1933	Gippsland	1	SD	SD
13-Jan-1939	Southern Victoria " <i>Black Friday</i> "	71	2000	650
22-Dez-1943	Western, Central, Southern Victoria	51	1000	500
1-Jan-1952	Central and Southern Victoria: Benalla	10	100	SD
14-Jan-1962	Christmas Hills, Kinglake, St Andrews, Hurstbridge, Warrandyte,	33	SD	450
15-Fev-1965	South-Eastern and Central Victoria	3	315	SD
8-Jan-1969	Daylesford, Bulgana, Yea, Darraweit, Korongvale	23	250	SD
12-Fev-1977	Penshurst, Tatyoon, Streatham, Creswick, Pura Pura, Werneth, Little River	8	103	SD
16-Fev-1983	Southern Victoria " <i>Ash Wednesday</i> "	47	210	2000
19-Jan-1997	Dandenong Ranges, Creswick, Heathcote, Gough's Bay	3	3.7	SD
2-Dez-1998	Linton,	5	0.78	SD
8-Jan-2003	Gippsland	1	1300	41
1-Dez-2006	Great Divide	1	1048	SD

SD – Sem dados

Da lista apresentada na tabela 1.1, faz-se abaixo uma breve resenha histórica do *Black Thursday* (6-Fev-1851), do *Black Friday* (13-Jan-1939) e do *Ash Wednesday* (16-Fev-1983), eventos com características que serão apresentadas e que os tornaram incêndios de referência. Este ponto culmina com um cartograma síntese das áreas ardidadas desde 1900 até à época de 2008/2009.

#### *Black Thursday (6-Fev-1851)*

Os primeiros IF de que há registo na Austrália, afectaram o actual Estado de Vitória quando esta região era ainda parte integrante do Estado de Nova Gales do Sul ([www.dse.vic.au](http://www.dse.vic.au) consultado a 12-Jan-2010). Só em 1855 Vitória obteve a autonomia de Estado soberano com governo próprio.

Os IF do *Black Thursday* provocaram 12 vítimas mortais e uma área ardidada de 5000000 ha, aproximadamente  $\frac{1}{4}$  do território do Estado. Estima-se que aproximadamente 1000000 de ovelhas e vários milhares de cabeças de gado bovino se tenham perdido. As principais áreas afectadas incluíram Portland, Plenty Ranges, Westernport, Wimmera e alguns condados de Dandenong.

#### *Black Friday (13-Jan-1939)*

No final da década de 30, ocorre o *Black Friday*. No período compreendido entre Dezembro de 1938 e Janeiro de 1939 arderam entre 1500000 a 2000000 ha, dos quais 800000 ha de floresta protegida, 600000 ha de área de reserva, e 4000 ha de plantações. A vaga de incêndios atingiu o auge a 13 de Janeiro, numa sexta-feira, baptizando este evento (figura 1.1).

Estes incêndios causaram 61 vítimas mortais, destruíram mais de 650 edifícios e arrasaram por completo o condado de Narbethong, tendo afectado quase todos os condados de Vitória. O impacto junto das populações foi enorme, assistindo-se à tomada de consciência generalizada relativamente à necessidade de prevenção dos IF. As áreas mais assoladas estavam situadas nos condados de Noojee, Woods Point, Omeo, Warrandyte, e Yarra Glen. Outras áreas também muito afectadas foram Warburton, Erica, Rubicon, Dromana, Mansfield, Otway Ranges e Grampian Ranges. Historicamente, o *Black Friday* foi um dos acontecimentos mais emblemáticos da História dos IF Australianos, pois foi com base nas condições meteorológicas nessa

altura registadas, o cientista McArthur em 1960 cria e calibra o índice de risco de incêndio “*Forest Fire Danger Index*” FFDI.



**Figura 1.1** – Combate com ferramentas manuais durante os incêndios de 1939 em Vitória. (Fonte: <http://www.dpi.vic.gov.au/virtualexhibition/39fires/fire19m.htm>)

#### *Ash Wednesday (16-Fev-1983)*

A 16-Fev-1983, mais de 100 IF são declarados em Vitória, tendo provocado 47 vítimas mortais, 210000 ha de área ardida, e a destruição de 27000 celeiros e 2000 casas. As áreas mais severamente afectadas foram Monivae, Branxholme, East Trentham, Mt Macedon, Otway Ranges, Warburton, Belgrave Heights, Cacusua, Beaconsfield Upper e Framlingham.

#### *Síntese das áreas ardidadas entre 1900 e 2009*

Na figura 1.2 está representada a extensão das áreas ardidadas correspondente a mais de um século de ocorrências. É evidente uma elevada frequência no extremo Sudeste do Estado de Vitória. Várias hipóteses de explicação podem ser atribuídas a este facto: a topografia, a exposição, ou a utilização massiva do fogo.

No Sudeste do Estado de Vitória corre paralelo à costa o mais importante sistema montanhoso de todo o continente Australiano, com altitudes que atingem os 2230 metros.

Tal orografia é propícia à existência de declives elevados, o que potencia a rápida progressão de um IF. Por outro lado, esta área do Estado de Vitória inclui a zona Norte

da cadeia montanhosa referida. Em termos de exposição solar, devido à posição que o continente Australiano ocupa no globo terrestre (hemisfério Sul), as vertentes expostas a Norte recebem uma maior quantidade de radiação solar, logo apresentam em média uma maior secura dos combustíveis o que propicia a ocorrência e a propagação de IF.

Outra hipótese poderá ser a utilização massiva do fogo como ferramenta de caça, arroteamentos, e gestão de combustíveis, que moldou os ecossistemas de Vitória. Os ecossistemas resultantes têm características que favorecem a ignição e o desenvolvimento dos IF.

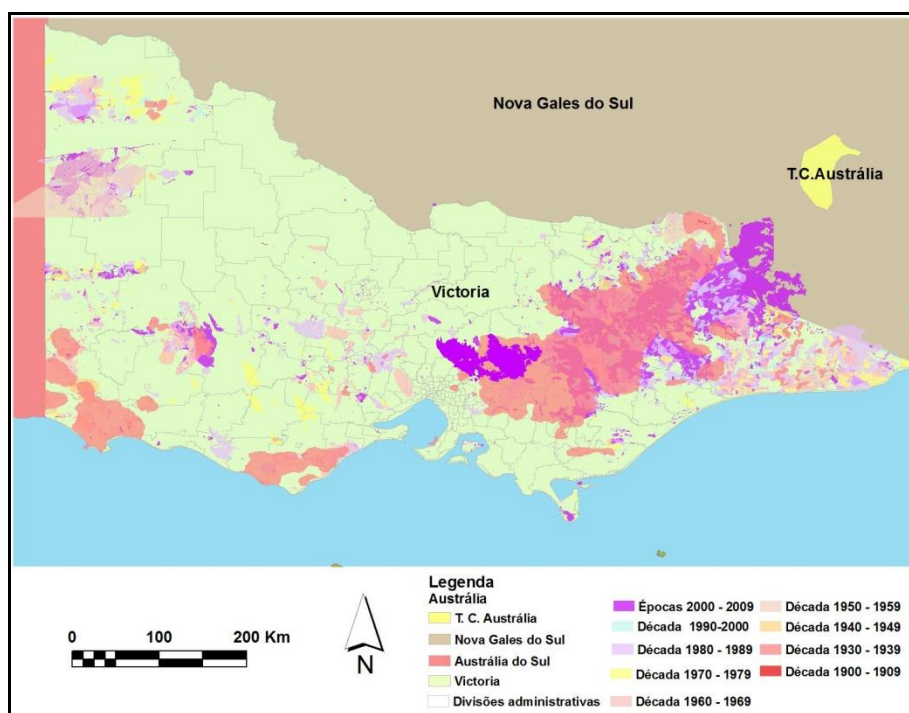


Figura 1.2 – Extensão das áreas ardidas no Estado de Vitória no período de 1900-2009.

## 1.6. Metodologia

A realização deste trabalho teve por base dois métodos distintos: recolha de informação sobre os eventos que aqui se estudam em documentos existentes e a execução de um programa experimental e respectivo tratamento de dados.

O trabalho de pesquisa foi, em grande parte, feito com recurso a material disponibilizado pelo CRC *Bushfire*, tal como relatórios, cartografia digital, dados meteorológicos, entre outros. Da análise deste material foi sintetizada e sistematizada a informação considerada essencial no sentido de perceber a situação vivida antes, durante e após os IF do *Black Saturday*, tendo dado especial enfoque às áreas mais afectadas. De uma forma geral procurou-se abordar as seguintes questões: combustíveis

que suportaram a propagação, meteorologia, topografia, comportamento do fogo, situação na IUF, comportamento humano, resposta operacional e humanitária, impactos socioeconómicos, e impactos ambientais.

Com base na informação levantada acerca dos combustíveis florestais que suportaram a propagação do fogo nas áreas estudadas, identificou-se uma das espécies predominantes: a folhada de *Eucalyptus obliqua*. Sendo que em Portugal o eucalipto predominante é da espécie *Eucalyptus globulus*, recolheram-se na zona de Coimbra amostras de folhada de ambas as espécies, com vista a realizar um programa experimental que permitisse estabelecer uma comparação entre elas. O objectivo principal deste programa experimental foi a de tentar perceber o comportamento do fogo expectável caso tivéssemos condições meteorológicas em Portugal semelhantes às vividas durante o *Black Saturday*.

## 2. Análise dos principais incêndios de 2009

### 2.1. Casos de estudo de Kilmore e Murrindindi

No dia 7 de Fevereiro de 2009 ocorreram cerca de 50 incêndios no Estado de Vitória, dentre estes houve seis que pela sua extensão se tornaram mais importantes Beechworth, Buniyp, Churchil, Redsdale, Kilmore e Murrindindi. De entre estes caos escolhemos os de Kilmore e Murrindindi para um estudo mais detalhado, sendo os restantes abordados no ponto 2.4, de uma forma mais breve.

A principal motivação para a escolha destes IF foi o elevado número de vítimas mortais que estes provocaram e o impacto que estas geraram nas respectivas comunidades. Do total das 173 vítimas mortais registadas, os IF em estudo contribuíram com 159, repartidas pelo IF de Kilmore com 121 e Murrindindi 38. Em Kilmore, as localidades mais afectadas foram Kinglake, Kinglake West com 41 vítimas e St. Andrews com 9 vítimas. Em Murrindindi a área mais afectada foi Marysville com 22 vítimas (McGourty, 2009). Na figura 2.1 é mostrada a dispersão geográfica do número de vítimas pelas zonas afectadas.

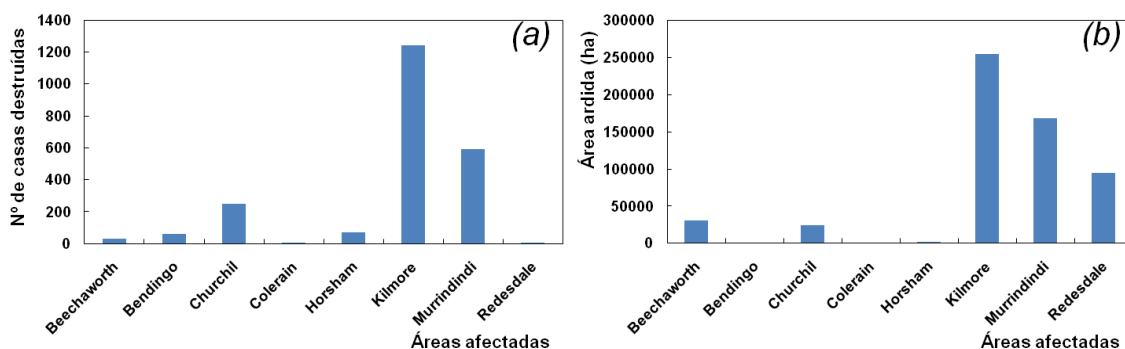


Figura 2.1 – Dispersão geográfica dos locais onde pereceram as 173 vítimas mortais.



A idade das vítimas, estrato social ou sexo foi transversal em todas as localidades. Por muito que se escreva ou que se fale a respeito das vítimas é manifestamente pouco. Cada vida que se perdeu é única, insubstituível e irreparável.

Na figura 2.2 é feita uma comparação entre o número de casas destruídas e áreas ardidas nas áreas afectadas. Facilmente se verifica que os IF em questão foram os que produziram os impactos mais significativos.



**Figura 2.2** – Alguns dados referentes aos incêndios do Black Saturday: (a) Número de casas destruídas. (b) Área ardida (ha). (Fonte: CRC)

Outras motivações para a escolha dos estudos de caso foram a dimensão e a complexidade das áreas ardidas, bem como a disponibilidade de dados referentes aos mesmos. Estes dois IF, no seu total, contabilizaram uma dimensão de área ardida de 255300 ha. Finalmente, os impactos ambientais e económicos provocados também foram tidos em consideração na escolha dos casos de estudo.

### 2.1.1. Incêndio de Kilmore

Este incêndio registou 121 vítimas mortais, 255300 ha de extensão de área ardida (figura 2.3) e uma destruição patrimonial de 1244 casas (VBRC, 2009).

O alerta emitido às 11:50 para a *Emergency Service and Telecommunication Agency* (ESTA) informava da eclosão de um IF localizado em *Saunders Road* em Kilmore East, numa área de pastagens, intercaladas com vegetação nativa e plantações de *Pinus radiata*, mobilizando um minuto depois cinco brigadas locais. A brigada de Kilmore recebeu uma segunda chamada para uma ocorrência na *Wandong/Kilmore Highway*, 3 km a Sul de Kilmore. Como o ponto de início (PI) de origem foi em terrenos privados, o CFA foi o organismo chamado a liderar a ocorrência. A gestão desta ocorrência foi feita a partir do *Incident Control Centre* (ICC) de Kilmore. Foram

mobilizadas mais 7 brigadas incluindo a de *Midway Forest Industry Brigade*. Cinco auto-tanques responderam 30 minutos depois. Estes esforços iniciais foram direccionados para que o IF fosse contido antes de este atravessar a estrada de *Hume Highway*, porém, todo o esforço fora em vão. O risco de incêndio FDI (ver descrição deste índice de risco de incêndio no ponto 2.4.2) na EMA de *Kilmore Gap*, às 14:42 era de 100 e de 97 na EMA de *Viewbank* às 16:30.

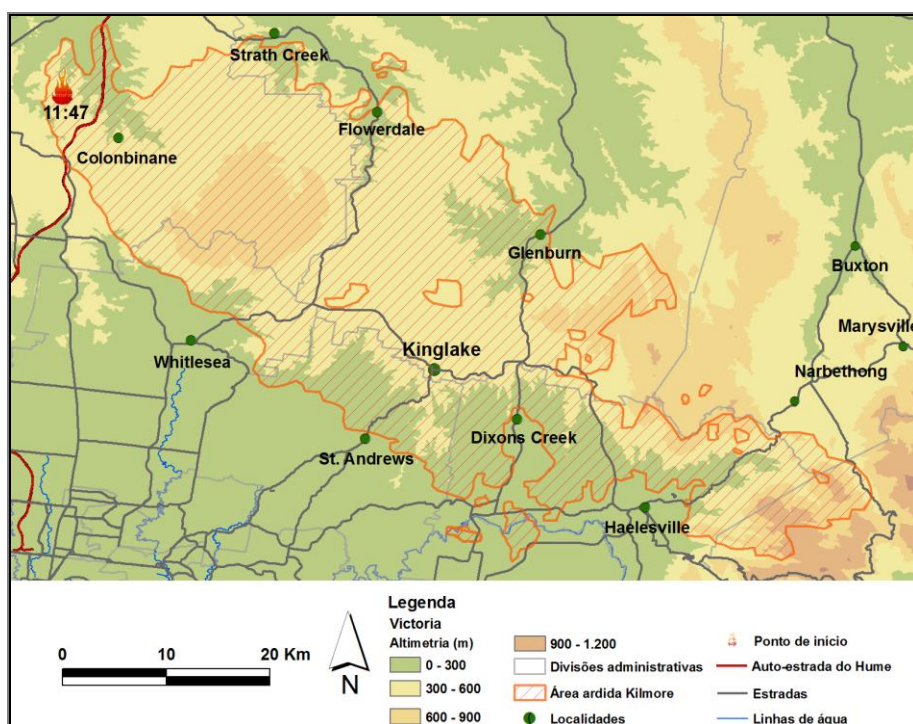


Figura 2.3 – Área ardida do incêndio de Kilmore.

Às 13:58 o IF tinha atravessado a *Hume highway* em Heathcote Junction. Os esforços foram concentrados no flanco Sul para fazer a protecção das cidades de Whitlesea, Yarra Glen e Healsville. De acordo com Russel Rees <sup>(1)</sup> *Senior Chief* do CFA, a segunda fase do incêndio começa quando este atravessa a *Hume Highway* e progride para as encostas do Mount Disappointment. Por volta das 18:00 o rumo do vento altera-se em St. Andrews o que impossibilitou o controlo do fogo no flanco Este.

A 8 de Fevereiro às 04:38 o CFA informa através do seu website que as localidades de Kinglake, Kinglake West, Toolangi, Glenburn, Castella, bem como, todas as localidades do flanco Este tinham sido afectadas pelo incêndio.

<sup>1</sup> Russel Rees apontado por muitos por não ter tido um papel operacional no decurso do *Black Saturday*, pediu a demissão do cargo a 23-Abr-2010 (Fonte: Jornal *The Australian* edição de 23-Abr-2010)

### 2.1.2 Incêndio de Murrindindi

Este incêndio registou 38 vítimas mortais, 168542 ha de área ardida (figura 2.5) e a destruição de 590 casas (VBRC, 2009). Durante as operações de rescaldo e de vigilância, a queda de um ramo em Cambarville provocou uma vítima mortal, um bombeiro do Australian Capital Territory (ACT). Esta vítima foi, de acordo com o VBRC (2009), a única vítima mortal não civil.

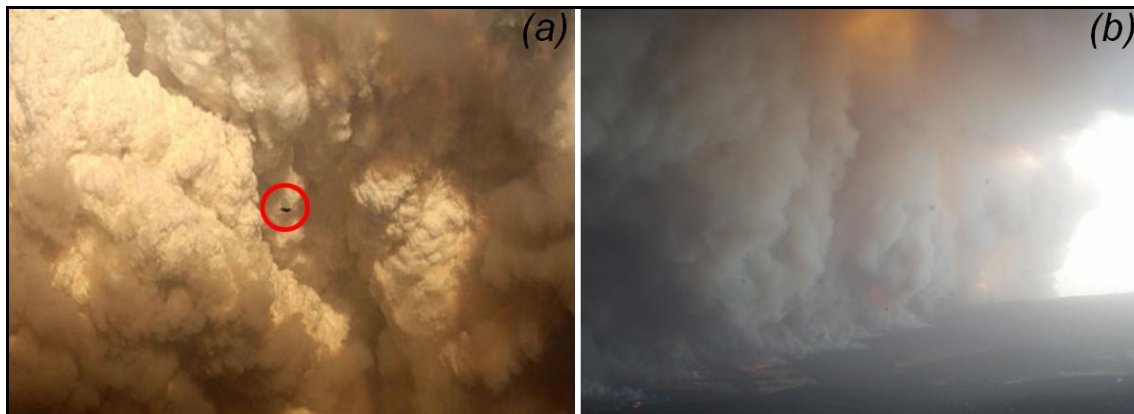
O alerta de incêndio foi dado em Murrindindi Mill às 15:00 pela torre de vigia de Despair Mount, para os quartéis do DSE em Bradford e Alexandra. O PI localizou-se a 2 km a Sul de Murrindindi, em propriedade privada. A área urbana mais afectada por este incêndio foi Marysville. A gestão do combate foi inicialmente atribuída ao DSE pelo ICC de Alexandra. O risco de incêndio FDI (ver descrição deste índice de risco de incêndio no ponto 2.4.2) registado na EMA de Coldstrem às 16:34 era de 81 e de 92 na EMA de Eildon *Fire Tower* às 16:31.

A gravidade do comportamento do fogo inviabilizou um ataque directo, ficando todas as brigadas disponíveis a fazer somente protecção às comunidades. Foi pedido apoio de MA a Mansfield para controlo da propagação do incêndio, mas as condições meteorológicas impediram o trabalho das aeronaves e estas apenas realizaram uma descarga cada. O incêndio progrediu rapidamente para as florestas de Black Range, entre *Melba* e *Maroondah Highways*, altura em que começaram a evidenciar-se as projecções de longa distância, atingindo o topo do monte.

Na impossibilidade de utilização de MA, as equipas no terreno foram reforçadas com bulldozers e moto-niveladoras do DSE e de Murrindindi *Shire* (condado) para construção de linhas corta-fogo. Por volta das 16:45, devido a projecções de longa distância, começam a eclodir focos de incêndio em torno de Marysville e a convergir para o incêndio principal. O flanco Este tornou-se numa gigantesca frente e a protecção dos bens por parte das equipas presentes no teatro de operações (TO) ficaram comprometidas.

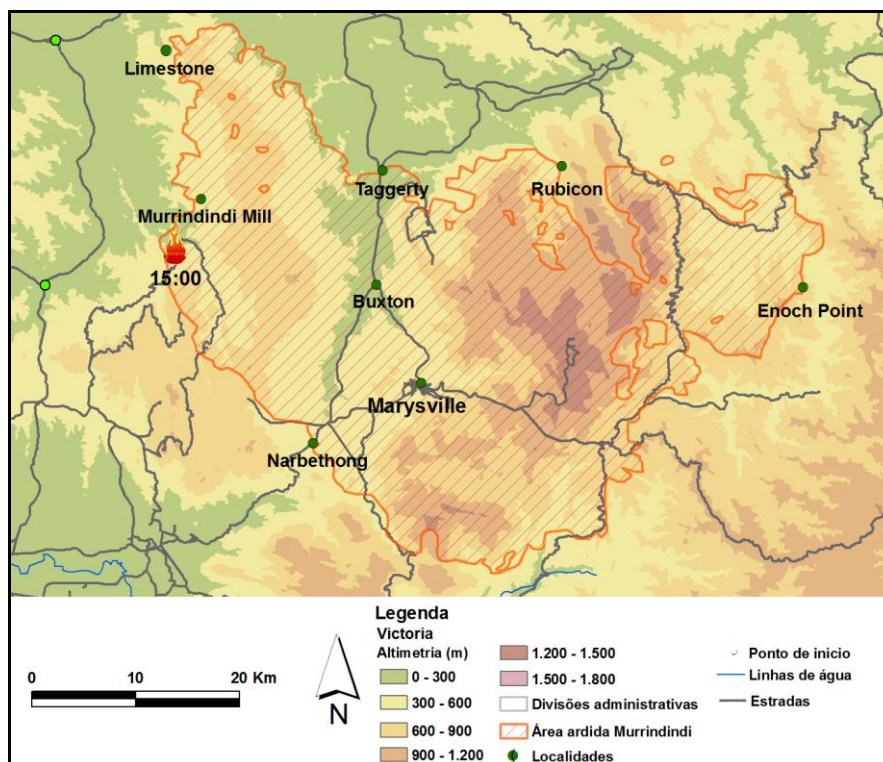
A mudança do rumo do vento e a interacção deste com a atmosfera provocou plumas de intenso fumo (figura 2.4) e a queda de raios acabou por provocar novos incêndios entre as áreas de Murrindindi e Bunyip (VBRC, 2009). Para uma melhor ilustração da importância e enormidade das plumas de fumo, a figura 2.4a apresenta no seu centro um *Boeing 737* que é um avião com 40 m de comprimento, 10 m de altura e 34 m de envergadura ([www.boeing.com](http://www.boeing.com), consultado a 15-Mar-2010).

Às 18:30 o rumo do vento mudou para Sudoeste. Os avisos do DSE indicam que esta mudança do rumo chegou mais cedo e atravessou a área com maior intensidade do que previsto. Durante algum tempo foram constantes as mudanças do rumo do vento, tornando assim difícil identificar para onde se deslocava a nova frente de fogo.



**Figura 2.4** – Colunas de fumo observadas no incêndio de Murrindindi: (a) Pirocumulonimbus, (b) Aspecto da progressão do incêndio às 17:04 no flanco Noroeste. (Fonte: CRC)

Às 18:50 Marysville é “bombardeada” com uma chuva de partículas incandescentes. É dada a ordem aos elementos do CFA e do EED que se retirem para uma área segura no *Parque Gallipoli Oval*, local este onde já havia membros da comunidade abrigados. A maior parte das habitações não resistem e sucumbem ao incêndio e uma hora depois (19:50) é confirmada a destruição de 80% de Marysville.



**Figura 2.5** – Área ardida do incêndio de Murrindindi.

No dia 8 de Fevereiro, a progressão deste incêndio abrandou devido a alterações meteorológicas. Ainda assim, este só foi declarado circunscrito 26 dias depois. Para que se consumasse esta circunscrição não foram poupados esforços na construção de linhas de controlo nos perímetros florestais, pelo facto de se terem registado vários reacendimentos a Sul que ameaçavam a captação de água na reserva que abastece Melbourne. Esta ocorrência foi encerrada em definitivo às 11:00 do dia 13 de Março de 2009.

## **2.2. Condições biofísicas associadas aos incêndios de Kilmore e Murrindindi**

### **2.2.1. Formações vegetais**

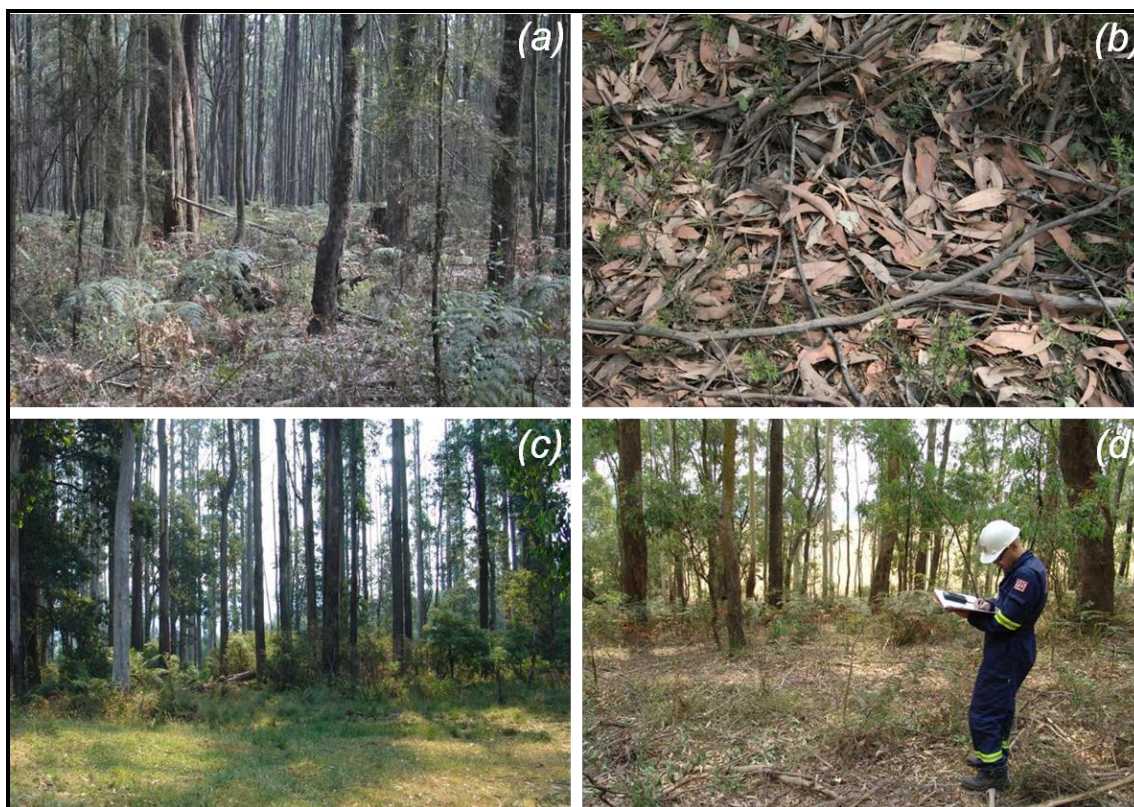
O Estado de Vitória, embora seja o menor em área de todo o continente australiano, apresenta a maior biodiversidade em termos de formações vegetais, contendo 10 bioregiões, ou seja, regiões bem definidas pela sua flora fauna, clima e morfologia. Esta biodiversidade inclui: extensas florestas de eucalipto com altura das árvores superiores a 90 m, localizadas essencialmente nas faixas a Sul e nos planaltos; extensas charnecas costeiras e zonas húmidas; campos herbáceos alpinos; florestas abertas de eucaliptos nas planícies quentes e secas e florestas de eucalipto a Noroeste do Estado nos ambientes mais áridos. A Classificação Ecológica da Vegetação (CEV) para Vitória foi agrupada em 14 tipos de cobertura vegetal. A definição destes grupos de cobertura vegetal foi realizada por especialistas que os agruparam de acordo com o comportamento do fogo em condições semelhantes (Sullivan e McCaw 2009).

No IF de Kilmore as formações vegetais consumidas pelo fogo eram pouco diversificadas, com predominância de arbustos, em particular esclerófilas. Os pequenos bosques aparecem nesta área de forma pouco representativa e muito espaçados territorialmente. Sensivelmente 2/3 da extensão afectada evidenciava um predomínio da formação esclerófila seca. A vegetação que compõe este tipo de formação é constituída pelos seguintes estratos: estrato herbáceo dominado por gramíneas, das quais se destaca o *Australis themeda*, o estrato arbustivo raro, e o estrato arbóreo, dominado por eucalipto que é uma das comunidades vegetais nativas mais adaptadas. As árvores são de porte médio compostas por folhagem com um grau de cobertura entre os 10 e os 30% ([www.worldwildlife.org/profiles](http://www.worldwildlife.org/profiles), consultado a 27-Fev-2010).

Em *Saunders Road* no PI do IF de Kilmore, o coberto arbóreo era composto por *Pinus radiata*. Esta espécie de pinheiro é comum em algumas bioregiões de Vitória (Sullivan e McCaw 2009). Em Kinglake e Kinglake West o coberto vegetal era maioritariamente constituído por povoamentos de eucaliptos com subcoberto. As principais espécies arbóreas existentes eram os *Eucalyptus obliqua*, *rubida*, *dives* e *viminialis*. As árvores apresentavam uma altura média a rondar os 80 a 90 m, e em alguns casos ultrapassavam os 100 m. As cargas dos combustíveis de superfície eram elevadas, na ordem das 30 ton/ha (Viegas *et al*, 2009).

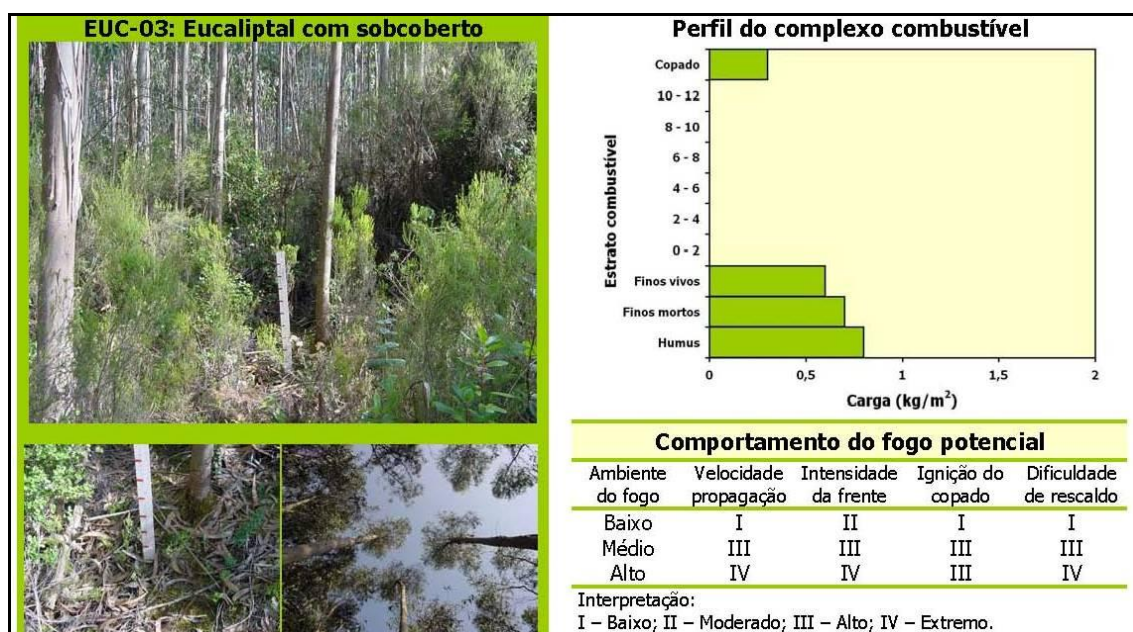
Na área ardida no IF de Murrindindi, a cobertura vegetal era mais complexa, composta no seu PI por vegetação esclerófila seca, mas alterando-se para o domínio do tipo subalpino à medida que se avança para Este. Os bosques e as formações ripícolas tinham, nesta área, uma maior representatividade do que na área afectada pelo IF de Kilmore. De acordo com Viegas *et al*. (2009), os combustíveis florestais nas áreas ardidas e circundantes de Murrindindi eram, de um modo geral, povoamentos, com predomínio de diversas variedades de eucaliptos, árvores de grande porte, com diâmetro à altura do peito (DAP) superior a 80 cm e com altura média a rondar os 90 m. Nas imediações de Marysville, as espécies de eucaliptos existentes eram essencialmente o *Eucalyptus obliqua* e o *regnans*. Estas duas espécies foram as principais responsáveis por projecções. No caso do *obliqua*, projecções de curta e média distância (Cheney, 1981) e no caso do *regnans* projecções de longa distância (Viegas *et al*, 2009).

A formação alpina Australiana, em termos de espécies, não difere muito das restantes formações de Vitória. As principais diferenças são a adaptação que as espécies possuem ao frio, à precipitação e à altitude. Estas adaptações determinam que apenas um grupo restrito de espécies prevaleça nestas condições de adaptabilidade. A secção Vitoriana dos Alpes Australianos tem uma extensão de 324175 ha. A distribuição das formações vegetais varia em altitude. A baixa altitude predominam, ao nível do estrato herbáceo, algumas gramíneas das quais se destaca a *Foliosa bossiaea* e as turfeiras *Sphagnum*. As formações arbustivas são raras e ao nível do estrato arbóreo predominam os eucaliptos (*Eucalyptus macrorhyncha*, *rossii*, o *dives*), entre outros. Entre os 1000 e os 1500 m, os eucaliptos mais comuns incluem o cinza alpino, como é o caso do *delgatensis* e o *dalrypleana*.



**Figura 2.6** – (a) Povoamento aberto de eucalipto em Kinglake, (b) Coberto vegetal superficial em Kinglake, (c) Povoamento aberto de eucalipto localizado a 9 km de Marysville, (d) Complexo combustível em Narbethong. (Fonte: CRC)

A recolha fotográfica (figura 2.6) disponibilizada em Sullivan e McCaw (2009) possibilitou a identificação de um modelo de combustíveis a partir do guia de combustíveis do CEIF/ADAI (Cruz, 2005).



**Figura 2.7** – Modelo de combustível escolhido para caracterizar as áreas em estudo. (Fonte: Cruz, 2005)

O guia de combustíveis, além da aplicabilidade prática, facilitou também a compreensão do comportamento do fogo que afectou as áreas em estudo. Neste guia, o modelo que mais se aproxima do encontrado nas áreas afectadas é o de EUC-03 (figura 2.7). Ele é caracterizado por um eucaliptal com subcoberto arbustivo, formação combustível característica de eucaliptais cujo sub-bosque possua arbustos com altura inferior a 0.7 m. O fogo nesta formação combustível tende a apresentar intensidade e velocidade de propagação altas e a possibilidade de passagem às copas em certas condições. Para teores de humidade baixos dos combustíveis finos mortos, a ocorrência de focos de incêndio secundários é comum (Cruz, 2005).

### **2.2.2. Condições climáticas**

O clima diz respeito às condições meteorológicas médias. Estas são um dos elementos preponderantes na iniciação e propagação dos IF e de fenómenos a estes associados. De facto, existe uma concomitância entre a ocorrência de grandes IF e condições meteorológicas adversas (temperaturas elevadas, humidade relativa baixa, vento forte e com rumo inconstante).

O Sudoeste Australiano tem vivido um período de seca severa superior a uma década, historicamente sem precedentes no Estado de Vitória. A análise a 12 anos (1997-2009) evidencia que este foi o período mais seco dos últimos 109 anos (1900-2009). A precipitação durante este período decresceu em média 15% (BoM, 2009<sup>a</sup>).

As condições meteorológicas adversas vividas durante a primeira semana de Fevereiro de 2009 no Estado de Vitória foram, em parte, causadas por uma excepcional onda de calor que se manifestou pela segunda vez nesse ano, de uma forma aguda entre 6 e 8 de Fevereiro de 2009. A causa para esta onda de calor terá sido um sistema de altas pressões em movimento lento ao longo do mar da Tasmânia, combinado com um anticiclone tropical, localizado ao largo da costa Nordeste da Austrália e uma monção (zona de convergência intertropical) ao longo do Norte da Austrália. Esta trilogia (sistema de altas pressões, anticiclone tropical e monção) criou as condições para que o ar tropical quente fosse encaminhado para as regiões Sul do continente (BoM, 2009c).



### 2.2.3. Topografia

A topografia é um parâmetro de extrema importância no comportamento do fogo. A morfologia do terreno pode ter um efeito drástico no aumento da velocidade e direcção da sua progressão. Esta tem também um papel importante na ocorrência de focos secundários. Por exemplo, as diferenças de altitude entre as zonas de emissão e recepção das partículas têm uma influência significativa na distância percorrida pelas mesmas.

As características da topografia que mais influenciam o comportamento do fogo são a exposição e o declive. A exposição, ou seja a orientação das encostas, determina a quantidade de radiação solar recebida pelos combustíveis florestais à superfície e, conseqüentemente, tem uma influência significativa no seu teor de humidade. O declive influencia de forma significativa o comportamento do fogo. Por exemplo, de forma aproximada podemos dizer que para um declive de  $10^\circ$  a taxa de propagação do fogo é mais do dobro que em terreno plano e para  $30^\circ$  é cerca de 9 vezes superior à velocidade em leito horizontal (Rossa, 2009).

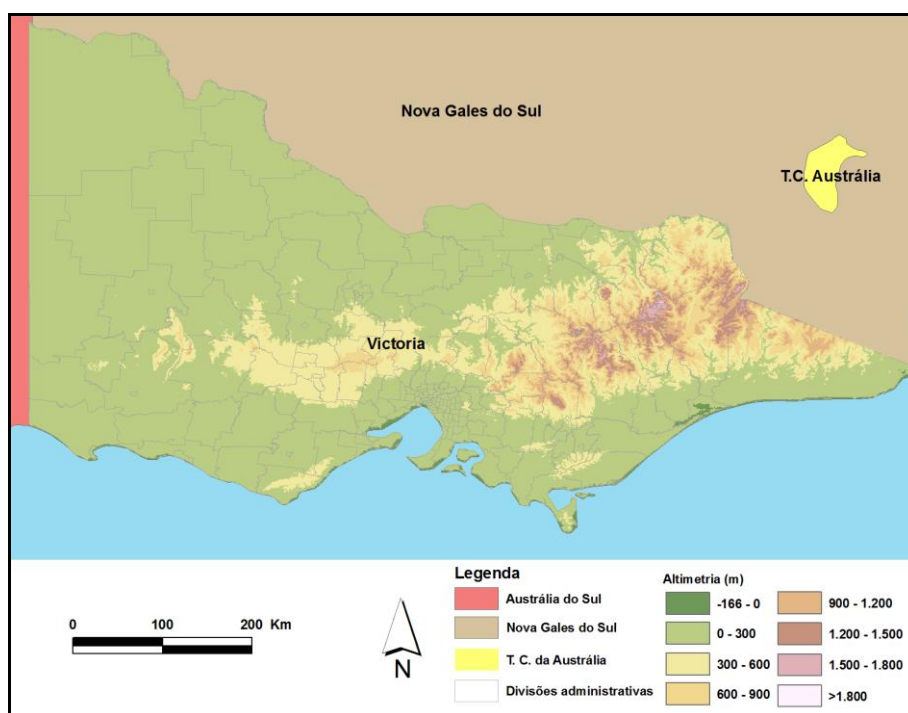


Figura 2.8 – Altimetria do Estado de Vitória.

A topografia do Estado de Vitória é predominantemente aplanada, com uma altitude média a rondar os 210 m, exceptuando-se o quadrante Este, onde a grande cordilheira corre de uma forma geral paralela à costa. A nível local, este sistema

montanhoso assume diferentes nomes: *Montes Azuis*, *Alpes Australianos* ou ainda *Montes Nevados*. Nestes Alpes, localiza-se o ponto mais elevado de todo o país, o monte *Kosciuszko*, com uma elevação de 2229 m (figura 2.8).

A vasta área ardida do IF de Kilmore não apresenta uniformidade em termos de topografia. O registo mais significativo em termos de altimetria neste perímetro final é o Mount Disappointment, com uma altitude de 800 m. Esta montanha está localizada a 60 km a Norte de Melbourne e a Noroeste do *Great Dividing Range*.

Na figura 2.9 é apresentada a altimetria da área ardida, assim como alguns perfis topográficos de rumos conhecidos da progressão do incêndio. Estes perfis, bem como os de Murrindindi apresentados mais à frente, foram elaborados com a finalidade de verificar as rupturas de declive. Onde se verificaram estas rupturas de declive, a progressão fez-se principalmente através de projecções.

No PI do incêndio de Kilmore (*Saunders Road*), a topografia é caracterizada por uma peneplanície, sem relevos de registo. Na sua progressão para Sul e Sudeste até Humevale os relevos são de igual modo pouco acidentados. (figura 2.9)

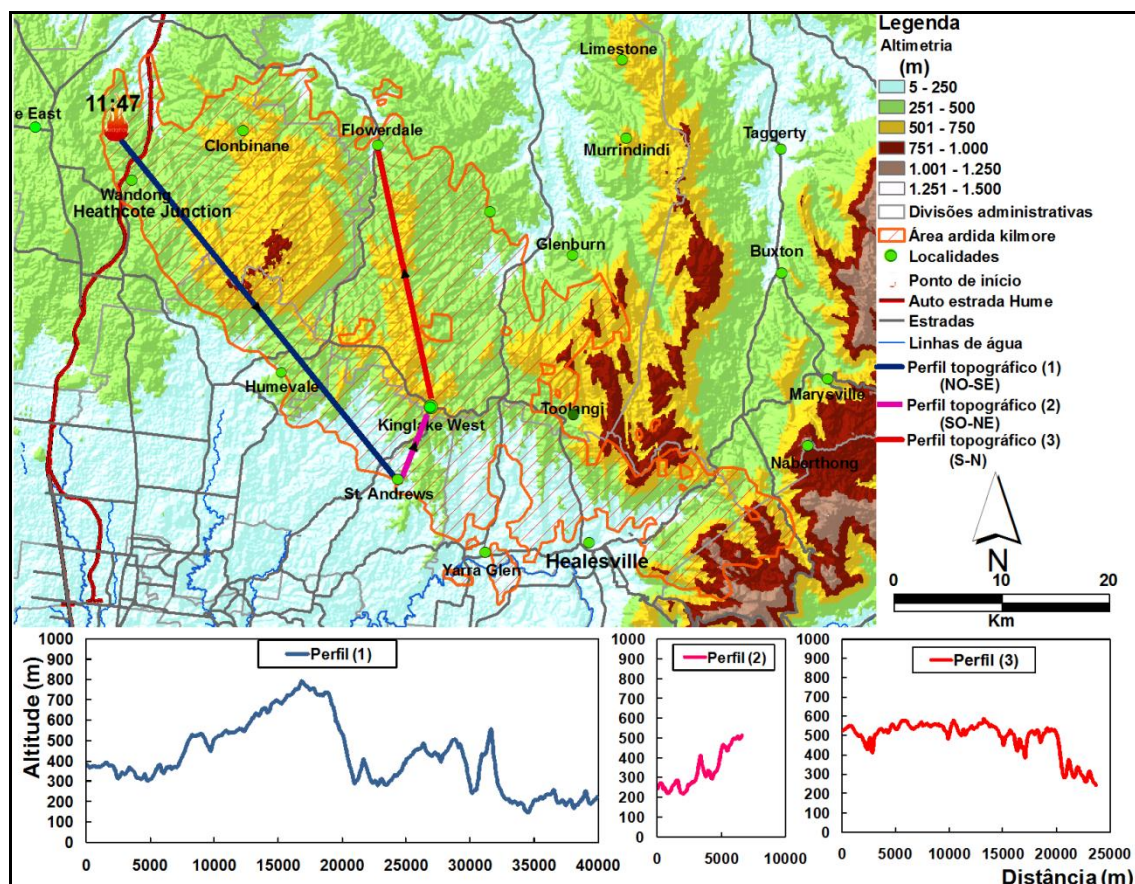


Figura 2.9 – Topografia da área ardida de Kilmore.

À medida que se progride para Sudeste do PI e especialmente para Este, o relevo apresenta uma morfologia com algumas elevações próximas dos 1000 m de altitude, como é o caso do Monte Everard com 949 m. Estas elevações, pelos declives que apresentam, tiveram uma influência significativa no comportamento do fogo.

O perímetro final da área ardida do IF de Murrindindi é o mais complexo da perspectiva da topografia. Desde o seu PI em Murrindindi Mill (Figura 2.10) que duas cordilheiras montanhosas se alinham de uma forma geral de Norte para Sul. Este alinhamento acompanha o regime geral dos ventos no Estado de Vitória (Norte e Noroeste). Marysville, umas das comunidades mais afectadas pelos IF, localiza-se no centro destas duas cordilheiras.

A Este de Marysville, as elevações mais significativas são o Mount Leonard e Mount Tanglefoot, a Oeste o Mount Torbreck e o Mount Ritchie. À medida que se avança para Este, as elevações começam a ter mais expressão, uma vez que se caminha para a cordilheira alpina Australiana.

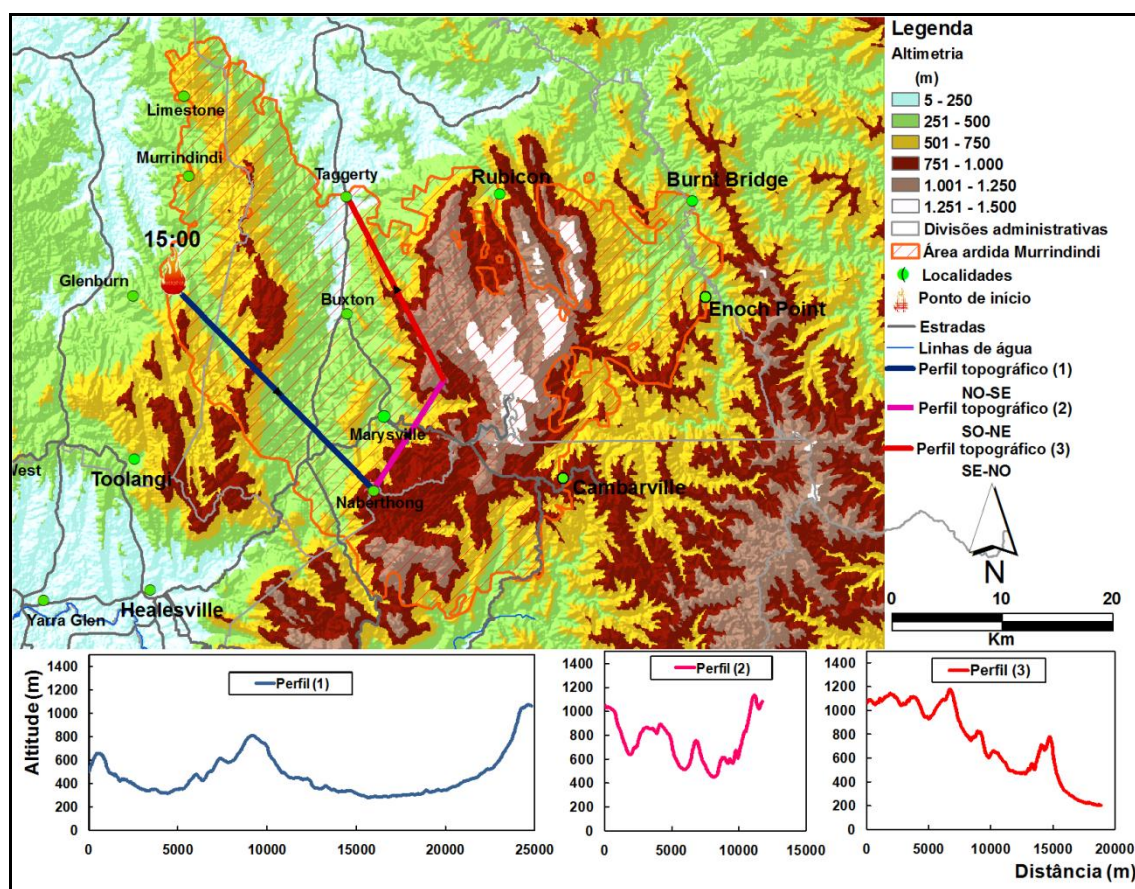


Figura 2.10 – Topografia da área ardida de Murrindindi.

#### **2.2.4. Interface urbano-florestal**

A IUF na Austrália é, certamente, diferente da Portuguesa ou da Norte Americana. Assim, e dado o carácter pertinente e de certa forma exclusivo do problema, a caracterização da IUF nas áreas mais afectadas pelos incêndios do *Black Saturday* foi tida em especial atenção durante a missão à Austrália levada a cabo pela equipa do CEIF/ADAI, previamente referida.

A lei SA 3959 de 1999, aprovada no Estado de Vitória, visava a redução do risco de IF na IUF através de um conjunto de medidas, de onde se destaca a avaliação feita *in situ* (aquando da nova construção), no que diz respeito ao declive, à disponibilidade de acessos a veículos, à disponibilidade de abastecimento de água, e à orientação e à vegetação. Em redor das construções foi prevista a remoção de combustíveis numa faixa de 100 m. No entanto foi tida em consideração a protecção ambiental: sempre que por uma questão de espécie protegida, árvore centenária ou por qualquer outro motivo de índole ambiental, fosse inviável a limpeza da faixa, a nova habitação teria de ser construída com recurso a material ignífugo, como barreiras de calor, pavimentos adaptados, reservatórios de água, entre outros.

Verificou-se, a partir de material fotográfico entre outros, que as indicações fornecidas por esta lei não eram cumpridas, havendo vegetação em volta das habitações (figuras 2.24 e 2.28). Nesse sentido, a lei supracitada em vigor até ao *Black Saturday*, foi alterada a 11-Mar-2009 (pouco mais de um mês depois), e substituída pela lei SA 3959-2009. Esta estabelece que, para além do conjunto de medidas contidas na lei anterior, cada nova construção passe a fazer um teste BAL (*Bushfire Attack Level*). Esta avaliação é obrigatória e está contemplada no pedido de licenciamento. Em função do tipo de construção foram criados 6 testes BAL e estes novos regulamentos já figuram no processo de reconstrução das áreas afectadas em Fevereiro de 2009.

### **2.3. Situação durante os incêndios de Kilmore e Murrindindi**

#### **2.3.1. Causas dos incêndios e propagação inicial**

A facilidade de ignição e propagação dos IF ocorridos em Fevereiro de 2009 estão ligadas às condições referidas com maior detalhe no ponto 2.3.2, relativo às condições climáticas que precederam os eventos e às condições meteorológicas verificadas durante o período da tragédia. Estas condições meteorológicas foram caracterizadas por

temperaturas elevadíssimas, baixa humidade relativa, vento forte e por vezes errático. Além disso, estando associadas a um período de seca de mais de uma década e vindo no seguimento de uma onda de calor no mês de Janeiro originaram teores de humidade dos combustíveis na ordem dos 2% (BoM 2009b).

As condições em termos de complexos combustíveis, anteriormente referidas com algum detalhe, também tiveram um papel preponderante no saldo final dos IF. Segundo um experiente voluntário do CFA, a carga existente em Kilmore rondavam as 40 a 50 ton/ha e 40 ton/ha em Murrindindi Mill (VBRC, 2009). Nas semanas que antecederam o *Black Saturday*, este mesmo voluntário visitou as áreas de Strathewen, Kinglake e Glenvale (áreas afectadas pelo IF de Kilmore) e ficou surpreendido e horrorizado com as cargas de combustível, reconhecendo, no imediato, a impossibilidade de controlar um IF naquelas áreas.

Desde o início do mês de Fevereiro, várias dezenas de focos de incêndio eclodiram no Estado de Vitória. Apesar da sua enorme quantidade, não assumiam um carácter de elevada gravidade ou vítimas mortais até ao dia dos eventos. Nos dias 7 e 8 de Fevereiro, foram declarados um total de 50 IF em Vitória (Viegas *et al.*, 2009), mas destes apenas 7 evoluíram para incêndios de grandes dimensões. O número elevado de ocorrências originou uma grande dispersão de meios durante os dias que antecederam o *Black Saturday*, tendo levado a algum desgaste em termos humanos, o que terá incrementado as consequências dos IF do dia 7 de Fevereiro.

O IF de Kilmore teve o seu PI em *Saunders Road*, numa área de herbáceas junto a uma plantação de *Pinus radiata*. Auxiliado por ventos de Noroeste, a frente de chamas progrediu de uma forma estreita em direcção a Sudeste, atingindo inicialmente a localidade de Wandong. O incêndio atravessou a auto-estrada do *Hume* a Norte de Wandong, contornou o extremo Norte da cidade a Sudeste, junto à escarpa do Monte Hume, onde ganhou velocidade e ganhou progressão para Sudeste (Sullivan e McCaw, 2009).

A causa apurada para a ignição em Kilmore East foi a queda de cerca de 3 km de cabo de alta tensão (figura 2.11). As estruturas que suportam os cabos que asseguram o transporte de energia eléctrica caíram devido ao forte vento que se fez sentir, resultando numa descarga que causou a ignição do incêndio que deu origem à maior área ardida do *Black Saturday*. Este incidente gerou alguns processos em tribunal contra a empresa que faz a gestão da distribuição da energia eléctrica, a *SP AusNet* (Fonte: Jornal *The Age*, edição de 9-Fev-2009).



**Figura 2.11** – Cabo de alta tensão caído perto de Kilmore. (Fonte: CRC)

O IF de Murrindindi teve o seu PI em Murrindindi Mill e, inicialmente, progrediu para sudeste. A frente de chamas era estreita e o seu flanco esquerdo localizava-se entre o rio Murrindindi e o *Black Range Road*. Perto de *Bull Creak Road* a evidência da actividade de projecções confirma a progressão para Sudeste antes da mudança do vento (Sullivan e McCaw, 2009).

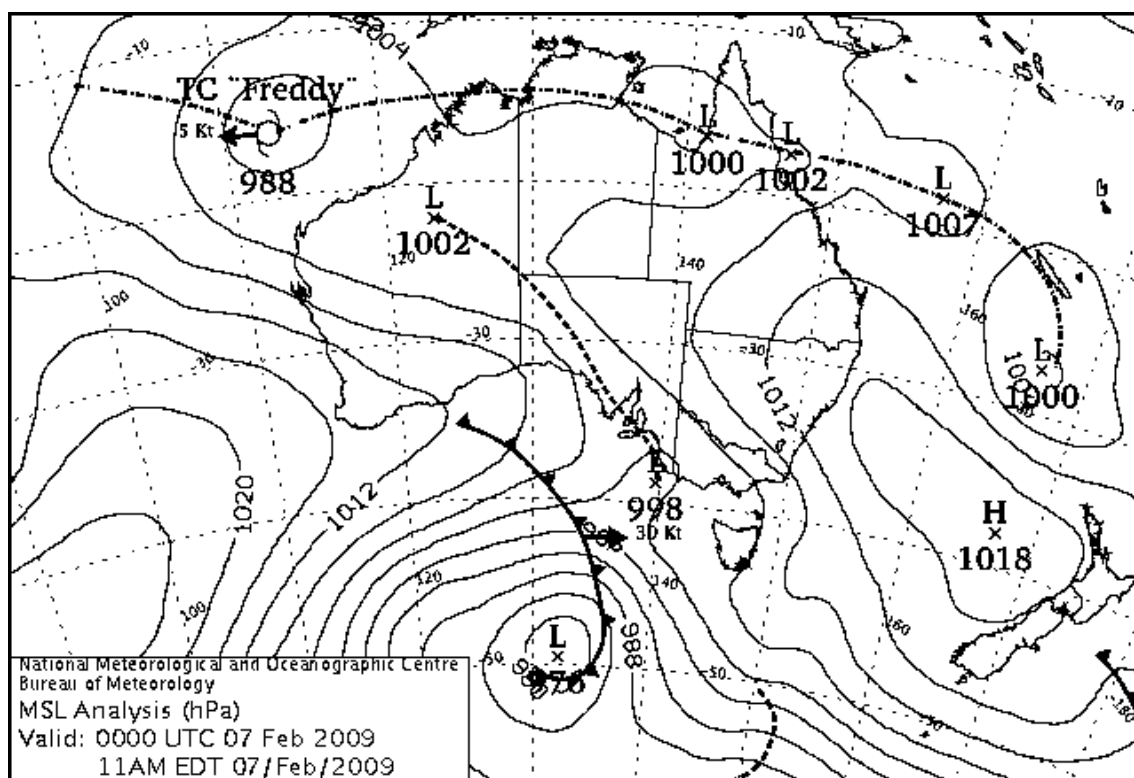
Este incêndio teve como causa apontada o fogo posto (Fonte: Jornal *The Age*, edição de 9-Fev-2009) e nesse mesmo dia as autoridades policiais investigaram a sua origem, atribuindo-lhe desde logo esta causa provável. No sentido de descobrir o responsável, desde o dia 7 de Fevereiro mais de 250 polícias iniciaram a maior missão de investigação de causas da História de Vitória. Estes elementos, numa luta contra o tempo, ouviram mais de 1100 declarações. De acordo com o Comissário de Polícia Maloney, as investigações só seriam dadas por concluídas quando os responsáveis fossem detidos.

### **2.3.2. Condições meteorológicas e risco de incêndio**

#### Condições meteorológicas

A carta de superfície para as 11:00 horas da manhã do dia 7 de Fevereiro (figura 2.12) evidencia que uma frente fria continua o seu trajecto para Leste em direcção ao Estado

de Vitória. A pressão à superfície baixou, devido a uma baixa pressão verificada próximo da fronteira entre Vitória e a Austrália do Sul.



**Figura 2.12** – Carta de superfície do continente Australiano para o período das 00:00 – 11:00 do dia 7-Fev-2009. (Fonte: NMOC)

No seguimento da situação referida, as condições meteorológicas mudaram drasticamente durante a manhã. Na estação meteorológica de referência Melbourne (Melbourne Airport) começaram a registrar-se ventos a soprar do quadrante Noroeste, por vezes com rajadas de 95 km/h em altitude na camada situada entre o 1 e os 5 km. Estes ventos alteraram por completo a estrutura vertical da atmosfera e consequentemente os restantes parâmetros meteorológicos.

Para o estudo dos casos dos IF de Murrindindi e de Kilmore foram escolhidas 3 estações meteorológicas automáticas (EMA) e foi feita uma comparação com a estação de referência do Estado de Vitória Melbourne. As 3 EMA triangulam as áreas ardidas (figura 2.13). As figuras 2.14, 2.15 e 2.16 ilustram a evolução dos parâmetros meteorológicos: temperatura, humidade relativa, e vento (velocidade e rumo), para os dias 7 e 8 de Fevereiro de 2009.

A temperatura ao longo de todo o Estado de Vitória era muito elevada, registando-se, em muitos lugares, temperaturas superiores a 45°C. A manutenção destes

valores, resultou das condições anteriormente descritas e ilustradas na figura 2.12, que originaram uma enorme massa de ar quente gerada nos dias anteriores sobre a área Sudoeste da Austrália.

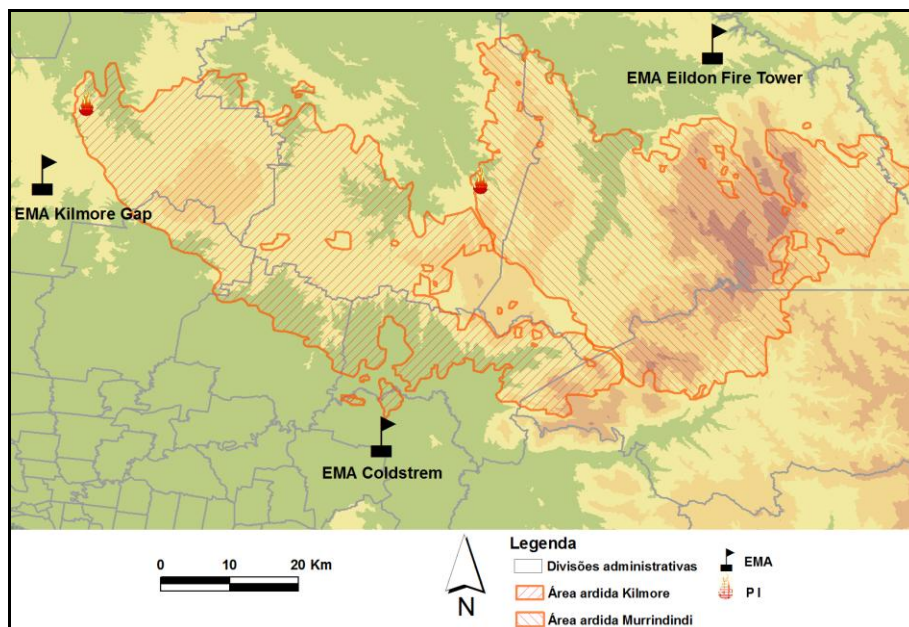


Figura 2.13 – Localização das EMA para os IF em estudo. (Fonte: CRC)

Tabela 2.1 - Localização geográfica das EMA (Fonte: CRC)

Nome	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Posição relativa à área ardida
Kilmore GAP	37°38' S	144.97 ° E	528	Flanco Oeste
Coldstream	37°73' S	145.41° E	83	Sul
Eildon Fire Tower	37°21' S	145.84° E	673	Flanco Este

A EMA de Kilmore, à hora da eclosão do IF (11:47) com o mesmo nome, registava uma temperatura do ar de 35°C. As restantes estações, bem como a estação de referência, acompanharam a tendência das temperaturas elevadas. À medida que nos deslocamos para Sul, existe uma tendência de aumento da temperatura até às 12:00. A Sudoeste da área de estudo localiza-se a estação de referência que à mesma hora marcava 45°C. Para o IF de Marysville, iniciado às 15:00, os termómetros marcavam 40°C e as restantes estações acompanhavam a tendência. A estação de referência marcava uns impressionantes 46°C.



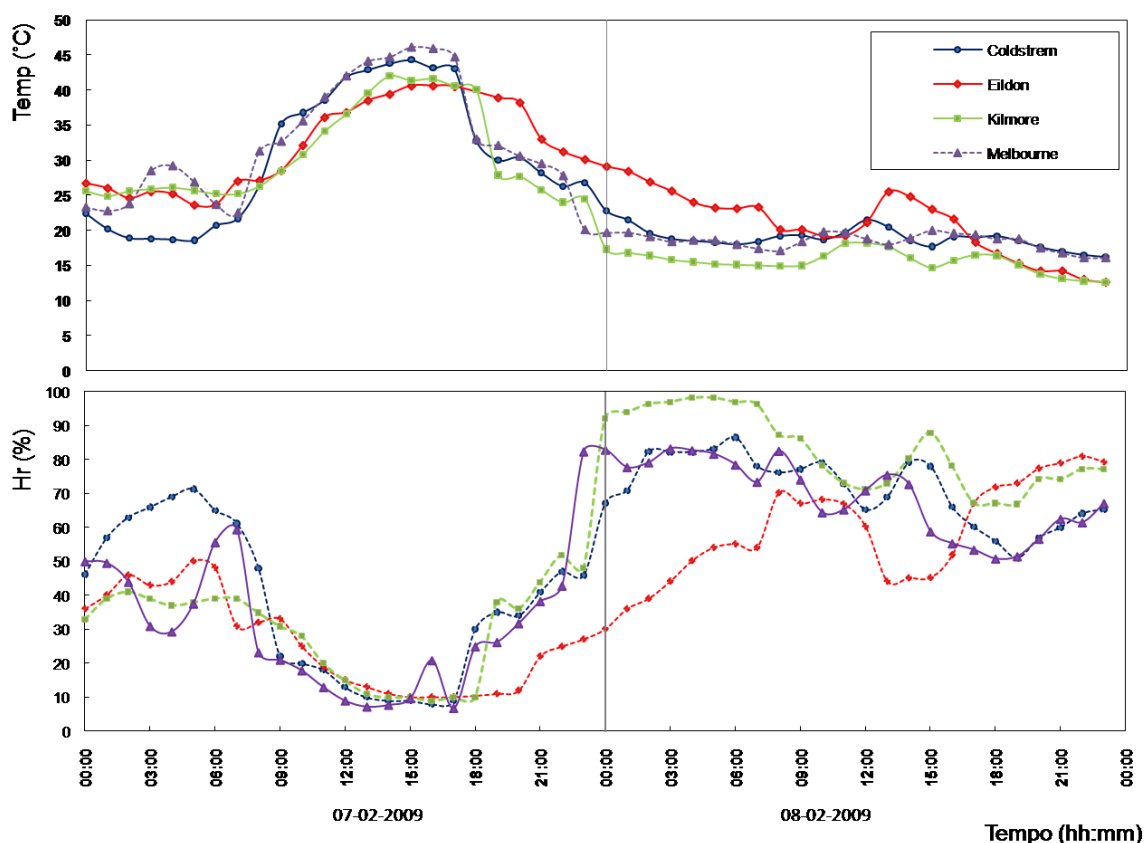


Figura 2.14 – Temperatura e humidade relativa registada nas estações meteorológicas que circundam a área ardida. (Fonte: CRC)

A humidade relativa evolui na razão inversa da temperatura. Às horas das eclosões, a humidade relativa em Kilmore bem como em Eildon rondava os 10%. A estação de referência de Melbourne apresentou valores ainda mais baixos, na ordem dos 8%.

O vento, para além de tornar a combustão mais intensa, movimenta também o calor, facilita o abaixamento do teor de humidade dos combustíveis, e frequentemente é o factor mais determinante da direcção, velocidade, forma e dimensão do fogo. O vento é ainda o responsável pelo arrastamento de fagulhas que poderão provocar projecções de focos de incêndio a distâncias consideráveis.

O fenómeno atmosférico que gerou as velocidades de vento registadas é de certa forma bem conhecido, pois está associado à ocorrência de grandes incêndios em Vitória. De acordo com o (Sullivan e McCaw 2009), dois factores meteorológicos foram importantes para a ocorrência deste fenómeno. Em primeiro lugar a interacção entre uma massa de ar quente em profundidade sobre o continente, com uma outra massa de ar frio também em profundidade (circumpolar) que se aproximou do continente vindo do Sul. Esta corrente de ar frio é conhecida como corrente de jacto ou jet-stream. O forte contraste térmico entre estas duas massas de ar transforma a fonte de energia

térmica em energia eólica, o que a uma escala global é a condição necessária para a existência das correntes de jacto. Esta circulação de massas de ar em altura, quando interagem com correntes de convecção de ar quente, é trazida até à superfície terrestre, onde se manifestam sob a forma de ventos fortes (BoM, 2009a).

O segundo factor importante na manifestação dos ventos sentidos é um processo conhecido como frontogénese costeira. A frontogénese costeira verifica-se durante os meses de Verão quando uma massa de ar frio em profundidade interage o suficiente com o aquecimento da superfície terrestre, de modo a formar uma superfície frontal fria. A interacção entre estas duas massas de ar a diferentes temperaturas gera, numa estreita faixa, a concentração de ventos muito fortes, alterando por completo o gradiente térmico (Sullivan e McCaw, 2009). A temperatura do solo é um factor muito importante na ocorrência deste fenómeno. Os anos sucessivos de seca levam a que os solos fiquem em stress hídrico, facilitando as mudanças bruscas de temperatura.



Figura 2.15 – Velocidade média e velocidade máxima do vento registada nas estações meteorológicas que circundam a área ardida. (Fonte: CRC)

De um modo geral, até às 9:00 do dia 7 de Fevereiro, o vento que se fazia sentir nas EMA não era um vento forte (figura 2.15), com velocidade inferior a 30 km/h. Por

volta da hora de eclosão do incêndio de Kilmore, em Kilmore Gap, o anemómetro marcava uma velocidade média a rondar os 55 km/h. Em Eildon, à hora de início do IF de Murrindindi, o anemómetro marcava 35 km/h. A mudança de velocidade e rumo de vento não se fez sentir de uma forma imediata, mas sim gradual e com o rumo de Oeste para Leste (figura 2.15). Pese embora ainda que neste rumo as correntes atravessam importantes formações montanhosas, que como é do conhecimento geral alteram as características do vento.

Se de facto as velocidades médias são já elevadas, o gráfico da figura 2.15 não deixa margem para dúvidas em relação às velocidades máximas instantâneas sentidas às mesmas horas. Às 12:00, Kilmore registava velocidades máximas na ordem dos 70 km/h, e em Eildon a velocidade rondava os 55 km/h.

A descrição deste importante parâmetro meteorológico conclui-se com a análise ao rumo do vento (figura 2.16), cuja mudança incrementou rapidamente o tamanho dos incêndios, assim como, o risco para os bombeiros e para a comunidade em geral. Em Vitória, os ventos quentes e secos caracterizam o rumo do vento que tipicamente sopra do quadrante Norte/Noroeste (VBRC, 2009). A Sul, a mudança do rumo do vento de Norte ou de Noroeste para o Sudoeste consumou-se em escassos minutos, ocorrendo por volta das 9:00. Já mais para Norte (localização da área de estudo), a mudança demorou perto de 2 horas.

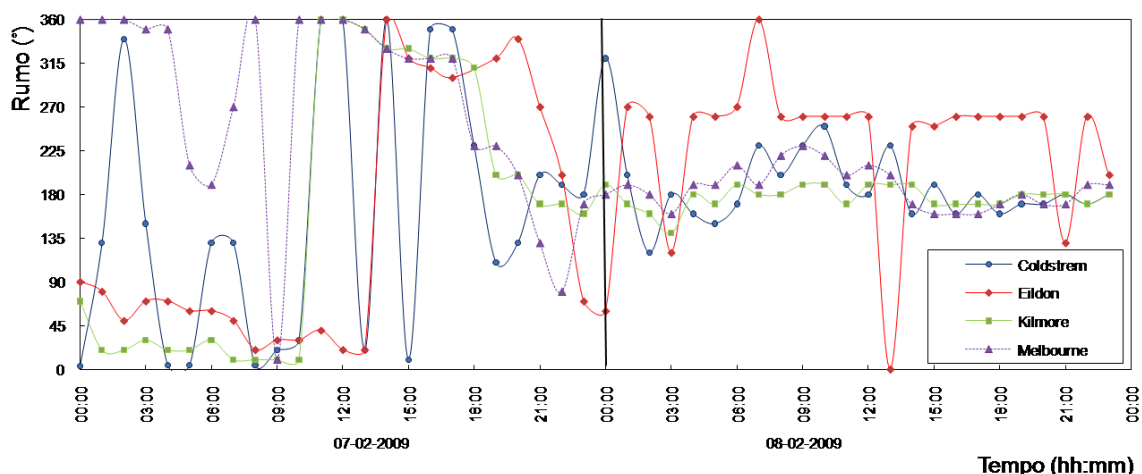


Figura 2.16 – Rumo do vento registado nas estações meteorológicas que circundam a área ardida. (Fonte: CRC)

De acordo com o gráfico da figura 2.16, a partir das 16:00, o vento em todas as estações referentes ao caso de estudo permanecia vindo do quadrante Sudoeste, situação atípica em Vitória. Esta mudança de rumo interagiu com a estrutura vertical da atmosfera e começou a produzir tempestades, formadas a partir das plumas de fumo das

áreas a Norte e a Este de Melbourne, conhecidas como *pyrocumulonimbus* <sup>(2)</sup>. Estas começaram a produzir relâmpagos e novos focos de incêndio.

Com recurso ao *software* de simulação *Firestation* (Lopes *et al*, 1998) simulou-se o campo de ventos às 11:49 (hora da eclosão do IF de Kilmore), com base nos valores das EMA que serviram de base ao caso de estudo, onde se constata de um modo geral que os ventos se apresentavam a soprar do quadrante Norte e Noroeste (figura 2.17), como seria típico em Vitória.

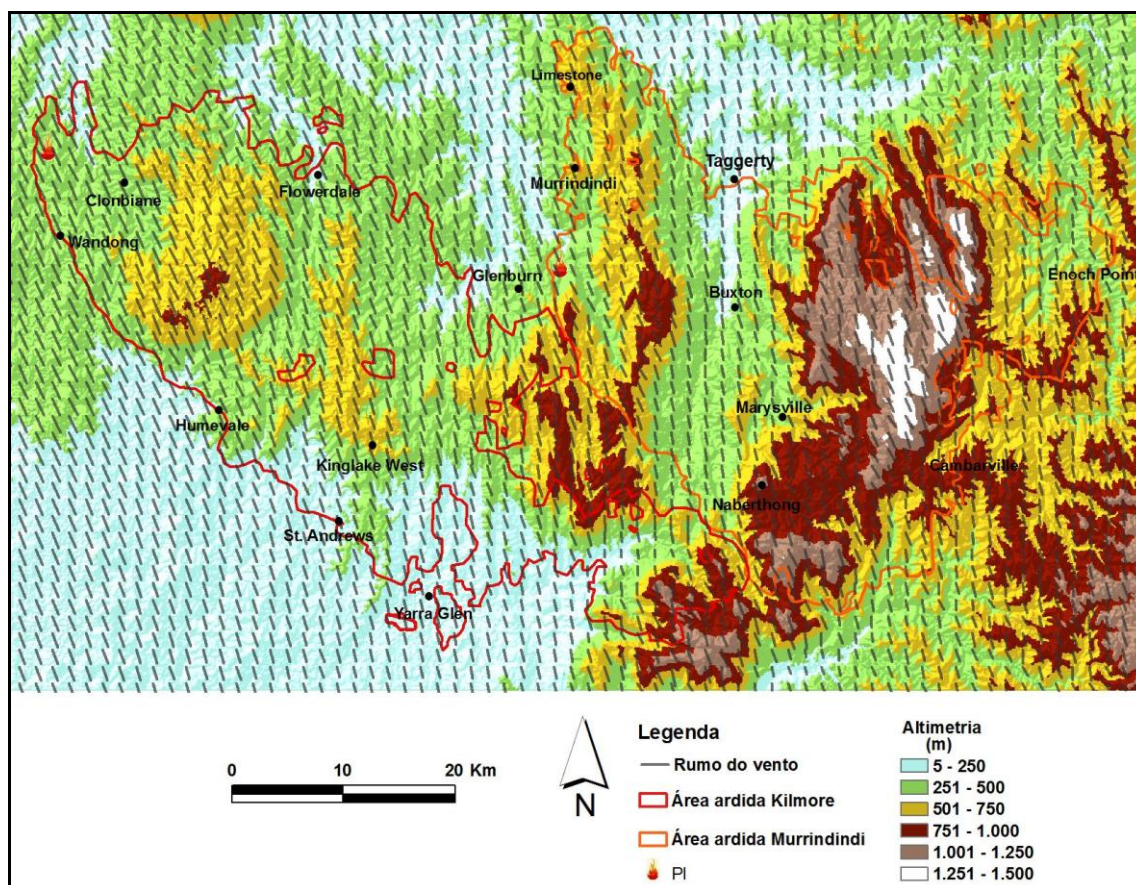


Figura 2.17 – Simulação do rumo de ventos para as 11:50 do dia 7-Fev-2009 para as áreas ardidas pelos IF de Kilmore e Murrindindi.

### Risco de Incêndio

O índice de risco de IF (figura 2.18) mais utilizado na Austrália é o Fire Danger Índex (FDI) que resulta da conjugação de dois índices: o Forest Fire Danger Índex (FFDI) e o Grass Fire Danger Índex (GFDI). O índice FFDI foi criado por McArthur na década de 60 e calibrado de forma a variar entre o 0 e 100, sendo considerado extremo a partir dos

<sup>2</sup> *Pyrocumulonimbus* é um fenómeno meteorológico formado a partir de condições meteorológicas extremas e das condições dos incêndios, nomeadamente das plumas térmicas. O calor gerado na condensação pode duplicar a intensidade dos incêndios (*Interim Report, op cit*).

50 (tabela 2.2). O valor máximo de 100 seria obtido para as condições registadas durante os eventos do *Black Friday* (13-Jan-1939). Na prática, as condições meteorológicas registadas no *Black Saturday* resultaram em valores deste índice na ordem dos 230.

**Tabela 2.2** – Classes de risco para os sub-índices do FDI

Classes de Risco	Índice	
	FFDI	GFDI
Extremo	> 50	> 50
Elevado	24 - 49	20 - 49
Alto	12 - 23	8 - 19
Moderado	5 - 11	3 - 7
Baixo	0 - 4	0 - 2

FFDI - Forest Fire Danger Index

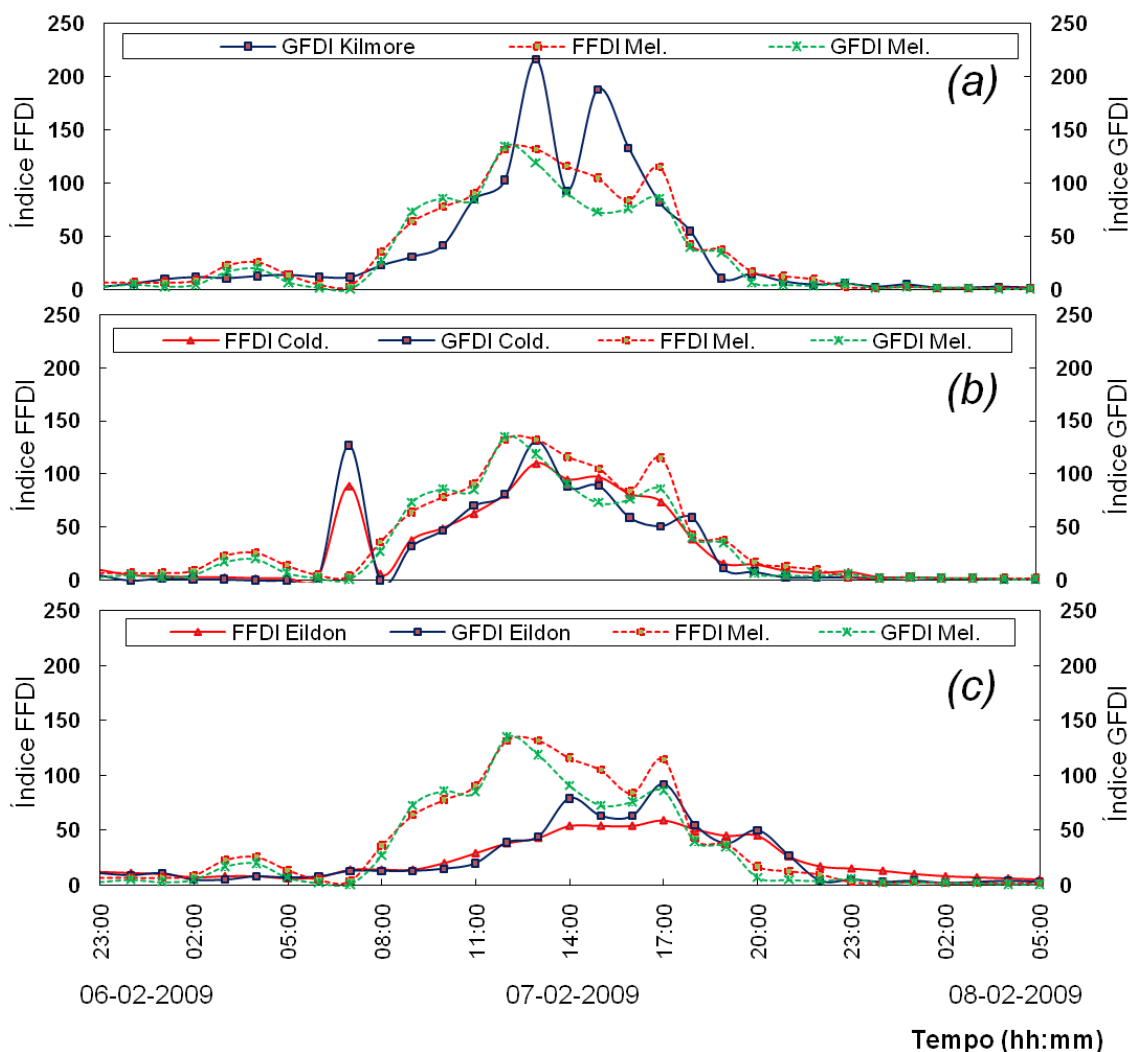
GFDI - Grass Fire Danger Index



**Figura 2.18** – Painel indicador de risco de incêndio FDI. (Fonte: Gould, 2007)

O FDI é utilizado pelos serviços e agências ligados à gestão do fogo para avaliar a dificuldade de controlo ou de supressão de um IF. Para o cálculo dos índices FFDI e GFDI, que é feito e fornecido diariamente pelo BoM, utilizam-se as condições meteorológicas e as características dos combustíveis. Em particular, são utilizados como parâmetros de entrada a precipitação recente, temperatura e humidade relativa do ar, velocidade do vento, carga de combustível, e o factor de cura dos combustíveis herbáceos (BoM, 2009b).

Os dados fornecidos pelas 3 EMA, anteriormente referidas, incluíam os valores de FFDI e GFDI, que se apresentam na figura 2.19.



**Figura 2.19** – Comparação entre o índice FDI registado no período entre as 23 h de 6-Fev-2009 e as 5 h do dia 8-Fev-2009 na estação meteorológica de Melbourne com o registado na: **(a)** EMA de Kilmore; **(b)** EMA de Coldstrem; **(c)** EMA de Eildon.

A EMA de Kilmore (figura 2.19a), tal como a estação de referência de Melbourne, registava às primeiras horas do dia 7 de Fevereiro, índices moderados a altos. A partir das 9 h desse dia, a estação de referência regista uma subida significativa dos índices de risco de incêndio. Esta tendência é acompanhada pela EMA de Kilmore, no entanto com uma subida menor. No período compreendido entre as 12 h e as 17 h, a estação de referência registou sempre um valor de risco extremo (a rondar os 100) e à hora da eclosão do IF de Kilmore a EMA desse local regista um valor recorde de GFDI, superior a 200 (mais do dobro do máximo previsto pela escala). A EMA de Kilmore não fez o registo do parâmetro FFDI para o período em estudo, motivo pelo qual aqui não é apresentado.

A EMA de Coldstrem (figura 2.19b), localizada a Sul da área de estudo, registou valores extremos nos dois índices, no período entre as 6 e as 8 h da manhã, o que não se verificou nas restantes EMA. Isto poderá ser explicado por alguma falha técnica já que a partir das 8 h o comportamento dos índices de risco voltou a ser consistente entre todas as estações meteorológicas, com uma tendência de subida.

A EMA de Eildon (figura 2.19c), localizada no flanco Oeste da área de estudo, foi a única estação que não ultrapassou o valor 100 dos dois índices de risco. Nas restantes estações, a ultrapassagem clara deste valor motivou a concordância dos meteorologistas australianos da necessidade de alteração da escala, com base em eventos recentes.

### **2.3.3. Comportamento do fogo e situação na IUF**

O comportamento do fogo é um conjunto de características que definem a forma como este se propaga (definição proposta por Rossa em 2010 em contexto informal). As características mais comumente analisadas são: a velocidade de propagação, a intensidade (energia libertada por unidade de tempo por metro linear de frente) e a geometria de chama (altura, comprimento e ângulo). O comportamento do fogo resulta da interacção do combustível, das condições meteorológicas, da topografia e do próprio incêndio (Sullivan e McCaw, 2009).

O comportamento do fogo, nos eventos de 7 de Fevereiro, originou uma investigação pormenorizada. Durante 5 semanas, equipas de investigadores do *Fire Behaviour Investigation Team* (CRC), visitaram as áreas ardidas dos maiores IF ocorridos. A sua missão era a recolha de dados referentes à propagação dos incêndios, bem como, o levantamento de outros dados de campo, que possibilitassem a reconstrução da sua passagem.

A equipa deu particular ênfase à recolha de informações que, pela sua volatilidade, poderiam alterar-se ou perder-se para sempre com a passagem do tempo no pós-fogo. Este ênfase na rapidez da recolha de informações prendeu-se com a disponibilidade de recursos humanos, com as enormes áreas a analisar e com o pouco tempo disponível. O objectivo primordial da equipa era a obtenção de dados que poderiam ser utilizados para determinar a localização do flanco Nordeste de cada incêndio, antes da chegada da mudança do vento (Leonard *et al.* 2009).

A combinação da seca prolongada e da onda de calor conduziram a um aumento da combustibilidade dos combustíveis e, conseqüentemente, a um comportamento mais violento do fogo. Esta secura levou a uma propagação mais rápida do que seria de esperar. Os IF progrediram de uma forma quase exponencial, muito devido à grande quantidade de projecções que davam origem a novos focos de incêndio, muito distantes da frente principal.

### Incêndio de Kilmore

Em Kinglake, o capitão do CFA local elaborou um memorando com as condições esperadas para 7 de Fevereiro, onde informava que se deveria esperar chamas com uma altura de 35 m, projecções de 8 km e velocidades de propagação na ordem dos 2.5 km/h. As táticas de combate eram ineficazes, a não ser que o foco de incêndio fosse detectado ainda na fase nascente (VBRC, 2009).

Estes números revelaram-se abaixo do verificado, uma vez que a carga de combustível introduzida no simulador foi de 12 ton/ha, aproximadamente metade da média provável de Yarra Glen e muito longe do verificado no terreno quer pelo pessoal do CFA quer pela observação no terreno dos elementos da equipa do CEIF/ADAI, que estimaram cargas disponíveis superiores a 40 ton/ha (Viegas *et al.*, 2009). Ainda assim, os cálculos contidos neste memorando podem traduzir uma ideia do comportamento extremo do fogo, uma vez que para o cálculo da distância de segurança é utilizada de uma fórmula muito elementar que consiste na multiplicação da altura da chama por 4, obtendo-se, deste modo, um intervalo de valores de distância segura situado entre os 120-150 m.

O IF de Kilmore foi até ao momento o que foi estudado com mais pormenor (talvez por ter sido o que registou maior número de vítimas mortais). Em Kilmore, nas primeiras horas, o fogo apresentou uma forma muito alongada sob a influência dos ventos de Noroeste, com uma relação comprimento/largura de 7:1 (VBRC, 2009). Esta influência de ventos permitiu que o IF passasse a Sul de Kinglake West e não tivesse qualquer impacto sobre a comunidade. A partir da passagem do fogo pela zona Leste de Humevale o comportamento do fogo tornam-se cada vez mais complexo, em resultado de ventos erráticos e da topografia. Nesta fase o fogo que havia passado ao lado de Kinglake West havia originado um enorme flanco esquerdo (figura 2.20). No seguimento da mudança do rumo do vento de Noroeste para Sudoeste este flanco transformou-se numa gigantesca frente que dizimou Kinglake por completo.



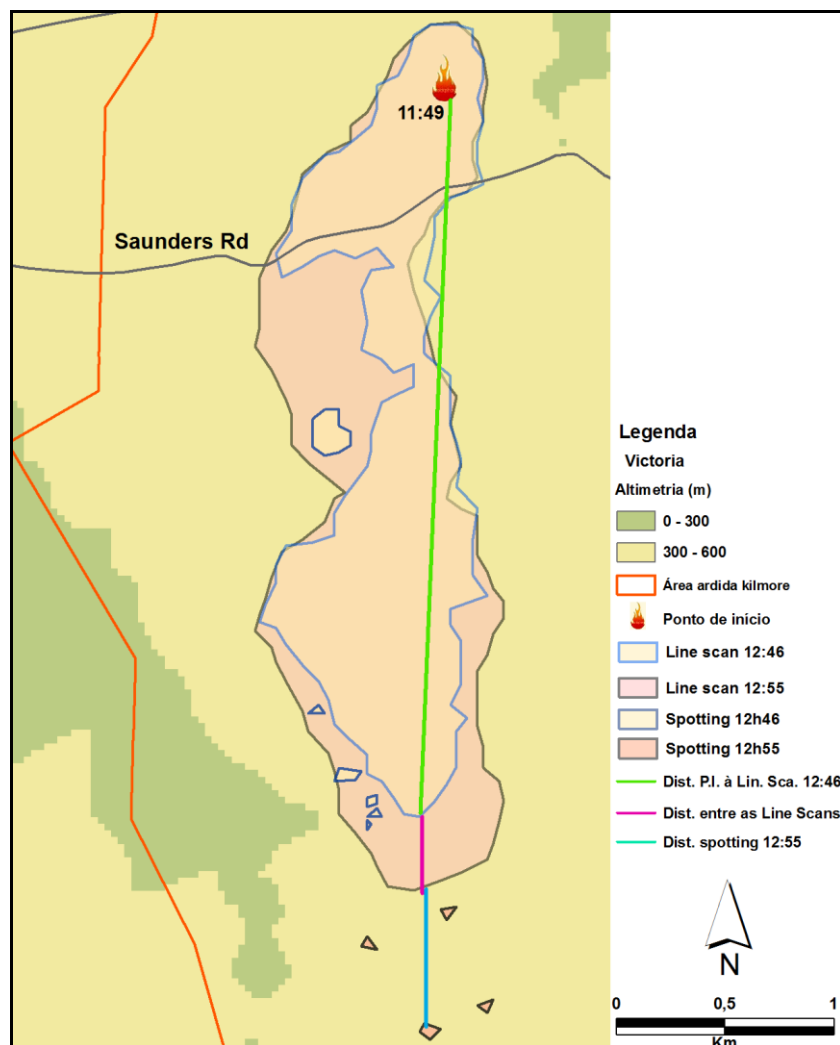


Figura 2.20 – Perímetros conhecidos da progressão do IF de Kilmore.

Em parte pela ocupação agrícola e pela humidade dos combustíveis (herbáceas), a área a Norte da estrada de Pheasant Creek e Kinglake não ardeu. Um número significativo de áreas que tinham ardido em 1995 reduziu o fogo de copas e as áreas ardidadas, sugerindo que a intensidade do fogo foi reduzida em função dos combustíveis florestais mais jovens.

Com base nos dados fornecidos pelo VBRC (2009), relativos à propagação apresentada na figura 2.20, foram estimadas algumas velocidades de propagação. Desde o PI até à zona mais avançada do fogo às 12h46 foram percorridos 3345 m (linha verde na figura 2.20) em 56 minutos, de onde resulta uma  $V_{prop}=3.58$  km/h. Desse ponto até à próxima posição conhecida da frente de fogo foram percorridos 330 m (linha rosa na figura 2.20) em 9 minutos de onde resulta uma  $V_{prop}=2.19$  km/h. Em Rossa (2009) é apresentada uma  $V_{prop}=0.90$  km/h para propagação num declive de  $40^\circ$  em combustível herbáceo seco com uma carga de  $0.6$  kg/m<sup>2</sup> e com 11% de humidade. Tendo em conta

que este é um declive extremamente elevado e que a palha seca é um combustível de propagação muito rápida, podemos ter uma ideia da magnitude das velocidades calculadas para o incêndio de Kilmore.

#### *Incêndio de Murrindindi*

Em Murrindindi, a propagação inicial deu-se para Sudoeste a partir do PI em Murrindindi Mill. A frente era estreita e fez-se sob o efeito do vento de Noroeste. O flanco Leste encontrava-se algures entre o rio Murrindindi e o *Black Range Road*. Perto de *Bull Creek Road*, a Noroeste, o incêndio começou a espalhar-se com intensa actividade de projecções. Até à alteração do rumo do vento as projecções eram a principal forma de progressão deste incêndio. Com a mudança do rumo do vento, o incêndio passou a progredir para Noroeste de Marysville e Goulburn Valley highway.

Os cortes de estrada verificados nos dias posteriores condicionaram a actividade dos investigadores, tendo estes somente analisado parte do perímetro do incêndio, localizado entre o PI (Murrindindi Mill) e a estrada que liga Narbethong a Buxton. Os indicadores nas áreas examinadas revelam que o incêndio progrediu sob a influência de ventos de Noroeste. No entanto, na área de Naberthong e St. Filians, os indícios indicaram que a progressão foi oposta ao rumo do vento e que esta variou entre o Noroeste e o Sudoeste. Isto reforça a ideia de que Marysville foi atingida com ventos de Sudoeste e que a topografia do local contribuiu para o comportamento extremo do fogo.

Em Marysville, a previsão do comportamento do fogo feita pelo IMT indicava que eram esperadas chamas de 20 m de altura, velocidades de propagação de 8 km/h e projecções de 5 km de distância. Uma vez mais estes valores revelaram-se abaixo do verificado. Uma análise pós evento revela que a velocidade de propagação se terá situado entre os 12-15 km/h e que as projecções terão atingido os 15 km de distância (VBRC, 2009).

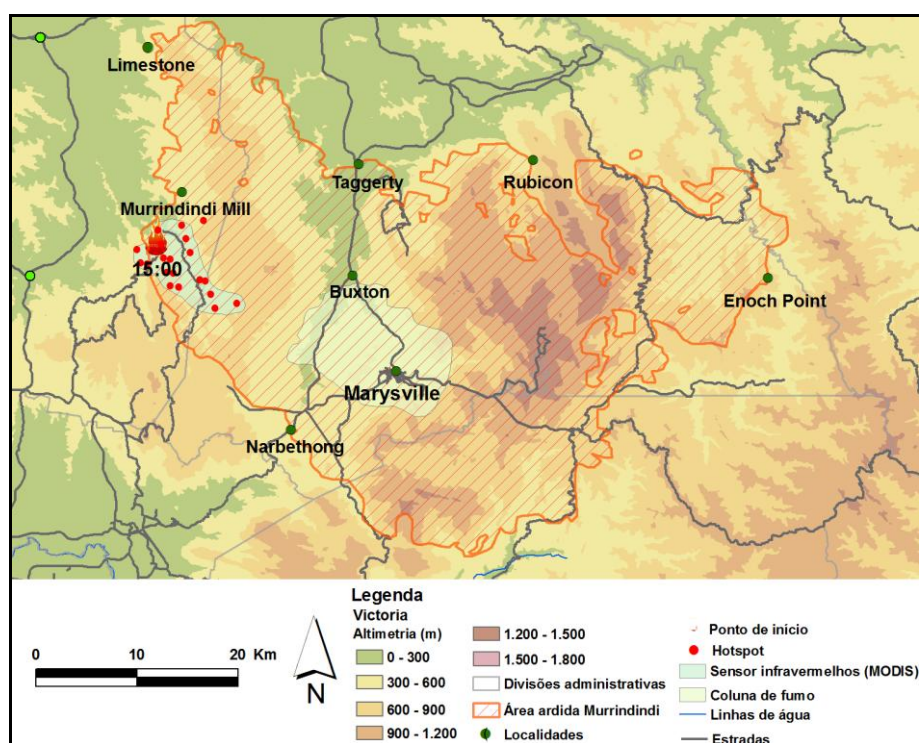


Figura 2.21 – Imagem do satélite MODIS do IF de Murrindindi às 15:55.

O satélite MODIS mostra a posição do incêndio às 15:55. Os pontos quentes (*hotspots*) são evidenciados a vermelho na imagem (figura 2.21); a coluna de fumo verificada pelo satélite MODIS é apresentada em tons de branco. Imagens fotográficas recolhidas às 17:11 evidenciam que o incêndio se encontrava a 1 km da estrada *Maroondah* (apenas a 7 km de Marysville com a progressão no sentido de Sul Sudeste (SSE). A figura 2.21 evidencia ainda uma progressão entre 9 e 10 km na primeira hora.

### Simulação do comportamento do fogo

Para avaliar o comportamento do fogo, realizaram-se duas simulações com recurso a dois *softwares* de previsão de comportamento do fogo. Um deles foi o *Forest Fire Danger Meter McArthur Mk5*. O outro *software* utilizado foi desenvolvido pela equipa de CEIF/ADAI, o *FireStation* (Lopes, 1998). Os dados de entrada considerados foram os mesmos em ambas as simulações. Estes foram baseados na informação meteorológica disponibilizada pelo BoM e no Guia de Combustíveis do CEIF/ADAI (Cruz, 2005). Para o IF de Kilmore (11:50) as condições meteorológicas apresentadas na estação de Coldstrem eram as apresentadas na figura 2.22a. Para o IF de Murrindindi (15:00) as condições meteorológicas apresentadas na mesma estação eram as apresentadas na figura 2.22b.

Na simulação com o *Forest Fire Danger Meter McArthur Mk5* do IF de Kilmore (figura 2.22a), obteve-se um FDI de 79 (risco extremo), 56.77 m de altura de chama, projecções na ordem dos 10 km de distância e velocidade de propagação de 5.34 km/h. Para o IF de Murrindindi (figura 2.22b) o FDI foi de 106 (também risco extremo), 73.72 m de altura de chama, projecções na ordem dos 15 km de distância e velocidade de propagação de 14.32 km/h.

ENTER THE COEFFICIENTS IN APPROPRIATE BOXES					
Temperature (0 - 100 °C)	Rel. Humidity (0 - 100%)	Wind Speed (0 - 100 km/hr)	Fuel Load (0 - 50 tonnes/ha)	Drought Factor (0 to 10)	Ground Slope (°)
41.9	12.9	38.9	40	10	5
CALCULATE		RESET FORM			
FOREST FDI					
McArthur Mk 5	Flame Height	Spotting Distance	Rate of Spread		
79 EXTREME	56.77 m	10.42 km	5.34 km/hr		

(a)

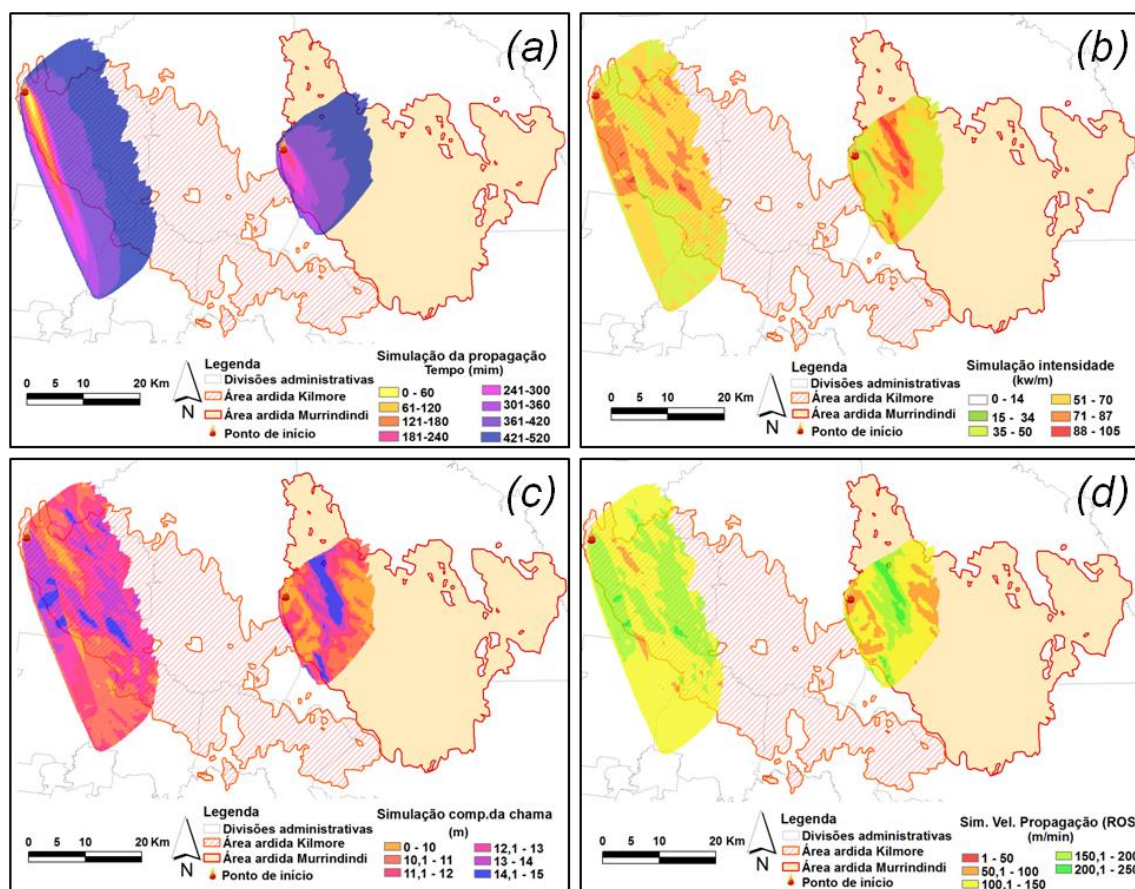
ENTER THE COEFFICIENTS IN APPROPRIATE BOXES					
Temperature (0 - 100 °C)	Rel. Humidity (0 - 100%)	Wind Speed (0 - 100 km/hr)	Fuel Load (0 - 50 tonnes/ha)	Drought Factor (0 to 10)	Ground Slope (°)
44.3	8.95	40.8	40	10	15
CALCULATE		RESET FORM			
FOREST FDI					
McArthur Mk 5	Flame Height	Spotting Distance	Rate of Spread		
106 EXTREME	73.72 m	14.14 km	14.32 km/hr		

(b)

Figura 2.22 – Simulação com o software *Forest Fire Danger Meter McArthur Mk5* (a) IF de Kilmore (b) IF de Murrindindi.

A simulação obtida no *Firestation* considerou uma propagação de 520 minutos estimando os seguintes parâmetros (figura 2.23): velocidade de propagação, intensidade, geometria de chama e dimensão da área ardida. Os resultados apresentados na figura 2.23 evidenciam que o sentido inicial da propagação estava de acordo com o rumo característico dos ventos de Vitória (Norte e Noroeste). Estes evidenciam também a mudança do rumo do vento de Norte e Noroeste para Sudoeste, transformando o flanco direito em frente. A intensidade simulada para ambos os incêndios resultou num valor a rondar os 51-70 KW/m e o comprimento de chama foi estimado em 15 m. A velocidade de propagação aproximou-se dos 12 km/h nos seus valores mais extremos. Ficou claro na simulação que o *software* apresenta limitações (Ribeiro *et al.*, 2006). Este não contempla, por exemplo, a actividade de projecções que, como já foi referido e

constatado na simulação anterior, foi um parâmetro que incrementou de sobremaneira a progressão das frentes.



**Figura 2.23 – (a) Simulação da área ardida durante 520 minutos, (b) Simulação da intensidade durante 520 minutos, (c) Simulação do comprimento da chama durante 520 minutos, (d) Simulação da velocidade de propagação durante 520 minutos.**

Tolhurst e Chong (2009) apresentam simulações do IF de Kilmore, a partir de um *software* que prevê a evolução com a incorporação da propagação por projecção de partículas. Estes autores fizeram a comparação entre uma simulação sem a existência de projecções e outra que contempla a sua existência, mostrando-se claramente que a segunda apresenta uma área ardida muito superior e mais próxima da real.

As simulações apresentam algumas discrepâncias em relação ao observado no terreno. A de McArthur Mk5 foi a que mais se aproximou da realidade para o IF de Murrindindi, em Marysville, a previsão realizada no dia anterior, referia que eram esperadas chamas de 20 m de altura, velocidades de propagação de 8 km/h e projecções de 5 km de distância. A realização de uma análise pós evento, revela que a velocidade de propagação situava-se num intervalo entre os 12-15 km/h, que as projecções atingiam os 15 km de distância, confirmando assim os valores da simulação, que

indicavam velocidades de propagação de 14.32 km/h e projecções de 15 km de distância.

### Situação na Interface urbano-florestal

Após o dia 7-Fev-2009, e como forma de dar resposta ao evento que destruiu milhares de habitações, o CRC constituiu uma equipa de investigadores, oriundos de vários Estados da Austrália, apoiados por várias agências (CFA, DSE, entre outros) e organizações, com o objectivo de analisar cientificamente os diferentes parâmetros verificados em cada incêndio (Leonard *et al.*, 2009).

Um dos parâmetros a que os investigadores deram particular destaque foi a construção e ordenamento do território, examinado padrões de perda e sobrevivência dos edifícios. A reconstrução ou novas construções requerem planeamento e criação de mecanismos de controlo e impacto sobre os padrões de perdas das construções. A compreensão da natureza e magnitude dos impactos gerados nas habitações pelos incêndios levou os investigadores a realizar um levantamento das habitações em 5 áreas afectadas pelos incêndios.

Durante este evento (*Black Saturday*), registaram-se 113 vítimas mortais dentro das habitações, 6 dentro de garagens e 27 nas imediações das habitações (Fonte: Jornal *The Age*, edição de 28-Mai-2009). Estes números são denunciadores da importância da IUF no desenrolar deste estudo.

Os investigadores, sob a superintendência do CRC, debruçaram-se sobre as questões referentes á:

- Vulnerabilidade da habitação em relação à intensidade do fogo e do vento;
- Eficácia das medidas de prevenção, tais como: espaço defensável, sistemas de ataque directo com água, ordenamento do território e construção.

Análises anteriores evidenciam que as possibilidades de sobrevivência das habitações dependem de uma forma directa da intensidade do fogo com que são atingidas, da sua vulnerabilidade aos ataques de partículas incandescentes, e do comportamento dos próprios utilizadores (Leonard *et al.*, 2009).

As causas apontadas para a ignição das habitações na IUF Australiana são a projecção de partículas, o calor radiante ou as chamas em contacto directo com objectos ou combustíveis superficiais (Bianchi, 2008). No entanto a mesma autora concluiu que mais de 90% das habitações danificadas em IF, não tem qualquer contacto com a chama

directa ou com calor radiante, sendo a ignição provocada por projecção de partículas. Ainda de acordo com este estudo, o comportamento humano durante o evento é decisivo. Um comportamento humano activo aumenta a possibilidade da sobrevivência da habitação.

De entre as inúmeras áreas de IUF afectadas no *Black Saturday*, evidencia-se, neste estudo, a área de *Pine Ridge Road* em Kinglake e *King Road* em Marysville (figura 2.24).

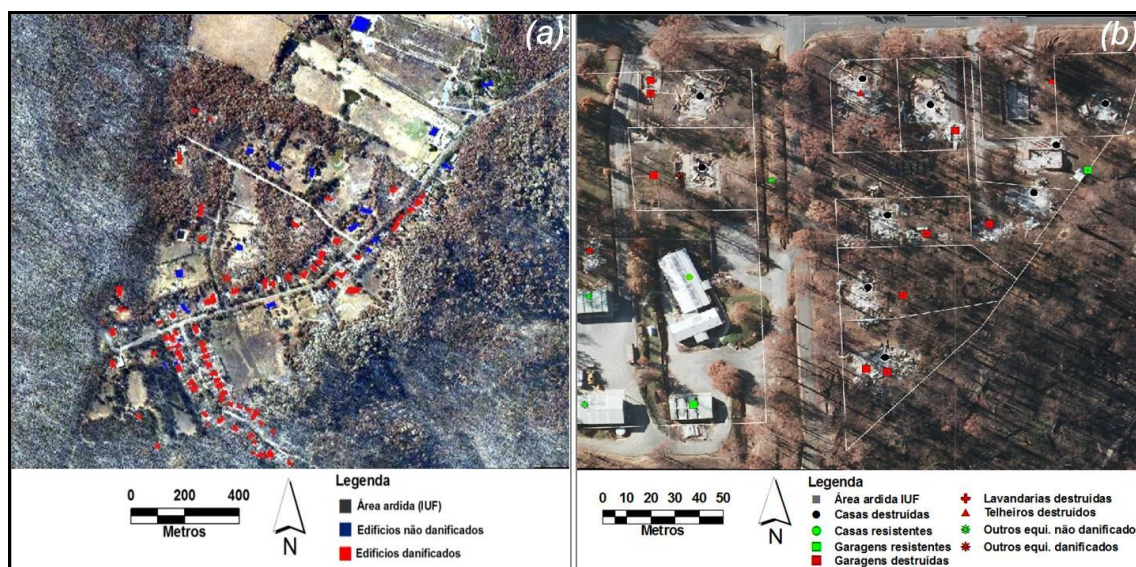


Figura 2.24 – Área de IUF afectada (a) *Pine Ridge Road* em Kinglake; (b) *King Road* em Marysville.

A problemática da IUF está intimamente ligada aos IF e aos danos que estes provocam; no entanto, nem sempre os danos estão relacionados com as chamas, indo ao encontro do preconizado por Bianchi (2008). De facto em 13% das áreas estudadas no *Black Saturday*, os danos resultaram de uma combinação fogo/vento conhecida, enquanto em 33% das situações as condições do fogo e do vento não eram conhecidas (figura 2.25). No saldo final da destruição das habitações não ficou apurado com rigor o contributo de cada causa.

Em Marysville e Kinglake várias casas foram afectadas pela queda de ramos e troncos de árvores, que simplesmente foram arrancadas pelo vento forte que se fazia sentir (figura 2.26).

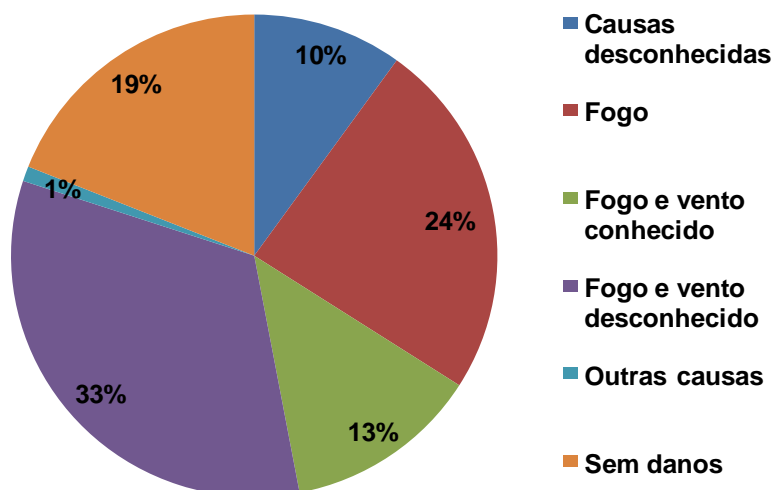


Figura 2.25 – Causas da destruição dos edifícios.

Os principais motivos apontados pelos moradores para as perdas verificadas (figura 2.25) foram as falhas no sistema de bombagem da defesa activa com água, as acessibilidades, a densidade da área urbana, a distância da vegetação, a projecção de partículas e a influência do combustível dentro da IUF (Leonard *et al.*, 2009). O sistema da bombagem falhou de várias formas: falha eléctrica, elevadas temperaturas iniciaram o combustível das bombas de explosão, ou ainda, no caso particular de Marysville em que o abastecimento é feito por gravidade, a destruição das mangueiras tubagens e de outros equipamentos.



Figura 2.26 – Danos provocados pelo vento no dia 7-Fev-2009: (a) Árvore arrancada em Marysville, (b) Casa em Kinglake. (Fonte: CRC)

A utilização de *sprinklers* como defesa activa das habitações, de acordo com a amostra das áreas estudadas, evidencia ainda que 37% das habitações que usavam este sistema foram destruídas, comparado com 58% do total da amostra. As acessibilidades



às habitações denotam que nos perímetros estudados apenas Kilmore East possuía uma rede de acessibilidade eficaz.



**Figura 2.27** – Danos provocados pelo fogo no dia 7-Fev-2009: (a) Varanda em Marysville; (b) Telhado em Kinglake. (Fonte: CRC)

Em Marysville, a análise preliminar da perda de casas em função da distância da vegetação, indica que em 40% dos casos a vegetação se encontrava a menos de 10 m das habitações. A influência das árvores perto das habitações evidencia uma forte correlação com a perda das mesmas, como foi verificado em *Pine Ridge Road* (figura 2.28).



**Figura 2.28** – Mistura de povoamentos com habitações em *Pine Ridge Road*. (Fonte: CRC)

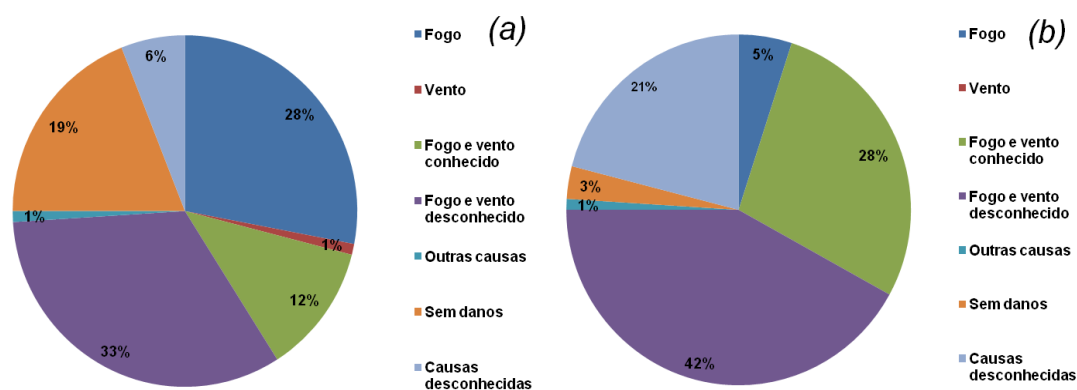


Figura 2.29 – Percentagem de habitações destruídas em função de cada factor: (a) Kilmore (b) Murrindindi. (Fonte: CRC)

A figura 2.29 explicita em percentagem as causas responsáveis pela perda de habitações em Kilmore (705) e Murrindindi (150). Na figura 2.30 é apresentado o grau de destruição das habitações.

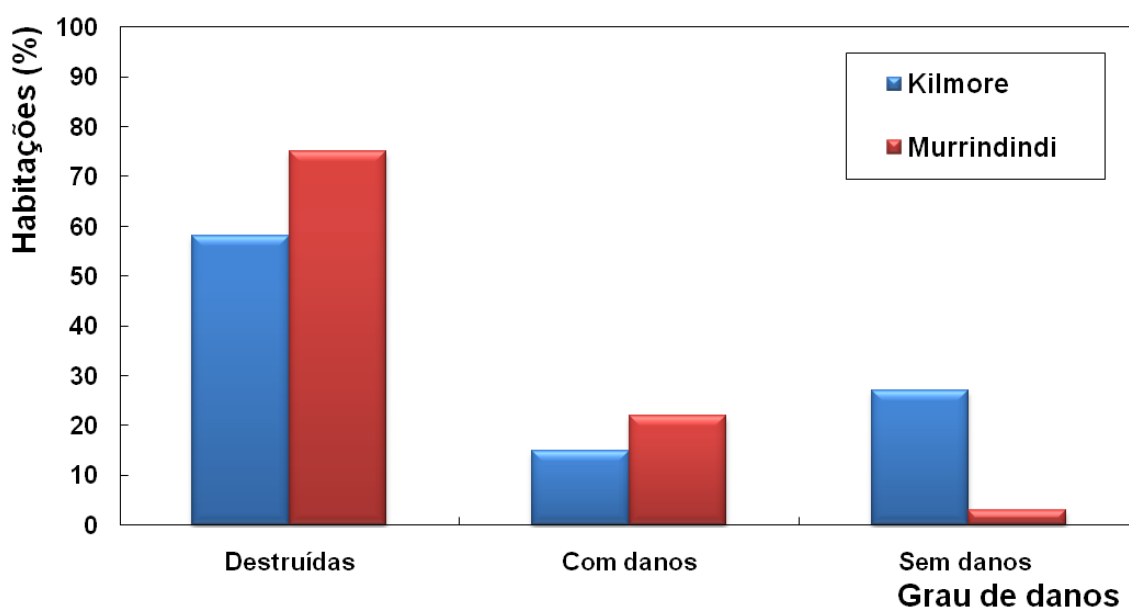


Figura 2.30 – Percentagem de danos causados pelos IF de Kilmore e Murrindindi nas habitações. (Fonte: CRC)

### 2.3.4. Comportamento humano, resposta operacional e humanitária

#### Comportamento humano

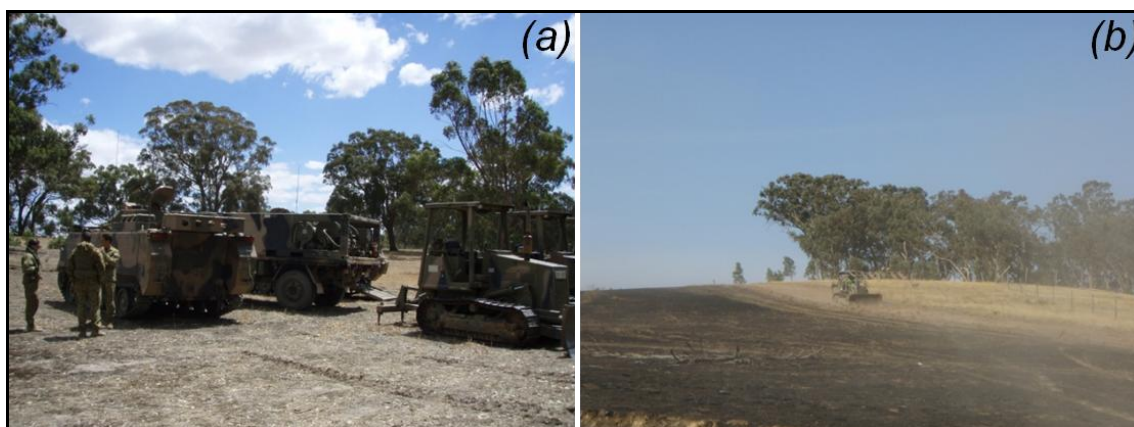
Em VBRC (2009), concluiu-se com grande clareza que os habitantes de Vitória, face aos eventos vividos, não estavam preparados para um dia com o *Black Saturday*, que os protocolos de actuação estavam desadequados e que a evacuação das áreas afectadas foi tardia e caótica. Após o *Black Saturday*, as questões da vulnerabilidade social ganharam um novo dinamismo. Muito se escreveu e escreve sobre os IF de 2009 em Vitória,

relativamente à problemática do comportamento humano, desde relatórios técnicos providenciados pelo CRC, pela Geoscience, até literatura para o cidadão comum. McGourty (2009) relata, em *Black Saturday*, os sentimentos vividos pelos sobreviventes da catástrofe e expõe-nos de uma forma simplista e ao alcance do cidadão comum. A pedido da agência Estatal de Estatística foi feito, em Canterford (2009), entre outros, um levantamento das necessidades da população das áreas afectadas, das crianças em risco, das casas destruídas, das necessidades básicas de sobrevivência e da planificação da recuperação.

O ser humano tem por natureza capacidade para reagir a determinados estímulos exteriores e em função desses estímulos elaborar planos de sobrevivência para o indivíduo ou para a comunidade. Neste sentido, nada mais forte que uma tragédia, como a que foi experimentada pelos habitantes de Vitória, para unir e colocar em uníssono toda uma população.

#### Resposta operacional e humanitária

No decurso dos eventos do *Black Saturday*, as autoridades Australianas desencadearam a maior e mais complexa resposta operacional e humanitária em situações de catástrofes naturais até então. Só para o dia 7 de Fevereiro foram mobilizados mais de 12000 bombeiros do CFA (entidade responsável pelas áreas privadas), onde se incluíam operacionais e técnicos do ICC. Em termos de meios terrestres havia mais de 1000 veículos operacionais e em termos de meios aéreos havia 50 aeronaves colocadas à disposição das agências de combate. Este impressionante número de meios aéreos tornou-se inútil visto não ter podido operar em virtude das condições meteorológicas adversas (VBRC, 2009) que impediram a operação em condições de segurança.



**Figura 2.31** – Apoio militar da *Commonwealth*: (a) Uma das muitas áreas de concentração e reserva, (b) Bulldozer a consolidar a área ardida através da abertura de uma faixa de descontinuidade. (Fonte: CRC)

Da parte do DSE (entidade responsável pelas áreas públicas) foram disponibilizados 2347 bombeiros para o dia 7 de Fevereiro. A resposta operacional também contou com a presença dos Estados vizinhos, nomeadamente, Nova Gales do Sul, Tasmânia, Nova Zelândia e do Território da Capital da Austrália (ACT). Os Bombeiros Metropolitanos de Melbourne, responsáveis pela área metropolitana de Melbourne, também prestaram ajuda mas sem números oficiais. A *Commonwealth* também contribuiu sob a forma de apoio militar. Estavam de prontidão 20 elementos do ICC de nível 3, em locais pré designados um pouco por todo o Estado de Vitória. O quartel de bombeiros de Kilmore foi um dos locais pré-escolhidos (VBRC, 2009).

Foram contabilizados 1386 incidentes reportados, dos quais 592 em herbáceas e mato, 263 em estruturas e 156 falsos alarme. Felizmente, a maioria destes foi prontamente extinta. Ainda assim, 47 IF permaneceram activos e com potencial de evolução para grandes IF.

Menos de 48 h volvidas, já se encontrava no terreno um grupo de investigadores, oriundos de vários pontos do globo, com a missão de investigar o comportamento do fogo, o comportamento humano, e o ordenamento do território. (CRC. Task Force News, edição de Março de 2009). Vários relatórios intercalares foram surgindo a pedido de um conjunto de juizes do Supremo Tribunal de Vitória, tendo sido agregados em Agosto de 2009 num documento muito completo e detalhado, o *Victorian Bushfire Royal Commission - Interim Report*.

A resposta humanitária às vítimas foi, em paralelo com a resposta operacional, sem precedentes. A ajuda começou a chegar rapidamente dos diferentes quadrantes da sociedade, do governo, das empresas, das ONG e das entidades privadas. A 9 de Fevereiro, menos de 48 h depois, o Governo Federal anunciou que se encontrava disponível um pacote de 10 milhões de dólares Australianos de ajuda para quem tivesse perdido a casa ou tivesse recebido tratamento hospitalar ([www.abc.net.au](http://www.abc.net.au), edição de 9-Fev-2009). A ajuda governamental não cessou com estas medidas. O governo, através do *Victorian Governments Department of Human Services*, concedeu montantes imediatos de 1.067 dólares por cada pessoa afectada ([www.dhs.vic](http://www.dhs.vic) consultado a 21-Abr-2010).

Um peditório criado com o propósito da recolha de fundos de apoio para as vítimas angariou um total de 372 milhões de dólares. A Cruz Vermelha contribuiu com mais 315 milhões de dólares. O Exercito de Salvação realizou um peditório onde angariou 17.5 milhões de dólares. A receita da publicação de um livro intitulado *Black*

*Saturday – Stories of Love, Loss and Courage From the Victorian Bushfire* escrito por Jonh MCGourty, reverteu na totalidade para o Exército de Salvação e para a causa das vítimas dos IF. As ajudas das entidades bancárias cifraram-se por um donativo de 3 milhões de dólares, repartidos pelos 3 maiores bancos o ANZ, Banco da Comunidade e o *Westpac* (ANZ Media Release, 8-Fev-2009). Um total de 75 empresas ou grupos empresariais públicos ou privados doaram milhões de dólares, bens e serviços, dos quais se destacam serviços de táxi nas áreas afectadas, serviços de equipamento pesado, fornecimento de telecomunicações, combustíveis, entre outros. A cadeia de televisão *Nine Network* também se viu envolvida na tragédia devido à perda de um dos seus apresentadores mais emblemáticos, Brian Naylor, e iniciou um espectáculo televisivo para obter apoios financeiros.

A 14-Mar-2009, em Melbourne e Sidney, decorreram vários concertos musicais em simultâneo, “*Sound Relief*” (alívio pelo som), dos quais a totalidade das receitas reverteu para a causa das vítimas dos IF e para as vítimas das cheias em Queensland. Nomes de bandas como *Cold Play* ou *Kings of Leon* marcaram presença de uma forma gratuita. Aproximadamente 118000 pessoas compareceram nos concertos, cujo ingresso custou 75 dólares, perfazendo um total de 8.8 milhões de dólares (Fonte: ABC News, edição de 17-Mar-2009).

A solidariedade para com a tragédia que se abateu sobre Vitória foi, de facto, ímpar. Os montantes recolhidos foram elevados, mas as áreas que deles beneficiaram são também elas vastas. Assim, foi criado um fundo de gestão dos donativos e uma entidade reguladora do mesmo, aprovados pelo *Premier* de Vitória. Essa entidade, a partir de Fevereiro de 2009, teve por missão a distribuição dos montantes por áreas de actuação (Victorian Bushfire Appeal Fund, 2010).

## **2.4. Estudo de outros incêndios**

Neste ponto, serão abordados, de uma forma sucinta, os incêndios de Beechworth, Buniyp, Churchil, Redsdale. O nome dado a estes IF está de acordo com a designação mencionada em VBRC (2009) <sup>(3)</sup>.

---

<sup>3</sup> Em função da entidade que tomou conta da ocorrência (DSE, CFA...), estas ocorrências podem figurar na literatura e nos relatórios com outros nomes, Kilmore pode figurar como Kinglake e Murrindindi como Marysville, ou ambos podem figurar como Kinglake *Complex* Norte e Sul.

### Incêndio de Beechworth

Este incêndio registou 2 vítimas mortais, 31000 ha de extensão de área ardida (figura 2.32), dos quais 20000 ha de floresta e parques naturais, e 29 habitações foram destruídas (VBRC, 2009). O alerta para este incêndio foi efectuado às 13:32 de 7-Fev-2009, via telemóvel, para o *Department of Sustainability and Environment* (DSE) em Beechworth.

O ponto de início (PI) localizou-se a 4 km a Sul de Beechworth. O acesso ao incêndio foi condicionado perto do PI, devido a problemas com as linhas eléctricas. Visto tratar-se de uma área pública, o órgão responsável pela gestão do incêndio foi o DSE. O FDI (ver descrição deste índice de risco de incêndio no ponto 2.4.2) registado às 13:00 na estação meteorológica automática (EMA) de Hunters Hill era de 42 e de 126 na EMA de Wangaratta às 13:30.

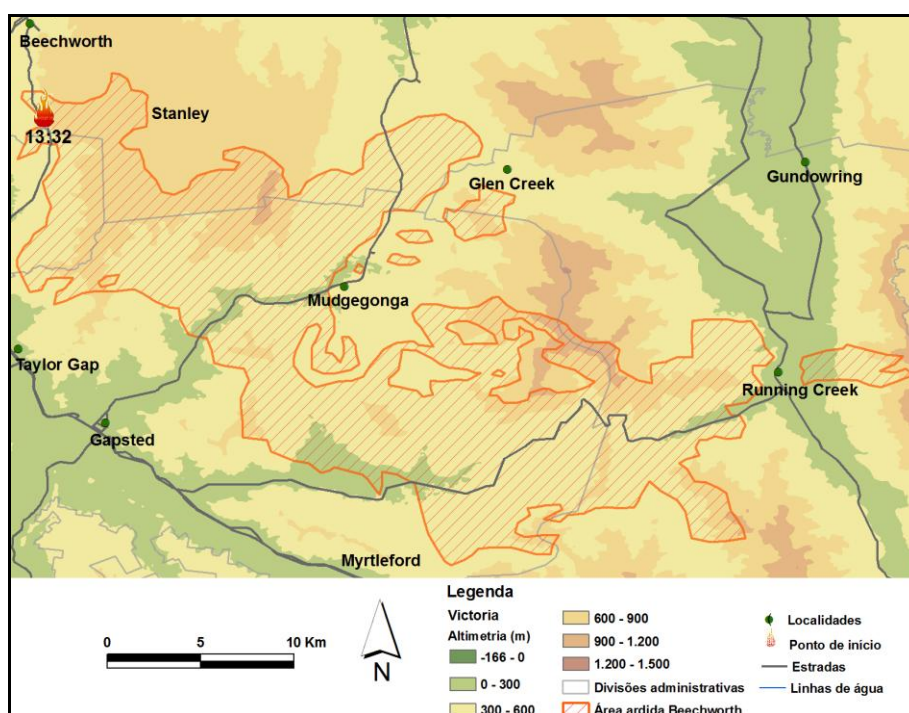


Figura 2.32 – Área ardida do incêndio de Beechworth.

Na época de 2002/03, toda a área circundante ao PI havia sido alvo de intervenção com vista à redução da carga combustível. Esta intervenção impediu o incêndio de atingir um comportamento extremo logo no seu início. No entanto, no seu flanco direito (Sudoeste), a propagação efectuou-se em áreas íngremes e inacessíveis com cargas combustíveis elevadas. Isto motivou comportamentos extremos do fogo,

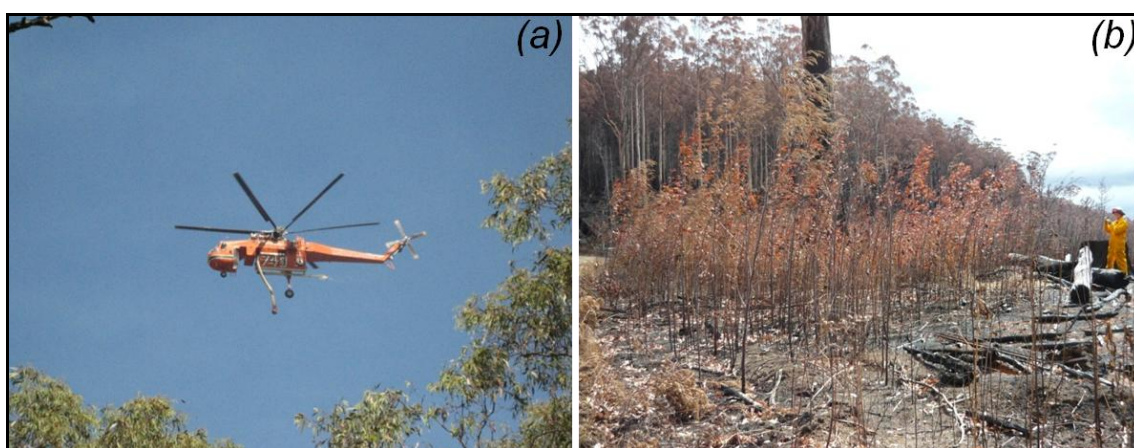
nomeadamente, focos secundários provocados por projecções de longa distância, influenciados por ventos de Norte e Noroeste que sopravam forte, por vezes, com rajadas superiores a 60 km/h.

Este incêndio foi declarado circunscrito a 16-Fev-2009, após 9 dias de combate. Realça-se que as áreas que haviam sido alvo de intervenção com fogo controlado se revelaram decisivas na extinção.

### Incêndio de Bunyip

A extensão da área ardida em resultado deste incêndio foi de 26200 ha (figura 2.34) e 24 casas foram destruídas (VBRC, 2009). Este incêndio começou a 4-Fev-2009 no Parque Estadual de Bunyip. Como se trata de um parque estadual, a entidade responsável pelo combate foi o EED.

O PI localizou-se a 5 km a Noroeste de Tonimbuk, em floresta nativa. Ainda a 4 de Fevereiro, a organização conjunta do DSE, EED, *Country Fire Authority* (CFA), *Incident Management Team* (IMT), *Incident Control Centre* (ICC), para combate a este incêndio, colocou em evidência as dificuldades em efectivar o seu controlo. O risco de incêndio FDI (ver descrição deste índice de risco de incêndio no ponto 2.4.2) registado na EMA de Coldstrem às 16:34 era de 81 e de 97 na EMA de Latrobe Valley às 13:30. As dificuldades no combate anteriormente evidenciadas confirmaram-se na impossibilidade de extinção no dia 5 e 6 de Fevereiro (Sullivan e McCaw, 2009).



**Figura 2.33** – (a) Meio aéreo pesado em combate do IF de Bunyip (*Erickson Air Crane*), (b) Pormenor da área ardida IF Bunyip. (Fonte: CRC)

Com base nos dados fornecidos pelo BoM, o planeamento das acções de combate para dia 7 de Fevereiro foi feito pelo ICC. Dadas as condições meteorológicas

particulares vividas em Vitória, elaboraram uma simulação com base no pior cenário possível. Com base em simulações da propagação concluíram que, sem medidas de controlo, este incêndio estender-se-ia pelo menos até Warragul e Sul de Drouin. Assim, foi estabelecido um perímetro de defesa, reforçando-o com mais meios.

Nesse mesmo dia 7 de Fevereiro, às 03:00, o incêndio progredia e anulava as linhas de defesa pelo flanco esquerdo, atingindo Mountain Ash com projecções a longa distância. Durante três horas o comportamento deste incêndio foi irregular, progredindo 7 km no rumo Sudeste em áreas agrícolas. Ao início da manhã, os meios aéreos (MA) auxiliaram o combate (figura 2.33a). Por volta das 12:00, devido à mudança do rumo do vento, a frente que estava em progressão para Sul, inflecte para Oeste. Este incêndio, apesar de ter sido declarado como circunscrito às 17h30m de 4 de Março, apenas foi extinto às 14:00 de 15 de Março.

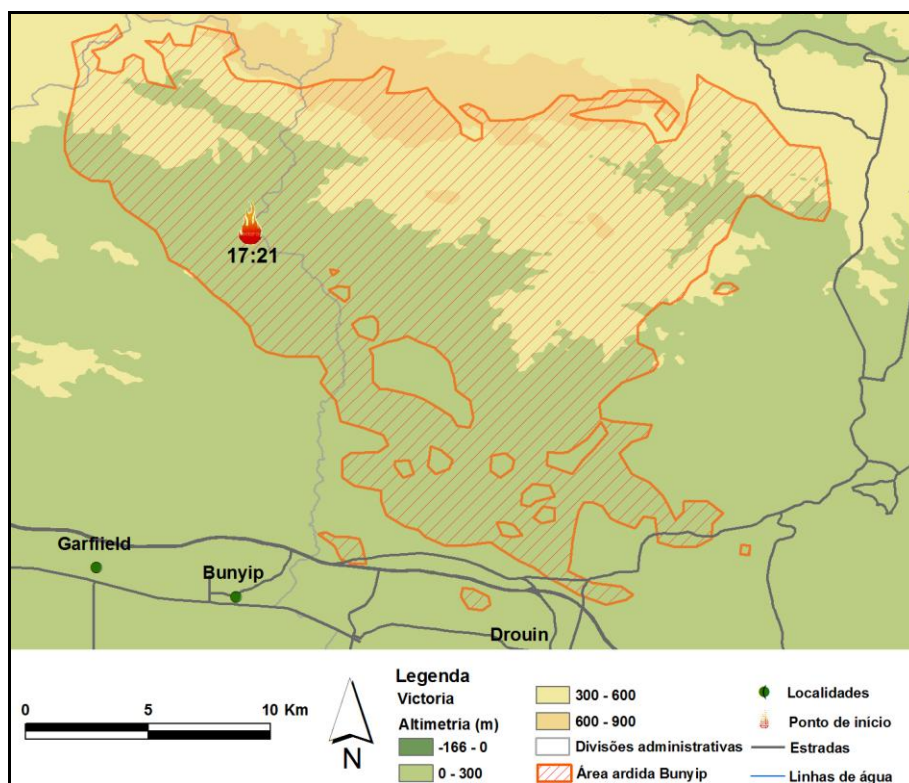


Figura 2.34 – Área ardida do incêndio de Bunyip.

### Incêndio de Churchill

Este incêndio causou 11 vítimas mortais, 24500 ha de extensão de área ardida (figuras 2.35 e 2.36) e 247 casas destruídas (VBRC, 2009).

O alerta para este incêndio foi efectuado às 13:33 do dia 7-Fev-2009 para o quartel de bombeiros do CFA Churchill. O PI localizou-se a 3 km a Sudeste de



Churchill num pasto que rapidamente se propagou a eucaliptais na área de Glendonald Road. Visto tratar-se de terrenos privados a entidade responsável pela sua gestão foi o CFA. O risco de incêndio FDI (ver descrição deste índice de risco de incêndio no ponto 2.4.2) registado na EMA de Latrobe Valley Aeródromo era de 83 às 16:00 e de 100 às 14:00 na EMA de Yarram Aeroporto. As primeiras 4 brigadas responderam ao pedido de socorro às 13:35. No auge do incêndio, os MA não puderam operar em função da adversidade das condições meteorológicas.



Figura 2.35 – Pormenor da área ardida no IF de Churchill. (Fonte: CRC)

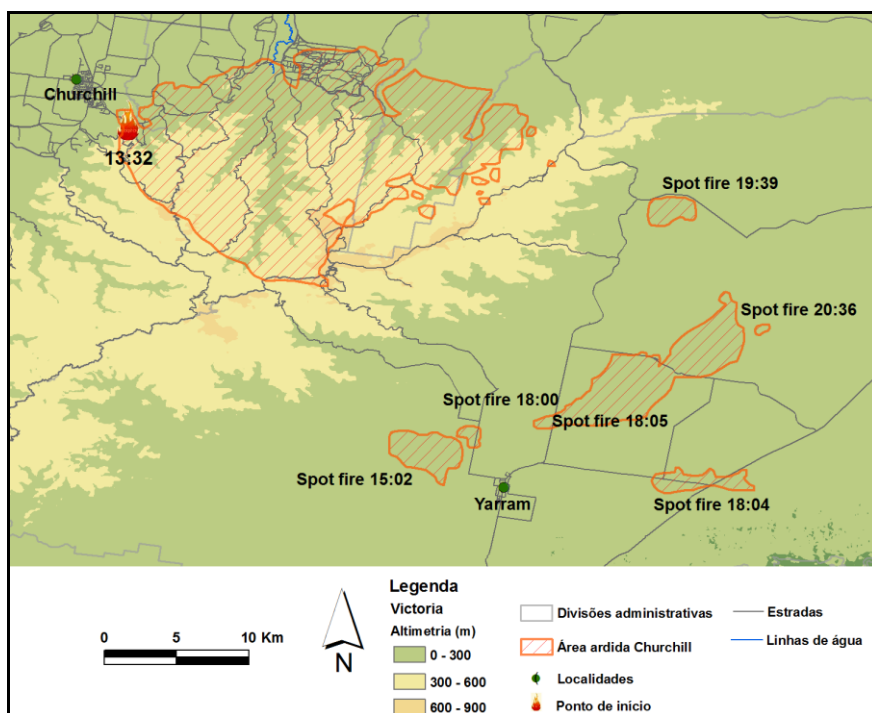


Figura 2.36 – Área ardida do incêndio de Churchill.

Este incêndio progrediu rapidamente para Sul e Sudeste, consumindo pinhais e eucaliptais plantados em íngremes ravinas de encostas voltadas a Norte, onde as condições de secura dos combustíveis são maiores e com carga de combustível considerável.

A principal frente de fogo percorreu 7 km em apenas 50 minutos (8.4 km/h). Pelas 14:20 o incêndio já tinha chegado a Jeeralong Creek West Branch. Em Yarram, a cerca de 20 km da frente principal, foi reportado um foco secundário. As mudanças do rumo do vento foram uma constante, o que facilitou a ocorrência de uma enorme quantidade de focos secundários. Este incêndio foi declarado extinto às 17:00 do dia 19 de Fevereiro.

### Incêndio de Redsdale

Este incêndio registou 9500 ha de extensão de área ardida (figura 2.37) e 7 casas destruídas. O alerta para este incêndio foi efectuado às 15:11 em *Coliban Park Road* para o CFA.

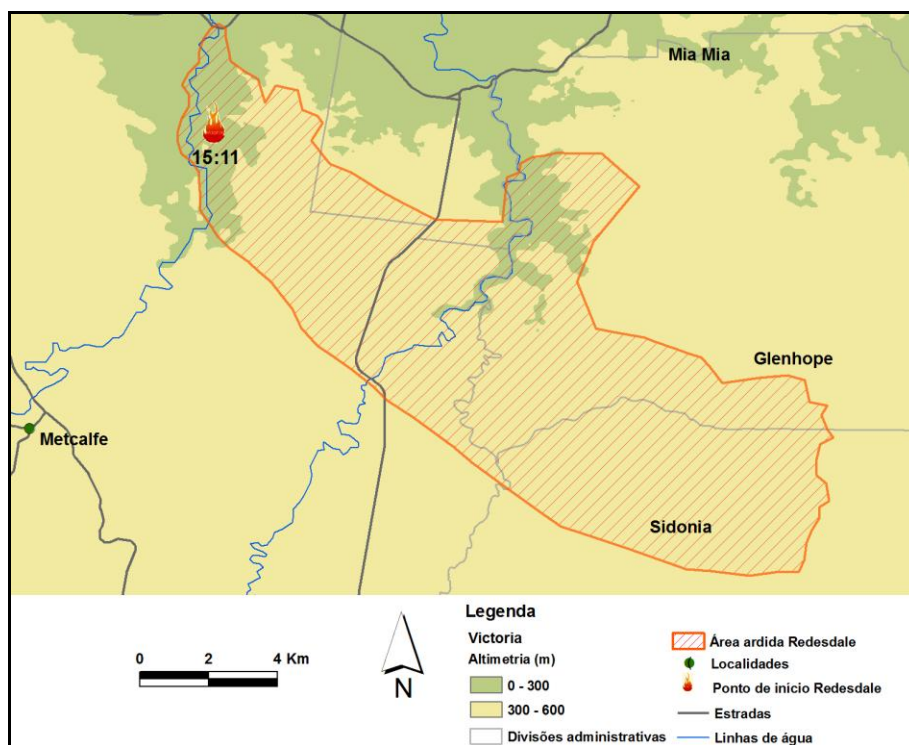


Figura 2.37 – Área ardida do incêndio de Redsdale.

O PI ocorreu em terrenos privados e a sua gestão foi inicialmente atribuída ao CFA (VBRC, 2009). O risco de incêndio FDI (ver descrição deste índice de risco de

incêndio no ponto 2.4.2) registado na EMA de Redsdale era de 87 às 16:00. O rumo da sua progressão era Sudeste. Pelas 15:27 tinha atravessado a *Metcalfe-Redesdale Road* e às 15:42, a *Kyneton-Heathcote Road*. A polícia de Vitória foi aconselhada a cortar a estrada de *Watchbox* ao tráfego, com a progressão deste incêndio, outros cortes de estrada se seguiram.

O ataque directo ao incêndio foi feito sempre que era possível. Apesar da sua velocidade de propagação, os meios no terreno asseguraram a contenção de 2/3 do perímetro do incêndio. Às 18:30, o vento mudou de rumo, passando a soprar do quadrante Oeste. Assim, o flanco esquerdo que não estava consolidado passa a constituir uma frente e progrediu em direcção a Maiden Gully. Este flanco, agora frente, foi contido de uma forma progressiva, durante os dias seguintes. O número escasso de bombeiros disponíveis continuou a consolidar o incêndio o que levou a uma reorientação das estratégias. Este incêndio foi considerado circunscrito às 09:56 do dia 10 de Fevereiro.

## **2.5. Situação após os incêndios**

### **2.5.1. Impactos socioeconómicos**

Os impactos mais significativos decorrentes desta catástrofe, que foi o *Black Saturday*, foram indubitavelmente as 173 vítimas mortais. As fatalidades registadas na Austrália desde 1850 a 2001 (151 anos) foram 696. Num só dia, o Estado de Vitória incrementa este número em 25%. Para além disso ainda há a contabilizar os feridos. Deram entrada, no *The Alfred Hospital* em *Melbourne*, 414 pacientes nas primeiras 72 horas (Fonte: *Medical Journal of Australia*, 2009).

As estatísticas revelaram que, do total das vítimas mortais, 100 eram do sexo masculino e 73 do sexo feminino. A média de ambas as idades era de 48 anos. O número de vítimas com menos de 17 anos foi de 23. A vítima mais nova tinha apenas 8 meses de idade (*Victorian Police*, 2009). Uma agravante de toda esta tragédia foi a perda de núcleos familiares inteiros, havendo a registar a perda de uma família de 5 elementos (McGourty, 2009).

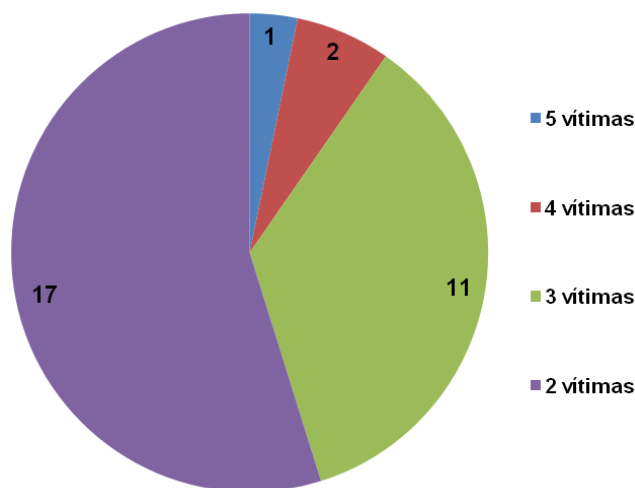


Figura 2.38 – Número de famílias em função do número de vítimas sofridas. (Fonte: McGourty, 2009)

A tabela 2.3 mostra a percentagem de vítimas por localidade em função do número de habitantes, e pretende ilustrar o impacto gerado junto de cada comunidade.

Tabela 2.3 - Percentagem da mortalidade por área afectada (Fonte: ABS)

Localidade	Habitantes	Fatalidades	Taxa mortalidade (%)
Arthurs Creek	326	2	0.61
Callignee	495	3	0.61
Callignee Upper	SD	1	SD
Camberville	SD	1	SD
Churchill	4588	2	0.04
Clonbinane	685	1	0.15
Flowerdale	SD	2	SD
Hazeldene	535	10	1.87
Heathcote Junction	887	1	0.11
Humevale	SD	6	SD
Jeeralang Junction	590	1	0.17
Kinglake	1482	38	2.56
Kinglake West	1525	4	0.26
Koornalla	SD	4	SD
Long Gully	3289	1	0.03
Marysville	517	34	6.58
Mudgegonga	384	2	0.52
Narbethong	280	4	1.43
St. Andrews	1535	12	0.78
Steeles Creek	5246	10	0.19
Strath Creek	432	1	0.23
Strathewen	200	27	13.50
Toolangi	871	2	0.23
Upper Plenty	SD	1	SD
Whittlesea	4500	2	0.04
Yarra Glen	2600	1	0.04
<b>Total</b>		<b>173</b>	

Legenda - SD (sem dados)

Até ao dia 7-Fev-2009, a maioria das mortes contabilizadas ocorreu durante a deslocação tardia das pessoas. Este facto induziu extrema relutância por parte do CFA em aconselhar a evacuação para áreas seguras. Neste dia, vinte e duas pessoas morreram nos veículos, nas estradas ou em reservas, locais onde à partida estariam garantidas as condições de segurança. Este facto deu origem a uma nova abordagem ao pensamento vigente. A lei Vitoriana não contempla a evacuação compulsiva. Partindo do pressuposto “*Stay or go*”, todos têm a possibilidade de ficar e defender os seus bens, mas a partir do mês de Março de 2009, sempre que se antever risco para os moradores de determinada área, o CFA ou o DSE tem a obrigação de informar e deslocar as pessoas para áreas consideradas seguras (VBRC, 2009).

Os impactos sociais não ficaram por aqui. De uma forma directa os IF destruíram por completo algumas localidades: Kinglake, Marysville e Flowerdale são alguns dos exemplos. A visita da equipa do CEIF às áreas afectadas revelou que, em Marysville (destruída em 80%), a recuperação total demorará uma década (Viegas *et al*, 2009). Esta localidade localizada a apenas 12 km a Este do *Lake Mountain*, área muito conhecida pela prática de desportos de natureza, era muito procurada pelos veraneantes. Aproximadamente 40% da actividade empresarial residia em torno do turismo (alojamento e alimentação). Outro dado curioso é o de aproximadamente 40% das residências estarem revestidas de carácter de segunda residência.

Os IF destruíram 530 propriedades, 95% do comércio a retalho, e a totalidade do centro comercial de Marysville (*Marysville Motor Museum*). Estima-se que 50% dos empregos ligados à actividade turística se tenham perdido. Perderam-se ainda infra-estruturas públicas tais como a escola primária, o lar de idosos, o centro médico e comunitário, a estação de correios, a delegação do DSE e a indústria da madeira (Victorian Bushfire Reconstruction and Recovery Authority, 2010). A comunidade de Kinglake vivia essencialmente da agricultura, do turismo, do comércio e de alguma indústria ligeira. A devastação provocou danos em 328 propriedades, além de outros bens, entre os quais jardins-de-infância, escolas primárias e igrejas. Perante estes impactos sociais, foi necessário uma resposta governamental e da sociedade em geral que operou algumas transformações em Vitória. A aposta no desenvolvimento e reestruturação das economias locais foi o caminho escolhido.

Do ponto de vista económico, o custo global do *Black Saturday* até ao dia 30-Abr-2009 estava estimado em 1.2 biliões de dólares australianos, de acordo com as

indenizações pedidas ao Concelho de Seguros da Austrália (VBRC, 2009). Este custo está relacionado com a perda de bens, balizados pelo mercado das seguradoras.



**Figura 2.39** – (a) Ilustração da perseverança dos habitantes de Kinglake; (b) Alojamento temporário de família em Marysville (Fonte: Victorian Bushfire Reconstruction and Recovery Authority, 2010)

O relatório do CEIF da missão à Austrália dava conta da enorme vontade da população em superar a tragédia. Imagens como as mostradas na figura 2.39 passaram a ser muito comuns um pouco por todas as áreas afectadas.

A recuperação das áreas danificadas está a ser feita a um ritmo acelerado, em parte, pela união que este evento causou entre os habitantes de Vitória. Os donativos recebidos foram encaminhados para programas de recuperação das áreas danificadas que, de uma forma programada e com prioridades bem definidas, recuperam as áreas afectadas. Também se destaca o recurso a trabalho voluntário, de onde se salienta o trabalho de especialistas em BAL.

### 2.5.2. Impactos ambientais

Uma das consequências ambientais mais negativas dos IF é a alteração do tipo de ecossistemas resultante da substituição das espécies destruídas por outras mais adaptadas ao fogo (pirófitas), como por exemplo a acácia e o eucalipto, este último extremamente bem adaptado ao fogo.

Estimam-se em milhões os animais mortos (Fonte: SMH edição de 10-Fev-2009). Entre as espécies afectadas encontra-se o símbolo nacional da Austrália, o canguru. A intensidade dos incêndios resultou em que grande parte das áreas ardidas se tivesse mantido em combustão lenta, motivo pelo qual, se estimam que milhões de cangurus tenham sofrido queimaduras nas patas quando tentavam voltar para os seus territórios.

Entre as localidades de Marysville e Kinglake, encontra-se o santuário selvagem de Healesville de onde foram evacuadas para o zoo de Melbourne diversas espécies ameaçadas de sobrevivência, tais como o gambá e o diabo da Tasmânia. Posteriormente aos incêndios, centenas de animais foram levados ao centro do santuário para cuidados veterinários intensivos ([www.zoo.org.au/healesville](http://www.zoo.org.au/healesville), consultado a 11-Mai-2010)

Outro dos impactos ambientais decorrentes destes IF foi a libertação para a atmosfera de milhões de toneladas de dióxido de carbono e de outros gases de efeito estufa. De acordo com o BoM, as colunas de fumo atingiram altitudes nunca antes registadas. Em Março de 2009, o fumo em suspensão chegou à atmosfera da Antártida numa altitude localizada entre os 14 e os 20 km.



**Figura 2.40** – Imagem de satélite que mostra colunas de fumo decorrentes do *Black Saturday* (Fonte: BoM)

No seguimento da previsão da contaminação dos cursos de água por parte de resíduos dos IF arrastados pelas chuvas e pelo vento, foi equacionado o desmantelamento da barragem que fornece a água para consumo humano a Melbourne (figura 2.41). De acordo com a empresa fornecedora da área metropolitana de Melbourne, houve um período de alguns dias em que o abastecimento foi feito com recurso a camiões cisterna provenientes de outras zonas (Melbourne Water, 2009). Outros locais onde também foram sentidos os impactos nos recursos hídricos foram Yarra, Baw Baw, e Whittlesea.

Outros impactos a registar incluem a perda de vegetação nas margens dos cursos de água, o aumento da erosão e a perda de habitat para aves, animais e peixes (Melbourne Water, 2009).



**Figura 2.41** – Incêndios próximo da barragem de *Moorahaa*, barragem que fornece a área metropolitana de Melbourne (Fonte: Melbourne Water)

Apesar de a maior parte dos impactos causados por estes IF, em particular dos ambientais, serem maioritariamente negativos, existem algumas consequências positivas. Duas delas são a renovação dos povoamentos e a redução da carga de combustível. Entre as áreas afectadas havia algumas com um coberto vegetal com mais de 70 anos, desde que tinham sido ardidadas em resultado dos incêndios do *Black Friday* (VBRC, 2009).



### ***3. Comparação com Portugal***

Este capítulo pretende fazer uma breve comparação da realidade em termos de IF em Portugal e em Vitória (Austrália). Começou-se por analisar, para cada caso, a relação entre a área ardida anualmente e a área do território, para o período compreendido entre 1999 e 2008.

Na perspectiva de tentar perceber que comportamento do fogo poderíamos ter em Portugal face a uma situação meteorológica análoga à vivida durante o *Black Saturday*, realizou-se um programa experimental onde se procurou avaliar, para dois tipos de combustível, alguns parâmetros com influência no comportamento do fogo. Como foi referido anteriormente no subcapítulo da metodologia e pelas razões aí apontadas, os combustíveis testados foram a folhada de *Eucalyptus obliqua* e a folhada de *Eucalyptus globulus*. No caso do *Eucalyptus globulus* foram também caracterizadas algumas propriedades físicas dos resíduos de corte, que são constituídos por ramos e folhas.

Com a exceção da análise elementar dos combustíveis, que foi feita no Departamento de Engenharia Química da Universidade de Coimbra, os restantes ensaios foram realizados nas instalações do Laboratório de Aerodinâmica Industrial (LAI) e no Laboratório de Estudos sobre Incêndios Florestais (LEIF). Ambos os laboratórios são infra-estruturas do CEIF/ADAI, sendo que o LAI se situa em Coimbra e o LEIF na Lousã. Este último tem sido procurado por investigadores de todo o Mundo (França, Espanha, Canadá, EUA, Austrália) para levarem a cabo os seus programas experimentais, dada a unicidade de muitas das estruturas de ensaio que lá se encontram.

Foram realizados cinco tipos de ensaios laboratoriais. Foi feita uma caracterização de algumas propriedades físicas dos combustíveis. Foi também feita uma análise elementar dos combustíveis. Usando uma câmara climática, foi avaliada a resposta do teor de humidade dos combustíveis às variações de temperatura e humidade relativa do ar. Utilizando um epirradiador (equipamento descrito mais à frente), foram realizados testes de inflamabilidade das espécies referidas. Finalmente, foi avaliada a combustibilidade de ambos os leitos de folhada através de ensaios de propagação sem vento e sem declive. A metodologia experimental de cada um destes ensaios é descrita em cada um dos pontos respectivos.

### 3.1. Áreas ardidas

Na figura 3.1 são apresentadas as áreas ardidas para o período anteriormente referido (1999-2008). Em ambos os casos verifica-se que determinados espaços dentro dos territórios são mais susceptíveis a ocorrências.

O Estado de Vitória é aproximadamente 2.56 vezes maior que o território de Portugal Continental. Como tal, comparar os valores absolutos das áreas ardidas não permite uma comparação das realidades. Por esse motivo, calculou-se a relação entre a área ardida e a do território, para ambas as situações. Os valores são apresentados na tabela 3.1 e dispostos graficamente na figura 3.2.

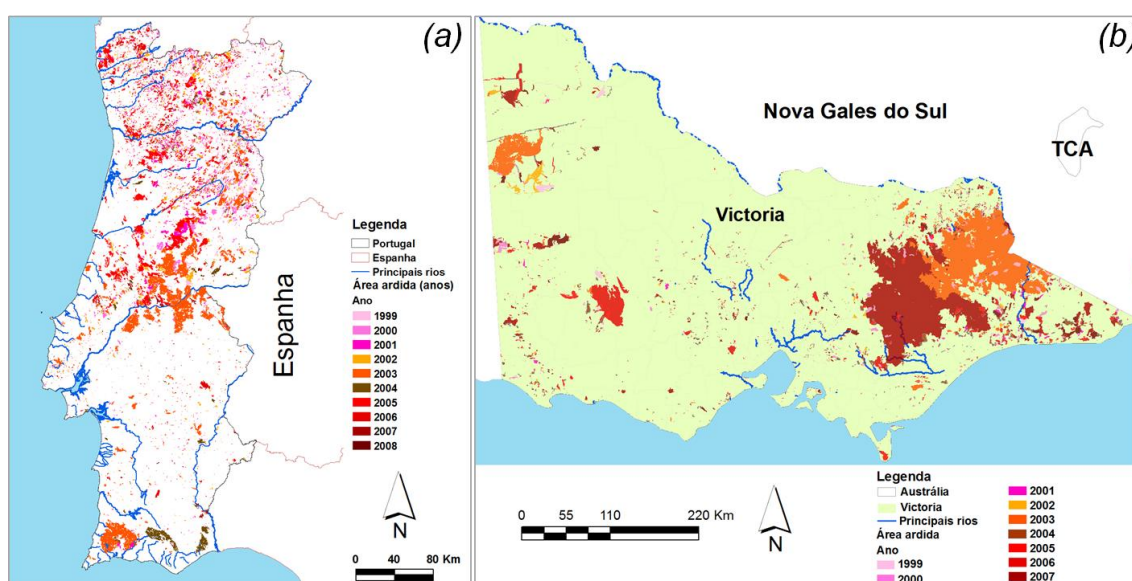


Figura 3.1 – Áreas ardidas para Portugal e Vitória entre 1999 – 2008: (a) Portugal (b) Vitória.

Tabela 3.1 – Dimensões territoriais e áreas ardidas para Portugal e Vitória entre 1999-2008 (Fonte: AFN e CRC)

Ano	Vitória (Território = 22778140 ha)		Portugal (Território = 8893479 ha)	
	Área ardida (ha)	[Área ardida/área território × 100] (%)	Área ardida [ha]	[Área ardida/área território × 100] (%)
1999	129768	0.570	67182	0.755
2000	63873	0.280	143285	1.611
2001	68602	0.301	97606	1.098
2002	95137	0.418	133204	1.498
2003	1588393	6.973	439918	4.947
2004	131522	0.577	114974	1.293
2005	129566	0.569	346395	3.895
2006	273308	1.200	72678	0.817
2007	1312831	5.764	38321	0.431
2008	156356	0.686	11704	0.132

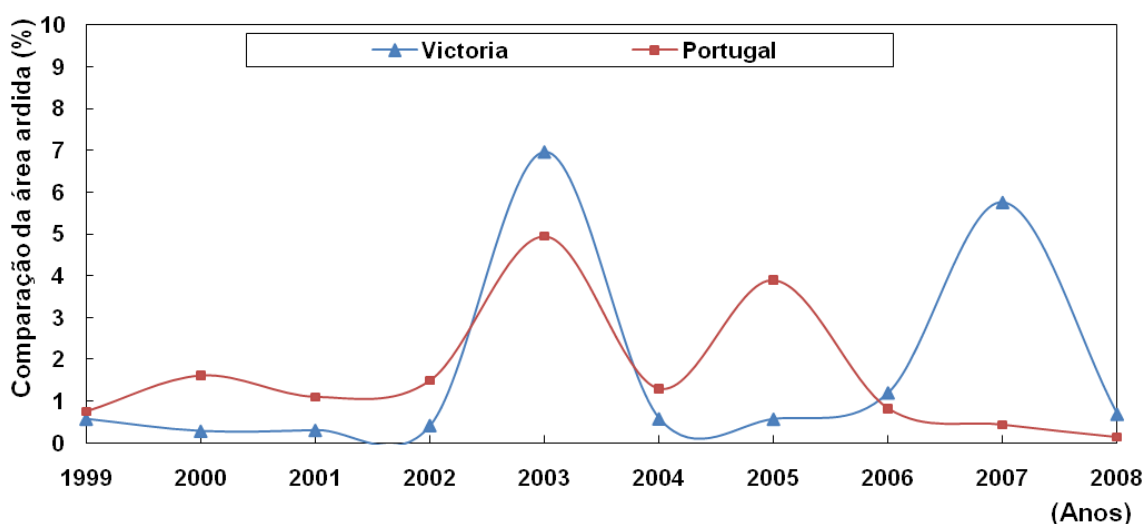


Figura 3.2 – Comparação de áreas ardidas em porcentagem do território para Portugal e Vitória entre 1999-2008.

Analisando a figura 3.2 é fácil de observar que na maior parte do período em questão Portugal ultrapassa em termos da relação de área ardida. Mesmo comparando valores absolutos, Portugal excede o Estado de Vitória vários anos (tabela 3.1).

## 3.2. Programa experimental

### 3.2.1. Caracterização física dos combustíveis

A quantidade de energia libertada por um incêndio florestal não depende apenas da carga de combustível existente nas áreas por onde passa o fogo. Na prática, a quantidade de combustível que é consumido, ou seja a carga disponível, depende fortemente das propriedades físicas do leito, como são o exemplo da relação superfície/volume e da densidade de bolbo.

Neste ponto são apresentados os resultados da análise de algumas propriedades físicas da folhagem de *Eucalyptus obliqua* e de resíduos de corte de *Eucalyptus globulus*. Relativamente aos resíduos de corte de *Eucalyptus globulus* foram quantificadas as quantidades de folhas e ramos contidas numa amostra de aproximadamente 1 kg de combustível seco. Depois disso foram analisadas as propriedades dos ramos. Cada um dos ramos da amostra foi pesado e foi-lhe medido o comprimento. Foi também medido o diâmetro junto das duas extremidades e no meio, obtendo a partir deste um valor médio. A partir destes valores foi determinado, entre outros, o valor da relação superfície/volume. Os resultados são apresentados na tabela 3.2. O teor de humidade que aqui se apresenta foi obtido por recurso a um analisador de humidade onde se coloca uma amostra de 1-2 g que aquece uma resistência a 105°C durante 15 minutos.

Neste trabalho, quando nada for dito em contrário, este foi o processo usado para estimar este parâmetro.

**Tabela 3.2** – Determinação da relação superfície/volume para os ramos de *Eucalyptus globulus*

Amostra	Parâmetros ambientais		Parâmetros da amostra completa						Parâmetros médios dos ramos					
	Tar (°C)	HR (%)	$m_f$ folhas (%)	$m_r$ ramos (%)	Peso folhas (g)	Peso ramos (g)	Peso total (g)	Nº ramos	Peso (g)	Comp. (cm)	Diam. (mm)	Sup (cm <sup>2</sup> )	Vol. (cm <sup>3</sup> )	Sup/Vol (1/cm)
1	22.2	46	10.13	7.41	0.724	0.372	1.096	91	0.372	37.5	3.19	40.06	3.66	13.5
2	23.7	43	9.53	7.64	0.680	0.416	1.096	103	3.890	33.1	3.17	36.09	3.34	13.6
3	25.8	42	11.11	8.11	0.690	0.416	1.106	107	3.266	32.6	3.20	34.40	3.07	13.5
4	24.2	51	12.10	9.89	0.772	0.338	1.110	105	2.749	29.5	3.03	29.14	2.39	13.9
5	23.5	50	9.29	7.29	0.740	0.350	1.09	105	2.736	29.2	3.24	30.25	2.57	12.9

Apesar de já termos, para cada uma das amostras apresentadas na tabela 3.2, o peso médio e o volume médio, foram realizados ensaios adicionais para determinar a massa volúmica. Isto porque o volume médio estimado para cada amostra por via de cálculo não tem em consideração os nódulos dos ramos. O cálculo adequado da massa volúmica, a partir dos dados da tabela 3.2, implicaria remover os nódulos dos ramos e voltar a fazer a pesagem.

Pelos motivos apontados, utilizaram-se cinco amostras de ramos de cerca de 50 g cada, e foi determinado o seu volume com recurso a um recipiente graduado com água, a partir da quantidade de líquido deslocado após a imersão da amostra. Na tabela 3.3 são apresentados os resultados.

**Tabela 3.3** – Determinação da massa volúmica para os ramos de *Eucalyptus globulus*

Amostra	Peso (g)	Vol (ml)	Massa vol. (g/cm <sup>3</sup> )
1	51.40	61.8	0.8319
2	51.44	58.6	0.8776
3	50.59	57.4	0.8820
4	50.07	57.4	0.8729
5	50.50	59.8	0.8447

Para a determinação das propriedades das folhas, para cada uma das duas espécies de eucalipto, foram usadas cinco amostras de 10 folhas. Para o cálculo da espessura média de cada folha foram feitas 6 medidas em todo o seu perímetro, com recurso a um paquímetro digital. Para calcular a área da face de cada uma das folhas, estas foram digitalizadas. A partir das imagens obtidas (figura 3.3), usando um *software* de CAD,

foram obtidas as áreas respectivas. Os resultados obtidos e os valores calculados de relação superfície volume são apresentados nas tabelas 3.4 e 3.5.

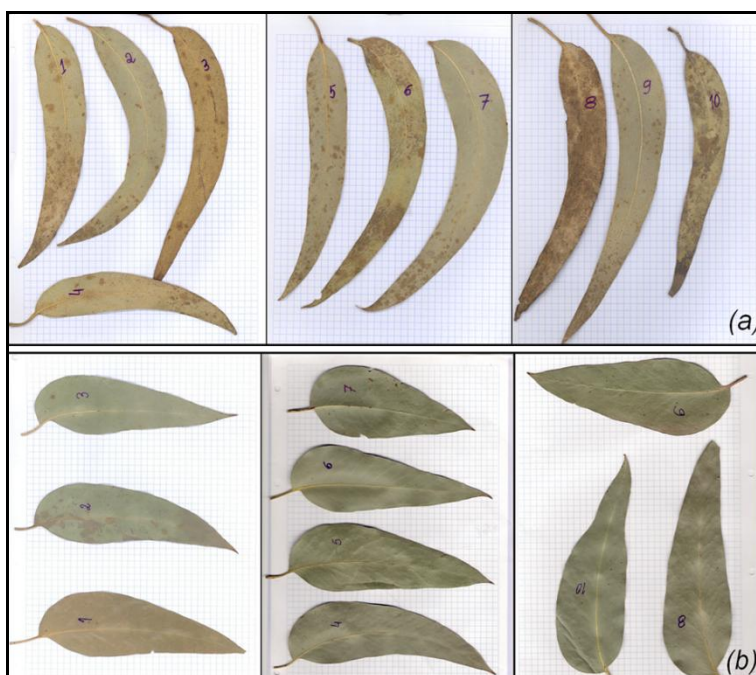


Figura 3.3 – Amostras de folhas digitalizadas: (a) *Eucalyptus globulus* (b) *Eucalyptus obliqua*.

Tabela 3.4 - Determinação da relação superfície/volume das folhas de *Eucalyptus globulus*, usando amostras de 10 folhas

Amostra	Parâmetros médios da amostra						
	Peso (g)	Espessura (mm)	Área face (cm <sup>2</sup> )	Perim. (cm)	Vol. (cm <sup>3</sup> )	Sup. Folha (cm <sup>2</sup> )	Rel. Sup/Vol (1/cm)
1	1.20	0.0391	46.5	44.3	1.82	94.7	52.5
2	0.96	0.0356	36.9	42.8	1.33	75.3	58.0
3	0.87	0.0362	33.9	38.2	1.23	69.1	56.9
4	0.83	0.0354	39.7	41.5	1.41	80.8	58.0
5	0.85	0.0371	32.8	39.0	1.21	67.1	55.5
Média	0.94	0.0366	38.0	41.2	1.40	77.4	56.2

Tabela 3.5 - Determinação da relação superfície/volume das folhas de *Eucalyptus obliqua*, usando amostras de 10 folhas

Amostra	Parâmetros médios da amostra						
	Peso (g)	Espessura (mm)	Área face (cm <sup>2</sup> )	Perim. (cm)	Vol. (cm <sup>3</sup> )	Sup. Folha (cm <sup>2</sup> )	Rel. Sup/Vol (1/cm)
1	0.99	0.0227	59.5	38.1	1.35	119.9	89.1
2	0.86	0.0310	36.7	33.2	1.14	74.4	65.6
3	0.75	0.0305	32.3	31.7	0.99	65.6	67.0
4	0.77	0.0304	32.8	31.2	1.00	66.6	67.0
5	0.69	0.0289	30.05	29.18	0.87	60.90	70.58
Média	0.81	0.0287	38.28	32.66	1.07	77.50	71.85

As amostras relativas ao *Eucalyptus globulus* obtiveram uma relação superfície volume média de  $56.18 \text{ cm}^{-1}$  enquanto o *Eucalyptus obliqua* obteve  $71.85 \text{ cm}^{-1}$ . Se para um dado volume de combustível houver maior superfície exposta, a combustão é mais rápida. Desta forma podemos concluir que será expectável que uma folha de *Eucalyptus obliqua* arda mais rapidamente que uma de *Eucalyptus globulus*.

### 3.2.2. Análise elementar dos combustíveis

A análise química elementar é feita em duas fases. Primeiro é feita a análise elementar propriamente dita, com determinação do teor de azoto, carbono, hidrogénio, enxofre e ao oxigénio. Depois disso a amostra é incinerada para determinar o resíduo resultante.

Foram realizados dois ensaios, um para cada espécie, com uma amostra de 10 g para cada. A partir dos resultados apresentados na tabela 3.6, pode-se concluir que a composição química da folhagem de ambas as espécies de eucalipto é muito similar.

**Tabela 3.6** – Análise química de folhas de *Eucalyptus globulus* e *Eucalyptus obliqua*

Resíduo por incineração		Análise elementar				
Amostra	% cinza	N (%)	C (%)	H (%)	S (%)	O (%)
<i>Eucalyptus globulus</i>	6.26	1.602	54.28	7.531	≤ 100 ppm	36.57
<i>Eucalyptus obliqua</i>	5.19	1.393	54.97	8.047	≤ 100 ppm	35.60

**Legenda:** (N) azoto, (C) Carbono, (H) Hidrogénio, (S) Enxofre, (O) Oxigénio

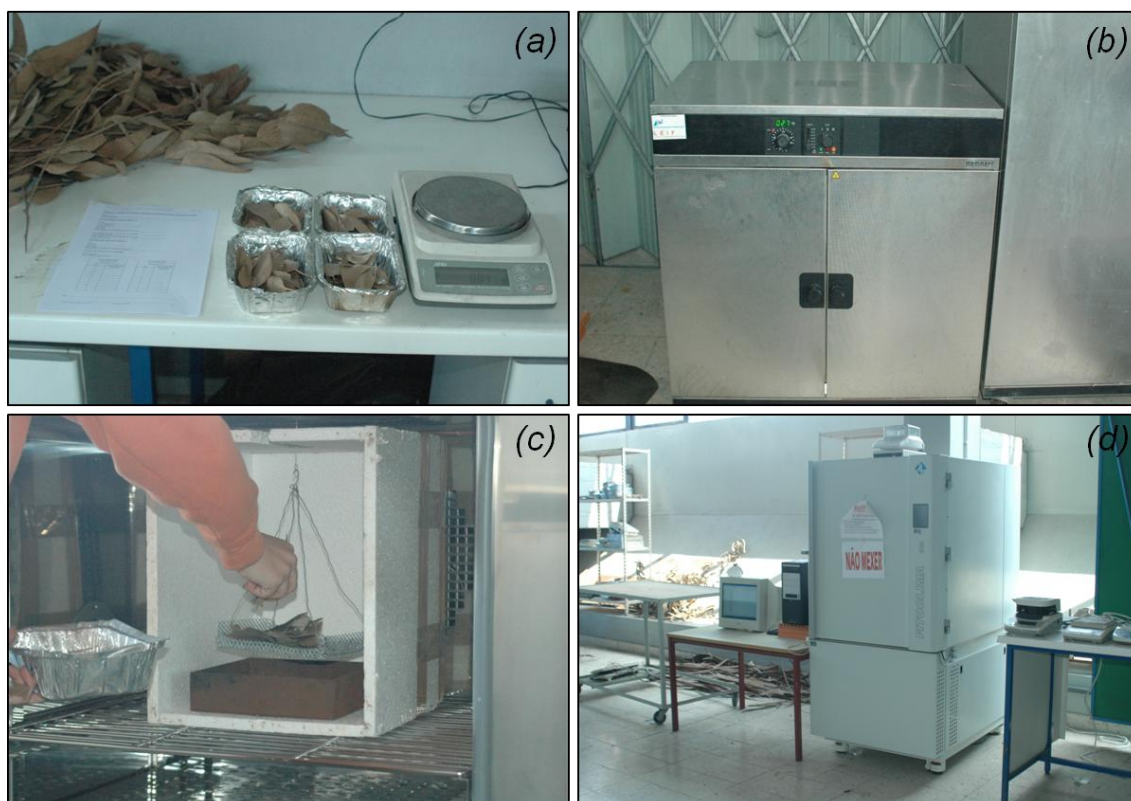
### 3.2.3. Resposta às condições ambientais

O teor de humidade dos combustíveis tem uma influência determinante na propagação de um fogo. Quanto mais baixo for, menor é a energia da combustão dispendida para evaporar a água contida no combustível, e maior é a velocidade de propagação. Este parâmetro é apontado como um dos principais factores associados à extensão catastrófica de determinados IF (Viegas *et al.*, 2001).

Foram realizados dez ensaios (cinco para cada combustível) numa câmara climática que permite variar a temperatura e humidade do ar. No interior da câmara existe um prato ligado a uma balança que por sua vez está ligada a um computador que permite, em contínuo, registar o peso de uma amostra de combustível. A partir do peso instantâneo da amostra, e sabendo o seu peso seco, consegue-se determinar em tempo

real o seu teor de humidade. O procedimento seguido na realização dos ensaios teve por base o protocolo apresentado em Domingues (2010).

Em cada um dos ensaios foram usadas uma amostra de 10 g, que era colocada dentro da câmara climática (figuras 3.4c e 3.4d), e quatro amostras de 5 g, que eram colocadas dentro da estufa a 105°C durante 24 h (figura 3.4b).



**Figura 3.4** – (a) Amostras de *Eucalyptus globulus* e *Eucalyptus obliqua* preparadas para serem pesadas (b) Estufa para secagem do combustível (c) Colocação do combustível na câmara climática, (d) Vista exterior da câmara climática.

O peso da amostra colocada dentro da câmara climática era registado com um intervalo de tempo de 1 minuto durante a realização do ensaio. As amostras colocadas dentro da estufa eram utilizadas para determinar o peso seco médio do combustível. Com base neste valor, e considerando que o teor de humidade da amostra colocada na câmara climática é igual ao teor de humidade médio das amostras colocadas dentro da estufa, podemos estimar o seu peso seco. Utilizando a equação 3.1, podemos determinar a evolução do teor de humidade do combustível ao longo do tempo. Uma das limitações dos ensaios reside no facto da câmara climática apenas suportar um teste de cada vez. A impossibilidade de colocar em simultâneo duas amostras impede que seja iniciado o teste com o combustível de cada uma das amostras nas mesmas condições.

$$m_f = \frac{P_{\text{comb}} - P_{\text{seco}}}{P_{\text{seco}}} \times 100 \quad (3.1)$$

Os parâmetros médios das quatro amostras colocadas na estufa em cada ensaio, para estimativa do teor de humidade da amostra colocada dentro da câmara climática, são apresentados na tabela 3.7.

**Tabela 3.7** – Parâmetros das amostras de combustível aquando da colocação na câmara climática

<i>Eucalyptus obliqua</i>						<i>Eucalyptus globulus</i>					
Ensaio	Data	Temp. ar (°C)	HR ar (%)	Peso seco (g)	$m_f$ (%)	Ensaio	Data	Temp. ar (°C)	HR ar (%)	Peso seco (g)	$m_f$ (%)
1	7-Jan	10.8	52	4.34	15.2	1	11-Jan	8.4	57	4.07	22.6
2	1-Mar	13.7	73	4.21	18.7	2	24-Fev	7.7	77	4.29	16.5
3	8-Mar	12.3	53	4.37	14.4	3	5-Mar	14	73	2.80	78.3
4	15-Mar	13.7	45	4.86	2.9	4	11-Mar	13.2	36	4.83	3.1
5	25-Mar	19.2	57	2.07	141.0	5	22-Mar	17.1	57	2.29	117.6

Em todos os testes foi utilizado o mesmo programa de variação de temperatura e humidade relativa do ar. Este programa foi elaborado de forma a simular as condições registadas na EMA de Coldstrem no dia 7-Fev-2009, que são apresentadas na tabela 3.8. O objectivo era que os combustíveis experimentassem as variações sofridas pelo ar ambiente a partir das 10:00, partindo do teor de humidade de equilíbrio para as condições médias registadas nas 50 h anteriores.

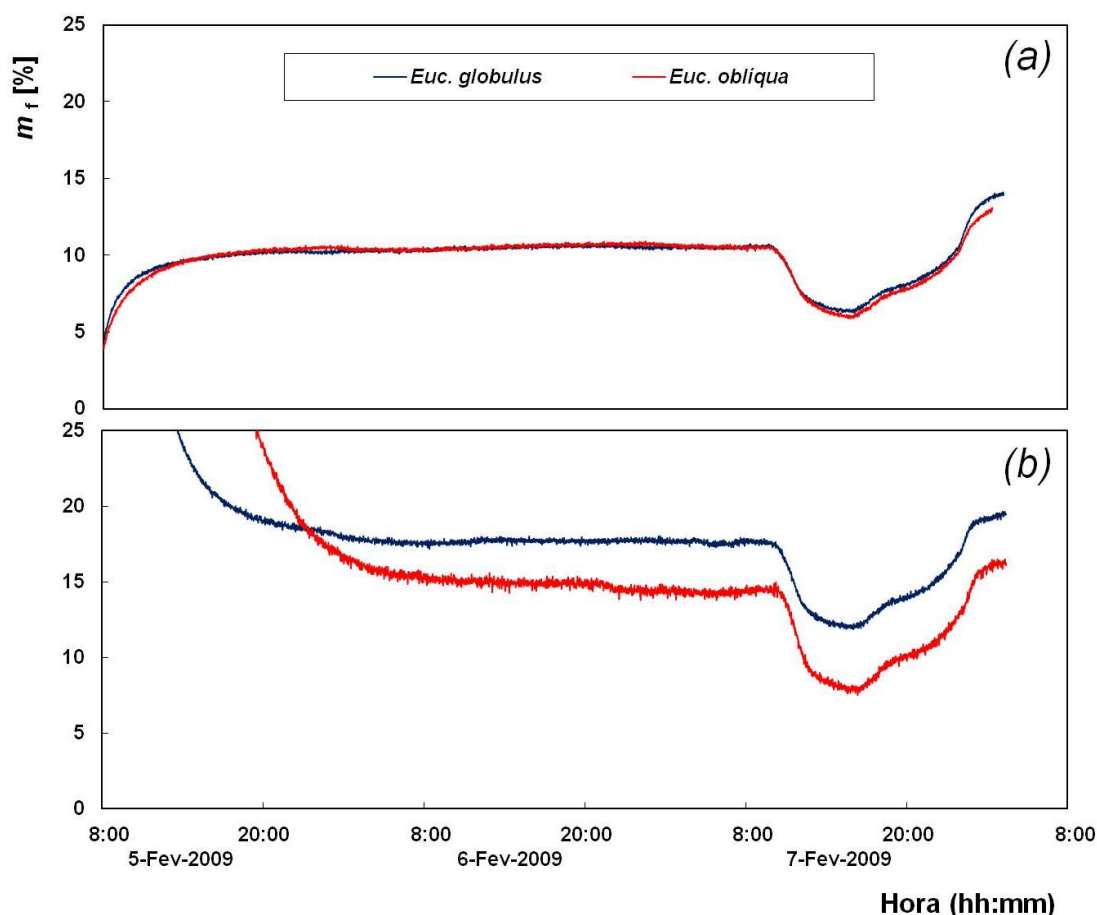
**Tabela 3.8** – Temperatura e humidade relativa do ar registadas na EMA de Coldstrem no dia 7-Fev-2009

Hora [hh:mm]	Temp. (°C)	HR (%)
Média das 50h anteriores	24.9	52.4
10.00	36.8	20.0
12.00	41.9	12.9
14.00	43.8	9.0
16.00	43.2	8.0
18.00	32.8	30.1
20.00	30.4	34.0
22.00	26.3	47.0
24.00	22.8	67.2

A partir dos ensaios 1 a 3 (tabela 3.7), para ambas as espécies, verificou-se que o teor de humidade de equilíbrio dependia das condições em que a amostra de



combustível entrava na câmara climática. Isso terá sido originado, pelo menos em parte, pelo facto de as amostras terem sido utilizadas com graus diferentes de cura. Para minimizar esse efeito, foram realizados ensaios em que: i) as amostras foram previamente secas na estufa durante 24 h a 35°C; ii) as amostras foram imersas em água durante 24 h. Os resultados correspondentes estão apresentados na figura 3.5



**Figura 3.5** – Ensaio de simulação da resposta de amostras de *Eucalyptus globulus* e *Eucalyptus obliqua* às condições ambientais apresentadas na tabela 3.7 em que: (a) As amostras estiveram previamente na estufa durante 24 h a 35°C (b) As amostras estiveram previamente imersas em água durante 24 h.

Verificou-se que para a situação em que ambas as amostras estiveram na estufa (figura 3.5a), o teor de humidade de equilíbrio após as primeiras 50 h foi praticamente igual, de cerca de 10%. Durante o ciclo de variação das condições do ar a resposta também foi idêntica, tendo atingido um valor mínimo de cerca de 6%.

No ensaio em que ambas as amostras estiveram imersas em água (figura 3.5b), o teor de humidade após as primeiras 50 h apresentou diferenças entre as espécies, com cerca de 17% para a folhada de *Eucalyptus globulus* e de 15% para a folhada de *Eucalyptus obliqua*.

Os resultados não são claros quanto à resposta da folhada das duas espécies de eucalipto à variação das condições ambientais. Na situação em que ambas foram secas na estufa, a resposta foi semelhante, e na situação em que ambas foram imersas em água a resposta foi diferentes. O diferente grau de cura dos combustíveis poderá ter tido influência nos resultados: a permanência na estufa tendeu a homogeneizar a cura, enquanto a imersão em água não terá tido o mesmo efeito. Para permitir conclusões mais claras deveriam ser feitos mais ensaios usando amostras que tivessem estado armazenadas em condições que permitissem uma homogeneização da cura. Por outro lado, o valor mínimo de teor de humidade não foi tão baixo quanto certos valores reportados na literatura. Isto pode ser devido a vários factores: diferenças entre a situação dos combustíveis aqui testados e os encontrados no terreno na Austrália, diferenças morfológicas das plantas resultantes de diferentes adaptações ao clima, entre outros.

#### **3.2.4. Caracterização da inflamabilidade**

A inflamabilidade é uma propriedade que quantifica o atraso até à ignição de uma partícula de combustível quando sujeita a uma fonte de calor. Esta é uma característica importante na eclosão dos IF.

Para avaliar este parâmetro, são colocadas partículas de combustível num epirradiador<sup>(4)</sup> com o pecíolo voltado para o operador e com a parte externa da folha em contacto com a peça cerâmica. Posteriormente é contabilizado o tempo que a partícula demora a inflamar até estar envolta por chama (figura 3.6).

Em cada ensaio, para cada espécie, utilizaram-se amostras de 20 folhas. O tamanho da amostra escolhido foi baseado em Vallete (1992). O autor refere ainda que as folhas dever ser uniformes em tamanho, estado fitossanitário, peso, coloração, grau de maturação e teor de humidade.

---

<sup>4</sup> Epirradiador é um equipamento composto por uma base cerâmica aquecida e termo regulada electricamente a 600° C (temperatura de auto-ignição) e que ignicia os combustíveis florestais assistida por uma chama piloto alimentada a gás.



Figura 3.6 – Teste de inflamabilidade com recurso a um epirradiador.

Na tabela 3.9 são apresentados os parâmetros dos ensaios realizados. A gama amostrada de teores de humidade variou entre os 5-19% para o *Eucalyptus obliqua* e os 4-24% para o *Eucalyptus globulus*.

Tabela 3.9 – Tempo médio até à ignição de amostras de *Eucalyptus globulus* e *Eucalyptus obliqua*. Em cada ensaio foi testada uma amostra constituída por 20 folhas para cada espécie.

Ensaio	<i>Eucalyptus obliqua</i>				<i>Eucalyptus globulus</i>			
	Tar (°C)	HR (%)	$m_f$ (%)	Tempo (s)	Tar (°C)	HR (%)	$m_f$ (%)	Tempo (s)
1	11.9	58	15.6	6.23	9.7	58	23.7	9.05
2	13.0	80	19.2	4.85	13.1	80	18.2	8.30
3	11.8	48	15.0	3.70	12.0	47	11.9	6.00
4	14.0	42	10.7	4.61	13.8	44	8.7	8.81
5	13.7	44	14.5	8.84	13.5	46	13.8	8.88
6	10.6	51	13.1	3.45	10.7	50	13.1	6.26
7*	19.9	53	10.3	4.54	19.8	54	9.8	7.69
8	19.0	56	16.5	4.07	18.8	56	15.2	5.95
9	12.0	91	19.7	3.76	11.9	92	19.1	6.84
10*	14.4	82	4.5	5.65	14.3	83	3.7	9.02

\* Nestes ensaios as amostras foram condicionadas na estufa para obter teores de humidade mais baixos

Na figura 3.7 são apresentados os tempos de atraso até à ignição como função do teor de humidade. Para cada ensaio, este parâmetro foi estimado com 4 amostras de 5 g para cada espécie, que foram secas numa estufa a 105°C durante 24 h.

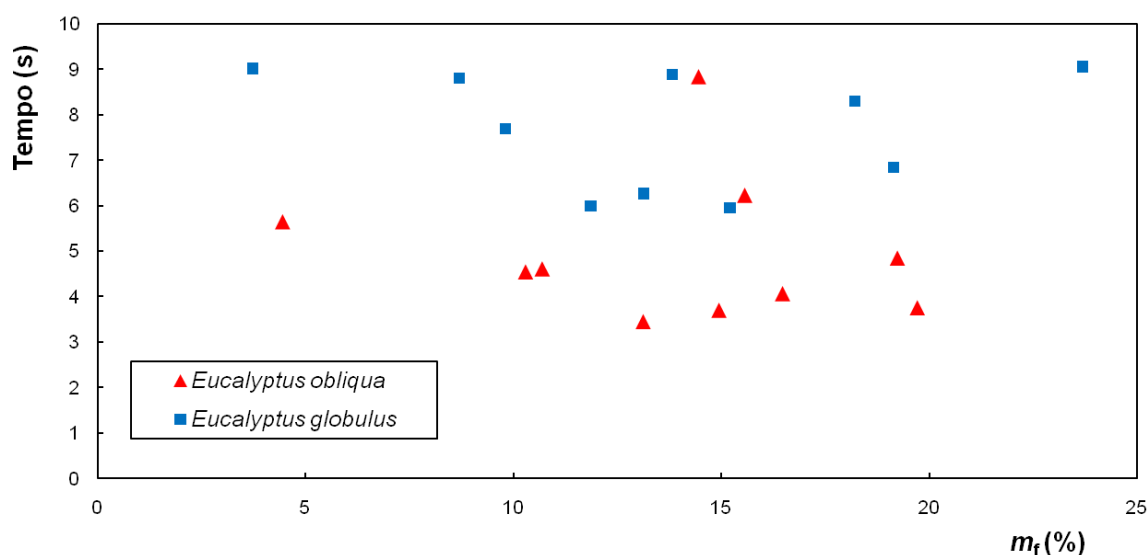


Figura 3.7 – Tempo até à ignição da partícula como função do teor de humidade.

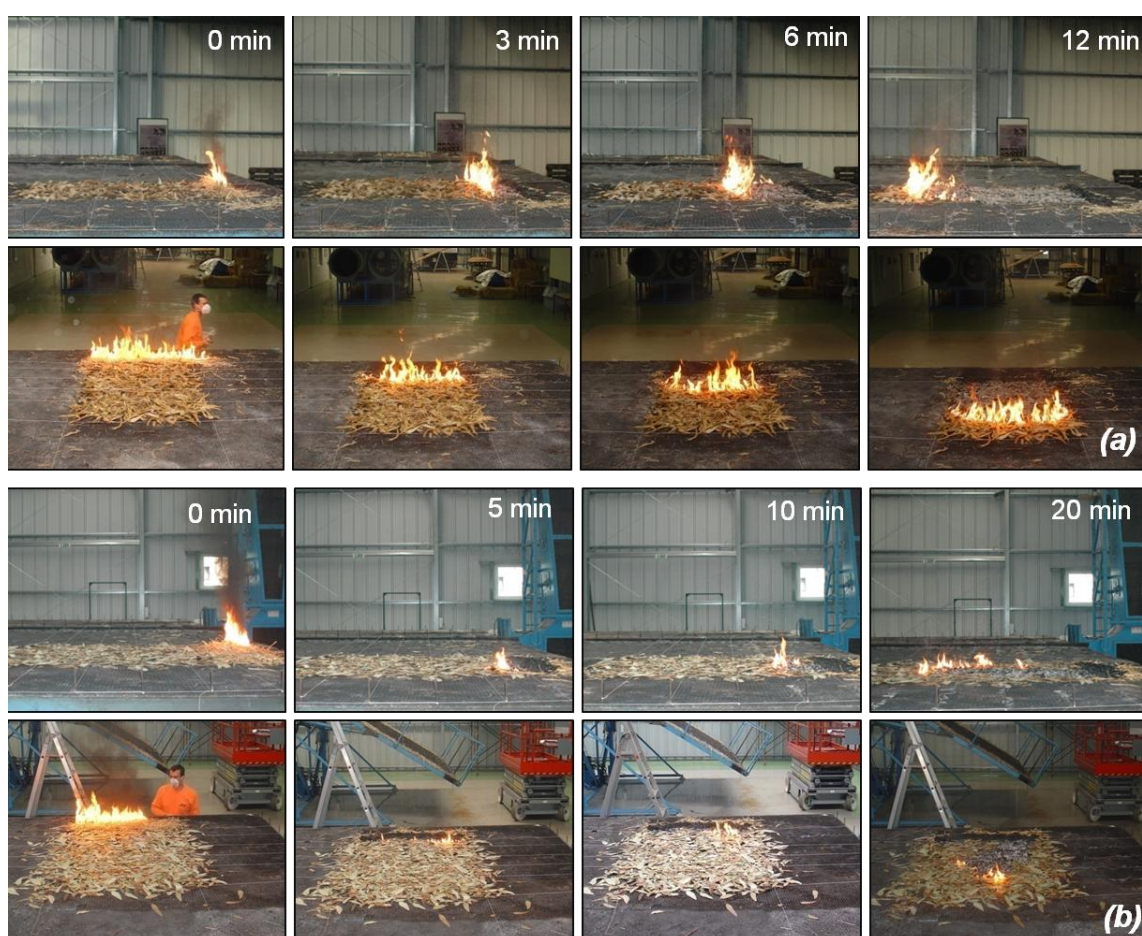
Os resultados apresentados na figura mostram que o tempo médio até à ignição para as folhas de *Eucalyptus obliqua* é inferior ao das folhas de *Eucalyptus globulus*, existindo apenas dois pontos para o *Eucalyptus obliqua* que não verificam essa tendência. Um resultado inesperado é o de não se obter uma grande dependência do tempo até à ignição do teor de humidade. Esse facto poderá estar relacionado com o conjunto de ensaios ter sido realizado nos meses de Fevereiro e Março de 2010, não permitindo ter uma amplitude significativa de teores de humidade, sem o condicionamento das amostras na estufa.

### 3.2.5. Caracterização da combustibilidade

A combustibilidade é uma propriedade que quantifica a velocidade com que um fogo se propaga num determinado leito. Esta propriedade depende não só da inflamabilidade das partículas individuais do combustível, mas também do seu arranjo espacial no leito, em particular da densidade de bolbo ou aparente. Uma forma de quantificar a combustibilidade de um leito é a determinação da velocidade em leito horizontal e sem vento, também chamada velocidade básica de propagação  $R_0$ . Esta velocidade, apesar de raramente se observar em incêndios reais, permite servir como referência.

Para este estudo, realizaram-se no LEIF um total de 18 ensaios, 9 folhada de *Eucalyptus globulus* e 9 de folhada de *Eucalyptus obliqua*. A metodologia empregue na preparação e realização dos ensaios foi baseada no protocolo proposto em Rossa (2008). A estrutura onde se realizaram os ensaios foi a mesa de desfiladeiro DE4, que é uma

estrutura com uma área de queima de  $8 \times 6 \text{ m}^2$ . Apesar de esta estrutura permitir obter uma configuração de desfiladeiro, para os ensaios em questão foi usada sempre como uma superfície horizontal. As suas dimensões permitiram a preparação de quatro ensaios em simultâneo com uma área de  $1 \times 1.25 \text{ m}^2$ . Foi atribuída uma referência a cada teste constituída por um código alfa numérico, separado por hífenes, e que indica o tipo de ensaio (*Basic rate of Spread*), a mesa de ensaio onde foram realizados (DE4), e a ordem de realização (tabela 3.14). Na figura 3.8 é apresentada uma sequência de imagens temporizadas, com imagens de topo e laterais sincronizadas, para dois ensaios, um para cada leito combustível.



**Figura 3.8** – Fotos temporizadas, com vista lateral e de topo sincronizadas, para os ensaios: **(a)** BS-DE4-14 com leito de *Eucalyptus globulus*, **(b)** BS-DE4-15 com leito de *Eucalyptus obliqua*.

Os ensaios eram realizados aos pares, testando primeiro um combustível e de seguida o outro, aumentando a comparabilidade dos resultados. Normalmente era feito um par de ensaios da parte da manhã e outro da parte da tarde com o intuito de varrer uma gama de teores de humidade o mais alargada possível. O teor de humidade de cada leito de combustível era amostrado imediatamente antes do início de cada ensaio,

usando uma porção de folhada retirada do leito. A carga utilizada foi sempre de 0.6 kg/m<sup>2</sup> e eram feitas cinco medidas da altura do leito, de forma a obter um valor médio. A ignição linear era provocada por um fio de algodão embebido em gasolina.

A velocidade da parte mais avançada da frente foi estimada através do tempo que o fogo demorava a queimar fios de algodão com espaçamento constante de 25 cm. Para cada ensaio foi ajustada uma recta aos pontos que davam a evolução do espaço como função do tempo, através do método dos mínimos quadrados. O declive dessa recta corresponde à velocidade de propagação da frente. Os parâmetros dos ensaios são apresentados na tabela 3.10.

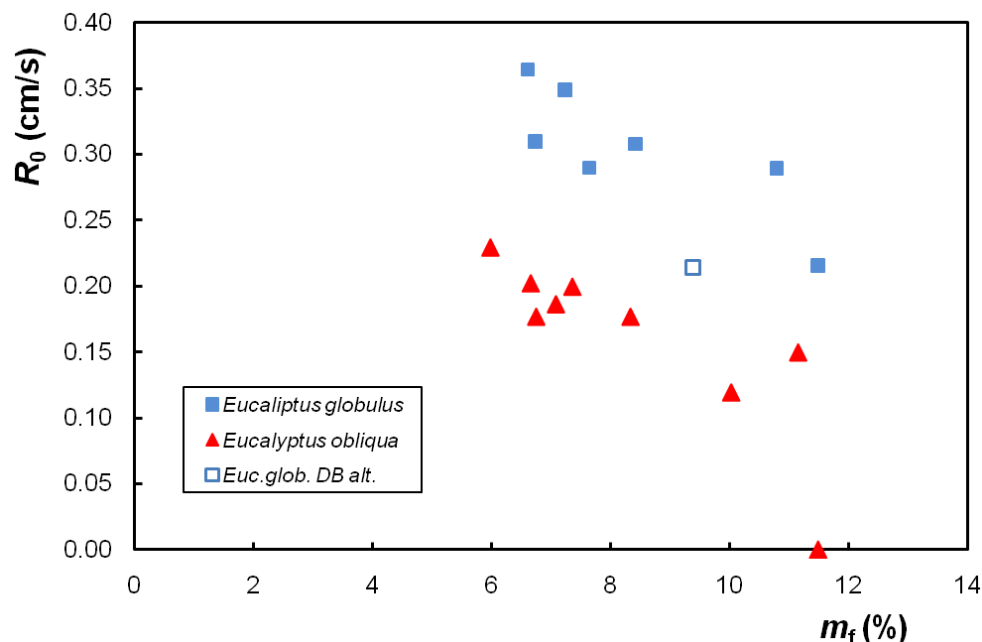
**Tabela 3.10** – Parâmetros para os ensaios de propagação em leito horizontal sem vento

Ref.	Parâmetros ambientais				Parâmetros do leito combustível				
	Data	Hora	RH (%)	T (°C)	Tipo	Altura (cm)	Dens. bolbo (kg/m <sup>3</sup> )	m <sub>f</sub> (%)	R <sub>0</sub> (cm/s)
BS-DE4-14	12-Mai-2010	12:15	54	18.9	<i>Eucalyptus globulus</i>	5.0	12.0	11.5	0.22
BS-DE4-17	21-Mai-2010	16:00	20	35.7		4.5	13.3	6.6	0.36
BS-DE4-25	31-Mai-2010	12:22	48	31.8		6.3	9.5	7.6	0.29
BS-DE4-26	31-Mai-2010	15:00	36	36.6		4.9	12.2	6.7	0.31
BS-DE4-28	17-Jun-2010	11:37	41	25.7		5.2	11.5	8.4	0.31
BS-DE4-31	17-Jun-2010	14:04	34	30.2		5.0	12.0	7.2	0.35
BS-DE4-32	18-Jun-2010	11:26	51	23.3		4.6	13.0	10.8	0.29
BS-DE4-34*	18-Jun-2010	14:00	43	26.3		2.6	23.5	9.4	0.21
BS-DE4-13	12-Mai-2010	12:20	54	18.9		<i>Eucalyptus obliqua</i>	3.3	18.2	11.5
BS-DE4-15	12-Mai-2010	13:00	48	19.1	2.0		30.0	10.0	0.12
BS-DE4-16	21-Mai-2010	15:48	20	35.2	3.5		17.1	6.0	0.23
BS-DE4-24	31-Mai-2010	12:00	57	25.8	2.7		22.2	11.1	0.15
BS-DE4-27	31-Mai-2010	15:36	34	35.7	2.3		26.1	7.4	0.20
BS-DE4-29	17-Jun-2010	11:54	39	27.6	3.1		19.4	6.7	0.18
BS-DE4-30	17-Jun-2010	13:40	33	30.5	3.3		18.2	6.7	0.20
BS-DE4-33	18-Jun-2010	11:43	50	24.2	3.4		17.9	8.3	0.18
BS-DE4-35	18-Jun-2010	14:20	43	27.2	2.5		24.0	7.1	0.19

\* Neste ensaio o leito de altura média inicial 4.6 cm foi compactado.

Na figura 3.9 apresenta-se a velocidade de propagação como função do teor de humidade do combustível. Apesar do número de ensaios não ser suficiente para obter curvas de ajuste precisas, podemos retirar algumas conclusões dos dados que aqui se apresentam. Desde logo se verifica que a velocidade de propagação nos leitos de folhada de *Eucalyptus globulus* é muito superior à verificada nos leitos de *Eucalyptus obliqua*. De facto, nestes últimos a propagação é tão lenta para os teores de humidade

mais altos que se observou um ensaio em que o fogo se extinguiu. Daqui se conclui que a humidade de extinção de leitos de folhada *Eucalyptus obliqua*, para propagação sem vento e sem declive, rondará os 12%.



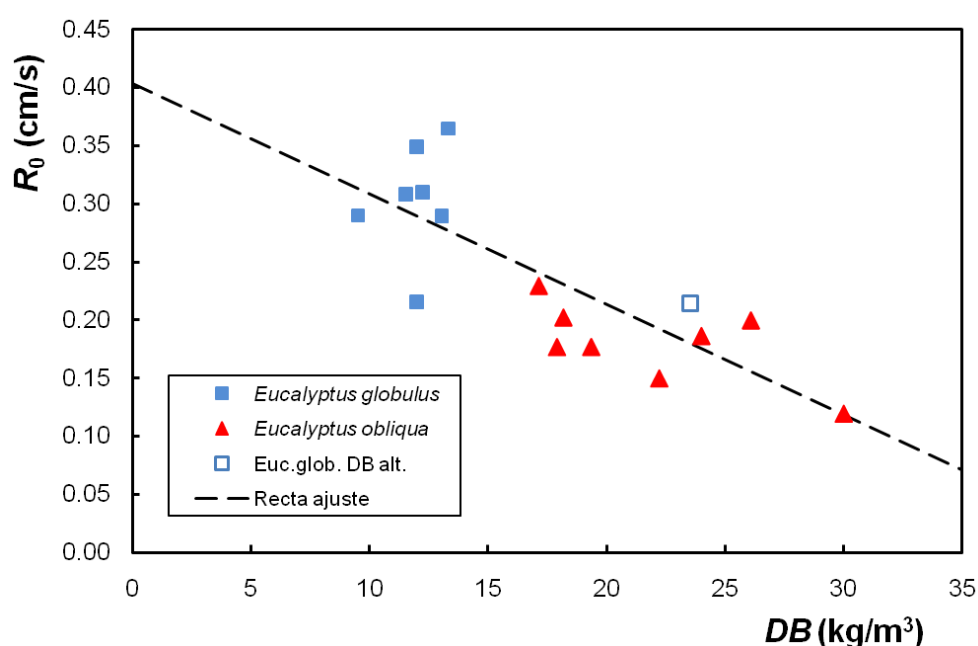
**Figura 3.9** – Velocidade básica de propagação  $R_0$  como função do teor de humidade para a folhada de *Eucalyptus globulus* e folhada de *Eucalyptus obliqua*. No ensaio BS-DE4-34, representado pelo marcador azul sem preenchimento, a densidade de bolbo foi alterada por compactação do leito.

Outro facto interessante que se observou foi que os leitos de *Eucalyptus obliqua* eram extremamente baixos, o que se traduzia em densidades de bolbo elevadas. A densidade de bolbo ou aparente de um leito é a massa de combustível contida num determinado volume. Quanto mais alto for o leito, menor será a compactidade, menor será a densidade de bolbo, e maior será a oxigenação das partículas de combustível.

Uma das questões que se colocou foi que alterações se verificariam na velocidade de propagação se as densidades aparentes dos leitos fossem iguais. Assim, foi preparado um ensaio com folhada de *Eucalyptus globulus*, onde se obteve uma altura média do leito de 4.6 cm. Esse leito foi compactado uniformemente com uma placa de madeira suficientemente grande para abranger em simultâneo o combustível disposto na área de queima. Daqui resultou uma altura média de leito de 2.6 cm, aumentando significativamente a densidade de bolbo. Este ensaio, BS-DE4-34 está apresentado na figura 3.10 com um marcador quadrado azul sem preenchimento

Verificou-se uma grande descida da velocidade de propagação, para um valor de 0.21 cm/s, relativamente a um leito normal. O ensaio BS-DE4-35 realizado logo a

seguir com folhada de *Eucalyptus obliqua* em condições ambientais idênticas, resultou numa velocidade de propagação de 0.19 cm/s. Estes valores são muito similares. O facto de os pontos apresentado na figura 3.10, correspondentes a estes dois ensaios não estarem mais próximos pode estar relacionado com imprecisões na estimativa do valor do teor de humidade do combustível. Alguma falta de homogeneidade das propriedades do combustível dentro do leito poderá ser responsável por esse factor. Apesar de os ensaios BS-DE4-34 e BS-DE4-35 apresentarem uma diferença significativa no teor de humidade, de cerca de 2%, verificou-se que, no conjunto de todos os pares de ensaios, a diferença média entre o teor de humidade entre espécies foi de 0.4%.



**Figura 3.10** – Velocidade básica de propagação  $R_0$  como função da densidade de bolbo para a folhada de *Eucalyptus globulus* e folhada de *Eucalyptus obliqua*. No ensaio BS-DE4-34, representado pelo marcador azul sem preenchimento, a densidade de bolbo foi alterada por compactação do leito.

Com o objectivo de tentar perceber a relação a contribuição da densidade de bolbo dos leitos na velocidade de propagação construiu-se o gráfico apresentado na figura 3.10. Podemos observar que, apesar dos pontos relativos ao *Eucalyptus globulus* apresentarem alguma dispersão, a globalidade dos dados representados definem uma clara tendência. Ajustou-se uma recta ao conjunto dos dados de onde se obteve a função  $R_0 = - 0.00950 \times DB + 0.404$ , com uma correlação  $r^2 = 0.6352$ . Apesar da correlação obtida não ser muito elevada, demonstra claramente a tendência que seria de esperar. A função obtida mostra também que o ensaio realizado com a densidade de bolbo manipulada situa-se muito perto da recta de ajuste. Isto reforça a ideia de que para



iguais condições de arranjo espacial, os leitos de folhada de *Eucalyptus globulus* e de folhada de *Eucalyptus obliqua* apresentam combustibilidades semelhantes.

Resumo das principais conclusões da comparação entre combustíveis

Em termos de propriedades físicas observou-se que as folhas de *Eucalyptus obliqua* têm uma relação superfície/volume superior ( $71.85 \text{ cm}^{-1}$ ) às de *Eucalyptus globulus* ( $56.18 \text{ cm}^{-1}$ ), mas que a composição química de ambas é muito similar.

Os resultados da resposta das duas espécies de folhada à variação das condições do ar não foram conclusivos, eventualmente devido a um diferente grau de cura dos combustíveis utilizados. Nos resultados obtidos nos ensaios de combustibilidade verificou-se que para todos os pares de ensaios de folhada de *Eucalyptus globulus* e *Eucalyptus obliqua*, realizados em condições ambientais similares, a diferença média entre o teor de humidade das espécies foi de 0.4%. Assim, será expectável uma resposta semelhante dos dois combustíveis às condições ambientais.

Os testes de inflamabilidade mostram que o tempo médio até à ignição para as folhas de *Eucalyptus obliqua* é inferior ao das folhas de *Eucalyptus globulus*. Por outro lado, a velocidade de propagação nos leitos de folhada de *Eucalyptus globulus* é muito superior à verificada nos leitos de *Eucalyptus obliqua*. Verificou-se também que humidade de extinção de leitos de folhada *Eucalyptus obliqua*, para propagação sem vento e sem declive, rondará os 12%.

Testes em condições ambientais idênticas em que os leitos de folhada das duas espécies de eucalipto apresentavam uma densidade aparente semelhante, por manipulação do leito de *Eucalyptus globulus*, resultaram em velocidades de propagação muito semelhantes. Podemos assim concluir que a principal causa para as diferenças de combustibilidade dos leitos se deve ao arranjo espacial dos leitos, ou seja depende essencialmente de propriedades físicas e não químicas, como já indicava a análise elementar.

Com base nestes resultados conclui-se que se Portugal experienciasse condições meteorológicas análogas às registadas em Vitória durante o *Black Saturday*, o comportamento do fogo de superfície nas formações de eucalipto seria ainda mais violento.

#### ***4. Considerações finais***

Os incêndios relativos ao *Black Saturday* aqui descritos causaram a perda de 173 vidas, bilhões de dólares de prejuízo e impactos ambientais elevadíssimos, os quais, somente contabilizados por estimativa. As considerações finais que aqui se apresentam foram divididas nos seguintes pontos: o incontornável, o que foi feito durante os incêndios, o que podia ter ser feito, o que foi feito após os incêndios, o que deve ser feito, e a comparação com Portugal.

##### *O incontornável*

A adaptação dos ecossistemas Australianos ao fogo durante milhares de anos levou ao desenvolvimento de complexos vegetais propensos à propagação do fogo. Por exemplo, a espécie predominante no Estado de Vitória é o eucalipto, que possui condições privilegiadas para suportar a propagação dos incêndios, quer seja de superfície, copas ou através projecções de partículas que provocam focos secundários. Parte dos incêndios aqui descritos propagou-se em zona de topografia complexa, o que também dificultou a sua extinção e tornou mais violento o comportamento do fogo.

Em termos de condições climáticas, em 2009, o Sudoeste Australiano tinha vivido nos últimos 12 anos o período mais seco desde o início do século XX. A excepcional onda de calor que se manifestou entre 6 e 8 de Fevereiro de 2009 foi já a segunda nesse ano. As condições meteorológicas vividas neste período registaram temperaturas do ar superiores a 45°C, humidades relativas inferiores a 8%, e velocidades do vento máximas na ordem dos 100 km/h.

##### *O que foi feito durante os incêndios*

Durante a resposta aos incêndios pouco mais haveria a fazer. Só no dia 7 de Fevereiro, cerca de 15000 bombeiros combateram o fogo, dispendo de mais de 1000 veículos terrestres e 50 meios aéreos. Para além das agências directamente envolvidas (CFA e DSE), a resposta operacional também contou com meios dos Estados vizinhos: Nova Gales do Sul, Tasmânia, Nova Zelândia, e Território da Capital da Austrália (ACT). Os Bombeiros Metropolitanos de Melbourne, também prestaram ajuda. A *Commonwealth* também contribuiu sob a forma de apoio militar.

### O que poderia ter sido feito

A elevada intensidade do fogo foi facilitada pelas cargas de combustível elevadas. Isto deveu-se a uma gestão insuficiente dos combustíveis. Na área ardida do incêndio de Kilmore havia povoamentos com 70 de idade, cuja redução de carga foi feita pela última vez durante os eventos do *Black Friday* em 1939. Para isto terá contribuído a queda em desuso da redução da carga combustível através de fogo controlado, técnica em que a Austrália foi pioneira.

Na organização e gestão do território é necessário saber quais as casas que estão efectivamente habitadas e quais as que estão desabitadas. No caso das habitações que funcionam como segunda residência, deveria haver uma informação às autoridades competentes dos períodos em que estão ocupadas. O não conhecimento destes números conduziu a uma dispersão dos meios e a cansaço acrescido por parte dos recursos humanos.

A gestão adequada dos combustíveis na interface é também muito importante, tendo-se verificado situações onde ela não foi adequada. Também deveria ser tida em conta a situação da rede viária, criando e mantendo em bom estado de conservação uma rede de caminhos de fuga eficaz. Foram vários os relatos de casas isoladas em áreas de média montanha, cujo único caminho era uma estrada de tal forma estreita que tornava impossível o cruzamento de dois veículos. A situação na Interface Urbano-Florestal teria sido muito mais eficaz do ponto das condições de segurança caso tivesse sido respeitada a lei SA39/59 de 1999. Face aos eventos esta lei foi rectificada, como será referido mais à frente.

O índice de risco de incêndio é uma ferramenta imprescindível na gestão do dispositivo de combate. Verificou-se que, em algumas situações, as cartas de risco de incêndio estrutural estavam desactualizadas, com o índice de risco subavaliado. O índice de risco meteorológico também tem uma função fundamental na gestão da supressão. O índice FDI que se previa variar entre 0 e 100, sendo o risco extremo a partir de 50, atingiu valores de 230. O uso de um parâmetro que não contempla a escala da perigosidade possível decorrente das condições meteorológicas, não permitiu a compreensão adequada da situação.

A divulgação dos riscos e emissão de alertas, não pode ficar refém de um meio de difusão que dependa da corrente eléctrica (ex. televisão ou internet). No caso concreto de Kilmore, a queda de 3 km de cabo de alta tensão por efeito do vento causou a perda

de electricidade a milhares de pessoas, inviabilizando a recepção destes alertas. A utilização de outro tipo de alertas poderia ter sido mais eficaz.

Durante os eventos, as indicações deveriam ter sido mais claras relativamente a se as pessoas deveriam abandonar as casas ou permanecer e em que condições. A política do fica e defende os teus bens ou parte cedo prevaleceu, apesar de já existirem alguns movimentos que a colocavam em causa. Deveria ter havido uma política de prevenção em que se informasse os veraneantes que se encontravam nas áreas afectadas, provenientes de centros urbanos, e que não estavam cientes do que fazer numa situação de incêndio, não conhecendo estradas de fuga ou zonas seguras.

### O que foi feito após os incêndios

A resposta humanitária a esta tragédia foi exemplar, tendo chegado rapidamente dos diferentes quadrantes da sociedade, do Governo, das empresas, das ONG e das entidades privadas. O Governo Federal disponibilizou um pacote de 10 milhões de dólares Australianos de ajuda para quem tivesse perdido a casa ou tivesse recebido tratamento hospitalar. O Governo local de Vitória concedeu imediatamente um montante de 1067 dólares Australianos por cada pessoa afectada.

Vários peditórios para recolha de fundos de apoio para as vítimas angariaram mais de 700 milhões de dólares Australianos. Um total de 75 empresas ou grupos empresariais públicos ou privados doaram milhões de dólares, bens e serviços. Vários concertos musicais em simultâneo intitulados “*Sound Relief*” (alívio pelo som), contaram com a participação gratuita de bandas como *Cold Play* ou *Kings of Leon*, tiveram a assistência de cerca de de 118000 pessoas, e angariaram um total de 8.8 milhões de dólares Australianos.

Com o objectivo de apurar todas as circunstâncias relevantes no decurso dos eventos tais como o comportamento do fogo, o comportamento humano, e a situação na Interface Urbano-Florestal, em menos de 48 h foi criada uma *task force* constituída por investigadores oriundos de vários pontos do globo.

Reconhecendo as limitações decorrentes do índice de risco meteorológico em vigor na altura dos acontecimentos, foi feita uma revisão deste, aumentando a amplitude da escala e reformulando as suas classes. Dadas as falhas apontadas na gestão da Interface Urbano-Florestal, em particular do não cumprimento da lei SA39/59 de 1999, esta foi rectificada pela lei SA39/59 de 11 de Março. Foram também inventariadas todas as casas, o número dos seus habitantes, se existem crianças, pessoas idosas ou com

limitações físicas ou psíquicas. Face à indecisão reportada quanto à decisão de abandonar ou permanecer nas habitações, foi tornado obrigatório que as agências de gestão do fogo informem as populações dos riscos a que estão expostas.

### *O que deve ser feito*

Do ponto de vista da gestão do combate é necessário elaborar planos de evacuação para as áreas propensas a incêndios. É necessário que esses planos sejam testados, fazendo simulacros que envolvam todos os elementos da protecção civil e a sociedade em geral, incluindo os veraneantes. As habitações para arrendamento, em especial de curta duração, devem conter em local específico uma planta de emergência do local que deve ser mostrada aos inquilinos durante a apresentação da casa. Devem ser feitas brochuras de informação turística ao nível do município contendo informação referente às rotas de fuga e aos locais de refúgio.

Legislar do ponto de vista social e cultural não é fácil, mas é necessário decidir quando é inevitável a evacuação, ainda que de forma compulsiva. Devem ser criados diplomas legais capazes de determinar com clareza a evacuação, ainda que forçada de determinada área.

Face à falta de energia eléctrica originada pelo incêndio de Kilmore, surge a necessidade de criar mecanismos alternativos de alerta que não dependam desta forma de energia durante os períodos de crise, como sejam o toque de sinos em igrejas, sistemas sonoros autónomos (sirenes), ou a colocação de viaturas de emergência na rua com altifalantes.

Durante o processo de alerta e eventual fuga, a tecnologia existente pode ser um excelente aliado. Por exemplo, poderiam ser enviadas mensagens escritas de alerta por parte das autoridades para os telemóveis pessoais ou criado um sistema em que a pessoa possa emitir a localização GPS do aparelho para que lhe possam prestar socorro. Outra medida poderia passar por incorporar rotas de fuga em navegadores GPS.

### *Comparação com Portugal*

À semelhança de Vitória, a floresta em Portugal é maioritariamente privada, o que condiciona a implementação e fiscalização da gestão dos combustíveis. Por outro lado, os povoamentos de eucalipto, uma espécie propensa à propagação dos incêndios florestais, aumentaram drasticamente nos últimos anos.

Apesar de Vitória ter uma área cerca de 2.6 vezes superior a Portugal, verifica-se que em território nacional, na última década, a relação entre a área ardida e a área de

território tem sido maioritariamente superior. Mesmo em termos absolutos Portugal registou com frequência áreas ardidadas mais extensas.

Na comparação entre dois combustíveis típicos em Portugal e em Vitória, a folhada de *Eucalyptus globulus* e a folhada de *Eucalyptus obliqua*, respectivamente, concluiu-se que para condições ambientais idênticas, a velocidade de propagação nos leitões de *Eucalyptus globulus* é muito superior à verificada nos leitões de *Eucalyptus obliqua*. É com alguma preocupação que se afirma que se Portugal experimentar condições meteorológicas análogas às registadas em Vitória durante o *Black Saturday*, o comportamento do fogo de superfície nas formações de eucalipto será ainda mais violento.

#### Lições para o futuro

Em resultado da tragédia resultante dos eventos que se descrevem neste trabalho, foi despertada uma consciencialização para um conjunto de situações ligadas aos incêndios florestais desde a gestão do fogo até a questões sociais, políticas, económicas, entre outras. A situação vivida em Vitória proporcionou um corpo de lições que serão tidas em conta na prevenção e supressão dos incêndios, não só pelos Australianos, mas por todo o Mundo, com destaque para os territórios mais propensos à ocorrência destes desastres.

## ***Referências bibliográficas***

- ADAI (2008) “Caracterização da Interface Urbano-Florestal em Portugal”. Tarefa 2.4c *in* Relatório final do Project Interface. CEIF/ADAI – Universidade de Coimbra. 58p.
- Almeida, M., Viegas, D.X., Miranda, A.I., Reva, V (2009), “Combustibility of Potential Firebrands”, 18th IMACS – World Congress MODSIM09 – International Congress on Modelling and Simulations , Cairns – Austrália, 13-17 July 2009; Ed. Anderson RS, RD Braddock and LTH Newham.
- Australian Building Codes Board (2009) AS 3959— 2009 *Construction of buildings in bushfire prone areas*. 11p.
- Australian Red Cross (2010) Victorian Bushfire Appeal Fund, *12 month report* 28p.
- Beck, J., Parminter, J., Alexander, M., MacDermid, E., Van Nest, T. and Beaver, A. (2005). Fire ecology and management. *Forestry handbook for British Columbia*, 5<sup>th</sup> Edition. Forestry Undergraduate Society. Faculty of Forestry, University of British Columbia, Vancouver, B.C., Canada. 485-521.
- Blanchi R., Leonard J. (2008). The influence of human behaviour on house loss. Bushfire CRC conference Adelaide.
- Bureau of Meteorology of Australia (2009a) Meteorological aspects of the 7<sup>th</sup> February 2009 Victorian fires - *an overview*. 249p.
- Bureau of Meteorology of Australia (2009b) Australian fire weather as represented by McArthur Forest Fire Danger Index and the Canadian Forest Fire Weather Index, CSIRO. 91p.
- Bureau of Meteorology of Australia (2009c) Climate change impacts on fire- weather in south-east Australia. 91p.
- Bureau of Meteorology of Australia (2009d) Special Climate Statement 17 - *The exceptional January-February 2009 heatwave in south-eastern Australia*. pp 11.
- Caballero D. (2004) Forest fires spatial planning for prevention and mitigation purposes. *In proc. Of the First International Rescue Services and Civil Protection Forum*. National Headquarters of the State Fire Service. pp 139-141. Czestochowa, Poland.
- Caballero, D., Beltrán, I., Velasco, A. (2007). Forest fires and wildland-urban interface in Spain: types and risk distribution. *In proc. of the IV International Wildfire Conference*, Seville, Spain, 13-17 May 2007.

- Canterford S. (2009) Victorian Bushfires 2009 Demographic Analysis. Australian Government. Geoscience Australia. *Interim Report*. 29p.
- Cheney N.P. (1981) Fire behaviour. In: *Fire and the Australian Biota* (Ed. A.M. Gill, R.H. Groves and I.R. Noble). Australian Academy of Science, Canberra. pp. 151-175.
- CFA (1999) A Study Of Civilian Deaths In the 1983 Ash Wednesday Bushfires Victoria, Australia. Occasional Paper N° 1.
- CFA (2007) Key Issues Identified from Operational Reviews of Major Fires in Victoria 2006/07. 97p.
- Cruz M.G. (2005) Guia fotográfico para identificação de combustíveis florestais – Região Centro de Portugal. CEIF/ADAI – Universidade de Coimbra. 38p.
- Department of Conservation, Forests and Lands Victoria, (1985) Summary of Significant Events – 1984/85 *Fire Season*. C.F.A. 2p.
- Do Ó A., Bugalho M., Silva L. (2010) Incêndios Florestais e Alterações Climáticas. WWF for a living planet. 7p.
- Domingues T.F. (2010) Protocolo de elaboração de ensaios de determinação do teor de humidade de equilíbrio de combustíveis florestais finos. CEIF/ADAI – Universidade de Coimbra. Relatório técnico interno. 18p.
- FEMA (2008) Wildland/Urban Interface Construction Home Builder's Guide to Construction in Wildfire Zones Technical Fact Sheet N°1. 8p.
- Government Agencies Fire Liaison Committee (2005) South Australian Firebreaks, Fire Access Track and Sign Standards Guidelines. Government of South Australia. 38p
- Handmer J. e Haynes K. (2008) Community Bushfire Safety, Csiro Publishing. 228p.
- INE (2007) Contas económicas da silvicultura 1986 – 2005. Destaque para a comunicação social. 12p
- Leonard J., Blanchi R., Lipkin F., Newnham G., Siggins A., Opie K., Culvenor D., Cechet B., Corby N., Thomas C., Habili N., Jakab M., Coghlan R., Lorenzin G., Campbell D., Barwick M. (2009) Building and Land use planning research after the 7<sup>th</sup> February 2009. *Victorian bushfires Preliminary findings Kilmore East – Murrindindi – Churchill – Bunyip – Maiden Gully (Bendigo)*. Bushfire CRC. Interim Report. 261p.
- Lopes A.M.G., Cruz M.G. e Viegas D.X. (1998) FireStation – An Integrated System for the Simulation of Wind Flow and Fire Spread over Complex Terrain. *II International Conference on Fire and Forest Meteorology*, Vol. I, pp. 741-754, Luso, 1998.



- McGourty J. (ed.) (2009) *Black Saturday: stories of love, loss and courage from the Victorian bushfires*. HarperCollins, Pymble, N.S.W.
- Mannix I. (2008) *Great Australian Bushfire Stories*, ABC Books.
- Matthews S. (2009) A comparison of fire danger rating systems for use in forests. *Australian Meteorological and Oceanographic Journal* 58 (1). pp 41-48.
- Melbourne Water (2009), *Bushfire Recovery- Essential Facts – Fencing*. 2p.
- Pérez-Gorostiaga P., Vega J.A., Fonturbel M.T. (2002) Capability of ignition of some forest firebrands, *Forest Fire Research & Wildland Fire Safety*, Viegas (ed).
- Ribeiro LM, Viegas DX, Lopes AG (2006) Operational Application of a Decision Support Tool in Fire Management in Portugal. CEIF/ADAI – Universidade de Coimbra. 11p.
- Rossa C.G. (2008) Protocolo para os ensaios realizados no LEIF no âmbito da formação para a ENB dada pelo CEIF. CEIF/ADAI – Universidade de Coimbra. Relatório técnico interno. 18p.
- Rossa C.G. (2009) Dynamic model for fire behaviour prediction. Tese de Doutoramento. Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Coimbra, Portugal. 118p.
- Colin P.Y., Lampin-Cabaret C., Delboulbé E., Coste N., Marcillat J., Pereira J.C., Binggeli F., Gaulier A., Botelho H., Loureiro C., Loddo G., Ditana E., Guijarro M., Hernando C., Díez C., Martínez E., Madrigal J., Veja J.A., Gorostiaga P., Alexandrin D., Dimitrakopoulos A. (2002) SALTUS program – Spot fires. Knowledge and modeling. *Forest Fire & Wildland Fire Safety*, Viegas (ed). 11p.
- Sullivan A., McCaw L. (2009) *Fire Behaviour Investigation*. Bushfire CRC. Interim Report. 60p
- Tolhurst K.G. e Chong D.M. (2009) Incorporating the effect of spotting into fire behaviour spread prediction using PHOENIX-Rapidfire. Bushfire CRC, Department of Forest and Ecosystem Science, University of Melbourne, Victoria.
- Valette J.C. (1992) *Inflammabilities of Mediterranean Species*. Course on Forest Fire Risk and Management. General Directorate for Science, Research and Development of the European Commission European School of Climatology and Natural Hazards. May 27<sup>th</sup> to June 4<sup>th</sup> 1992. Porto Carras, Halkidiki, Greece. 12p.
- VCRC (2009) *The Victorian Bushfires Royal Commission (2009) Interim Report*. Victoria, Australia. 364p.

- Victorian Bushfire Reconstruction and Recovery Authority (2010) 12 Month Report. 68p.
- Van Wagner CE (1971) Two solitudes in forest fire research. *Information Report PS-X-29*. Canadian Forest Service. 7 p.
- Victorian Police (2009) Press conference made by Deputy Commissioner Kieran Walshe. Victoria Police Media and Corporate Communications Department. 30-Mar-2009. 2p.
- Viegas D.X., Pinol J., Viegas M.T., Ogaya R. (2001). Estimating live fine fuels moisture content using meteorologically-based indices. *International Journal of Wildland Fire* 10, 223– 240.
- Viegas D.X. (2004a) On the existence of a steady-state regime for slope and wind driven fire. *International Journal of Wildland Fire*, **13** (1), 101-117.
- Viegas D.X. (2004b) Cercados pelo fogo – Os Incêndios Florestais em Portugal em 2003 e os acidentes mortais com eles relacionados. Minerva Coimbra. 274p.
- Viegas D.X. (2006) Parametric Study of an Eruptive Fire Behaviour Model. *International Journal of Wildland Fire*, **15**,pp 169-177.
- Viegas, D.X. (2007) Climate, Man and forest fires. Elements for Life. World Meteorological Organization, 148-149.
- Viegas D.X., Pita L.P. e Almeida M. (2009) Relatório da visita à Austrália para Análise dos Incêndios Florestais. CEIF/ADAI – Universidade de Coimbra. Relatório técnico interno. 72p.
- Webster J. (2000) The Complete Bushfire Safety Book. CSIRO Publishing.
- Whittaker J., Elliott G., Handmer J., Haynes K., McLennan J., Cowlshaw S. Human Behaviour & Community Safety. CRC Bushfire. *Interim Report*. 15p.