



Faculdade de Letras
Universidade do Porto

Sistema de Informação Geográfica e Susceptibilidade a Incêndio Florestal

Análise de Metodologias em Ambiente SIG

António Ricardo Rocha Ferreira

Dissertação de Mestrado

Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território
2010

FACULDADE DE LETRAS DA UNIVERSIDADE DO PORTO
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

Sistema de Informação Geográfica e Susceptibilidade a Incêndio Florestal

Análise de Metodologias em Ambiente SIG

António Ricardo Rocha Ferreira
2010

Dissertação apresentada na Faculdade de Letras da Universidade do Porto, para obtenção do grau de Mestre em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território, sob orientação do Professor Doutor Carlos Bateira.

Resumo

Nas últimas três décadas, em Portugal, registou-se um aumento médio da área ardida natural e do número médio de ocorrências, apesar dos esforços envolvidos na sua prevenção e combate.

Após as duas vagas de incêndios de 2003 e 2005, em que arderam mais de 750.000 hectares de área florestal no país, ocorreram mudanças significativas na integração dos riscos dos incêndios nos objectivos prioritários do Ordenamento do Território.

O conhecimento dos índices de perigo e de susceptibilidade a incêndios florestais é fundamental dentro de um plano de prevenção e combate. Assim, reconhece-se as cartas de susceptibilidade como uma das ferramentas utilizadas na prevenção dos incêndios florestais, permitindo identificar as áreas mais susceptíveis a ocorrer um incêndio florestal.

Tendo como finalidade a análise comparativa em ambiente SIG de cinco metodologias de cálculo da susceptibilidade a incêndio florestal (Chuvieco e Congalton, 1989; Vettorazzi e Ferraz, 1998; Virginia Department of Forestry; Instituto Geográfico Português 2004 e 2009) e respectiva validação com recurso às áreas ardidas, utilizamos como área de estudo o concelho de Paredes para aplicação e análise dessas metodologias. Aplicou-se ainda uma outra metodologia (Verde, 2008), partindo do cálculo da favorabilidade com as variáveis comuns às restantes metodologias, mas incluindo a variável áreas ardidas.

Os resultados apresentados indicam que todas as metodologias apresentam resultados diferentes, comprovando a necessidade de definir bem o modelo e as variáveis utilizadas para determinado do território, pois diferentes métodos produzem resultados diferentes.

Palavras-chave: Susceptibilidade, Incêndio Florestal, Ordenamento do Território, SIG

Abstract

In the last three decades, in Portugal, there was an average increase of natural burnt area and the average number of occurrences, despite the efforts involved in its prevention and suppression.

After the two surges of fire, 2003 and 2005, which burned over 750,000 acres of forest areas in the country, significant changes occurred in the integration of risk of fires on the priority objectives of Land Management.

Knowledge of hazard indices and the susceptibility to forest fires is essential within a plan of prevention and combat. Thus, it recognizes the maps of susceptibility as a tool used in forest fire prevention, allowing to identify the areas most likely to occur a forest fire.

View to the comparative analysis in GIS environment of five methods for calculating the susceptibility to forest fire (Chuvieco and Congalton, 1989; Vettorazzi and Ferraz, 1998, Virginia Department of Forestry, Instituto Geográfico Português 2004 and 2009) and their validation using the burnt areas, we use as a study area the municipality of Paredes for application and analysis of these methodologies. Another methodology was set up (Verde, 2008), based on the calculation of the favorability with the variables common to other methods, but including the variable burnt areas.

The results presented indicate that all methodologies have different results, demonstrating the need to define the model to apply a specific area of territory, because different methods produce different results.

Keywords: Susceptibility, Forest Fire, Land Management, GIS

Agradecimentos

Não sendo possível referir todas as pessoas que desde o começo me incentivaram e apoiaram na realização deste trabalho, gostaria de expressar a minha gratidão a todos aqueles que, desde sempre, se mostraram solícitos aos meus pedidos de ajuda e me incentivaram a não desistir, no sentido de ultrapassar todos os constrangimentos inerentes à realização da presente tese.

Ao Professor Doutor Carlos Bateira, que aceitou ser meu orientador, quero expressar toda a gratidão pela sua amizade, dedicação e disponibilidade que sempre teve para com a minha investigação. A sua orientação foi fundamental para o alcançar dos objectivos propostos.

À Professora Doutora Nicole Vareta agradeço a ajuda à concretização deste trabalho pois, não sendo minha orientadora, sempre se disponibilizou e ajudou quando o solicitei ou mesmo sem o solicitar.

À minha esposa Margarida agradeço a paciência, a compreensão e o incentivo que teve para comigo durante estes anos de estudo, e a ajuda que me deu no ultrapassar de algumas dificuldades.

À Rafaela agradeço os sorrisos e as malandrices, pois apesar de ter nascido no meio desta etapa e a ter “dificultado” pelo trabalho e atenção que me impôs, a sua existência veio fortalecer-me e modificar-me como pessoa.

Aos meus pais agradeço os valores transmitidos e a experiência de vida que me propiciaram.

À minha cunhada, Ana, pela força e tempo dispensado para me ajudar a levar a bom porto este trabalho.

A todos aqueles que directa ou indirectamente me ajudaram na elaboração deste trabalho, os meus agradecimentos.

Lista de Siglas e Abreviaturas

A.A.C. – Área Abaixo da Curva
AFN – Autoridade Florestal Nacional
BUI – Índice de Húmus
CDOS – Centro Distrital de Operações de Socorro
CMDFCI – Comissão Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios
CNOS – Centro Nacional de Operações de Socorro
DMC – Índice de Seca
ENF – Estratégia Nacional Para as Florestas
FMC – Índice de Humidade dos Combustíveis Finos
FWI – Índice Meteorológico de Risco de Incêndio
GNR/SEPNA – Serviços de Protecção da Natureza e do Ambiente da Guarda Nacional Republicana
GTF – Gabinete Técnico Florestal
IGEO – Instituto Geográfico Português
INE – Instituto Nacional de Estatística
ISI – Índice de Propagação Inicial
NUTT – Nomenclatura de Unidade Territorial
PDDFCI – Plano Distrital de Defesa da Floresta Contra Incêndios
PMDFCI – Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios
PMOT – Plano Municipal de Ordenamento do Território
PNDFCI – Plano Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios
PNPOT – Plano Nacional da Política de Ordenamento do Território
POM – Plano Operacional Municipal
PROF – Plano Regional de Ordenamento Florestal
PROT – Plano Regional de Ordenamento do Território
SIG – Sistema de Informação Geográfica
SMPC – Serviço Municipal de Protecção Civil
SNDFCI – Sistema Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios
UTC – Tempo Universal Coordenado
VDF – Virginia Department of Forestry
ZIF – Zona de Intervenção Florestal

Índice

Índice de Figuras	15
Índice de Quadros.....	17
Índice de Tabelas.....	17
Introdução Geral.....	21
Capítulo 1. Incêndios Florestais em Portugal e o Ordenamento Florestal.....	23
1.1 Incêndios Florestais em Portugal	23
1.2 Incêndios Florestais - O Ordenamento do Território.....	32
1.2.1 Integração dos Incêndios Florestais nas Estratégias do Ordenamento do Território	32
1.2.2 Plano Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios	33
1.2.3 Sistema Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios	36
Capítulo 2. Índices de Cálculo de Risco de Incêndio Florestal em Portugal	39
2.1 Índices de Risco de Incêndio Florestal	39
2.2 Índices Meteorológicos de Risco de Incêndio Florestal em Portugal	41
2.3 Índice Estrutural de Risco de Incêndio Florestal em Portugal	46
2.4 Cartografia de Risco de Incêndio Florestal na Legislação Portuguesa	48
Capítulo 3. Modelo Conceptual	51
Capítulo 4. Opções Metodológicas.....	55
4.1 Caracterização da Área de Estudo – O Concelho de Paredes	55
4.2 Metodologia	56
4.2.1 Metodologia de Chuvieco e Congalton (1989)	60
4.2.2 Metodologia do Instituto Geográfico Português de 2004	62
4.2.3 Metodologia do Instituto Geográfico Português de 2009	64
4.2.4 Metodologia de Vettorazzi e Ferraz (1998)	65
4.2.5 Metodologia do Virginia Department of Forestry	66
Capítulo 5. Análise e Discussão dos Resultados.....	69
5.1. Validação das Metodologias Selecionadas	69
5.1.1. Validação da Metodologia de Vettorazzi e Ferraz (1998)	69
5.1.2. Validação da Metodologia do Virginia Department of Forestry	71
5.1.3. Validação da Metodologia de Chuvieco e Congalton	72

*Sistema de Informação Geográfica e Susceptibilidade a Incêndio Florestal:
Análise de Metodologias em Ambiente SIG*

5.1.4. Validação da Metodologia do Instituto Geográfico Português (2009)	74
5.1.5. Validação da Metodologia do Instituto Geográfico Português (2004)	75
5.2 A Construção da Carta de Susceptibilidade	77
5.2.1 Variáveis com o “Grupo A” incluído no modelo	77
5.2.2 Variáveis com o “Grupo B” incluído no modelo	84
5.3 Discussão dos Resultados	91
5.3.1 Os Resultados das Metodologias Seleccionadas	91
5.3.2 Os Resultados da Carta de Susceptibilidade a Incêndios Florestais.....	93
Capítulo 6. Considerações Finais	99
Bibliografia	105
Referência Legislativas	109

Índice de Figuras

Figura 1 – Número de ocorrências para o período de 1980 a 2006.....	24
Figura 2 – Área ardida para o período de 1980 a 2006	24
Figura 3 – Número médio anual de ocorrências por distrito para o período de 1980 a 2006	27
Figura 4 – Área ardida média anual por distrito, para o período de 1980 a 2006	28
Figura 5 - Quadro síntese de cálculo do Fire Wether Index (FWI).....	45
Figura 6 - Mapa da zonagem do continente segundo a probabilidade de ocorrência de incêndio	49
Figura 7 - Cartografia de enquadramento geográfico do concelho de Paredes ..	55
Figura 8 - Metodologia de cálculo de risco de incêndio segundo Chuvieco e Congalton (1989)	61
Figura 9 - Metodologia de cálculo de risco de incêndio segundo o Instituto Geográfico Português (2004)	63
Figura 10 - Metodologia de cálculo de risco de incêndio segundo o Instituto Geográfico Português (2009)	64
Figura 11 – Metodologia de cálculo de risco de incêndio segundo Vettorazzi e Ferraz	65
Figura 12 – Metodologia de cálculo de risco de incêndio segundo o Virginia Department of Forestry	67
Figura 13 – Curva de predição da metodologia de Vettorazzi e Ferraz	70
Figura 14 – Susceptibilidade a incêndios florestais, no concelho de Paredes, segundo o método de Vettorazzi e Ferraz (1998)	70
Figura 15 – Curva de predição da metodologia do Virginia Department of Forestry	71
Figura 16 – Susceptibilidade a incêndios florestais, no concelho de Paredes, segundo o método do Virginia Department of Forestry	72
Figura 17 – Curva de predição da metodologia de Chuvieco e Congalton	73
Figura 18 - Susceptibilidade a incêndios florestais, no concelho de Paredes, segundo o método de Chuvieco e Congalton (1989)	73
Figura 19 – Curva de predição da metodologia do Instituto Geográfico Português (2009)	74

Figura 20 - Susceptibilidade a incêndios florestais, no concelho de Paredes, segundo o método do Instituto Geográfico Português (2009).....	75
Figura 21 - Curva de predição da metodologia do Instituto Geográfico Português (2004)	76
Figura 22 - Susceptibilidade a incêndios florestais, no concelho de Paredes, segundo o método do Instituto Geográfico Português (2004).....	76
Figura 23 - Curvas de sucesso e predição para a combinação de variáveis: ocupação do solo e histórico Grupo A.....	78
Figura 24 - Curvas de sucesso e predição para a combinação de variáveis: ocupação do solo, histórico Grupo A e declives	79
Figura 25 – Curvas de sucesso e predição para a combinação de variáveis: ocupação do solo, histórico Grupo A, declives e exposição solar.....	80
Figura 26 – Curvas de sucesso e predição para a combinação de variáveis: ocupação do solo, histórico Grupo A, declives, exposição solar e visibilidades por posto de vigia	81
Figura 27 – Curvas de sucesso e predição para a combinação de variáveis: ocupação do solo, histórico Grupo A, declives, exposição solar, visibilidades por posto de vigia e população.....	82
Figura 28 – Curvas de sucesso e predição para a combinação de variáveis: ocupação do solo, histórico Grupo A, declives, exposição solar, visibilidades por posto de vigia, população e rede viária.	83
Figura 29 – Curvas de sucesso e predição para a combinação de variáveis: ocupação do solo e histórico Grupo B	85
Figura 30 – Curvas de sucesso e predição para a combinação de variáveis: ocupação do solo, histórico Grupo B e declives.....	86
Figura 31 – Curvas de sucesso e predição para a combinação de variáveis: ocupação do solo, histórico Grupo B, declives e exposição	87
Figura 32 – Curvas de sucesso e predição para a combinação de variáveis: ocupação do solo, histórico Grupo B, declives, exposição e visibilidades.	87
Figura 33 – Curvas de sucesso e predição para a combinação de variáveis: ocupação do solo, histórico Grupo B, declives, exposição, visibilidades e população. .	88

Figura 34 – Curvas de sucesso e predição para a combinação de variáveis: ocupação do solo, histórico Grupo B, declives, exposição, visibilidades, população e rede viária.	89
Figura 35 – Curvas de predição para as quatro metodologias comparadas	92
Figura 36 - Susceptibilidade a incêndios florestais, no concelho de Paredes	96

Índice de Quadros

Quadro 1 – Número de ocorrências e área ardida anual entre 1999 e 2009	25
Quadro 2 – Número de incêndios florestais e área ardida, por distrito, entre 1 de Janeiro e 31 de Dezembro de 2009	26

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Taxas de predição da metodologia de Vettorazzi e Ferraz	70
Tabela 2 – Taxas de predição da metodologia da Virginia Department of Forestry	71
Tabela 3 – Taxas de predição da metodologia de Chuvieco e Congalton	72
Tabela 4 – Taxas de predição da metodologia do Instituto Geográfico Português de 2009	74
Tabela 5 – Taxas de predição da metodologia do Instituto Geográfico Português de 2004	76
Tabela 6 – Taxas de sucesso e predição para a combinação de variáveis: ocupação do solo e histórico Grupo A	78
Tabela 7 – Taxas de sucesso e predição para a combinação de variáveis: ocupação do solo, histórico Grupo A e declives	80
Tabela 8 – Taxas de sucesso e predição para a combinação de variáveis: ocupação do solo, histórico Grupo A, declives e exposição solar	80
Tabela 9 – Taxas de sucesso e predição para a combinação de variáveis: ocupação do solo, histórico Grupo A, declives, exposição solar e visibilidades por posto de vigia	81

Tabela 10 - Taxas de sucesso e predição para a combinação de variáveis: ocupação do solo, histórico Grupo A, declives, exposição solar, visibilidades por posto de vigia e população.....	82
Tabela 11 - Taxas de sucesso e predição para a combinação de variáveis: ocupação do solo, histórico Grupo A, declives, exposição solar, visibilidades por posto de vigia, população e rede viária.	84
Tabela 12 – Taxas de sucesso e predição para a combinação de variáveis: ocupação do solo e histórico Grupo B	84
Tabela 13 – Taxas de sucesso e predição para a combinação de variáveis: ocupação do solo, histórico Grupo B e declives.....	85
Tabela 14 - Taxas de sucesso e predição para a combinação de variáveis: ocupação do solo, histórico Grupo B, declives e exposição	87
Tabela 15 - Taxas de sucesso e predição para a combinação de variáveis: ocupação do solo, histórico Grupo B, declives, exposição e visibilidades.	88
Tabela 16 - Taxas de sucesso e predição para a combinação de variáveis: ocupação do solo, histórico Grupo B, declives, exposição, visibilidades e população. .	89
Tabela 17 - Taxas de sucesso e predição para a combinação de variáveis: ocupação do solo, histórico Grupo B, declives, exposição, visibilidades, população e rede viária.	90
Tabela 18 – Área Abaixo da Curvas verificada para as cinco metodologias estudadas	91
Tabela 19 – Taxas de predição das cinco metodologias estudadas, a negrito os valores mais elevados.....	92
Tabela 20 – Taxas de sucesso para as combinações de variáveis onde o histórico Grupo A está incluído no modelo. A negrito os valores mais elevados.	94
Tabela 21 - Taxas de predição para as combinações de variáveis onde o histórico Grupo A está incluído no modelo. A negrito os valores mais elevados	94
Tabela 22 - – Taxas de sucesso para as combinações de variáveis onde o histórico Grupo B está incluído no modelo. A negrito os valores mais elevados.	94
Tabela 23 - Taxas de predição para as combinações de variáveis onde o histórico Grupo B está incluído no modelo. A negrito os valores mais elevados.....	95
Tabela 24 – Área Abaixo da Curva para as combinações estudadas que incluem a variável histórico Grupo A	95

Tabela 25 - Área Abaixo da Curva para as combinações estudadas que incluem a variável histórico Grupo B	95
Tabela 26 – Taxas de Predição da metodologia do Instituto Geográfico Português (2004) e da combinação de variáveis CLC/H Grupo B. A negrito os valores mais elevados.....	96
Tabela 27 – Área Abaixo da Curva para a metodologia do Instituto Geográfico Português de 2004 e para a combinação de variáveis CLC/H Grupo B.	97

Introdução Geral

Nas últimas três décadas, em Portugal, registou-se um aumento médio da área ardida natural e do número médio de ocorrências, apesar de todos os esforços envolvidos na sua prevenção e combate. Assim, nos últimos 30 anos, a floresta portuguesa aparece quase sempre associada aos incêndios florestais pelas catástrofes naturais, humanas e materiais que originam todos os anos. As suas consequências, com efeitos nocivos globais (poluição, emissão de gases com efeito de estufa, diminuição da absorção de carbono), provocam também importantes efeitos locais, como degradação e erosão do solo, perda de vidas, biodiversidade, infra-estruturas, além de graves prejuízos à economia nacional.

O tipo de clima de características mediterrâneas, onde a precipitação elevada no Inverno, que propicia o crescimento de vegetação, aliada à reduzida precipitação e altas temperaturas no Verão (secura estival), origina uma diminuição da humidade do coberto vegetal, aumentando consequentemente o seu grau de inflamabilidade e contribuindo, em grande parte, para o problema que são os incêndios florestais.

O clima não é o único responsável pelas constantes ocorrências, já que a maioria destas tem origem antrópica, seja por dolo ou por negligência, existindo também um problema de sensibilização da população cujo contributo para debelar ou minimizar este problema é essencial. Os incêndios florestais são sem dúvida o maior problema da floresta portuguesa.

A gestão e avaliação do risco de incêndio é fundamental para a prevenção de incêndios pois permite organizar da melhor forma a gestão de meios e medidas de combate. É impossível controlar a natureza, mas é possível cartografar as áreas de risco de incêndio florestal e, assim, minimizar a frequência do fogo (Erten, Kurgun *et al.*, 2002).

A avaliação da susceptibilidade de incêndio florestal é actualmente realizada com livre arbítrio por instituições e entidades que escolhem a metodologia que lhe parece mais adequada à prossecução desse objectivo. Assim, foram delineadas algumas questões de partida para este estudo:

- Qualquer metodologia de cálculo de susceptibilidade de incêndio florestal serve para aplicar a qualquer área do território?

- Quais as semelhanças e ou diferenças entre os resultados das cartas de susceptibilidade de diferentes metodologias para determinada área do território?
- De que forma é efectuada a validação desses resultados?

O objectivo desta dissertação é avaliar e validar comparativamente algumas metodologias de cálculo de susceptibilidade de incêndio florestal. São aplicadas no total cinco metodologias, utilizando as mesmas variáveis. As duas metodologias mais utilizadas a nível nacional do Instituto Geográfico Português – a que foi utilizada a partir de 2004 e a que se lhe seguiu em 2009, a metodologia que esteve na base das do Instituto Geográfico Português, de Chuvieco e Congalton (1989) e duas metodologias criadas no continente americano – uma do Brasil (Vettorazzi e Ferraz, 1998) e outra dos Estados Unidos, mais propriamente do estado de Virginia e que é utilizada actualmente pelo Virginia Department of Forestry. A validação destas metodologias com recurso às áreas ardidas, como sugerido por Julião, Nery *et al*, (2009), através do cálculo das curvas de sucesso e predição e respectivo cálculo da Área Abaixo da Curva (A.A.C.), contribuiu para responder às perguntas apresentadas anteriormente.

No decorrer do trabalho empírico, surgiu a necessidade de obter resultados a partir da combinação de diferentes variáveis. Deste modo, recorreu-se à metodologia de João Verde (2008), para elaborar uma carta de susceptibilidade de incêndio florestal, utilizando as variáveis comuns às metodologias utilizadas e acrescentando a variável *áreas ardidas* sob a forma de probabilidade. Esta carta é posteriormente validada com recurso às áreas ardidas através do cálculo das curvas de sucesso e predição e respectivo cálculo da A.A.C., como nas restantes metodologias trabalhadas.

A produção de cartografia de susceptibilidade está, hoje em dia, simplificada pelo advento dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Como referem Chuvieco e Congalton (1989), a facilidade de introdução de dados, a rapidez no processamento e o dinamismo no cruzamento da informação obtidos com o SIG tornam esta técnica indispensável em estudos deste tipo. Assim, para a construção das cartas de susceptibilidade da área de estudo – concelho de Paredes – será utilizado o software SIG da ESRI, o ArcGis 9.3.

Capítulo 1. Incêndios Florestais em Portugal e o Ordenamento Florestal

1.1 Incêndios Florestais em Portugal

As regiões mediterrâneas são comumente afectadas por incêndios florestais. Portugal, que detém uma imensa área florestal, é todos os anos afectado por grandes incêndios florestais suscitando uma preocupação constante pelas perdas humanas, ambientais e socioeconómicas que originam.

O fogo é um componente natural de muitos ecossistemas, sendo dessa forma um elemento necessário na complexa cadeia para a manutenção do seu delicado equilíbrio (Sande e Rego, 2007). Contudo, as proporções que determinados incêndios atingem e respectivos impactes, levam a que possam ser considerados como catástrofes naturais.

As condições meteorológicas do clima mediterrâneo caracterizáveis pelos Verões quentes e secos, que reduzem a humidade das plantas aumentando a inflamabilidade das mesmas, propiciam a ignição e rápida propagação dos incêndios florestais. Como Lourenço (1992: 115) refere,

“Ano após ano sempre que se aproxima mais uma época de fogos, voltamos a dar-nos conta que as matas continuam a não estar preparadas para enfrentar o terrível flagelo dos incêndios florestais. Resta sempre a esperança de que o verão seja fresco e de preferência, algo chuvoso. Contudo no nosso tipo de clima, com características mediterrâneas, raramente se verificam aquelas condições, o risco é constante, variando entre valores altos e muito altos.”

Segundo o autor, as medidas preventivas de defesa da floresta continuam por aplicar, restando a expectativa de que o Verão seja fresco e húmido, o que se verifica difícil de acontecer no nosso tipo de clima de características mediterrâneas, onde o risco de incêndio é constante, variando muitas vezes entre valores altos e muito altos.

Como consequência, verifica-se todos os anos em Portugal a deflagração de numerosos e grandes incêndios florestais. Através da análise das figuras 1 e 2 torna-se evidente que os incêndios florestais aumentaram drasticamente em número de ocorrências e áreas ardidas entre 1980 e 2006. Desde as 2349 ocorrências com 44251 hectares de área ardida em 1980 até às 35697 ocorrências e 338262 hectares de área ardida em 2005, verificou-se um aumento de cerca de 15 vezes mais ocorrências e 9

vezes mais área ardida, apesar de se terem tomado medidas para inverter esta situação, com prevenção e combate, legislação e sensibilização, nada parece ter dado resultado para debelar este crescente problema.

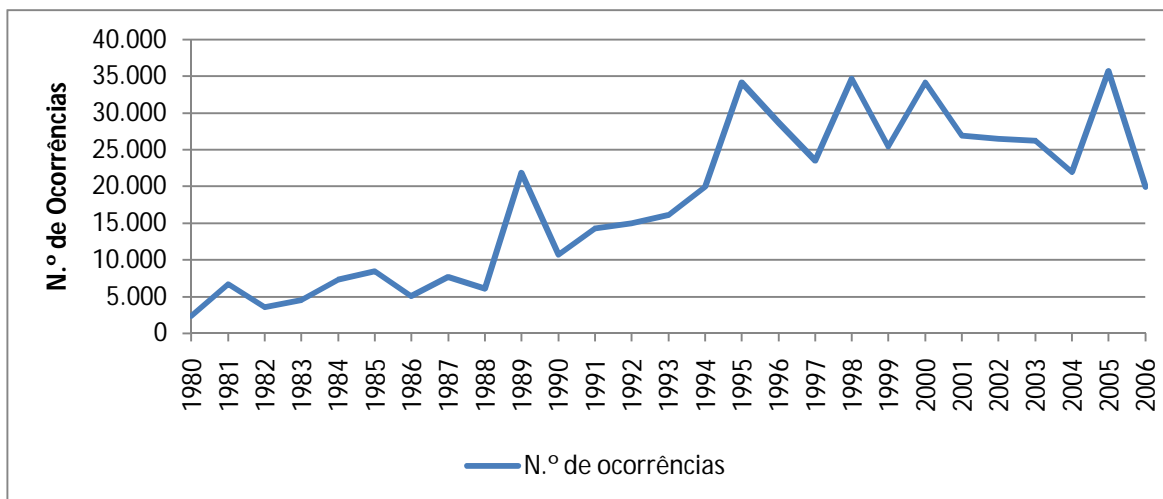


Figura 1 – Número de ocorrências para o período de 1980 a 2006¹

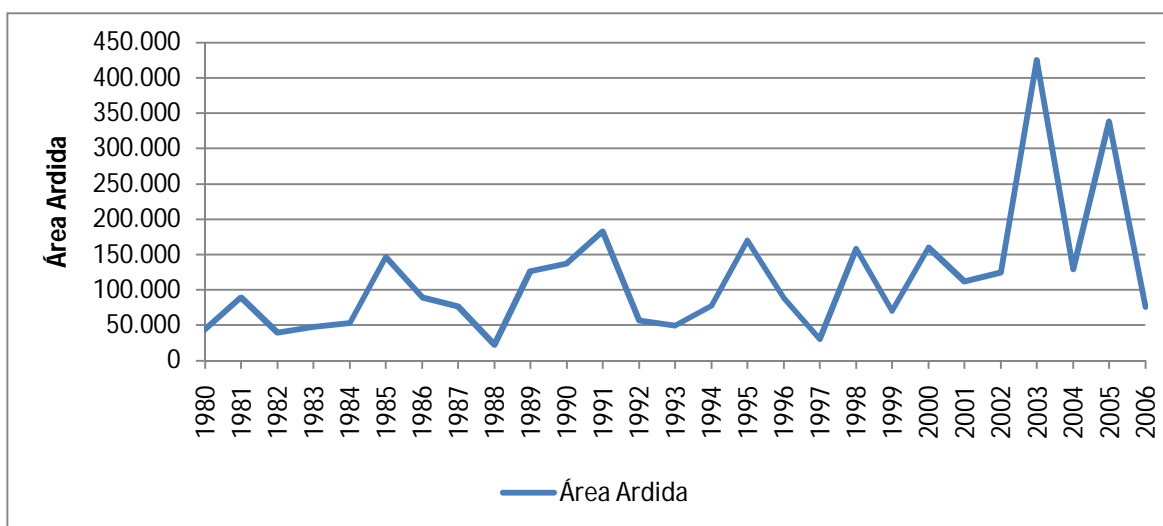


Figura 2 – Área ardida para o período de 1980 a 2006²

Além desta grande diferença, entre os anos 1980 e 2005 pode igualmente observar-se que a área ardida durante este intervalo foi variando quase sempre entre os

¹ Fonte: Autoridade Florestal Nacional. Disponível em: <http://www.afn.min-agricultura.pt/portal/dudf/estatisticas/totais-por-distrito-1980-2006> (Acedido em 18-09-2010)

² Fonte: Autoridade Florestal Nacional. Disponível em: <http://www.afn.min-agricultura.pt/portal/dudf/estatisticas/totais-por-distrito-1980-2006> (Acedido em 18-09-2010)

40.000 e os 200.000 ha, tendo nos anos de 2003 e 2005 disparado para valores na ordem dos 400.000 e 300.000 ha, respectivamente. Em relação ao número de ocorrências, este tem vindo a aumentar significativamente desde o início da década de noventa do século XX, estabilizando em valores elevados no fim dessa década e com uma tendência de descida no início do actual século, contrariada pelo ano de 2005, ao qual cabe o demérito de ser o ano com maior número de incêndios florestais de sempre. Note-se ainda que no ano de 2003, em que a área ardida foi a mais elevada de sempre, o número de ocorrências (cerca de 25.000) não foi dos mais elevados, quando comparado com anos como os de 1995, 1998 e 2000, cada um com cerca de 35.000 ocorrências, mas com menos de metade da área ardida do ano de 2003.

Numa análise dos números mais recentes, relativamente aos últimos 10 anos em Portugal, verifica-se que continuam a existir um número de ocorrências e área ardida elevadas. A Autoridade Florestal Nacional (AFN), no seu relatório de 2009 (AFN 2010a), mostra os números relativos aos incêndios florestais em Portugal, onde se verifica entre 1999 e 2008, uma média de 24.937 ocorrências e 148.452 hectares de área ardida (Quadro 1), valores muito elevados para atingir, em 2012, uma das metas do Plano Nacional de Defesa da Floresta contra Incêndios (PNDFCI), o “de reduzirmos a área ardida a menos de 100 mil hectares/ano” (RCM n.º 65/2006 de 26 de Maio de 2006, p. 3513).

Anos	Ocorrências			Área ardida (hectares)		
	Incêndios Florestais	Fogachos (Área <1ha)	Total	Povoamentos	Matos	Total
1999	5.782	19.695	25.477	31.052	39.561	70.613
2000	8.802	25.307	34.109	68.646	90.958	159.604
2001	6.869	20.073	26.942	45.609	66.557	112.166
2002	6.492	20.000	26.492	65.164	59.245	124.409
2003	5.309	20.886	26.195	286.055	139.671	425.726
2004	5.020	16.950	21.970	56.109	73.430	129.539
2005	8.179	27.519	35.698	213.517	124.745	338.262
2006	3.455	16.466	19.921	36.320	39.189	75.509
2007	3.566	15.166	18.732	9.638	21.812	31.450
2008	2.557	11.275	13.832	5.463	11.781	17.244
2009	5.776	20.563	26.339	24.094	61.923	86.016
Média 1999-2008	5.603	19.334	24.937	81.757	66.695	148.452

Quadro 1 – Número de ocorrências e área ardida anual entre 1999 e 2009³

³ Fonte: Autoridade Florestal Nacional 2010

Os números são ainda mais elucidativos se tivermos em consideração os últimos 30 anos onde, segundo a Autoridade Florestal Nacional, arderam mais de 3 milhões de hectares, o equivalente a quase toda a área ocupada por povoamentos florestais, que, como indicado na apresentação do Relatório Final do 5.º Inventário Florestal Nacional 2005/2006, é de 3.175.348 ha (AFN, 2010b).

A análise dos incêndios florestais pode-se efectuar em duas vertentes, através da análise das ocorrências ou da área ardida. As ocorrências não estão directamente relacionadas com a maior ou menor área ardida, já que, segundo a AFN (2010a), os distritos com maior número de ocorrências em 2009, Porto e Braga, com 6.422 e 2.752 ocorrências respectivamente, não são os que apresentam a maior área ardida, apresentando valores de 8.723 hectares e de 10.605 hectares respectivamente (Quadro 2). Em contrapartida, o distrito da Guarda e o de Vila Real apresentam valores superiores de quase 10 vezes para a área ardida (17.650 hectares e 17.118 hectares respectivamente), mas com um número de ocorrências inferior – 1.069 na Guarda e 2.554 em Vila Real. As ocorrências podem mesmo não resultar num problema se suprimidas rapidamente (AFN, 2010a).

Distrito	Ocorrências			Reac.	Área ardida (hectares)		
	Incêndios Florestais	Fogachos			Total		
		(Área <1ha)	Total		Povoamentos	Matos	Florestal
Aveiro	88	2.059	2.147	261	629	297	926
Beja	20	62	82	0	237	645	882
Braga	786	2.256	3.042	244	3.004	8.649	11.652
Bragança	458	572	1.030	13	1.236	6.874	8.110
Castelo Branco	93	350	443	6	254	312	566
Coimbra	63	584	647	2	284	75	358
Évora	12	50	62	1	38	4	41
Faro	51	554	605	0	379	1.361	1.740
Guarda	512	612	1.124	44	6.453	12.082	18.535
Leiria	41	478	519	18	135	262	396
Lisboa	188	1.081	1.269	1	179	470	648
Portalegre	6	80	86	0	9	29	37
Porto	871	5.946	6.817	34	3.689	5.374	9.062
Santarém	58	407	465	0	103	65	168
Setúbal	43	699	742	2	249	93	341
Viana do Castelo	512	1.424	1.936	357	1.088	4.767	5.854
Vila Real	1.231	1.443	2.674	46	4.490	13.525	18.015
Viseu	743	1.906	2.649	227	1.638	7.040	8.678
TOTAL	5.776	20.563	26.339	1.256	24.094	61.923	86.016

Quadro 2 – Número de incêndios florestais e área ardida, por distrito, entre 1 de Janeiro e 31 de Dezembro de 2009⁴

⁴ Fonte: Autoridade Florestal Nacional 2010

A área ardida, por sua vez, tem evoluído desde 1980 de forma crescente. Os valores dos últimos 10 anos são a expressão disso mesmo. Apesar de nos últimos quatro anos se ter verificado que a área ardida cumpre o objectivo definido no PNDFCI, ou seja, situa-se abaixo dos 100.000 hectares, consequência de Verões mais frescos do que de melhorias no planeamento florestal. Por outro lado, no período compreendido entre 2000 e 2005, a área ardida apresenta valores muito elevados, como nos lembram as catástrofes ocorridas em 2003, onde arderam mais de 425 mil hectares, e em 2005, onde arderam mais de 338 mil hectares, números que, apesar de elevados não são uma característica recente dos incêndios florestais, já que em 1985 arderam quase 147 mil hectares, em 1991 arderam mais de 180 mil hectares e em 1995 perto de 170 mil hectares, causando danos ambientais e socioeconómicos avultados.

Confirmando o senso comum, os meses de Verão concentram a maioria dos incêndios florestais. Como referem Damasceno e Silva (2007), é no período de Junho a Setembro que ocorrem cerca de 80% dos incêndios, quando no resto do ano é interessante notar que é o mês de Março que apresenta uma ligeira subida no número de ocorrências.

A leitura da figura 3 permite concluir que os distritos com maior número médio anual de ocorrências são Porto, Braga e Lisboa, o que não significa, como se pode ver na figura 4, que sejam os que têm maior média anual de área ardida.

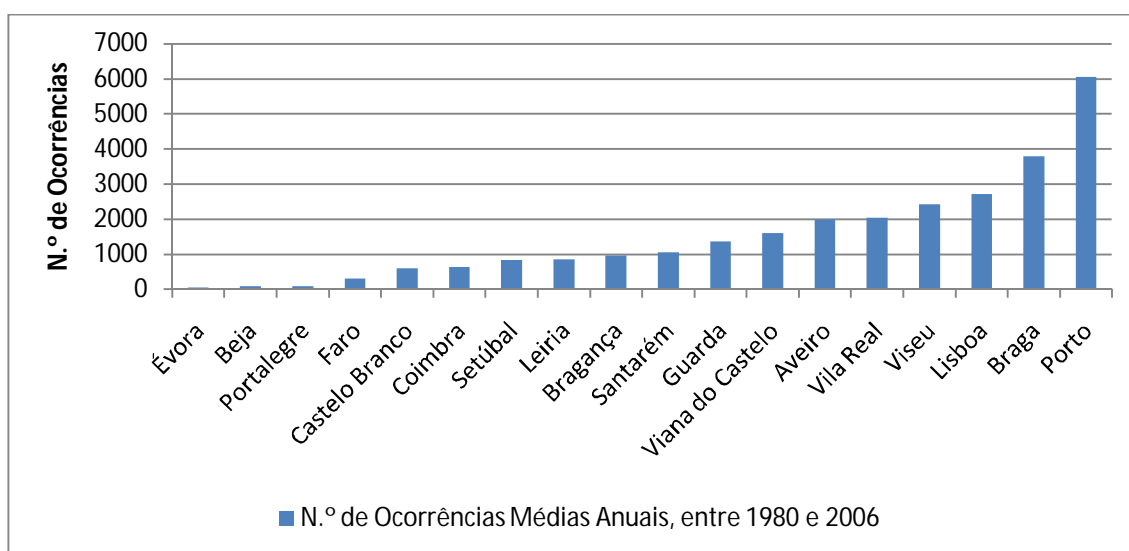


Figura 3 – Número médio anual de ocorrências por distrito para o período de 1980 a 2006⁵

⁵ Fonte: Autoridade Florestal Nacional. Disponível em: <http://www.afn.min-agricultura.pt/portal/dudf/estatisticas/totais-por-distrito-1980-2006m> (Acedido em 18-09-2010)

É interessante verificar que o distrito da Guarda é o que tem a mais alta média anual de área ardida. Contudo, em termos de ocorrências, é o oitavo mais elevado com um número médio anual de incêndios correspondente a cerca de 25% do verificado no distrito do Porto. Por sua vez, este apresenta uma média anual de área ardida de cerca de 35% do valor registado para o distrito da Guarda. Castelo Branco, Viseu e Vila Real são outros distritos com uma elevada média anual de área ardida para este período.

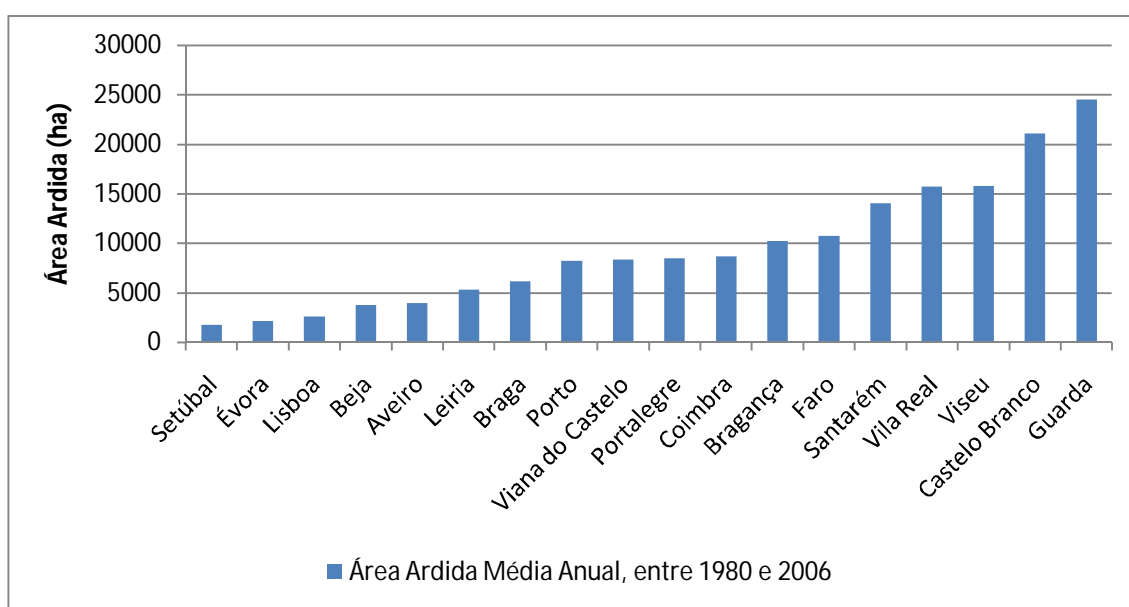


Figura 4 – Área ardida média anual por distrito, para o período de 1980 a 2006⁶

A investigação das causas dos incêndios florestais é competência do Serviço de Protecção na Natureza e do Ambiente da Guarda Nacional Republicana (GNR/SEPNA). No entanto, a Lei Orgânica da Polícia Judiciária (alínea c) do n.º 2 do artigo 5.º do Decreto-Lei 275-A/2000, de 09 de Novembro), estipula que é da competência reservada da Polícia Judiciária o crime de incêndio desde que, em qualquer caso, o facto seja imputável a título de dolo (intenção ou voluntariedade de um facto criminoso ou infracção). Assim sendo, quem inicia a investigação das causas dos incêndios é a GNR/SEPNA que as classifica como dolosas ou não dolosas. No caso das primeiras, a investigação passa para a alçada da Polícia Judiciária, enquanto as segundas continuam a ser investigadas pela GNR/SEPNA.

⁶ Fonte: Autoridade Florestal Nacional. Disponível em: <http://www.afn.min-agricultura.pt/portal/dudf/estatisticas/totais-por-distrito-1980-2006> (Acedido em 18-09-2010)

Durante o ano de 2009, de todas as ocorrências, foram investigadas pela Guarda Nacional Republicana – Serviço de Protecção da Natureza (GNR/SEPNA) 46% do total de ocorrências, ficando por identificar em 32% dos casos a causa de ignição. Do conjunto de investigações com resultados conclusivos prevalecem os comportamentos negligentes associados ao uso do fogo (36% das causas apuradas), onde as queimadas contribuem em maior parte. O incendiarismo é a segunda causa de ignição na investigação concluída pela GNR/SEPNA (AFN, 2010a).

Para fazer face ao constante aumento da área ardida, a resposta das autoridades competentes tem sido sempre a mesma, o reforço do investimento em acções de combate e a aquisição de mais meios (Serrano e Martins, 2002. cit. in Aranha, 2004), quando sabemos hoje em dia que a prevenção é mais eficaz. De que vale a crescente disponibilidade financeira para combater os incêndios florestais se a prevenção é mais económica e produz melhores resultados. Se a prevenção é posta de parte, é porque se enfatiza a mediatização do aumento do investimento para combater os incêndios florestais. De facto, as pequenas acções preventivas sem a respectiva mediatização não trazem votos no momento das eleições. Como diz Aranha (2004), é necessário conhecer as características do terreno e da rede viária pois, de outra forma, os recursos disponíveis ficam muitas vezes impossibilitados de dar o seu contributo ao combate dos incêndios, já que

“Todos os anos ardem milhares de hectares quer de floresta quer de matos, e todos os anos se levanta o problema do combate aos fogos. Efectivamente, todos os anos se assiste a dotação de mais verbas e ao reforço de meios de combate, quer terrestres quer aéreos. (...) sem uma boa coordenação e sem um bom conhecimento das características do terreno (topografia e vegetação) e da rede viária (tipo e estado), a utilização dos recursos fica muitas vezes aquém das suas reais potencialidades.” (Aranha, 2004: 2)

Foram muitos os avanços nos recursos disponíveis para combate, porém, na actualidade, a sua eficiência depende de um planeamento estratégico eficaz de modo a utilizar esses meios da melhor forma possível.

A prevenção dos incêndios florestais, como referem Guiomar, Fernandes *et al.* (2007), deve ter dois objectivos essenciais: a diminuição das ignições e a redução da área ardida e, para os cumprir, é necessário delinear objectivos de curto, médio e longo prazo. A curto prazo, a prevenção efectua-se ao nível da vegetação, através da criação de faixas de gestão de combustível e de parcelas de gestão de combustível. A médio prazo, é necessária a compartimentação das áreas florestais, efectuada por uma rede de

caminhos florestais com ligações rodoviárias às grandes manchas florestais, com a remoção total da vegetação e com a substituição da cobertura vegetal mais susceptível ao fogo por uma mais resistente (sobreiros, carvalhos, castanheiros). No essencial, aconselha-se a intercalar áreas de floresta de resinosas e eucaliptos (muito susceptíveis ao fogo) com áreas de florestas de folhosas (menos susceptíveis ao fogo), de forma a garantir a sustentabilidade da floresta a longo prazo.

Como refere Fernandes (2007), controlar o combustível florestal significa aumentar as oportunidades e opções disponíveis para o controlo de um incêndio. A remoção do combustível ou a alteração da sua estrutura modifica o tipo de fogo e reduz a sua intensidade, possibilitando o ataque directo. A determinação das áreas de maior risco, através de cartas de risco de incêndio florestal, permitem também melhorar a prevenção pois possibilitam estabelecer a localização de brigadas móveis de primeira intervenção em áreas de maior risco. A mesma opinião é-nos transmitida por Vettorazzi e Ferraz (1998), sendo que as informações oferecidas pelos mapas de risco permitem tomar várias medidas para reduzir a ocorrências de incêndios, como por exemplo: maior vigilância nas áreas de risco, construção de aceiros e localização de recursos de combate em pontos estratégicos.

A limpeza regular de matos e floresta nas imediações das populações, como indica o PNDFCI (Resolução do Conselho de Ministros 65/2006), é essencial na prevenção e diminuição do risco de incêndio florestal de atingir as populações. Ao mesmo tempo, é também, necessário elaborar planos para possíveis evacuações das populações. Nestes últimos anos, têm sido numerosas as situações de evacuações de povoações em consequência de fogos florestais.

Os incêndios florestais geralmente só se desenvolvem quando existem condições meteorológicas favoráveis que agravam a falta de medidas preventivas na generalidade das matas e florestas portuguesas.

Como diz Lourenço (1992), em Portugal, foi essencialmente após o 25 de Abril de 1974 que os incêndios florestais se passaram a designar como calamidade nacional, como consequência das mudanças socioeconómicas que vinham a ser induzidas no país. Assim, *“As profundas modificações que se introduziram na estrutura socioeconómica portuguesa contribuíram, directa ou indirectamente para um significativo aumento, tanto no número como da dimensão dos incêndios florestais.”* (ibidem: 126).

As alterações dos padrões de utilização do uso do solo foram factores determinantes na evolução dos incêndios florestais ao longo dos anos. O despovoamento originou o aumento das áreas ardidas devido à menor capacidade informal de detecção e participação no combate; o êxodo rural disponibilizou áreas agrícolas para uso florestal ou conduziu ao abandono proporcionando o aparecimento de matos, originando manchas de combustível mais contínuas; o abandono da gestão florestal tradicional (roça de matos, cortes selectivos, resinagem) e a diminuição da pastorícia conduziram à acumulação de biomassa e à consequente maior disponibilidade de combustíveis para arderem (Muñoz, 2000; Lourenço, 1992).

Neste sentido, Chuvieco e Aguado (2010) afirmam que as recentes mudanças no uso do solo, nos países desenvolvidos, com o aumento do abandono das práticas rurais tradicionais, implicaram o aumento de acumulação de combustível que levou a incêndios mais severos e intensos.

“Recent changes in land use management in developed countries, with an increasing abandonment of traditional rural practices have implied a remarkable increase of fuel accumulation, which lead to more severe and intense fires, and consequently to higher negative impacts on soils and vegetation resilience.” (Chuvieco, Aguado *et al.*, 2010: 46).

Em Portugal, um país onde os espaços florestais ocupam mais de um terço do território, é necessário minimizar o risco de incêndio florestal e, como relatam Verde e Zêzere (2007), para tal é fundamental o conhecimento do território identificando as áreas de risco e preconizando medidas preventivas para essas mesmas áreas de maior risco, ou seja, *“Não se pode gerir correctamente aquilo que se desconhece, e para se fazer uma correcta gestão de risco é necessário conhecer aquilo que está sujeito ao risco e as características dos territórios que contribuem para a existência de um risco.”* (*ibidem*: 5).

Ao contrário do que poderá transparecer, é na prevenção que se deve combater os incêndios, planeando cuidadosamente os espaços florestais para que, quando surjam os incêndios, eles sejam mais facilmente combatidos. De acordo com Lourenço (1992), *“O prévio conhecimento do risco de incêndio deverá constituir a base da planificação da maior parte das acções de prevenção e combate a incêndios florestais.”* (*ibidem*: 135), assim, o antecipado conhecimento do risco de incêndio é indispensável, de modo a ser tido em conta tanto na gestão e organização de equipas de detecção e de combate ao fogo, como no próprio ordenamento florestal.

A mesma opinião é-nos transmitida por Chuvieco *et al.* (2010), ao defender que a avaliação do risco de incêndio é uma parte crítica da prevenção de incêndios, como ferramenta de gestão de meios e como modo de determinar onde é mais provável a ocorrência de incêndios. *“Fire risk evaluation is a critical part of fire prevention, since pre-fire planning resources require objective tools to monitor when and where a fire is more prone to occur, or when it will have more negative effects.”* (Chuvieco *et al.*, 2010: 46)

Como vimos referindo, a forma mais correcta e eficaz de promover um planeamento florestal eficaz é conhecendo previamente as áreas de risco de forma a incidir sobre essas áreas as primeiras intervenções de ordenamento florestal possibilitando a redução da área ardida e de ocorrências. O conhecimento das áreas de risco também visa facilitar as operações de combate aos fogos na medida em que permite uma melhor localização de meios, essencialmente nas áreas de maior risco, de forma a ser mais rápido o combate às ocorrências que eventualmente venham a surgir. A rapidez da primeira intervenção é determinante para o sucesso no combate. É geralmente quando a primeira intervenção é mais demorada que se verificam os incêndios de grandes proporções. Fernandes (2007) refere que qualquer dispositivo operacional de combate a incêndios que privilegie a eficácia da detecção e primeira intervenção consegue, mesmo em Portugal, extinguir a maioria dos fogos antes que adquiram dimensão significativa.

1.2 Incêndios Florestais - O Ordenamento do Território

1.2.1 Integração dos Incêndios Florestais nas Estratégias do Ordenamento do Território

Após as duas vagas de incêndios de 2003 e 2005 em que ardem mais de 750.000 hectares no país, ocorrem mudanças significativas na integração dos riscos dos incêndios nos objectivos prioritários do Ordenamento do Território. Torna-se evidente a falta de articulação e relacionamento funcional entre o Planeamento Florestal, nacional e regional, e o Sistema de Gestão Territorial, da escala nacional ao município. Em 2005, estavam a ser elaborados vários planos fundamentais para o ordenamento florestal e

territorial. Finalizados e publicados entre 2006 e 2007, todos integram objectivos de defesa da Floresta Contra os Incêndios.

À escala sectorial e florestal, a Estratégia Nacional para as Florestas (ENF, Resolução do Conselho de Ministros 114/2006, de 15 de Setembro) aponta para a “*minimização dos riscos de incêndios*” como primeira linha de acção. Entre 2006 e 2007, são publicados os 21 Planos Regionais de Ordenamento Florestal (Decreto-Lei n.º 204/99 de 9 de Setembro, alterado pelo 16/2009 de 14 de Janeiro). Todos eles contemplam uma caracterização do espaço que integra a avaliação da “*fragilidade face ao risco e perigo de incêndio*”, de modo a permitir a “*definição de áreas críticas*”. Por sua vez, o Relatório do Programa Nacional de Políticas de Ordenamento do Território (PNPOT, 2006 e Lei 58/2007, rectificada pela 80-A/2007 de 7 de Setembro), salienta a importância dos incêndios florestais na lista dos 24 problemas para o ordenamento do território (*ibidem*: 86). No Programa de Acção respectivo, as medidas prioritárias para o ordenamento florestal passam pela execução da ENF, implementação dos Planos Regionais de Ordenamento Florestal (PROF) e respectivos Planos de Gestão, em articulação com os Planos Regionais de Ordenamento do Território (PROT) e Planos Municipais de Ordenamento do Território (PMOT) e, finalmente, do PNDFCI.

1.2.2 Plano Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios

Perante a constante destruição da floresta portuguesa pelos fogos florestais, e numa estratégia de definição de acções que possam diminuir essa mesma destruição foi elaborado o PNDFCI, publicado pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 65/2006 de 26 de Maio.

O PNDFCI está organizado de forma hierárquica por intermédio de três tipos de planos, desde o âmbito nacional, distrital e municipal. No topo da hierarquia encontra-se o PNDFCI ao qual se segue a nível distrital o Plano Distrital de Defesa da Floresta Contra Incêndios (PDDFCI) e a nível municipal o Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios (PMDFCI) desenvolvido pelas Comissões Municipais de defesa da Floresta Contra Incêndios (CMDFCI) apoiadas por Gabinetes Técnicos Florestais (GTF) e pelos Serviços Municipais de Protecção Civil (SMPC).

O Plano Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios tem por base cinco eixos estratégicos de actuação: *aumento da resiliência do território aos incêndios*

florestais; redução da incidência de incêndios; melhoria da eficácia do ataque e da gestão dos incêndios; recuperar e reabilitar os ecossistemas; adaptação de uma estrutura orgânica e funcional eficaz (Resolução do Conselho de Ministros n.º 65/2006, de 26 de Maio: 3513). Realizado para dois períodos temporais, foram definidos objectivos diferentes para cada um desses períodos: entre 2006 e 2012, pretende-se reduzir para menos de 150 o número de incêndios com duração superior a 24h e reduzir a área ardida a menos de 100 mil hectares por ano; para o período 2012-2018, os objectivos propostos são reduzir a área ardida anual a 0.8% da superfície florestal, reduzir para menos de 75 o número de incêndios activos com duração superior a 24h e diminuir para menos de 0.5% o número de reacendimentos.

As acções propostas no PNDFCI para a prossecução dos cinco eixos estratégicos foram realizadas de acordo com o objectivo a que se propõem atingir. Para o primeiro eixo, *aumentar a resiliência do território aos incêndios florestais*, é assumida a revisão e integração de políticas e legislação, assim como a promoção da gestão florestal e intervenção preventiva em áreas estratégicas. A gestão florestal é concretizada, nomeadamente, através da melhoria de informação disponível sobre combustíveis e alteração do uso do solo e da adopção do modelo Zona de Intervenção Florestal (ZIF) que permitirá a médio, longo prazo aumentar a viabilidade económica ambiental e social dessas áreas. As ZIF são “*áreas territoriais contínuas e delimitadas, constituídas maioritariamente por espaços florestais, geralmente pertencentes a vários proprietários, submetidas a um plano de gestão florestal e a um plano de defesa da floresta, e geridas por uma única entidade – organização associativa de proprietários e produtores florestais.*” (Decreto-Lei 127/2005 de 5 de Agosto). Por outro lado, a intervenção preventiva em áreas estratégicas é alcançada através do conhecimento de quais são áreas mais susceptíveis a incêndios florestais, identificando onde é mais urgente intervir. É neste eixo que se enquadra esta dissertação, através da criação e análise das cartas de susceptibilidade a incêndio florestal. As cartas de susceptibilidade a incêndio florestal permitem determinar quais as áreas do território onde é mais provável a ocorrência espacial de um incêndio florestal, permitindo desta forma organizar as acções de prevenção e planeamento nas áreas com maior susceptibilidade, contribuindo desta forma para a redução dos prejuízos causados pelos incêndios.

O segundo eixo, *redução das incidências dos incêndios*, assenta em medidas de sensibilização e educação das populações, na capacidade de dissuasão e fiscalização e melhoria do conhecimento das causas dos incêndios e das suas motivações.

A *melhoria da eficácia do ataque e da gestão dos incêndios*, como terceiro eixo, define acções que visam a articulação dos sistemas de vigilância e detecção com os meios de primeira intervenção, o reforço da capacidade de primeira intervenção, o reforço da capacidade do ataque ampliado, a melhoria da eficácia do rescaldo e vigilância pós-rescaldo, a melhoria das comunicações, a melhoria dos meios de planeamento, a previsão e o apoio à decisão e, por fim, a melhoria da capacidade logística de suporte à defesa da Floresta Contra Incêndios.

O quarto eixo, *recuperar e reabilitar os ecossistemas*, deverá ter em consideração os eixos referidos anteriormente e deverá ser desenvolvido em duas fases. A primeira fase relaciona-se com a protecção dos recursos e infra-estruturas; a segunda fase, a médio prazo, que se deve debruçar sobre a requalificação dos espaços florestais dentro dos princípios da Defesa da Floresta Contra Incêndios.

Por último, o quinto eixo, *adaptação de uma estrutura orgânica e funcional eficaz*, coordenada a nível nacional pelo Centro Nacional de Operações de Socorro (CNOS), a nível distrital pelo Centro Distrital de Operações de Socorro (CDOS), garante a ligação vertical do escalão municipal para o escalão nacional. A nível municipal a CMDFCI é o elo de ligação das várias entidades, sendo o PMDFCI o instrumento orientador das diferentes acções.

O cumprimento, ou não, das metas acima referidas é, na minha perspectiva, condicionado mais pelas condições meteorológicas que se verificam no Verão do que propriamente com os dispositivos de combate a incêndios disponíveis, na medida em que, enquanto não se diminuir a carga combustível das florestas portuguesas, bem como não se consolidar o seu ordenamento, combinando folhosas e resinosas, criando faixas de gestão de combustível, ou seja, sem um correcto planeamento e ordenamento florestal, os incêndios florestais serão sempre graves, independentemente do número de meios que venham a ser disponibilizados para o seu combate.

O PDDFCI, visa estabelecer uma estratégia distrital de defesa da floresta contra incêndios e procura ainda desempenhar a função de figura de planeamento de defesa da floresta contra incêndios de escala intermédia entre o PNDFCI e o PMDFCI.

O PMDFCI é desenvolvido pelas CMDFCI, por sua vez, apoiadas por GTF e pelos SMPC. Este plano tem como principal objectivo definir medidas e acções necessárias à defesa da floresta contra incêndios, que permitam a implementação das orientações definidas no PNDFCI, pretendendo assim, fomentar a gestão activa da floresta, criando condições propícias para a redução progressiva dos incêndios florestais. A sua operacionalização, em particular para acções de vigilância, detecção, fiscalização, primeira intervenção e combate, é concretizada através de um Plano Operacional Municipal (POM) de acordo com o que está previsto na carta síntese, que define as linhas orientadoras do POM, e no programa operacional do PMDFCI.

1.2.3 Sistema Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios

O Sistema Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios (SNDFCI), criado pelo Decreto-Lei n.º 124/2006, de 28 de Junho, é constituído com a finalidade de identificar recursos e objectivos, numa lógica de médio, longo prazo, entre os quais: *promover a gestão activa da floresta, implementar a gestão de combustíveis, reforçar as estruturas de combate e de defesa da floresta contra incêndios, dinamizar um esforço de educação e sensibilização para a defesa da floresta contra incêndios e para o uso correcto do fogo, adoptar estratégias de reabilitação de áreas ardidadas e reforçar a vigilância e a fiscalização e aplicação do regime contra-ordenacional instituído.*

Esse diploma define como elementos de planeamento o índice de risco temporal de incêndio florestal e a respectiva zonagem do continente segundo o risco espacial de incêndio, que será referido mais à frente no ponto 3.3. No artigo 7.º, é definida a hierarquização do planeamento da defesa da floresta contra incêndios a um nível nacional, regional ou supra municipal, municipal e intermunicipal e a um nível local de acordo com os vários planos já referidos no ponto anterior. Este Decreto-Lei foi posteriormente alterado pelo Decreto-Lei n.º 17/2009, de 14 de Janeiro, de forma a proceder a alguns ajustes que permitam ultrapassar constrangimentos observados na aplicação do mesmo. É através deste diploma que é implementado o nível de planeamento e coordenação regional, ao nível distrital sob a forma das Comissões Distritais de Defesa da Floresta, já previstas no Decreto -Lei n.º 124/2006, de 28 de Junho, que, todavia, careciam de enquadramento institucional e de uma definição clara das suas atribuições. Outra alteração proposta pelo actual diploma refere-se às

disposições relativas ao uso do fogo ao introduzir alterações que permitem uma clarificação das regras e uma melhor defesa de pessoas, bens e património florestal.

Como nota final, sublinha-se que, no dia 14 de Janeiro de 2009, data da publicação do Decreto-Lei n.º 17/2009, foram alterados os regimes dos planos de ordenamento florestal (Decreto-Lei 16/2009 de 14 de Janeiro) e o regime da criação das ZIF (Decreto-Lei 15/2009 de 14 de Janeiro), melhorando deste modo a compatibilização do ordenamento florestal e da defesa da floresta contra os incêndios.

Capítulo 2. Índices de Cálculo de Risco de Incêndio Florestal em Portugal

2.1 Índices de Risco de Incêndio Florestal

A avaliação das componentes de risco não é uma preocupação recente e sobre ela já vários autores (Chuvieco e Congalton, 1989; Vettorazzi e Ferraz, 1998; Strino, Alhaddad *et al.*, 2007; Saglam, Bilgili, *et al.* (2008); Garcia, Woodard, *et al.* 1999; Lourenço (1996); Lourenço (1994); Aranha (2002)) desenvolveram estudos, tanto em Portugal como em outros países.

O desenvolvimento de um índice de risco implica a consideração de um conjunto de factores, nomeadamente os combustíveis, a topografia e a meteorologia. Freire, Carrão *et al.* (2002) afirmam que o risco de incêndio está estreitamente relacionando com as condições determinadas pela meteorologia que influenciam o estado de stress da vegetação, tais como a temperatura, a humidade do ar e o vento. No entanto, a avaliação desse risco considera igualmente factores como a ocupação do solo, historial de incêndios, demografia, infra-estruturas e o interface urbano-florestal.

Em função dos dados introduzidos, dois tipos de índices podem ser identificados: índices estritamente meteorológicos ou dinâmicos e índices de risco estruturais. Chuvieco e Congalton (1989) referem que os principais factores incluídos nos modelos de cálculo de risco de incêndio são a vegetação, o relevo (elevação, declive, exposição solar), insolação, histórico de incêndios e dados meteorológicos que são os factores críticos de qualquer sistema de avaliação de risco de incêndio.

Como referem Castro, Serra *et al.* (2002) e Muños (2000) são três os principais factores que influenciam o comportamento dos incêndios florestais: Características dos Combustíveis (distribuição vertical e horizontal, dimensão, quantidade ou carga, humidade do combustível, combustibilidade e percentagem de combustíveis finos mortos); Características do Relevo (forma, declive e exposição das vertentes); e Condições Meteorológicas (temperatura e humidade relativa do ar, rumo e velocidade do vento).

Os índices de perigo de incêndio são números que reflectem, antecipadamente, a probabilidade de ocorrer um incêndio, assim como a facilidade do mesmo se propagar, de acordo com as condições atmosféricas do dia ou de um conjunto de dias. A importância destes índices está ligada à tendência moderna de prevenção e pré-

supressão de incêndios, na medida em que é mais vantajoso evitar um incêndio ou mesmo atacá-lo imediatamente após o início, do que combatê-lo após o estabelecido e propagado.

Torres-Rojo, Magaña-Torres *et al.* (2007) referem que a forma mais simples de classificar os índices de perigo baseia-se no tipo de informação usada e na classe de predição em que se realiza, considerando-se índices de curto e médio prazo. Os primeiros fazem estimações diárias do risco de incêndio para propósitos táticos e operativos e, com os segundos, avaliam-se riscos a várias escalas para fins estratégicos.

O conhecimento dos índices de perigo de incêndios é fundamental dentro de um plano de prevenção e combate a incêndios florestais, pois permite a previsão das condições de perigo, possibilitando a adopção de medidas preventivas em bases mais eficientes e económicas.

Entre as diversas utilidades e aplicações dos índices de perigo de incêndios, pode-se destacar o conhecimento do grau risco⁷: os índices permitem um conhecimento do grau de susceptibilidade e perigosidade a que está sujeita a área florestal permitindo recolocar os meios de combate nas áreas de maior risco. O planeamento do controlo de incêndios é importante na medida em que, se os valores dos índices aumentarem, devem ser também intensificadas as medidas preventivas de pré-supressão ao fogo porém, quando os índices indicam que o perigo é reduzido, as medidas de prevenção e prontidão podem ser atenuadas, baixando os custos operacionais de combate aos incêndios florestais. Outra das aplicações é o estabelecimento de zonas de perigo em função do acompanhamento dos índices, que permite estabelecer as zonas potencialmente mais perigosas ou propícias à ocorrência de incêndios. Por fim, a comunicação pública do grau de perigo, através da divulgação dos valores dos índices nos meios de comunicação disponíveis, é importante para que as pessoas tenham conhecimento do grau de perigo de incêndio. Este conhecimento, acompanhado de outros esclarecimentos, ajuda a formar na população uma maior consciencialização para os problemas que os incêndios podem causar às florestas.

⁷ Diariamente, no caso dos índices dinâmicos de cálculo de perigosidade de incêndio, que utilizam para o seu cálculo factores muito variáveis, como temperatura, humidade e velocidade e direcção do vento. Por sua vez, os índices estruturais de cálculo de susceptibilidade a incêndio utilizam factores estáveis como a ocupação do solo, a topografia e dados socioeconómicos, como tal, são calculados para períodos mais longos.

2.2 Índices Meteorológicos de Risco de Incêndio Florestal em Portugal

Desde o início da ciência do fogo (Viegas, Bovio *et al.* 1999), os estudos reconhecem a importância dos factores meteorológicos nos incêndios florestais, para o cálculo dos índices meteorológicos, ou índices dinâmicos, de risco de incêndio, bem como a capacidade de antecipar o impacto dos incêndios nas ocorrências diárias e seu comportamento.

Esses são índices de períodos curtos, geralmente de um dia ou menos, que calculam a probabilidade de ignição e propagação dos incêndios florestais. Estes índices derivam directamente das variáveis meteorológicas, ou indirectamente, pelo efeito que essas variáveis produzem na vegetação (San-Miguel-Ayans, Barbosa *et al.* 2002). Os índices que são calculados através de variáveis meteorológicas são denominados como índices meteorológicos de risco de incêndio. As condições meteorológicas afectam directamente o risco de ignição e propagação dos incêndios florestais, são elas que definem o estado do coberto vegetal através de variáveis como a temperatura, humidade relativa e direcção e velocidade do vento (Aguado, Chuvieco *et al.* 2007). As variáveis meteorológicas que influenciam os incêndios florestais podem classificar-se em dois grupos: as que afectam a possibilidade de início do fogo: temperatura, precipitação e humidade relativa; e as que incidem sobre a velocidade de propagação: a velocidade e direcção do vento (Fimia, 2000).

Segundo Xavier Viegas *et al.* (2004) *as condições meteorológicas afectam os incêndios florestais em todas as suas fases, desde a sua eclosão, passando pela propagação até à sua supressão. (ibidem: 1)*

A temperatura é uma das variáveis que afecta o incêndio florestal. Quanto mais elevada for a temperatura mais seca fica a vegetação e, portanto, melhores são as condições para ignição e propagação do fogo. A humidade relativa do ar é influenciada directamente pela temperatura, ou seja, quanto maior for a temperatura do ar mais vapor de água é absorvido, baixando consequentemente o teor de humidade dos combustíveis. O baixo teor de humidade nos combustíveis também proporciona um aumento do risco de ignição e propagação. Por outro lado, quanto menor for a temperatura do ar e maior a humidade relativa, mais vapor de água está disponível para ser absorvido pelos combustíveis e menor será o risco de ignição e propagação, melhorando as condições de supressão do fogo no caso de ele já ter eclodido. Por fim, a direcção e velocidade do vento condicionam a direcção e velocidade de propagação do incêndio florestal. Viegas

(1998) e Chandler *et al.* (1991) afirmam que o vento é por si só, sem dúvida, o factor mais importante em todo o problema de propagação do incêndio florestal (cit. in Navarro, Guzmán *et al.*, 2005).

Através da análise das condições meteorológicas podemos identificar relações entre estas e os incêndios florestais, normalmente expressas através dos índices meteorológicos de risco de incêndio, cujo objectivo é, como referem Freire, Carrão *et al.* (2002), a determinação de pequenas variações nas variáveis consideradas para cálculo desse índice. Atendendo a que *“Um risco dinâmico de incêndio tem por objectivo a detecção de pequenas e constantes variações nas condições de inflamabilidade dos combustíveis florestais durante a época de incêndios, pelo que, no seu cálculo, devem ser usadas variáveis que, embora variando num curto espaço de tempo, podem ser medidas e representadas.”* (*ibidem*: 3).

Como afirma Lourenço (1992), os índices meteorológicos facultam-nos indicações sobre a capacidade da ocorrência de fogos em determinadas condições meteorológicas. *“Os diferentes índices meteorológicos de risco de incêndio, dos mais simples aos mais complexos, proporcionam-nos dar indicações sobre a probabilidade de vir a registar-se, ou não, a ocorrência de fogos em determinadas condições meteorológicas.”* (*ibidem*: 119).

Para isso é necessário calcular esse índice diariamente e possuir um mapa de combustíveis actualizado e suficientemente detalhado, com variáveis meteorológicas relevantes e uma avaliação da quantidade de combustíveis mortos e vivos. Muñoz (2000) afirma que o conhecimento do índice de perigo é fundamental dentro de um plano de defesa da floresta contra incêndios, já que este permite conhecer a situação da floresta a cada momento, de modo a que, com maior economia, se obtenha o máximo rendimento das medidas preventivas.

Os índices meteorológicos podem ser agrupados em índices não-cumulativos, que consideram apenas valores diários dos parâmetros utilizados, e cumulativos, que utilizam um registo de dados de dias anteriores.

São inúmeros os índices meteorológicos de cálculo de risco de incêndio, pelo que a análise que se segue irá cingir-se sobre os que foram utilizados ao longo dos anos em Portugal.

Desde 1960, que o Serviço Meteorológico Nacional⁸ calcula, para Portugal continental, um índice meteorológico baseado no índice sueco de Angstrom (Lourenço, 1992), desenvolvido na Suécia. Este índice baseia-se fundamentalmente na temperatura e humidade relativa do ar, ambos medidos diariamente às 13 horas. O Índice, não cumulativo, determina-se através da fórmula: $IRA=0.05.U+0.1.(27-T)$, em que U e T representam respectivamente a humidade relativa (%) e a temperatura do ar (°C) e comporta apenas três classes de risco: Condições não favoráveis, Condições pouco favoráveis e Condições muito favoráveis à ocorrência de fogos florestais.

Posteriormente, já em 1988, além do índice de Angstrom, o Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica passa também a calcular um outro índice, adaptado do índice russo de Nesterov. O índice é cumulativo, isto é, seu valor aumenta gradativamente, como realmente acontece com as condições de risco de incêndio, até que a ocorrência de uma chuva o reduza a zero, recomeçando novo ciclo de cálculos. O índice inclui também o vento, sendo a fórmula de cálculo $IRLL=T/U+V$, em que T é a temperatura do ar (°C), U a humidade relativa (%) e o V a velocidade e direcção do vento.

Em 1995, a Comissão Europeia, no âmbito de um estudo comparativo⁹ de desempenho de um conjunto de seis diferentes métodos de indexação do perigo de incêndio – “IREPI” de Itália, “SOL” de França, “Nesterov” de Portugal, “ICONA” de Espanha e o “FWI do Canadá, elaborou uma recomendação que aconselhava os países da Europa a adoptar o sistema canadiano de indexação de perigo de incêndio (Fire Weather Index-FWI). Esse estudo foi realizado a partir dos dados de ocorrência de incêndios em quatro países do Sul da Europa (Portugal, Espanha, França e Itália). Com base no referido estudo, concluiu-se que o sistema Canadiano (FWI) era aquele que tinha um melhor desempenho, quer na discriminação de número de incêndios por dia, quer da área ardida por dia numa dada área geográfica (Viegas, Bovio *et al.* 1999). Esta recomendação tinha também como objectivo, uniformizar a interpretação de dados para assim ser possibilitado o intercâmbio internacional de informação.

Em função da recomendação da União Europeia, o Instituto de Meteorologia utiliza, desde 1998, o índice meteorológico de risco de incêndio do sistema canadiano FWI (Fire Weather Index). Através da utilização deste índice, é possível estimar um risco de incêndio a partir do estado dos diversos combustíveis presentes no solo

⁸ Actualmente denominado por *Instituto de Meteorologia*, desde 1993. O mesmo instituto foi já designado por *Serviço Meteorológico Nacional*, entretanto substituído por Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica em 1977.

⁹ Viegas, Bovio *et al.* (1999).

florestal, estando esse determinado indirectamente através das observações de elementos meteorológicos. Para o cálculo do índice de risco de incêndio do sistema canadiano FWI, entram em consideração os valores observados, às 12 UTC, da temperatura do ar, da humidade relativa, da velocidade do vento e da quantidade de precipitação ocorrida nas últimas 24 horas – 12-12 UTC – Viegas, Reis *e tal.*, 2004). Sendo o FWI, um índice cumulativo significa que o valor do índice no dia reflecte tanto as condições observadas nesse mesmo dia, como a sua evolução ao longo do tempo, desde a data de início do cálculo do índice.

O índice FWI é composto por 6 sub-índices que são calculados com base nos valores dos elementos meteorológicos que avaliam diferentes estados possíveis do solo. O índice final FWI é então distribuído segundo a escala distrital de risco de incêndio por um conjunto de cinco classes de risco: Reduzido, Moderado, Elevado, Muito Elevado e Máximo, que correspondem à escala utilizada durante a época de Verão dos incêndios florestais, entre 15 de Maio e 14 de Outubro.

Desde 2002 que o índice FWI é calculado diariamente pelo Instituto de Meteorologia sem interrupções ao longo do ano, com utilização operacional nas acções de prevenção e combate dos incêndios florestais, inclusive na época de Inverno, onde passou a utilizar-se uma nova escala, também à escala distrital, com redução a três níveis: Baixo, Médio e Alto.

As Componentes do Índice FWI são¹⁰:

FMC (Índice de Humidade dos Combustíveis Finos) – Este índice, classifica os combustíveis finos mortos, de secagem rápida, quanto ao seu conteúdo em humidade. Corresponde, assim, ao grau de inflamabilidade destes combustíveis, que se encontram à superfície do solo. O conteúdo de humidade destes combustíveis, às 12 UTC de um determinado dia, depende do conteúdo de humidade à mesma hora do dia anterior, da precipitação (mm) ocorrida em 24 horas (12-12 UTC), da temperatura (°C) e da humidade relativa do ar (%) às 12 UTC do próprio dia. A intensidade do vento influencia apenas na velocidade de secagem destes materiais.

ISI (Índice de Propagação Inicial) - O índice de propagação inicial do fogo, depende do sub-índice FMC e da intensidade do vento (Km/h) às 12 UTC.

¹⁰ Fonte: Instituto de Meteorologia, IP Portugal. Disponível em: http://www.meteo.pt/pt/enciclopedia/o_tempo/risco.incendio/indice.fwi/index.html (acedido em 19-09-2010)

BUI (Índice de Combustível Disponível) - O índice de combustível disponível, é um factor de avaliação dos vegetais que podem alimentar um fogo (combustíveis "pesados" que se encontram no solo) e é calculado a partir de dois dos sub-índices: DC e DMC.

DC (Índice de Húmus) - Este índice traduz o conteúdo de humidade do húmus e materiais lenhosos de tamanho médio que se encontram abaixo da superfície do solo até cerca de 8 cm. O índice de húmus é calculado a partir da precipitação ocorrida em 24 horas (12-12 UTC), da temperatura e humidade relativa do ar às 12 UTC e do índice de húmus da véspera.

DMC (Índice de Seca) - Este é um bom indicador dos efeitos da seca sazonal nos combustíveis florestais (húmus e materiais lenhosos de maiores dimensões) que se encontram abaixo da superfície do solo, entre 8 e 20 cm de profundidade. O índice de seca é obtido a partir da precipitação ocorrida em 24 horas, da temperatura às 12 UTC e do índice de seca verificado na véspera.

FWI (Índice Meteorológico de Risco de Incêndio) - Este é o índice final do sistema Canadano, sendo calculado em função dos seus sub-índices ISI e BUI.

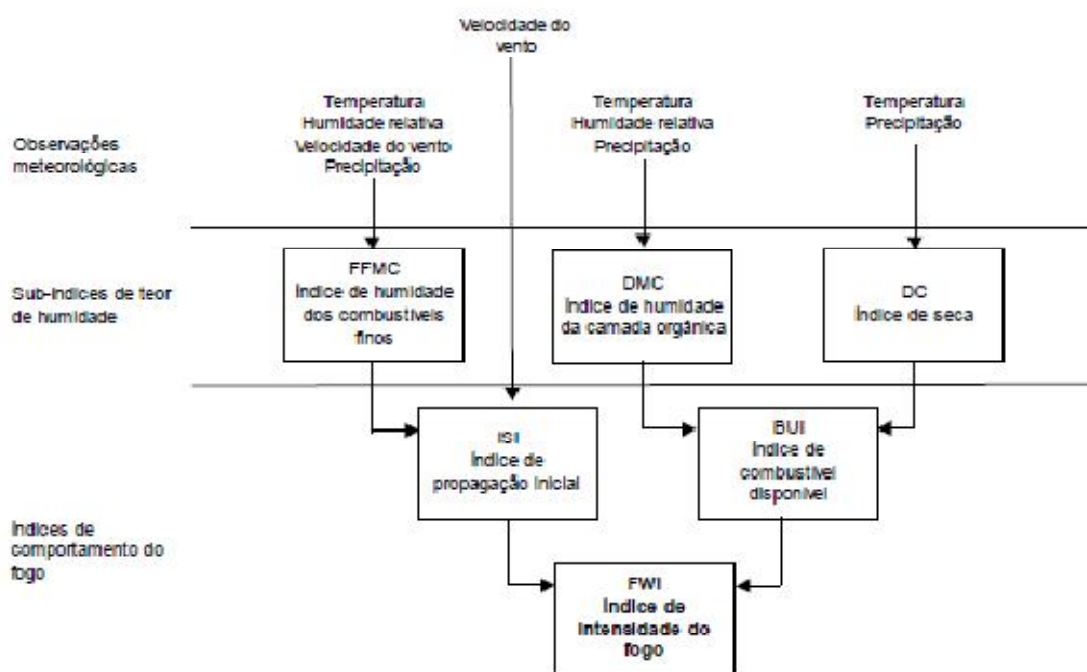


Figura 5 - Quadro síntese de cálculo do Fire Wether Index (FWI)¹¹

¹¹ Fonte: (Viegas, Reis *et al.*, 2004)

2.3 Índice Estrutural de Risco de Incêndio Florestal em Portugal

Um índice estrutural de risco de incêndio baseia-se na combinação de variáveis que não sofrem alterações num curto espaço de tempo. Consequência disso é que a actualização desses mapas pode ser efectuada com um intervalo de um ano ou mais (San-Miguel-Ayans, Barbosa *et al.* 2002) e podem ser calculados com recurso a enumeras variáveis, tipo de combustível, topografia e socioeconómicas, tais como: coberto vegetal, declives, exposição, altimetria, densidade populacional, proximidade da rede viária.

A vegetação, segundo Abhinnet, Shirish *et al.* (1996), é o factor mais importante na determinação de risco de incêndio porque sem combustível florestal os incêndios não podem ocorrer, ou seja, “(...) *even thought the fire environment may be favourable, forest fires cannot occur unless there is inflammable material.*” (*ibidem*: 931).

Os combustíveis são, mais do que qualquer outro, o factor mais importante no início e propagação do fogo e constituem o ponto essencial de todo o sistema de protecção contra os incêndios. É sobre eles que deve recair a maior atenção por serem o único factor que pode ser controlado pelo homem (Lara, 2000).

A importância dos elementos topográficos, o declive e a exposição solar, advêm dos impactos que eles têm no comportamento do fogo (Abhineet, Shirish *et al.*, 1996). “*The fire behaviour is largely controlled by topography.*” (*ibidem*: 929).

A maior ou menor inclinação de uma encosta tem influência determinante na propagação dos incêndios, visto que, quanto mais inclinada for (maior declive), maior é o efeito das colunas de convecção que aquecem a vegetação acima do incêndio, aumentando a velocidade de propagação no sentido ascendente. Para Chuvieco e Congalton (1989), “*Steep slopes increase the rate of spread because of a more efficient convective preheating and ignition by point contact.*” (*ibidem*: 150). Assim, o declive é um factor crítico, pois encostas íngremes facilitam a propagação do incêndio por pré-aquecimento por convecção e de ignição por ponto de contacto.

A exposição por sua vez está relacionada com a proporção de combustível seco e consequente facilidade de propagação do fogo. A dimensão humana do risco, devido à dificuldade de representação e modelação, é representada pela densidade populacional e proximidade à rede viária que é uma variável a ter em conta, porque as principais causas de incêndios florestais são as actividades humanas no interior ou no limite das áreas

florestais (Abhineet, Shirish *et al.*, 1996). “*The main causes for the forest fires are the human activities inside the forest area.*” (*ibidem*: 930).

Os índices estruturais de cálculo de risco de incêndio, como ferramenta de auxílio de planeamento e gestão de recursos necessários à prevenção de incêndios (Freire, Carrão *et al.* 2002), só necessitam de ser calculados antes do início da época de fogos que, em Portugal, se verifica entre Junho e Setembro. Eles são indicadores de condições estáveis que favorecem a ocorrência de um incêndio e têm como objectivo a identificação de áreas com maiores ou menores risco de incêndio numa área florestal (Vettorazzi e Ferraz, 1998). Estes índices são usados para determinar áreas com alto risco de incêndio causadas pelas condições intrínsecas de determinada área, assim como para determinar áreas onde se deveriam reforçar a prevenção e combate aos incêndios mediante o investimento em infra-estruturas (Torres-Rojo, Magaña-Torres *et al.* 2007).

Um dos mais conhecidos índices estruturais de cálculo de risco de incêndio é o de Chuvieco e Congalton (1989) e é o que está na base dos que lhe procederam. Este índice utiliza como variáveis a vegetação, o declive, a exposição, a proximidade à rede viária e a elevação, sendo a sua fórmula de cálculo:

$$H= 1+100v+30s+10a+5r+2e$$

Em que *v*, *s*, *a*, *r*, *e* correspondem à vegetação, ao declive, à exposição, à proximidade à rede viária e à elevação, os números são o coeficiente de cada uma das variáveis. O índice de risco zero foi atribuído a superfícies de água e áreas urbanas pelo que 1 (um) é uma constante adicionada ao modelo para evitar pixéis com valor 0 (zero). A escala varia entre 0-255 (os valores superiores são reclassificados para 255) e é composta por três classes de risco: alto (entre 1-100), médio (entre 101-200) e baixo (entre 201-255).

Em 2003, o Instituto Geográfico Português (IGEO) utilizou uma metodologia com uma resolução espacial de 25 metros por pixel para cartografar o risco de incêndio à escala distrital, constituindo um projecto de três anos (2006-2008). Esta cartografia foi realizada sensivelmente de Norte para Sul, com quatro distritos cartografados em 2006, seis em 2007 e os restantes em 2008 (o mapa nacional encontra-se entretanto terminado). De modo sucinto, a metodologia é realizada com a escolha dos critérios representativos do fenómeno de risco (ocupação do solo, declives, rede viária,

exposições, densidade demográfica e visibilidade por postos de vigia), com a hierarquização e ponderação dos critérios, a geração dos critérios e, por fim, a agregação final por adição linear dos critérios ponderados.

Em 2009, dá-se uma reformulação na metodologia utilizada. Foi retirado o critério visibilidades por posto de vigia e foram aumentados ligeiramente os critérios densidade demográfica e rede viária, passando também a incluir no critério da rede viária a rede ferroviária e as linhas de média e alta tensão. Estas metodologias serão descritas mais pormenorizadamente no Capítulo 5.

2.4 Cartografia de Risco de Incêndio Florestal na Legislação Portuguesa

Em Portugal a cartografia de risco de incêndio é referida pela primeira vez no Decreto-Lei n.º 327/80 de 26 de Agosto de 1980, que lança as bases da cartografia de risco. O artigo 2.º refere a necessidade de elaboração de cartografia de risco ao considerar necessário “*declarar as zonas e épocas de perigo*” através da elaboração e divulgação de um mapa da região onde estejam assinaladas as zonas de perigo, os perímetros de detecção, os centros de combate, as vias de comunicação e os locais de abastecimento de água.

Em 1981, é publicado o Decreto-Regulamentar n.º 55/81 de 18 de Dezembro, que define no artigo 2.º, com base em critérios de classificação, a zonagem de Portugal continental em 4 classes de sensibilidade ao fogo: Classe I - Extremamente Sensível, Classe II – Muito Sensível, classe III – Sensível e Classe IV – Pouco Sensível. Ao mesmo tempo, descreve os critérios de classificação: coberto vegetal, combustibilidade, inflamabilidade, temperatura, humidade relativa, morfologia, exposição das vertentes e demografia, utilizados na elaboração e apresentação do mapa de risco / susceptibilidade de incêndio florestal para este território.

O Decreto-Lei n.º 156/2004, de 30 de Junho (que revoga o Decreto-Regulamentar n.º 55/81), apresenta no seu artigo 5.º o índice de risco de incêndio que estabelece o risco diário de ocorrência de incêndio florestal, cujos níveis são: 1 – reduzido, 2 – moderado, 3 – elevado, 4 - muito elevado e 5 – máximo, conjugando a informação oriunda do Instituto de Meteorologia, do estado dos combustíveis e do histórico de ocorrências, entre outros.

Ao mesmo tempo, o artigo 6.º propõe uma nova cartografia quantitativa da probabilidade de risco de incêndio florestal em Portugal Continental onde é estabelecida a zonagem do país com base em cinco classes: classe I – Muito Baixa, classe II – Baixa, classe III – Média, classe IV - Alta e classe V – Muito Alta, cujos critérios de classificação assentam na informação sobre a ocorrência de incêndios florestais, a ocupação do solo, orografia, clima e demografia. As zonas críticas, referidas no artigo 7.º, são representadas cartograficamente, com base nas zonas de classe alta e muito alta de probabilidade, pela Portaria 1056/2004, de 19 de Agosto, onde se reconhece ser prioritária a aplicação de medidas mais rigorosas de defesa da floresta contra incêndios, em função do seu valor económico, social e ecológico. A realização do disposto no artigo 6.º do Decreto-Lei n.º 156/2004 é efectuada com a publicação do mapa de probabilidade de incêndio florestal em Portugal Continental, pela Portaria 1060/2004 de 21 de Agosto (figura 6).

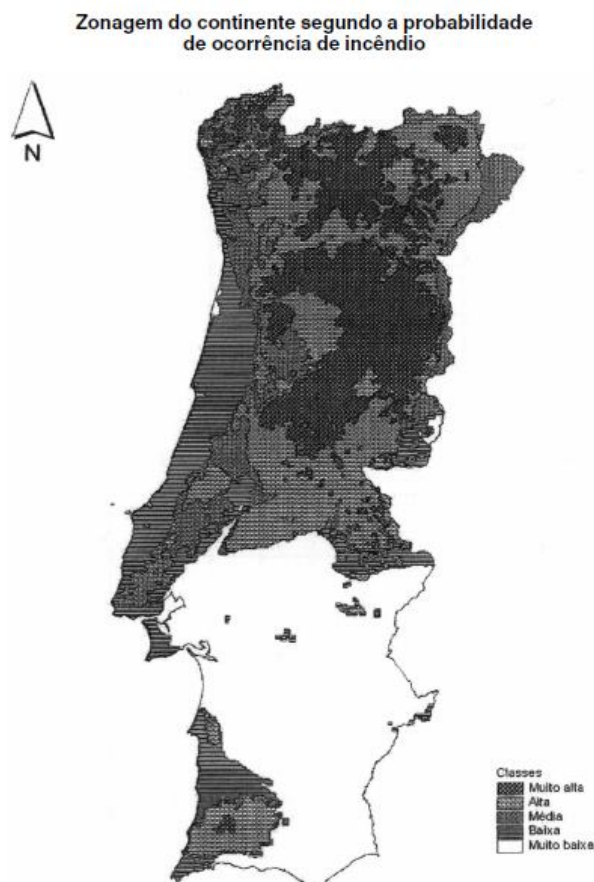


Figura 6 - Mapa da zonagem do continente segundo a probabilidade de ocorrência de incêndio¹²

¹² Fonte: Portaria 1060/2004 de 21 de Agosto

Passados dois anos, é publicado o Decreto-Lei n.º 124/2006 de 28 de Junho, entretanto com nova redacção que lhe foi dada pelo Decreto-Lei n.º 17/2009, de 14 de Janeiro, que em matéria de cartografia de risco não inclui novidades. Nos elementos de planeamento aparece agora a distinção entre risco temporal de incêndio – que serve para quantificar as condições de eclosão e propagação de um incêndio em função do estado dos combustíveis e da meteorologia, sendo elaborado diariamente pelo Instituto de Meteorologia em colaboração com a Autoridade Florestal Nacional (AFN) e cujos níveis são: 1-Reduzido, 2-Moderado, 3-Elevado, 4-Muito Elevado, 5-Máximo – e perigosidade espacial de incêndio, que assenta na determinação da probabilidade de ocorrência de incêndio florestal mantendo a zonagem estabelecida no Artigo 6.º do Decreto-Lei 156/2004, referido anteriormente.

Capítulo 3. Modelo Conceptual

Relativamente à terminologia dos modelos de risco existe uma dificuldade em encontrar consenso, dificuldade esta elucidada no trabalho de Bachmann e Allgöwer (2000), onde os autores afirmam que, olhando para a terminologia de risco de incêndio florestal, existe uma grande confusão no uso apropriado da terminologia, confusão essa que poderá acarretar consequências desastrosas.

“When looking through wildfire risk related literature one notices a great confusion on the proper use of terminology and, due to that, the absence of a comprising methodology.(...) Moreover, the somewhat inconsiderate use of the various terms ‘danger,’ ‘hazard,’ and ‘risk’ may result in misunderstandings that can have fatal consequences.” (ibidem: 1).

Os conceitos utilizados nos modelos relativos aos incêndios florestais são desde há muito tempo discutidos e ainda hoje não obtêm unanimidade por parte da comunidade científica. Assim sendo, clarificaremos conceitos e terminologias utilizadas ao longo deste trabalho para uma melhor percepção do que se pretende transmitir, nomeadamente, *fogo, incêndio florestal, susceptibilidade, perigosidade, vulnerabilidade e risco*.

William Cottrele (2004) define o fogo como uma reacção química, o fogo é uma rápida e persistente reacção química que combina combustível e oxigénio para produzir calor e luz, sendo necessária uma fonte externa de calor para começar a reacção.

O incêndio florestal só pode existir se houver fogo, segundo Macedo e Sardinha (1987), o fogo é um fenómeno físico que resulta da combustão de qualquer substância. A combustão, por sua vez, é uma reacção química que precisa da presença de um combustível, de calor e de oxigénio, decorrendo em três fases: ignição, propagação e extinção.

Assim sendo o incêndio florestal, é um fogo incontroado em áreas de florestas ou matos, podendo ter origem natural ou na sua grande maioria ter origem antrópica. Verde e Zêzere (2007: 3) definem incêndio florestal como, *“todo aquele [fogo] que atinja um espaço florestal, mesmo que numa área inferior, por exemplo, a uma área agrícola igualmente afectada pela mesma ocorrência.”* A mesma opinião é-nos transmitida por Castro, Serra *et. al*, (2002: 9) ao afirmarem que *“um incêndio florestal é a combustão, sem controlo no espaço e no tempo, dos materiais combustíveis existentes nas áreas florestais.”* Já para Muñoz (2000), o incêndio florestal é o fogo sem controlo que se inicia em terreno florestal ou terras incultas ou que alcança esse terreno.

A susceptibilidade, muitas vezes confundida com perigosidade, é, segundo Zêzere (1997), a probabilidade espacial de ocorrência de um determinado fenómeno, numa determinada área com base nos factores condicionantes do terreno. Mais tarde, Verde e Zêzere (2007: 8) definem susceptibilidade como *“a propensão de uma dada área ou unidade territorial para ser afectada pelo fenómeno estudado, avaliada a partir das propriedades que lhe são intrínsecas.”* Para Julião, Nery *et al.*, (2009: 20), a susceptibilidade é a *“incidência espacial do perigo. Representa a propensão para uma área ser afectada por um determinado perigo, em tempo indeterminado, sendo avaliada através dos factores de predisposição para a ocorrência dos processos ou acções, não contemplando o seu período de retorno ou a probabilidade de ocorrência.”* No fundo, trata-se de definir onde poderão ocorrer os incêndios florestais de acordo com as condições verificadas no terreno e nos eventos passados (áreas ardidas).

A principal diferença entre a susceptibilidade e perigosidade é a dimensão temporal. Enquanto a susceptibilidade determina o “onde”, a perigosidade determina o “quando”. Este último conceito expressa assim a probabilidade de ocorrência de um incêndio florestal de determinada dimensão, numa determinada área e num determinado momento temporal. Para Aguado, Chuvieco *et al.*, (2007), a perigosidade é a potencialidade de um incêndio ocorrer, por um lado, numa determinada área e tempo e, por outro, a sua capacidade de propagação. Da mesma opinião é Varnes (1984. cit. in Verde e Zêzere 2007: 9), que define perigosidade como a *“probabilidade de ocorrência de fenómenos potencialmente destruidores, num determinado intervalo de tempo e numa dada área.”* Julião, Nery *et al.*, (2009: 21) apresentam uma definição para perigosidade dentro do que já foi referido pelos dois autores anteriores, assim, esta *“é a probabilidade de ocorrência de um processo ou acção (natural, tecnológico ou misto) com potencial destruidor (ou para provocar danos) com uma determinada severidade numa dada área e num dado período de tempo.”* A perigosidade é, então, a probabilidade de ocorrência de um processo num determinado intervalo de tempo e num local específico, ela está associada à frequência de ocorrência de um processo e ao local onde ocorre.

A vulnerabilidade é outro dos componentes do modelo de risco cuja definição pode também ser alvo de interpretações ambíguas. Ela representa o grau de danos ou perdas potenciais como consequência da ocorrência de um fenómeno. Para Chuvieco, Aguado *et al* (2010), a vulnerabilidade é definida como os potenciais efeitos de um

incêndio, em valores humanos, de vidas e de recursos ambientais. A mesma definição é nos transmitida por Verde e Zêzere (2007) e Julião, Nery *et al.* (2009), ao afirmarem que a vulnerabilidade expressa o grau de perda de um elemento ou conjunto de elementos expostos, em resultado da ocorrência de um processo natural ou fenómeno tratado.

No dia-a-dia, a palavra risco é utilizada pelas mais variadas pessoas e entidades, com os mais diversos significados, consoante o contexto na qual é proferida. Na minha opinião, isto justifica a importância de uma clarificação de conceitos perante todos os que estão ligados aos incêndios florestais: investigadores, decisores, políticos, população, entre outros. Chuvieco, Aguado *et al.* (2010: 47), definem o risco como o “*produto de dois componentes vulnerabilidade e perigosidade.*” Definição semelhante é a de Julião, Nery, *et al.*, (2009: 21), que definem risco como a “*probabilidade de ocorrência de um processo (ou acção) perigoso e respectiva estimativa das suas consequências sobre pessoas, bens ou ambiente, expressas em danos corporais e/ou prejuízos materiais e funcionais directos ou indirectos.*” Desta forma, o risco está presente em situações ou áreas em que existem probabilidade, susceptibilidade, vulnerabilidade de ocorrer algum tipo de ameaça ou perigo. É uma definição dinâmica que pode alterar-se de ano para ano com o surgir de novos factores e, com isso, alterar as áreas de risco. Lourenço (1996) refere que o risco de incêndio é dinâmico, pode evoluir ou não de ano para ano, em função de um variado conjunto de factores, e de dia para dia, em função das condições meteorológicas.

O risco de incêndio não é mais do que a probabilidade de ocorrência de um incêndio florestal. Bachmann e Algöwer (2000) definem-no como “*The probability of a wildfire to occur at a specified location and under given circumstances and its expected outcome as defined by the impacts on the affected objects.*” (*ibidem*: 5).

Hardy (2005), por conseguinte, define risco de incêndio como “*(...) the chance that a fire might start, as affected by the nature and incidence of causative agents.*” (*ibidem*: 76), referindo-se apenas à possibilidade (probabilidade) de ignição e propagação do fogo.

Para Macedo e Sardinha (1987), o risco de incêndio engloba todos os factores, variáveis ou constantes, que afectam a ignição e a combustão, assim como o comportamento dos fogos e os danos que possam ocasionar.

Em suma, a perigosidade refere-se ao processo em si, quando vai ocorrer determinado fenómeno, a susceptibilidade indica onde vai ocorrer esse fenómeno, a vulnerabilidade indica os danos ou perdas potenciais dos elementos expostos, sendo o risco o produto dos três.

Assim, e de acordo com os conceitos atrás discutidos, pretende esta dissertação tratar apenas a susceptibilidade de ocorrência de incêndios florestais numa determinada área - o concelho de Paredes.

Capítulo 4. Opções Metodológicas

4.1 Caracterização da Área de Estudo – O Concelho de Paredes

A área de estudo – concelho de Paredes – foi definida tendo em conta que esta é a área de residência do investigador, havendo maior facilidade de acesso a informações e documentação.

O concelho de Paredes localiza-se a Norte de Portugal continental, no distrito do Porto, está inserido na Nomenclatura de Unidade Territorial (NUT) III – Tâmega. Abrangendo uma área de 156,56 Km², é constituído por 24 freguesias designadamente Baltar, Recarei, Mouriz, Cête, Vandoma, Gandra, Parada de Todeia, Sobreira, Aguiar de Sousa, Castelões de Cepeda, Cristelo, Vila Cova de Carros, Duas Igrejas, Gondalães, Madalena, Bitarães, Rebordosa, Astromil, Besteiros, Sobrosa, Vilela, Beire, Louredo e Lordelo. É limitado a Norte pelos concelhos de Paços de Ferreira e Lousada, a Sul por Gondomar, a Este por Penafiel e a Oeste por Valongo e Gondomar. O concelho de Paredes constituído em 1836, sucedeu em grande parte ao extinto concelho de Aguiar de Sousa, que é agora uma das freguesias que integram o município. De acordo com os censos de 2001, (Instituto Nacional de Estatística - INE), o concelho de Paredes apresenta uma população residente de 83.876 habitantes.

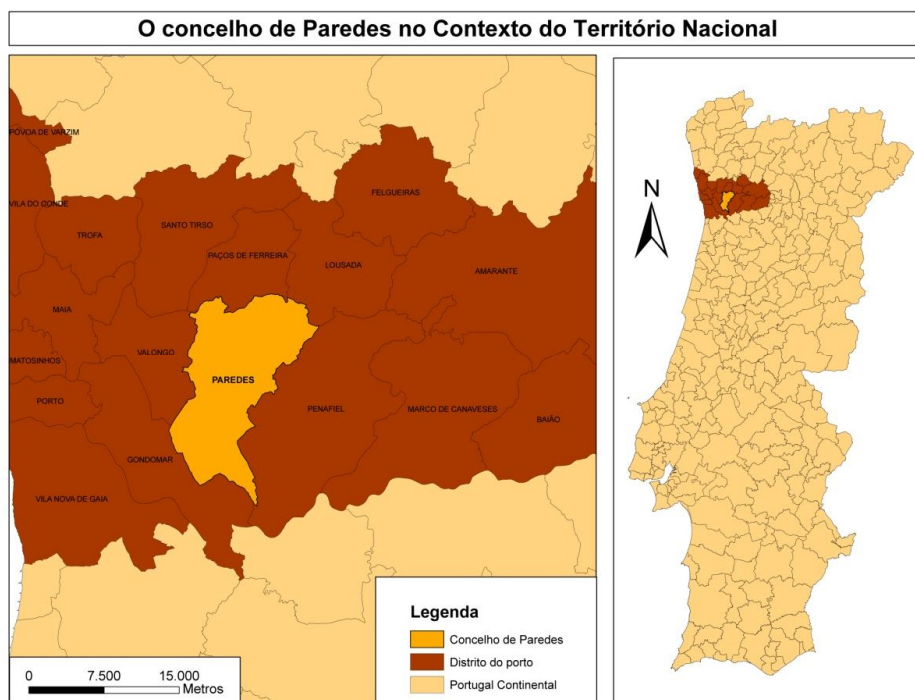


Figura 7 - Cartografia de enquadramento geográfico do concelho de Paredes

4.2 Metodologia

A metodologia empregue nesta investigação consiste, numa primeira fase, na construção e validação de modelos de cálculo de cartas de risco de incêndio florestal, especialmente as utilizadas pelo Instituto Geográfico Português, as metodologias de 2004 e 2009. Para além das duas metodologias referidas anteriormente foram também escolhidas aleatoriamente outras três, a de Chuvieco e Congalton (1989), a de Vettorazzi e Ferraz (1998) e a do Virginia Department of Forestry.

Os cinco métodos referidos, descritos mais pormenorizadamente no ponto seguinte foram construídos segundo as indicações dos autores e validados com recurso às áreas ardidas disponibilizadas pela Autoridade Florestal Nacional através da construção das respectivas curvas de sucesso e predição e cálculo da Área Abaixo da Curva (A.A.C.). A validação das cartas de susceptibilidade a incêndios florestais é sugerida pelo Guia Metodológico para a Produção de Cartografia Municipal de Risco e para a Criação de Sistemas de Informação Geográfica de Base Municipal (Julião, Nery *et al.*, 2009) e tem como finalidade determinar a qualidade das cartas de susceptibilidade produzidas.

“A qualidade das cartas de susceptibilidade a incêndios florestais deve ser demonstrada pela aplicação de procedimentos de validação standardizados, baseados no cruzamento dos inventários dos incêndios (números de ocorrências e/ou áreas ardidas) com as cartas de susceptibilidade (e.g., taxa de sucesso; taxas de predição).”
(*ibidem*: 73)

A curva de sucesso é o resultado do mapa de susceptibilidade no qual foi integrado, além de outras variáveis, a distribuição das áreas ardidas utilizadas para definir os resultados de favorabilidade (Piedade, 2009).

Por sua vez, a curva de predição obtém-se através do cruzamento do mapa de susceptibilidade com a distribuição das áreas ardidas que não foram consideradas na construção do modelo, permitindo assim uma validação independente. A curva de sucesso não pode ser calculada para nenhum dos cinco métodos referidos anteriormente porque nenhum dos autores inclui no modelo as áreas ardidas. Assim sendo as metodologias serão apenas validadas através da curva de predição e do cálculo da área abaixo da curva. Para o cálculo das curvas de sucesso e predição é necessário calcular

dois rácios, através das seguintes fórmulas (Fabri et al, 2002; Garcia 2007; cit. in Piedade 2009: 48):

$$\text{Rácio1} = U_s/U_t.100$$

$$\text{Rácio2} = U_{ms}/U_m.100$$

Sendo:

U_s – Unidades de terreno seleccionadas

U_t – Número de unidades da área em estudo

U_{ms} – Número de unidades seleccionadas como áreas ardidas

U_m – Número total de unidades de áreas ardidas na área estudada

Através da determinação da taxa de sucesso e da taxa de predição de um modelo é possível “predizer” onde vão ocorrer as futuras áreas ardidas numa base probabilística; ou seja, podem ser estabelecidas probabilidades empíricas para as diferentes classes de susceptibilidades, assumindo que o comportamento das futuras áreas ardidas na área estudada será similar ao verificado anteriormente, se os factores de predisposição se mantiverem.

Após a construção das respectivas curvas de sucesso e predição é calculada a Área Abaixo da Curva (AAC) que demonstra a qualidade preditiva global do modelo gerado, traduzida em valores entre 0 e 1 através da seguinte fórmula de cálculo (Gorservski *et al.* 2000; cit in Piedade 2009: 48):

$$AAC = \sum_{i=1}^n \left[(L_{si} - L_i) \cdot \frac{a_i + b_i}{2} \right]$$

Sendo:

$(L_{si} - L_i)$ – Amplitude da classe

a_i – Valor da ordenada correspondente a L_i

b_i – Valor da ordenada correspondente a L_{si}

Numa segunda fase foi construída de raiz uma carta de susceptibilidade de risco de incêndio florestal, com as variáveis incluídas nos modelos analisados, através do cálculo da favorabilidade de cada uma das classes das variáveis: a ocupação do solo, o histórico¹³, os declives, a exposição solar, a visibilidades por posto de vigia, a densidade populacional e a distância à rede viária.

O resultado de favorabilidade foi calculado ponderando o número de unidades matriciais ardidas, pelo número de unidades disponíveis para arder, o resultado foi posteriormente multiplicado por 100 de forma a evitar efectuar operações em sistema de informação geográfica com números decimais. A fórmula de cálculo do resultado de favorabilidade é executado segundo a fórmula (Verde, 2008: 55):

$$Sfx = \frac{umAx}{\Omega x} \times 100$$

Sendo:

Sfx – O score de favorabilidade

$umAx$ – O total de unidades matriciais ardidas da variável

Ωx – O total de unidades matriciais da variável

A variável “histórico” é a única que não obedece ao cálculo do resultado de favorabilidade, é antes calculada sob a forma de probabilidade anual, como refere João Verde (Verde, 2008).

“ A variável «histórico» entra neste modelo de acordo com uma abordagem frequencista que permite esta leitura, em percentagem: qual é, a cada ano, a probabilidade de que cada unidade matricial sofra combustão?” (ibidem: 58)

O cálculo da variável “histórico” é efectuado através da seguinte equação (Verde, 2008: 58):

$$P = f / N * 100$$

Sendo:

¹³ A variável histórico é incluída no modelo sob a forma de probabilidade anual.

P – É a probabilidade anual

f – É o número de vezes que cada pixel ardeu

N – É o número de anos da série

Deduz-se que um pixel que ardeu todos os anos tem uma probabilidade de 100 %, enquanto um pixel que nunca ardeu terá probabilidade zero. A probabilidade zero não quer dizer que essa unidade matricial nunca irá arder, apenas que a possibilidade de isso acontecer, perante a existência de combustível, é reduzida. Assim, e como zero é elemento absorvente da multiplicação todos os pixéis com esse valor foram reclassificados com um de forma a serem considerados neutros não afectando assim o resultado final.

A série estatística, de dezoito anos (1990-2008), das áreas ardidas disponibilizadas pela Autoridade Florestal Nacional na sua página da internet¹⁴, foi dividida aleatoriamente em duas séries de nove anos cada, uma para construção da cartografia, outra para avaliação independente. Como o período temporal das áreas ardidas foi dividido em dois também a variável “histórico” é composta por duas faixas temporais uma denominada de Grupo A enquanto a outra foi denominada de Grupo B e ambas vão servir, quer de variáveis teste para integração no modelo, quer para validação independente de forma a conseguir obter o melhor resultado possível através das curvas de sucesso e predição, e área abaixo da curva.

Após o cálculo do resultado de favorabilidade de todas as variáveis, o resultado de susceptibilidade é obtido pela multiplicação simples dos resultados de favorabilidade da cada uma das classes das variáveis.

A carta de susceptibilidade depois de construída é testada e validada com as áreas ardidas, não incluídas no modelo através da construção das curvas de sucesso, predição e do cálculo da Área Abaixo da Curva. Foram testadas várias configurações de variáveis de forma a tentar obter o conjunto que produzisse melhores resultados.

A construção de todas as cartas foi realizada num sistema de informação geográfica, com base matricial, depois de convertida para esse formato toda a informação disponível de formato vectorial. A opção por trabalhar a informação em formato matricial prende-se com a maior facilidade de processamento de dados, o que em formato vectorial seria mais complicado. As vantagens de trabalhar em formato

¹⁴ Endereço: <http://www.afn.min-agricultura.pt/portal/dudf/cartografia/cartograf-nac-areas-ardidas-1990-2008>

raster são a sua estrutura de dados mais simples, as operações de “overlay” são mais rápidas e eficientes e é o formato apropriado para representar fenómenos com grande variabilidade espacial.

O software utilizado foi o ArcGis 9.3 da ESRI, e o tamanho do pixel utilizado foi de 10 metros, apesar da escala apresentada pela Corine Land Cover¹⁵, já que toda a restante informação incluída no modelo apresenta uma escala de 1:25 000.

4.2.1 Metodologia de Chuvieco e Congalton (1989)

A metodologia apresentada por Chuvieco e Congalton (1989) assenta numa análise multi-critério com o intuito de obter um mapa de susceptibilidade a incêndio florestal da área de estudo. As variáveis seleccionadas para o modelo inclui alguns dos factores que mais afectam os incêndios florestais nas áreas mediterrâneas, sendo elas: a vegetação, a elevação, o declive, a exposição solar e a proximidade à rede viária. Cada uma destas variáveis foi integrada em SIG e a sua sobreposição permitiu definir os níveis de risco de incêndio. Cada uma das variáveis foi integrada num esquema hierárquico, assumindo que algumas variáveis exercem mais influência susceptibilidade a incêndio florestal do que outras. Em primeiro lugar a cada uma das variáveis foi atribuído um peso, de acordo com a sua contribuição para a susceptibilidade a incêndio florestal. Em segundo lugar cada uma das variáveis foi dividida em classes aos quais foram atribuídos um coeficiente, zero, um e dois, baseado no ranking de alto, médio e baixo de susceptibilidade a incêndio respectivamente (Figura8).

A fórmula final da equação de cálculo do risco de incêndio pode ser expressa pela seguinte fórmula (Chuvieco e Congalton, 1989):

$$H = 1 + 100v + 30s + 10a + 5r + 2e,$$

Onde v , s , a , r e e correspondem às variáveis vegetação, declive, exposição solar, distancia à rede viária e elevação com os respectivos coeficientes atribuídos a cada uma das variáveis. O 1 corresponde à constante adicionada ao modelo para evitar pixéis com valor zero.

¹⁵ A Corine Land Cover 2006 está construída numa escala de 1:100 000 com uma unidade mínima cartográfica de 25 hectares.

*Sistema de Informação Geográfica e Susceptibilidade a Incêndio Florestal:
Análise de Metodologias em Ambiente SIG*

<i>Original Classes</i>	<i>Fire Hazard Groups</i>	<i>Coefficient</i>
<i>1.1. Vegetation Layer (Weight 100)</i>		
Dense pine tree	high	0
Medium pine tree	high	0
Sparse pine tree + shrub	medium	1
Dense shrub	medium	1
Medium shrub	medium	1
Sparse shrub	low	2
Almond trees	low	2
Vineyards	low	2
Orange trees	low	2
<i>2.1. Slope Layer (Weight 30)</i>		
0-4%	low	2
5-8%	low	2
9-12%	low	2
13-16%	medium	1
17-20%	medium	1
21-36%	medium	1
27-40%	medium	1
41-44%	high	0
> 44%	high	0
<i>2.3. Aspect Layer (Weight 10)</i>		
Southeast	high	0
Southwest	medium	1
North	low	2
<i>2.4. Proximity to Roads Layer (Weight 5)</i>		
Inside buffered area (< 150 m from any trail or < 50 m from any road)	high	0
Outside buffered area	low	1
<i>2.5. Elevation Layer (Weight 2)</i>		
0-3 m	low	1
3-6 m	low	1
398-400 m	high	0
401-404 m	high	0
405-407 m	high	0

Figura 8 - Metodologia de cálculo de risco de incêndio segundo Chuvieco e Congalton (1989)

Esta metodologia apresenta valores que classificam o risco dos vários níveis de cada uma das variáveis não muito coerentes. Em primeiro lugar temos a escala de valores atribuída ao modelo, zero, um e dois para alto, médio e baixo susceptibilidade a incêndio florestal respectivamente, que não parece adequada. Será que dentro da susceptibilidade alta não haverá classes que tenha uma maior contribuição do que outras? É definido o zero como valor para a contribuição máxima para o risco e isso vai afectar o cálculo do modelo ao anular a multiplicação pelo peso atribuído a cada uma das variáveis. Um determinado pixel que lhe tenha sido atribuído o valor zero a sua multiplicação pelo peso da variável será sempre zero e uma maior escala de valores poderia modificar o resultado final.

A definição das classes de cada uma das variáveis parece um pouco desproporcionada, veja-se o exemplo dos declives e da elevação.

O primeiro apresenta nove classes quando em função do valor de susceptibilidade atribuído se poderia reduzir a apenas três classes, 4 a 12%, 13 a 40% e mais de 40%. As primeiras três classes de declives 0-4%, 5-8% e 9-12%, segundo os autores, todas apresentam um baixo nível de susceptibilidade a incêndio florestal pelo que todas são classificadas com classe de susceptibilidade dois. Se em vez dessas três classes tivéssemos apenas uma, 0-12% as áreas classificadas iam ser as mesmas.

A segunda, a elevação, apresenta-se classificada em cinco classes quando o poderia ser em duas classes, mais gravoso é a falta de uma classe com altitude compreendida entre os 7 e os 397 metros. A variável está classificada de 0-3m; 3-6m; 398-400m; 401-404m; e 405-407m, deduzindo que a altitude máxima da área de estudo pode ser 407m que classificação susceptibilidade é atribuída aos pixéis com elevação compreendida entre os 7 e 397m? Se as altitudes mais altas foram consideradas como mais contributivas para o risco de incêndio e as mais baixas foram classificadas como de médio risco efectivamente o modelo não apresenta uma escala de valores para classificar as áreas intermédias. No entanto a introdução da variável elevação é susceptível de discussão, a elevação influencia o incêndio pelo tipo de combustível e humidade em função da temperatura e precipitação verificados; mas será que para as altitudes verificadas na área de estudo as variações térmicas e de precipitação serão relevantes para a definição de diferentes níveis de risco? No entanto, a contribuição da variável elevação para o modelo é muito baixa face ao peso que lhe é atribuído.

4.2.2 Metodologia do Instituto Geográfico Português de 2004

A metodologia adoptada pelo Instituto Geográfico Português (IGEO) é uma adaptação da metodologia desenvolvida por Chuvieco e Congalton (1989) seleccionando as variáveis representativas do fenómeno de susceptibilidade a incêndio florestal. Para esta metodologia foram apurados, por ordem decrescente de importância face à potencial susceptibilidade a incêndio final, os seguintes critérios: ocupação do solo, declives, rede viária, exposição solar, densidade demográfica e visibilidade por postos de vigia. A execução deste modelo pressupõe a hierarquização dos critérios e sua ponderação segundo o que está apresentado na figura 9.

	Amplitude dos valores	Contribuição de cada classe para o valor de risco de cada critério		Contribuição do critério para o valor do risco de incêndio potencial	
		%	Valor	%	Valor máximo do critério
Ocupação do solo	Classe 1ª	100%	590	59%	590
	Classe 2ª	80%	472		
	Classe 3ª	70%	413		
	Classe 4ª	40%	236		
	Classe 5ª	30%	177		
	Classe 6ª	10%	59		
	Classe 7ª	1,5%	9		
Declives	Acima de 40%	100%	210	21%	210
	30-40%	66,67%	140		
	20-30%	22,38%	47		
	10-20%	11,43%	24		
	0-10%	3,81%	8		
Rede Viária	Proximidade à rede viária	Até 25 m	100%	7%	70
		25 -50 m	46,32%		
		50 - 100 m	20,58%		
		100 - 150 m	9,55%		
	Densidade de caminhos agrícolas e florestais	Inferior a 5 m/ha	50%		
		5 - 12,5 m/ha	23,52%		
		12,5 - 20 m/ha	10,29%		
		20 - 30 m/ha	5,14%		
		30 - 40 m/ha	5,14%		
		40 -65 m/ha	10,29%		
		65 - 80 m/ha	23,52%		
		Superior a 80 m/ha	50%		
Exposições	135° - 225°	100%	60	6%	60
	225ª - 315°	57,45%	34		
	45° - 135°	21,28%	13		
	315° - 45°	6,38%	4		
	-1 Plano	0%	0		
Densidade demográfica	Até 250 hab / Km2	100%	40	4%	40
	Entre 250 e 1500 hab / Km2	21,05%	8		
	Acima dos 1500 hab / Km2	100%	40		
Visibilidade por postos de vigia	Oculto	100%	30	3%	30
	Visível por 1 posto	11,71%	4		
	Visível por 2 ou mais postos	6,31%	2		

Figura 9 - Metodologia de cálculo de risco de incêndio segundo o Instituto Geográfico Português (2004)

O modelo proposto considera como "layers" ou variáveis do modelo os critérios acima referidos. Deste modo, a carta de susceptibilidade a incêndio florestal é obtida através da sobreposição das diversas cartas temáticas, reclassificadas em função do seu contributo para a susceptibilidade a incêndio florestal.

O somatório de todas as classes de cada um dos critérios vai originar a Carta de Susceptibilidade a Incêndio Florestal. O modelo é organizado de modo a que, o índice de susceptibilidade de incêndio varie entre zero (baixa susceptibilidade) e mil (susceptibilidade alta). A grande amplitude de valores do índice permite reclassificar as cartas temáticas com valores inteiros (sem perda de rigor), gerando deste modo cinco classes que se classificam em “Muito Baixa” (0 -100), “Baixa” (101 – 200), “Média” (201 – 350), “Alta” (351 – 700), “Muito Alta” (701 – 1000).

4.2.3 Metodologia do Instituto Geográfico Português de 2009

A metodologia de IGEO sofreu posteriormente uma reformulação, ao anterior método foi retirado a variável visibilidades por postos de vigia e aumentado ligeiramente o peso dos critérios densidade demográfica e rede viária. No critério Rede viária foi ainda incluído a rede ferroviária e as linhas de alta/média tensão. Os métodos de cálculo mantêm-se inalterados, sofrendo só as alterações referidas anteriormente.

	Amplitude de valores	Contribuição de cada classe para o valor de risco de cada critério		Contribuição do critério para o valor do risco de incêndio potencial	
		%	Valor	%	Valor max do critério
Ocupação do solo	Classe 1ª	100%	590	59%	590
	Classe 2ª	80%	472		
	Classe 3ª	70%	413		
	Classe 4ª	40%	236		
	Classe 5ª	30%	177		
	Classe 6ª	10%	59		
	Classe 7ª	1,5 %	9		
Declives	acima de 40%	100%	210	21%	210
	30 - 40%	66,67 %	140		
	20 - 30%	22,38 %	47		
	10 - 20%	11,43 %	24		
	0 - 10%	3,81 %	8		
Rede viária	Proximidade à rede viária	Até 25 m	100%	9%	90
		25 – 50 m	46,32 %		
		50 – 100 m	20,58 %		
		100 – 150 m	9,55 %		
	Densidade de caminhos agrícolas e florestais	Inf. a 5 m/ha	50%		
		5 – 12,5 m/ha	23,52%		
		12,5 – 20 m/ha	10,29 %		
		20 – 30 m/ha	5,14 %		
		30 – 40 m/ha	5,14 %		
		40 – 65 m/ha	10,29 %		
		65 – 80 m/ha	23,52 %		
		Sup. a 80 m/ha	50%		
Exposições	135° - 225°	100%	60	6%	60
	225° - 315°	57,45 %	34		
	45° - 135°	21,28 %	13		
	315° - 45°	6,38 %	4		
Densidade demográfica	-1 Plano	0%	0	5%	50
	Até 250 hab / Km²	100%	50		
	Entre 250 e 1500 hab / Km ²	21,05 %	11		
	Acima de 1500 hab / Km²	100%	50		

Figura 10 - Metodologia de cálculo de risco de incêndio segundo o Instituto Geográfico Português (2009)

A eliminação da variável visibilidade por posto de vigia da metodologia do IGEO 2004, relativamente à metodologia de 2009 vai melhorar ou piorar a seu desempenho, na validação através das áreas ardidas na área de estudo?

Uma pergunta a ser respondida mais adiante...

4.2.4 Metodologia de Vettorazzi e Ferraz (1998)

Por sua vez, Vettorazzi e Ferraz (1998), desenvolveram uma metodologia em tudo semelhante à apresentada por Chuvieco e Congalton (1989), modificando somente alguns dos critérios escolhidos. Neste caso foram escolhidas cinco variáveis para o estudo de susceptibilidade a incêndio florestal, que são a vizinhança (área de 50 metros em redor da área de estudo), a rede viária, a ocupação do solo os declives e a exposição solar. A cada variável foi atribuído um peso, na escala de um a cinco, de acordo com a importância para a susceptibilidade a incêndio florestal estabelecido pelos autores como se pode ver na figura 11.

Variável	Ponderação	Classes	Valor
Estradas	4	0-30	7
		30-60	14
		60-100	20
Vizinhança	5	Mata	8
		Capoeira	13
		Cana do Açúcar	14
		Pasto	17
Ocupação Solo	4	Áreas de serviço	0
		Represas (eucaliptos spp)	12
		Essências Nativas	12
		Mata Nativa	14
		Capoeira	16
		Pinus hondurensis	18
		Pinus oocarpa	18
Declives	3	5-15	16
		16-25	17
		26-35	18
		36-45	19
		46-55	20
Exposição (Hemisfério Sul)	2	Oeste/Sul	10
		Norte	20
		Leste	20

Figura 11 – Metodologia de cálculo de risco de incêndio segundo Vettorazzi e Ferraz

As variáveis foram ainda classificadas com valores entre 1 e 20 de acordo com a sua menor ou maior influência para o risco de incêndio florestal. A equação final de execução do modelo é apresentada a seguir (Vettorazzi e Ferraz, 1998):

$$=(4*\text{Estradas})+(5*\text{Vizinhança})+(4*\text{Solo})+(3*\text{Declives})+(2*\text{exposição})$$

A estruturação deste modelo parece algo complicada, desde logo pelo peso atribuído à variável estradas, um peso igual ao que é atribuído à ocupação do solo, sendo no meu ponto de vista, e segundo os mais variados autores, (Abhineet, Shirish *et al.*, 1996; Lara, 2000; Chuvieco, Aguado *et al.*, 2010), a ocupação do solo é o factor mais importante para o cálculo da susceptibilidade a incêndio florestal. É a ocupação do solo que define os combustíveis disponíveis para arder e sem combustível não poderá existir incêndio florestal. Atribuir ponderação à rede viária igual à ocupação do solo é discutível, a rede viária facilita o acesso às áreas florestais, mas para ambos, para os bombeiros combaterem o fogo, mas também para os criminosos acederem mais facilmente às áreas florestais.

A ponderação atribuída à variável vizinhança é também alvo de discussão por ser a mais elevada do modelo, superior inclusive à ponderação da ocupação do solo. A ocupação do solo será assim tão diferente junto à área de estudo que seja necessário definir uma ponderação diferente, afinal está a ser considerada a vizinhança num raio de 50 metros.

A classificação da variável declive é algo que poderia estar mais bem definido porque para as várias classes de declives o valor atribuído é muito próximo originando que áreas de baixo declive não se consigam diferenciar das áreas de maiores declives.

4.2.5 Metodologia do Virginia Department of Forestry

O Virginia Department of Forestry (VDF) utiliza uma metodologia com uma fórmula de cálculo em tudo semelhante à metodologia utilizada pelo IGEO. As variáveis seleccionadas para a elaboração da carta de susceptibilidade a incêndio florestal são a ocupação do solo, o declive, a exposição, a população, a rede viária, os caminhos-de-ferro e a densidade de ocorrências.

Este é também um método que atribui pesos a cada uma das variáveis, com a diferença para os anteriores de que cada variável é ponderada em função da sua localização, no litoral, na planície e na montanha, como se pode verificar na figura 12.

*Sistema de Informação Geográfica e Susceptibilidade a Incêndio Florestal:
Análise de Metodologias em Ambiente SIG*

Variável	Classes	Valor
Ocupação do Solo	Água	No Data
	Urbano de baixa densidade	3
	Urbano de alta densidade	2
	Pastagens	6
	Árvores de frutos	2
	Provável árvores de frutos	3
	Floresta de coníferas	10
	Floresta mista	9
	Floresta estacional	8
	Floresta humida	2
	Floresta humida emergente	1
	Rochas e terras áridas	0
	Transição de terras áridas	2
Declive	0-5 %	1
	6-25%	5
	mais de 25%	10
Exposição	Declives com menos de 5%	0
	Declives N, Ne (0º - 112,5º)	1
	Declives W, NW (247,5º - 337,5º)	5
	Declives S, SE, SW (112,5º - 247,5º)	10
População	Mais de 1500 Hab/Km2	0
	Restantes reclassificadas em 10 classes	1 maior densidade
		10 menor densidade
Rede Viária	Distância euclidiana reclassificada em 10 classes	1 mais longe
		10 mais perto
Caminho Ferro	Buffer 400 m	5
Densidade de ocorrências	Metodo de Kernel reclassificado em 10 Classes	1 menos ocorrências
		10 mais ocorrências

Peso das Variáveis			
Variáveis	Montanha	Planície	Litoral
Ocup. Solo	32	40	21
Declives	9	14	13
Exposição	10	2	13
População	14	16	14
Rede Viária	7	8	11
Caminhos de Ferro	4	6	5
Ocorrências	24	24	23

Figura 12 – Metodologia de cálculo de risco de incêndio segundo o Virginia Department of Forestry

Cada uma destas variáveis foi reclassificada de acordo com a sua contribuição para o risco de incêndio com valores compreendidos entre zero, para classes que pouco ou nada contribuem para a susceptibilidade a incêndio florestal, e dez para as classes que contribuem muito para a susceptibilidade a incêndio florestal.

Esta metodologia parece bastante coerente do ponto de vista dos coeficientes atribuídos a cada uma das classes das variáveis. Os valores atribuídos estão bem distribuídos pelas variáveis, com os valores bem diferenciados em função da contribuição da classe da variável para a susceptibilidade. Já no plano das ponderações aí é que as coisas complicam com a atribuição do peso às variáveis diferenciado pela orografia do terreno e não pela sua contribuição para a susceptibilidade a incêndio florestal. Cada variável é ponderada com diferentes valores, áreas de montanha, planície ou litoral. Porquê atribuir à variável ocupação do solo uma ponderação superior às áreas

de planície do que às áreas de montanha? O risco de incêndio não aumenta, por exemplo, nas áreas de maior declive, e não estarão essas áreas localizadas na montanha?

A variável declives por seu lado também apresenta uma ponderação superior nas áreas de planície do que nas áreas de litoral ou montanha, não deveria se o inverso? A ponderação atribuída às restantes variáveis não apresenta diferenças significativas em função da área a que são atribuídas.

Capítulo 5. Análise e Discussão dos Resultados

5.1. Validação das Metodologias Seleccionadas

Após a aplicação das metodologias de cálculo da susceptibilidade a incêndio florestal referidas no capítulo 4, passamos à análise e discussão dos resultados obtidos.

A análise e validação das metodologias construídas são efectivadas com recurso às áreas ardidas para o período temporal 1990-2008, disponibilizadas pela Autoridade Florestal Nacional¹⁶, através da construção da curva de predição e respectivo cálculo da Área Abaixo da Curva (A.A.C.).

Como qualquer um dos cinco modelos, não tem em consideração a inclusão de áreas ardidas na sua elaboração, isso pressupõe a impossibilidade de cálculo da curva de sucesso. Como consequência, só é calculada a curva de predição, indicativa da capacidade que o modelo tem de prever os incêndios em anos que não foram considerados nos cálculos das diferentes metodologias.

A curva de predição do modelo obtém-se através do cruzamento do mapa de susceptibilidade com a distribuição das áreas ardidas, que não foram consideradas nos modelos, neste caso, as áreas ardidas entre 1990 e 2008. Assim sendo, os resultados da curva de predição podem ter uma interpretação preditiva, visto que decorrem de um processo de validação independente.

5.1.1. Validação da Metodologia de Vettorazzi e Ferraz (1998)

A primeira análise é efectuada à metodologia de Vettorazzi e Ferraz (1998) com base na tabela 1 e figura 13, complementada com a visualização da cartografia que deu origem a estes resultados (figura 14).

A análise da tabela 1 e da figura 14 possibilita verificar a fraca taxa de predição deste modelo de Vettorazzi e Ferraz. Isolando 30% do território classificado como mais susceptível ficaram por enquadrar no modelo 62% das novas áreas ardidas, um valor muito alto, justificando a fraca qualidade preditiva deste modelo. Por sua vez, para enquadrar no modelo 70% das novas áreas ardidas é necessário isolar cerca de 60% da área de estudo.

¹⁶ Disponíveis em: <http://www.afn.min-agricultura.pt/portal/dudf/cartografia/cartograf-nac-areas-ardidas-1990-2008>

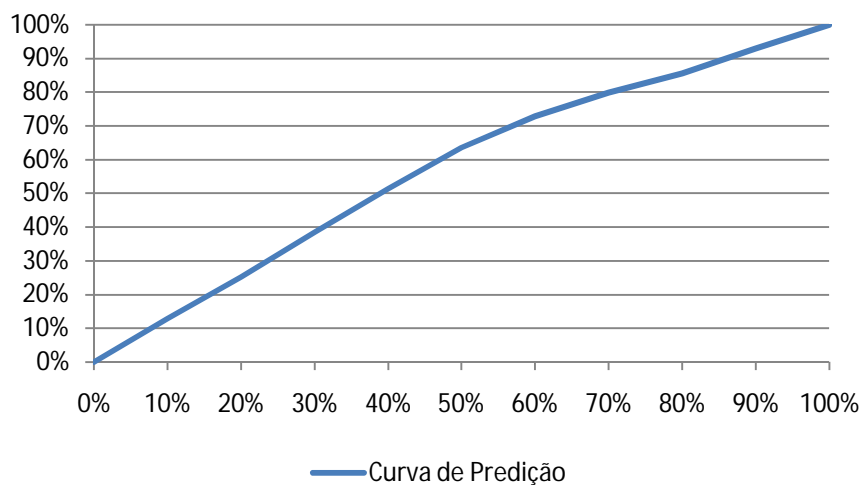


Figura 13 – Curva de predição da metodologia de Vettorazzi e Ferraz

	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Curva de Predição	12.89%	25.32%	38.51%	51.39%	63.47%	72.82%	79.93%	85.63%	92.97%

Tabela 1 – Taxas de predição da metodologia de Vettorazzi e Ferraz

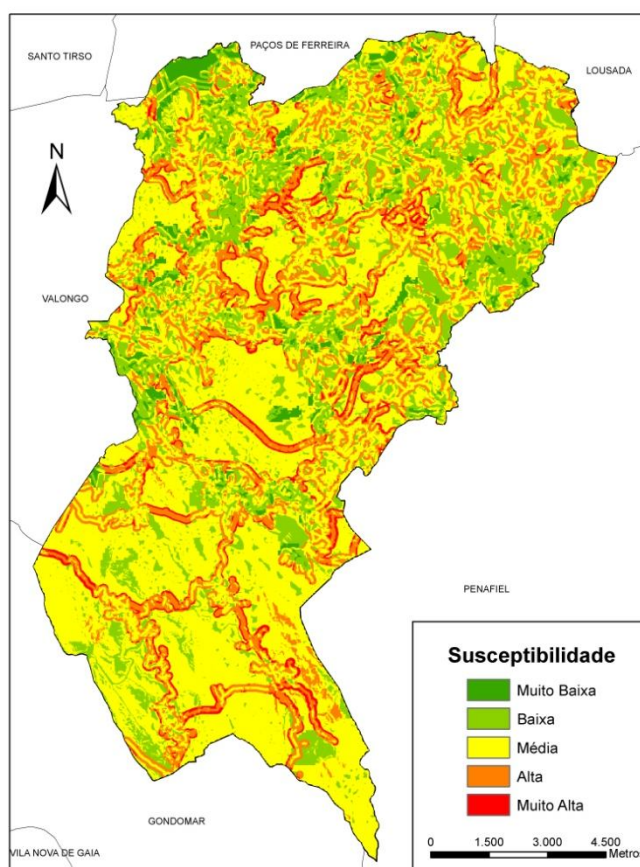


Figura 14 – Suscetibilidade a incêndios florestais, no concelho de Paredes, segundo o método de Vettorazzi e Ferraz (1998)

5.1.2. Validação da Metodologia do Virginia Department of Forestry

A metodologia apresentada pelo Virginia Department of Forestry (figura 15, 16 e tabela 2) apresenta um resultado menos positivo comparativamente ao modelo anterior. Tomando como referência os mesmos 30% do território a nova área ardida enquadrada pelo modelo do VDF é de 32.71%, deixando por enquadrar no modelo, quase 70% da nova área ardida, um resultado inferior ao verificado anteriormente. Para enquadrar os 70% de nova área ardida é necessário incluir perto de 60% do território de estudo, sensivelmente o mesmo resultado que o método anterior.

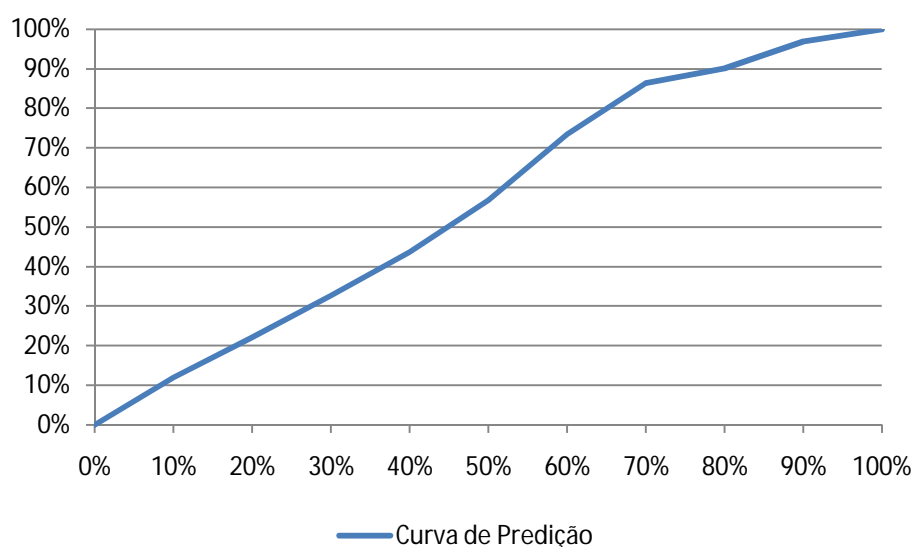


Figura 15 – Curva de predição da metodologia do Virginia Department of Forestry

	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Curva de Predição	11.99%	22.01%	32.71%	43.67%	56.81%	73.46%	86.31%	90.14%	96.83%

Tabela 2 – Taxas de predição da metodologia da Virginia Department of Forestry

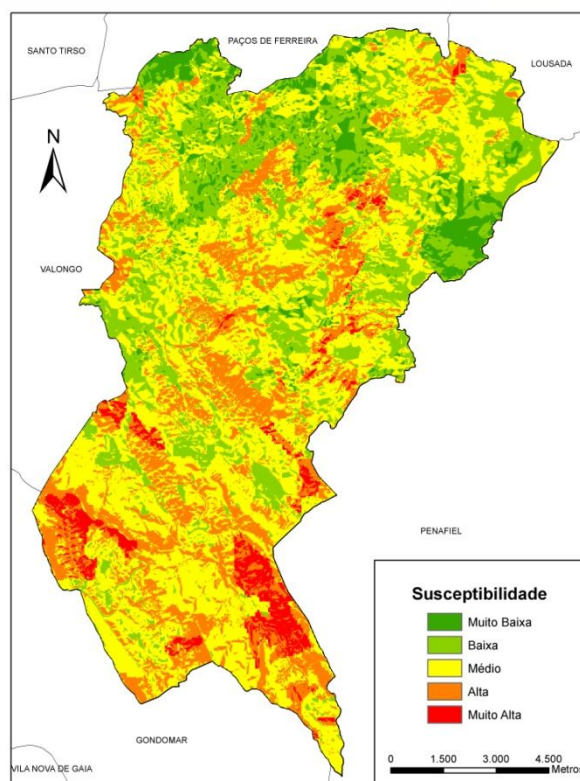


Figura 16 – Susceptibilidade a incêndios florestais, no concelho de Paredes, segundo o método do Virginia Department of Forestry

5.1.3. Validação da Metodologia de Chuvieco e Congalton

O resultado da aplicação, à área de estudo, da metodologia de Chuvieco e Congalton (1989) é representado pelas figuras 17 e 18 e pela tabela 3.

Os resultados verificados denotam uma melhoria, relativamente às metodologias realizadas anteriormente, em 30% do território ficaram por enquadrar neste modelo 57% de novas áreas ardidas, uma melhoria de quase 10% face ao modelo do VDF e 5% face ao modelo de Vettorazzi e Ferraz. Se por outro lado quisermos saber que percentagem é necessária para enquadrar no modelo 70% das novas áreas ardidas temos de incluir perto de 50% do território em estudo, um resultado que melhora em 10% a capacidade preditiva deste modelo face aos anteriores.

	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Curva de Predição	14.23%	28.37%	43.25%	52.99%	71.98%	78.51%	81.73%	84.81%	88.23%

Tabela 3 – Taxas de predição da metodologia de Chuvieco e Congalton

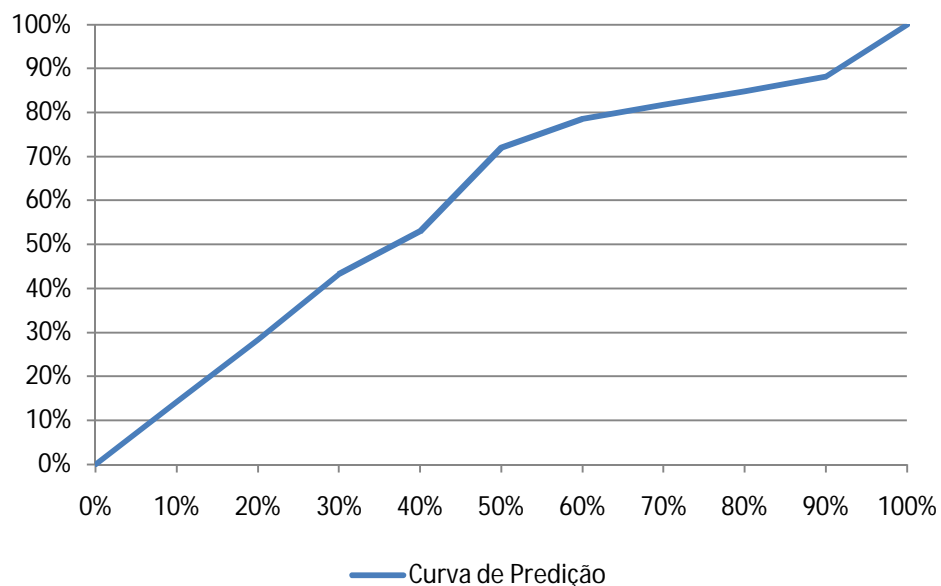


Figura 17 – Curva de predição da metodologia de Chuvieco e Congalton

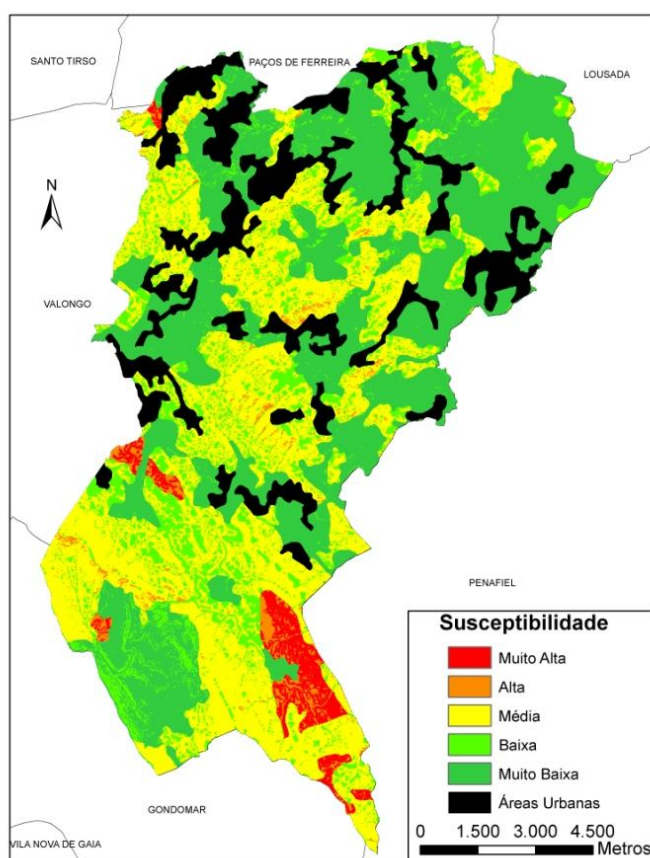


Figura 18 - Susceptibilidade a incêndios florestais, no concelho de Paredes, segundo o método de Chuvieco e Congalton (1989)

5.1.4. Validação da Metodologia do Instituto Geográfico Português (2009)

Numa análise mais particularizada, e tendo em consideração a comparação com os resultados das metodologias já apresentadas, verifica-se que a metodologia do Instituto Geográfico Português de 2009 apresenta uma melhoria significativa dos resultados apresentados pela tabela 4, figuras 19 e 20.

Este modelo enquadra em 30% do território cerca de 50% das novas áreas ardidas, o melhor resultado verificados até aqui, da mesma forma que a percentagem necessária para enquadrar 70% das novas áreas ardidas também baixou para cerca de 45% de área do território em estudo.

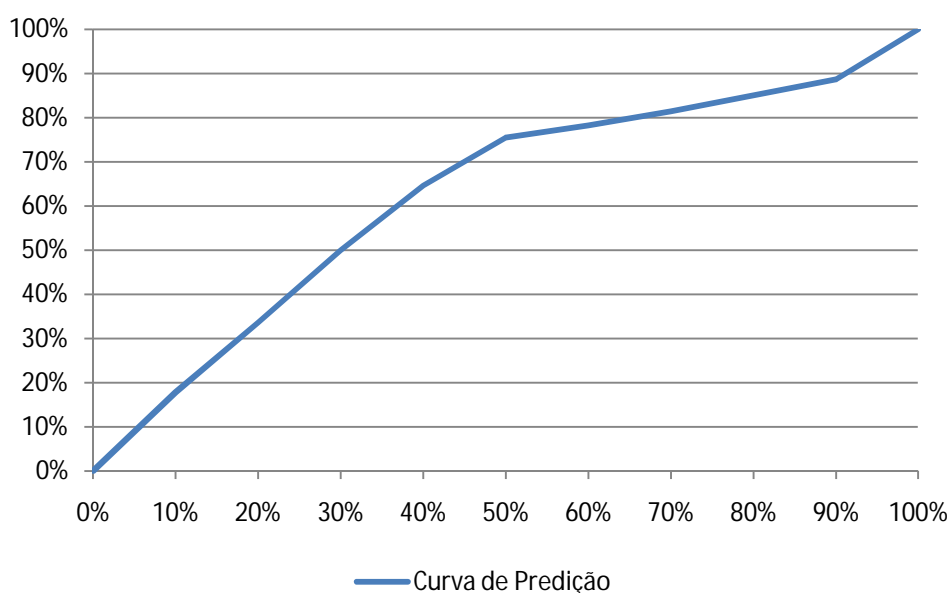


Figura 19 – Curva de predição da metodologia do Instituto Geográfico Português (2009)

	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Curva de Predição	17.76%	33.51%	49.99%	64.61%	75.42%	78.21%	81.42%	84.98%	88.63%

Tabela 4 – Taxas de predição da metodologia do Instituto Geográfico Português de 2009

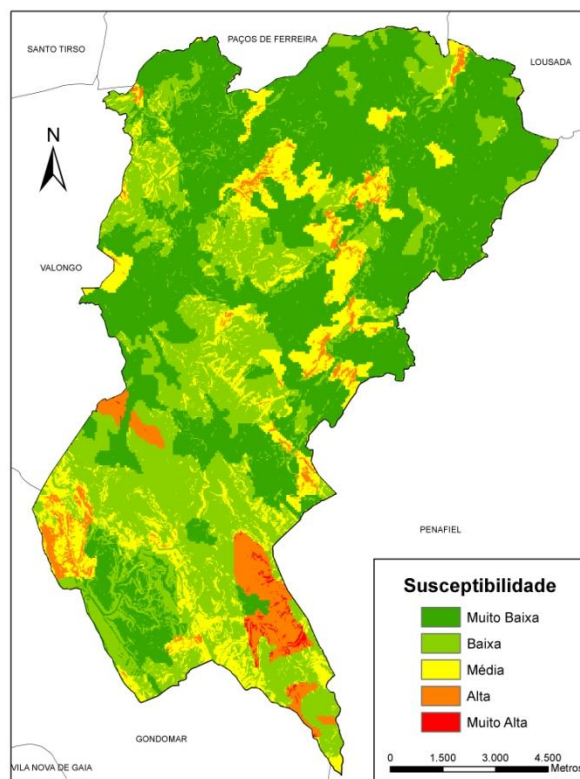


Figura 20 - Susceptibilidade a incêndios florestais, no concelho de Paredes, segundo o método do Instituto Geográfico Português (2009)

5.1.5. Validação da Metodologia do Instituto Geográfico Português (2004)

As duas metodologias utilizadas pelo Instituto Geográfico Português, 2004 e 2009, apresentam uma taxa preditiva muito semelhante, os resultados apresentados nas tabelas 4 e 5 indicam isso mesmo. Apesar de ter sido elaborada mais recentemente, e o ter sido com o intuito de melhorar os resultados, a metodologia aplicada desde 2009 mostra, neste caso de estudo, um desempenho inferior à metodologia de 2004.

Os resultados, mais dissecados, apresentados pela tabela 5, figura 21 e 22 são muito semelhantes aos verificados anteriormente, pela metodologia do Instituto Geográfico Português de 2009, com as diferenças preditivas a serem muitas vezes inferiores a 1%.

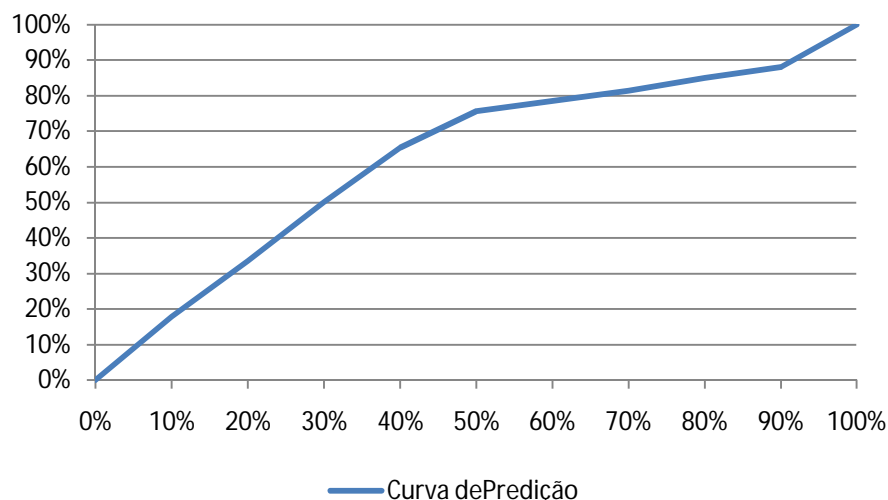


Figura 21 - Curva de predição da metodologia do Instituto Geográfico Português (2004)

	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Curva de Predição	17.89%	33.52%	50.03%	65.38%	75.63%	78.49%	81.47%	84.97%	88.12%

Tabela 5 – Taxas de predição da metodologia do Instituto Geográfico Português de 2004

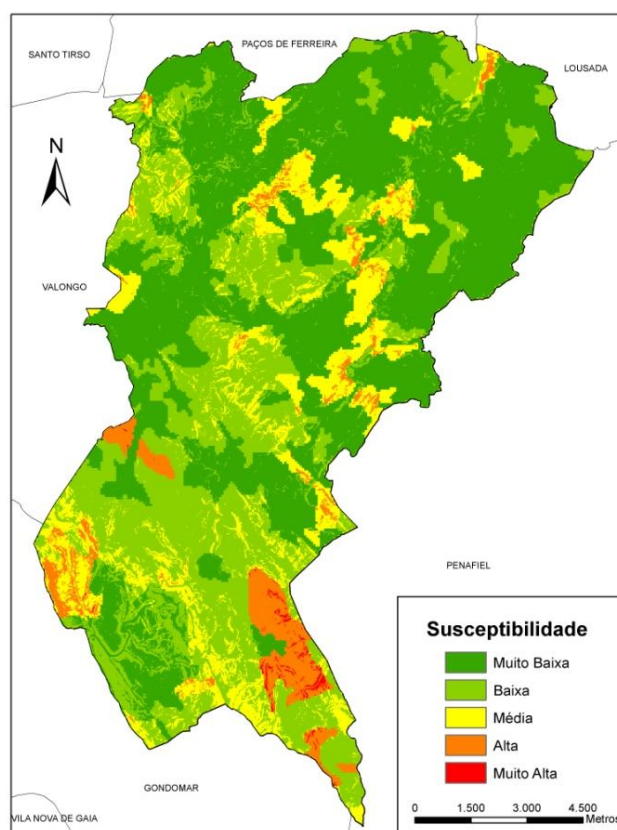


Figura 22 - Susceptibilidade a incêndios florestais, no concelho de Paredes, segundo o método do Instituto Geográfico Português (2004)

Comparativamente com os métodos anteriores este é a que apresenta melhores resultados, isolando 30% do território é enquadrado no modelo um pouco mais de 50% das novas áreas ardidas, enquanto para enquadrar 70% das novas áreas ardidas é necessário isolar cerca de 45% do território da área de estudo. Estes resultados são reveladores da similaridade existente entre as duas metodologias do Instituto Geográfico Português, 2004 e 2009, sendo inclusive as duas metodologias que apresentam os melhores resultados.

5.2 A Construção da Carta de Susceptibilidade

A construção da carta de susceptibilidade, elaborada de acordo com a metodologia descrita no ponto 4.2 foi executada recorrendo às seguintes variáveis: ocupação do solo, declives, exposição, visibilidades por postos de vigia, densidade populacional e rede viária.

Após o cálculo dos respectivos resultados de favorabilidade, as variáveis foram seleccionadas e conjugadas para a obtenção da carta de susceptibilidade, através da multiplicação simples dos resultados de favorabilidade, na tentativa de encontrar a conjugação de variáveis que apresenta melhores resultados. Após a construção da carta de susceptibilidade a incêndio florestal, ela foi validada com recurso ao grupo de área ardida não incluída no modelo.

5.2.1 Variáveis com o “Grupo A” incluído no modelo

A primeira selecção de variáveis é composta pela combinação ocupação do solo e pelo histórico Grupo A (curva de sucesso), ficando o Grupo B para validação (curva de predição).

A leitura da tabela 6 e figura 23 permite depreender que esta combinação de variáveis não produz resultados satisfatórios em termos de capacidade preditiva. Isolando 30% do território, classificado pelo modelo como mais susceptível, verifica-se que a taxa de predição é de apenas 21.02%, deixando de fora quase 80% das novas áreas ardidas.

	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Sucesso	41,37%	80,02%	99,51%	99,53%	99,67%	99,72%	99,89%	99,91%	99,95%
Predição	8,53%	15,20%	21,02%	26,72%	31,89%	38,55%	44,87%	59,71%	83,47%

Tabela 6 – Taxas de sucesso e predição para a combinação de variáveis: ocupação do solo e histórico Grupo A

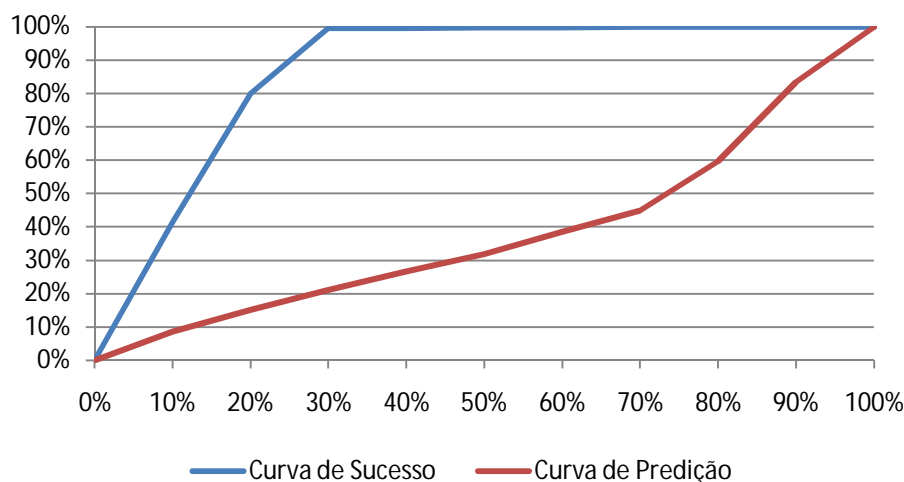


Figura 23 - Curvas de sucesso e predição para a combinação de variáveis: ocupação do solo e histórico Grupo A

Por outro lado, as taxas de sucesso são bem mais aceitáveis, partindo de uma análise dos mesmos 30% do território podemos verificar que a curva de sucesso engloba 99,51% da área ardida, o que determina um grau de ajuste elevado entre os dados e o modelo, avaliando a área susceptível necessária para justificar o aparecimento de determinada quantidade de incêndios florestais.

As formas apresentadas pelas curvas de sucesso e predição verificadas no gráfico da figura 23 são possivelmente originadas pela separação aleatória dos dois blocos representativos das áreas ardidas, o Grupo A (curva de sucesso) e o grupo B (curva de predição). Essa separação aleatória originou uma disparidade de áreas ardidas de 3500 ha. O Grupo A apresenta uma área ardida total de 7000 ha, enquanto o Grupo B apresenta uma área ardida total de, pouco mais de 105000 ha. Esta condicionante, presente no modelo já apresentado, vai estar presente em todos os modelos que serão expostos em seguida.

O passo seguinte consistiu em adicionar outras variáveis ao modelo, de forma a verificar qual o comportamento verificado pelas taxas de sucesso, predição e área abaixo da curva.

A primeira variável a ser acrescentada foi o declive. O declive exerce uma influência considerável sobre a velocidade de propagação do fogo, sobretudo durante os primeiros estados de um incêndio. As correntes de vento ascendentes e a inclinação natural das chamas sobre os combustíveis facilitam a transferência de energia por radiação e convecção na frente do fogo. O incremento da velocidade de propagação do fogo com o declive deve-se ao facto de os combustíveis situados a montante da frente das chamas serem eficientemente secos e aquecidos até à temperatura de ignição, facilitando a propagação do incêndio.

Este modelo é composto pelas variáveis: ocupação do solo, declives e histórico (Grupo A), figura 24 e tabela 7.

A leitura da tabela 7 demonstra que 30% do território enquadram 98.73% das áreas ardidas incluídas no modelo, comprovando um elevado grau de ajuste entre os dados utilizados e a metodologia, embora ligeiramente inferior aos valores apresentados pela combinação anterior.

Da mesma forma, a taxa de predição apresenta um valor mais baixo comparativamente com o modelo analisado anteriormente, para os mesmos 30% do território só consegue enquadrar cerca de 20% das novas área ardidas do grupo de teste corroborando a fraca capacidade preditiva deste modelo.

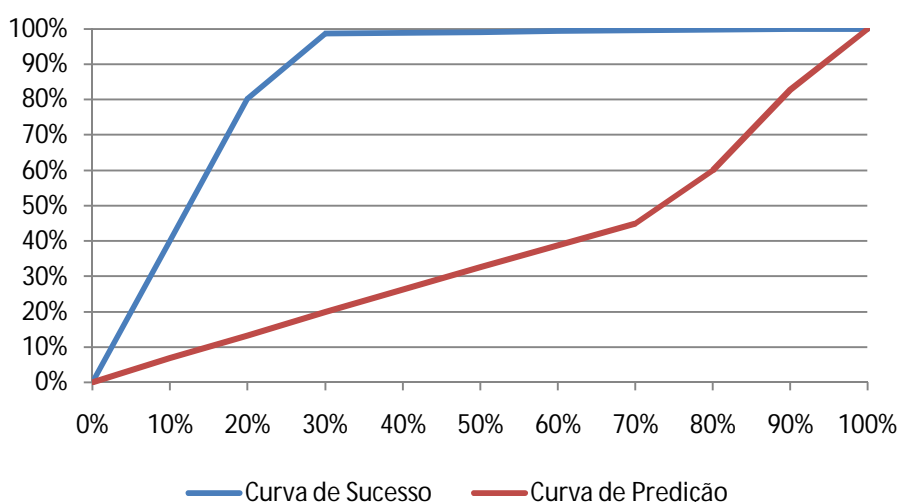


Figura 24 - Curvas de sucesso e predição para a combinação de variáveis: ocupação do solo, histórico Grupo A e declives

	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Sucesso	39,97%	80,27%	98,73%	98,91%	99,12%	99,36%	99,68%	99,79%	99,87%
Predição	6,92%	13,21%	19,97%	26,32%	32,56%	38,69%	44,97%	60,01%	82,71%

Tabela 7 – Taxas de sucesso e predição para a combinação de variáveis: ocupação do solo, histórico Grupo A e declives

Depois dos declives, foi acrescentado ao modelo a variável exposição solar. A direcção das vertentes face ao sol condiciona a secura e humidade dos combustíveis, assim como o tipo de vegetação existente pelo que é uma variável a considerar neste modelo. Os resultados são apresentados na tabela 8 e figura 25.

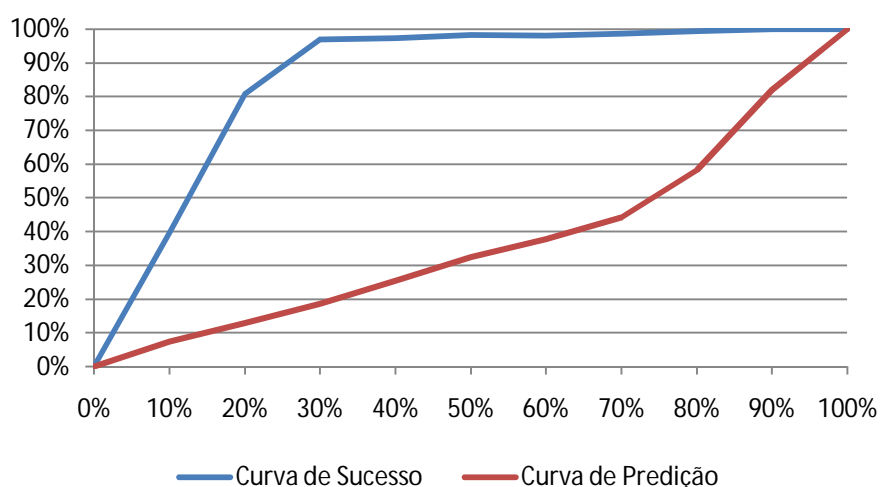


Figura 25 – Curvas de sucesso e predição para a combinação de variáveis: ocupação do solo, histórico Grupo A, declives e exposição solar

	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Sucesso	39,65%	80,87%	97,01%	97,30%	98,21%	97,99%	98,68%	99,47%	99,89%
Predição	7,35%	12,96%	18,67%	25,41%	32,43%	37,82%	44,23%	58,20%	82,02%

Tabela 8 – Taxas de sucesso e predição para a combinação de variáveis: ocupação do solo, histórico Grupo A, declives e exposição solar

Ao adicionar ao modelo mais esta variável, verifica-se um ligeiro decréscimo no grau de ajuste entre os dados e o modelo, para 30% do território é enquadrada 97.01% da área ardida incluída no modelo, um valor ligeiramente inferior ao verificado no modelo anterior.

A taxa de predição mostra a mesma redução verificada na taxa de sucesso ao passar dos quase 20% para pouco mais de 18.50% face ao modelo anterior, persistindo a pouca capacidade preditiva dos modelos apresentados até aqui.

A visibilidade por posto de vigia foi a variável que a seguir se incluiu no modelo. Esta é uma variável importante na rápida detecção dos incêndios, permitindo um menor espaço de tempo entre a sua detecção e a primeira intervenção, sendo crucial para não deixar aumentar as proporções dos incêndios.

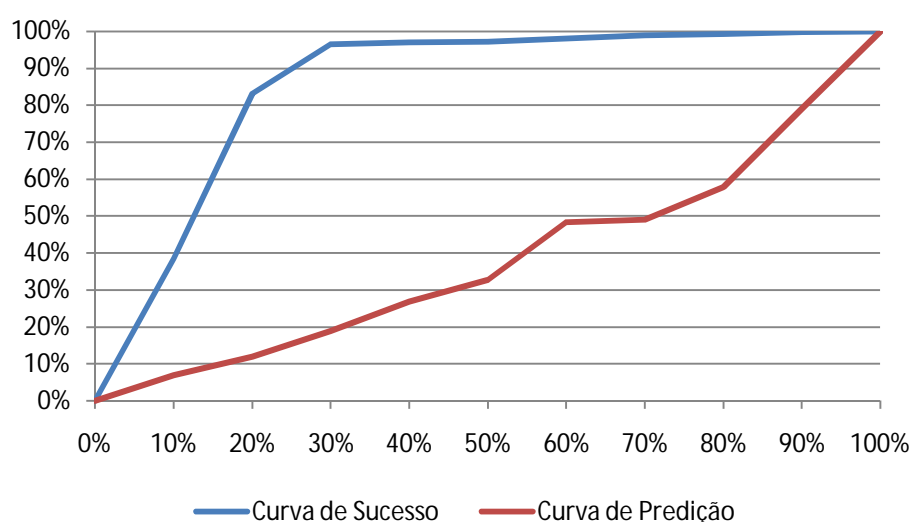


Figura 26 – Curvas de sucesso e predição para a combinação de variáveis: ocupação do solo, histórico Grupo A, declives, exposição solar e visibilidades por posto de vigia

	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Sucesso	38,51%	83,09%	96,55%	96,97%	97,24%	98,01%	98,90%	99,22%	99,83%
Predição	6,98%	12,01%	18,97%	26,85%	32,74%	48,36%	49,03%	57,82%	79,06%

Tabela 9 – Taxas de sucesso e predição para a combinação de variáveis: ocupação do solo, histórico Grupo A, declives, exposição solar e visibilidades por posto de vigia

A leitura da tabela 10 e figura 26 permite verificar que a redução das taxas de sucesso se mantém, verificando-se uma ligeira diminuição de cerca de 0.5% face ao modelo anterior, para a mesma área de 30% do território mais susceptível, parecendo indicar que o grau de ajuste entre os dados e o modelo vai decaindo à medida que novas variáveis vão sendo introduzidas no mesmo.

Na taxa de predição verifica-se o inverso, existe um ligeiro aumento, de 0.3% indicando uma melhoria ligeira da capacidade preditiva deste modelo em comparação com o anterior. No entanto, apesar da ligeira melhoria, este valor continua a decrescer face ao primeiro modelo apresentado.

A variável população foi a seguinte a entrar no modelo, sob a forma de densidade populacional de habitantes por quilómetro quadrado (hab. /Km²). A opção por esta densidade é explicada pela impossibilidade de obter uma unidade territorial cartografada mais pequena que as freguesias, por exemplo secções ou subsecções. Os resultados das taxas de sucesso e predição estão apresentados na tabela 10 e figura 27.

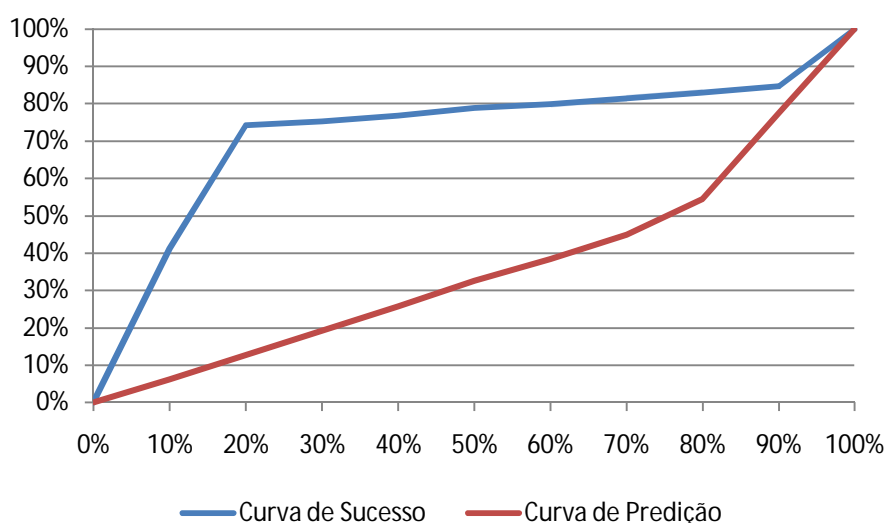


Figura 27 – Curvas de sucesso e predição para a combinação de variáveis: ocupação do solo, histórico Grupo A, declives, exposição solar, visibilidades por posto de vigia e população

	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Sucesso	41,21%	74,22%	75,36%	76,82%	78,94%	79,99%	81,47%	82,93%	84,77%
Predição	6,19%	12,81%	19,27%	25,84%	32,71%	38,37%	45,01%	54,52%	77,52%

Tabela 10 - Taxas de sucesso e predição para a combinação de variáveis: ocupação do solo, histórico Grupo A, declives, exposição solar, visibilidades por posto de vigia e população

A curva decrescente da taxa de sucesso acentuou-se com a introdução da variável população. A taxa de sucesso, para 30% do território apresenta um valor de 75.36%, um valor que atesta a o ajuste entre a distribuição das áreas ardidas incluídas no modelo e as outras variáveis. No entanto, continua-se a verificar um decréscimo, na

taxa de sucesso, neste caso, de cerca de 20% em comparação com os anteriores modelos que apresentaram valores sempre acima dos 90%.

A capacidade preditiva deste modelo sofre uma ligeira melhoria face ao anterior, passa dos 18.97% para os actuais 19.27%, um valor que só é maior nos primeiros dois modelos apresentados¹⁷. Se por um lado se perde o ajustamento entre os dados e o modelo por outro ganhou-se uma maior capacidade preditiva das novas áreas ardidadas.

A última variável introduzida no modelo é a proximidade à rede viária, que inclui os caminhos-de-ferro, caminhos florestais, e rede alta e média tensão. A existência de uma rede viária eficaz pode, por um lado, facilitar o acesso dos veículos de combate aos incêndios às grandes manchas florestais permitindo um melhor e mais eficaz combate. Por outro lado, não é menos verdade que facilita também o acesso de pessoas com intenções de atear fogo a essas mesmas manchas florestais.

Os resultados desta combinação de variáveis (ocupação do solo, histórico Grupo A, declives, exposição solar, visibilidades por posto de vigia, população e rede viária) são apresentados pela tabela 11 e pela figura 28.

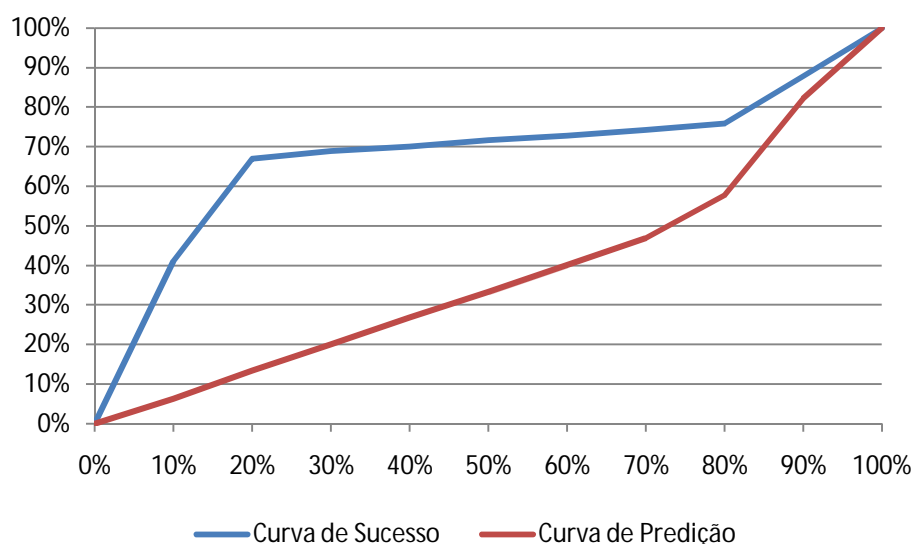


Figura 28 – Curvas de sucesso e predição para a combinação de variáveis: ocupação do solo, histórico Grupo A, declives, exposição solar, visibilidades por posto de vigia, população e rede viária.

¹⁷ A taxa de predição do primeiro modelo apresentado (combinação ocupação do solo e histórico) é de 21.02%.

A taxa de predição do primeiro modelo apresentado (combinação ocupação do solo, histórico e declives) é de 19.97%.

	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Sucesso	41,09%	66,88%	68,82%	69,96%	71,58%	72,81%	74,27%	75,93%	87,82%
Predição	6,33%	13,42%	20,07%	26,86%	33,24%	40,12%	46,83%	57,77%	82,09%

Tabela 11 - Taxas de sucesso e predição para a combinação de variáveis: ocupação do solo, histórico Grupo A, declives, exposição solar, visibilidades por posto de vigia, população e rede viária.

A inclusão da rede viária no modelo só veio piorar o resultado da taxa de sucesso diminuindo ainda mais o ajuste entre o modelo e os dados. Em 30% do território só são enquadrados 68.82% das áreas ardidas incluídas no modelo, o valor mais baixo verificado nos modelos até aqui analisados.

A taxa de predição, por sua vez, confirma a inversão da tendência decrescente verificada nos primeiros três modelos expostos, ao ver a sua capacidade preditiva a aumentar para os 20.07%, ficando por enquadrar, ainda assim, 80% das novas áreas ardidas.

5.2.2 Variáveis com o “Grupo B” incluído no modelo

Neste ponto, é apresentada a mesma combinação de variáveis mas alterando o grupo de áreas ardidas na variável histórico para o Grupo B, e o Grupo A serve de validação independente. O primeiro conjunto de variáveis a ser testado é a ocupação do solo e o histórico Grupo B.

Numa primeira análise verificamos que os resultados apresentados, na tabela 12 e na figura 29, são muito diferentes dos verificados no ponto 5.2.1 para a mesma combinação de variáveis. Se, por um lado, a taxa de sucesso é menor, por outro, há uma melhoria significativa da taxa de predição.

	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Sucesso	29,97%	59,98%	89,67%	99,33%	99,45%	99,67%	99,81%	99,89%	99,92%
Predição	25,68%	50,66%	54,96%	59,27%	64,18%	68,87%	73,64%	77,85%	89,27%

Tabela 12 – Taxas de sucesso e predição para a combinação de variáveis: ocupação do solo e histórico Grupo B

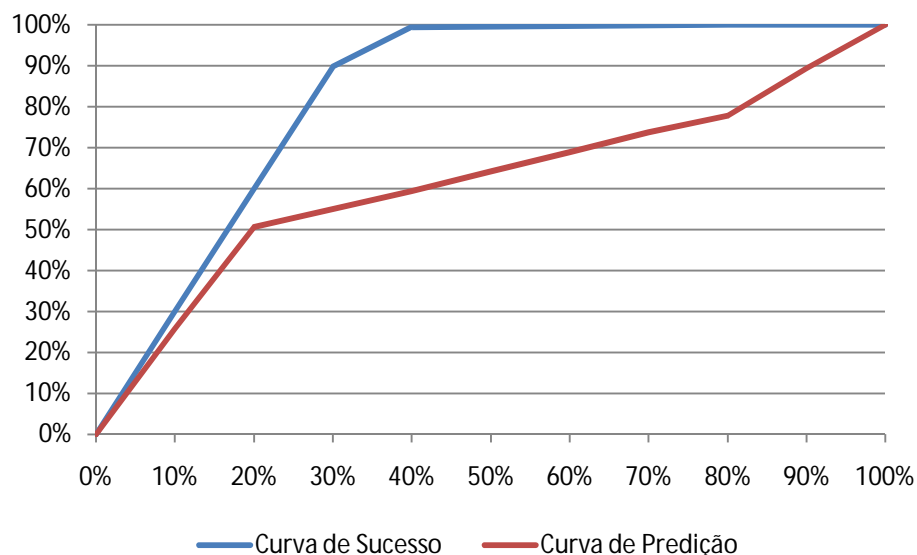


Figura 29 – Curvas de sucesso e predição para a combinação de variáveis: ocupação do solo e histórico Grupo B

Observando 30% de território, verifica-se que as áreas ardidas enquadradas no modelo são 89,67%, denotando um grau de ajuste elevado entre os dados e o modelo

Por outro lado, o resultado da curva de predição para a mesma área de 30% do território consegue enquadrar 54,96% das áreas ardidas, deixando de fora 55% das novas áreas ardidas. O progresso verificado na curva de predição atesta a maior capacidade de predição de um modelo verificada até agora.

Os modelos seguintes limitam-se a adicionar outras variáveis ao modelo de forma a verificar qual o comportamento verificado pelas taxas de sucesso, predição e área abaixo da curva.

Os resultados do modelo a que se refere a tabela 13 e figura 30 incluem as mesmas variáveis do modelo anterior (ocupação do solo e histórico Grupo B) às quais é acrescentada a variável declive.

	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Sucesso	27,44%	60,27%	89,73%	92,61%	93,12%	93,56%	93,89%	94,14%	94,73%
Predição	4,83%	9,21%	14,26%	18,77%	23,38%	28,01%	35,93%	54,87%	78,39%

Tabela 13 – Taxas de sucesso e predição para a combinação de variáveis: ocupação do solo, histórico Grupo B e declives

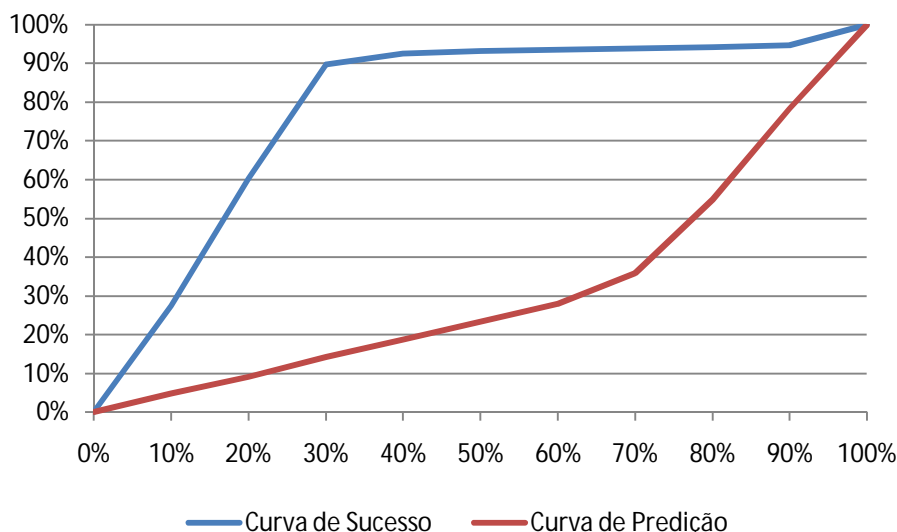


Figura 30 – Curvas de sucesso e predição para a combinação de variáveis: ocupação do solo, histórico Grupo B e declives

Este modelo apresenta uma ténue subida da taxa de sucesso, face ao modelo anterior, 89.73% contra os 89.67%, isto analisando 30% do território mais susceptível.

Já a taxa de predição sofre uma queda abrupta em comparação com o modelo anterior, passando dos 54.96% do primeiro modelo para os 14.26% actuais, denotando a fraca capacidade preditiva deste modelo, não sendo enquadrados nos 30% de área mais susceptível 85% das novas áreas ardidas.

A exposição solar foi outra variável acrescentada ao modelo anterior os resultados estão patentes na tabela 14 e figura 31.

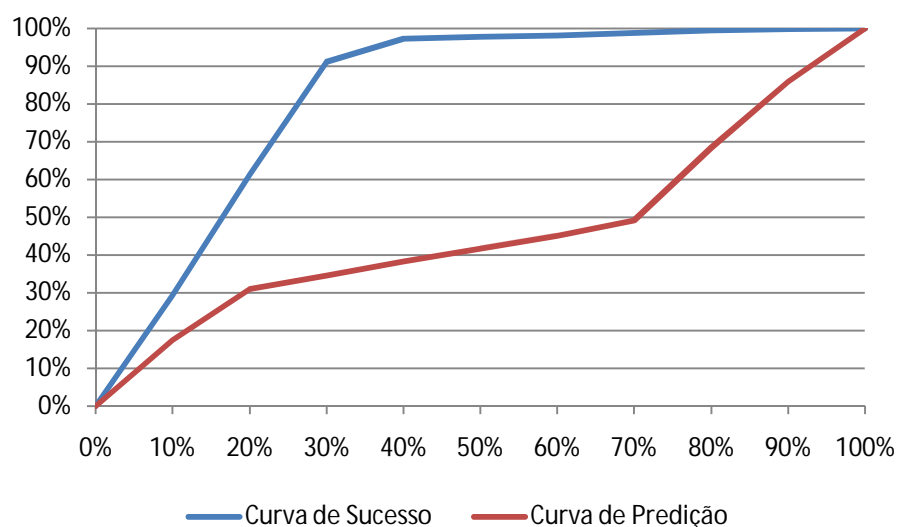


Figura 31 – Curvas de sucesso e predição para a combinação de variáveis: ocupação do solo, histórico Grupo B, declives e exposição

	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Sucesso	29,33%	61,27%	91,07%	97,28%	97,71%	98,10%	98,73%	99,42%	99,87%
Predição	17,45%	31,00%	34,56%	38,19%	41,68%	45,02%	49,06%	68,36%	85,88%

Tabela 14 - Taxas de sucesso e predição para a combinação de variáveis: ocupação do solo, histórico Grupo B, declives e exposição

Partindo da mesma análise de 30% do território a taxa de sucesso volta a denotar uma ligeira subida, neste caso de 1.34% quando comparada com o modelo anterior, chega a ser, inclusive, o valor mais elevado dos três modelos analisados até agora (91.07%). O mesmo se verifica na taxa de predição com o valor a mais que duplicar quando comparado com o modelo anterior (34.56%), ainda assim é um modelo com baixa capacidade preditiva, não conseguindo enquadrar mais de 65% de novas áreas ardidas em 30% de área mais susceptível.

O modelo seguinte a ser construído e validado é composto pelas variáveis ocupação do solo, histórico Grupo B, declives, exposição e visibilidades. O resultado desse modelo está apresentado na tabela 15 e na figura 32.

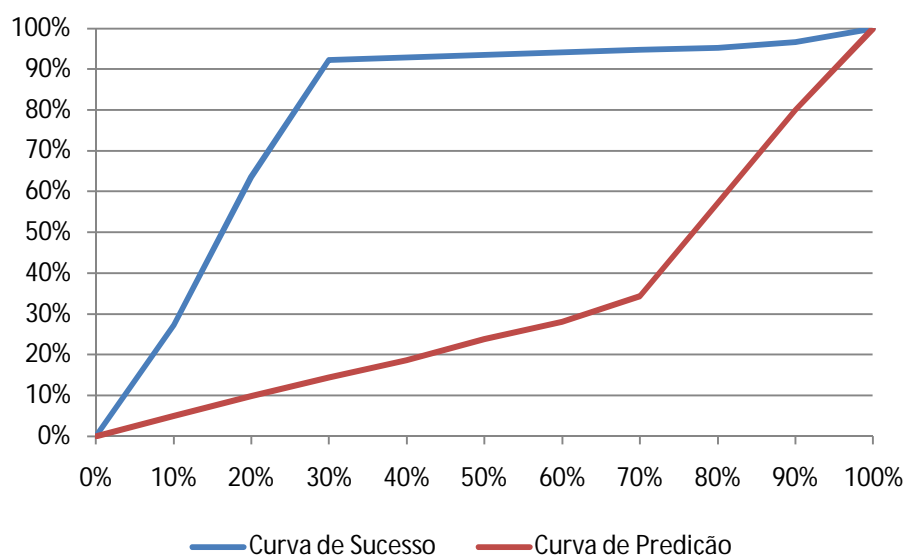


Figura 32 – Curvas de sucesso e predição para a combinação de variáveis: ocupação do solo, histórico Grupo B, declives, exposição e visibilidades.

	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Sucesso	27,32%	63,54%	92,19%	92,89%	93,59%	94,10%	94,83%	95,27%	96,72%
Predição	4,98%	9,82%	14,39%	18,59%	23,76%	27,99%	34,27%	57,23%	79,98%

Tabela 15 - Taxas de sucesso e predição para a combinação de variáveis: ocupação do solo, histórico Grupo B, declives, exposição e visibilidades.

A análise da referida tabela permite depreender que a taxa de sucesso continua a subir, atingindo, para 30% do território, uma área ardida incluída no modelo de 92.19%. este valor é revelador do elevado ajuste verificados entre os dados e o modelo.

No que respeita à taxa de predição, esta sofreu uma diminuição, apresentando um valor de 14.39% para uma área de 30% do território em estudo. Este valor só é mais baixo no modelo da combinação ocupação do solo, histórico e declives, com 14.26%.

Em penúltimo lugar é adicionada ao modelo anterior, composto pela combinação de variáveis ocupação do solo, histórico Grupo B, declives, exposição, visibilidades a variável população por freguesia em Km² com os resultados que se apresentam na tabela 16 e figura 33.

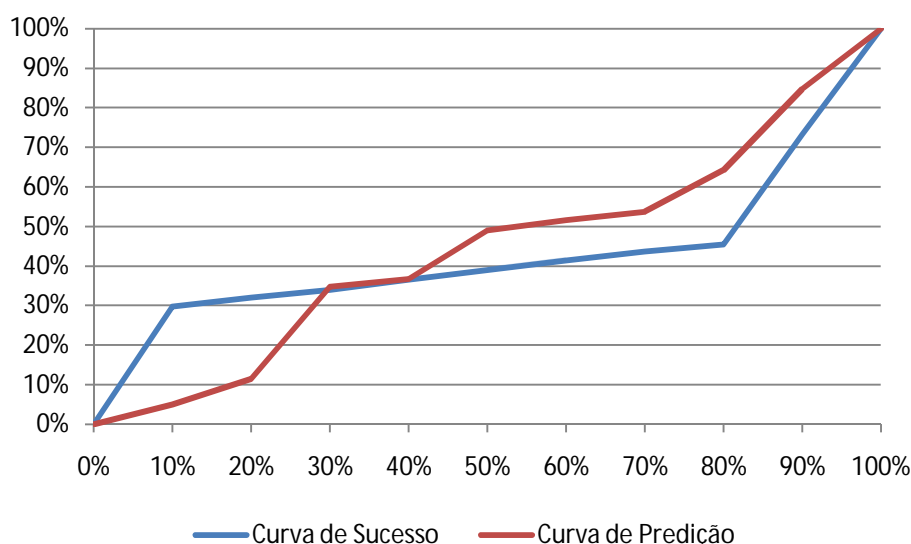


Figura 33 – Curvas de sucesso e predição para a combinação de variáveis: ocupação do solo, histórico Grupo B, declives, exposição, visibilidades e população.

	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Sucesso	29,72%	32,01%	34,00%	36,57%	38,97%	41,37%	43,69%	45,49%	73,33%
Predição	4,97%	11,39%	34,82%	36,74%	48,97%	51,56%	53,67%	64,18%	84,73%

Tabela 16 - Taxas de sucesso e predição para a combinação de variáveis: ocupação do solo, histórico Grupo B, declives, exposição, visibilidades e população.

Para esta combinação de variáveis, volta-se a verificar uma divergência no cálculo das taxas de sucesso e predição. A taxa de sucesso tem uma queda assinalável quando comparada, com os outros modelos, para os mesmos 30% de território, passando de 92.12%, o valor mais alto atingido até então, para 34.00%. É um valor muito baixo denotando o fraco ajuste entre os dados e o modelo. No que concerne à capacidade preditiva do modelo, ele apresenta, para 30% do território em estudo um valor de 34.82%, um valor que só é superado pelo modelo com a combinação ocupação do solo e histórico, com 54.96%. Ainda assim é um valor representativo da fraca capacidade preditiva deste modelo.

Por fim, acrescentou-se a variável proximidade à rede viária ao modelo já composto pela combinação de variáveis ocupação do solo, histórico Grupo B, declives, exposição, visibilidades a variável densidade populacional por freguesia (hab. /Km²). Os resultados verificados estão expostos na tabela 17 e na figura 34.

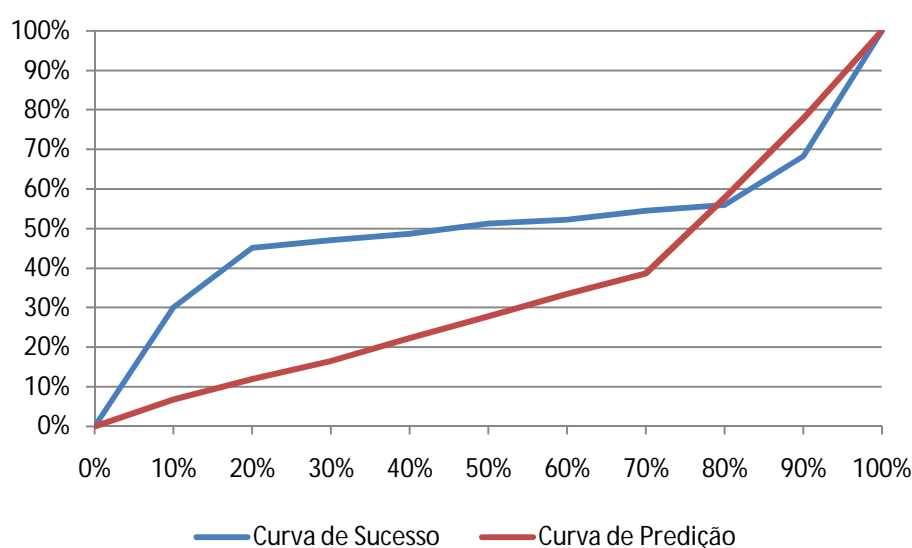


Figura 34 – Curvas de sucesso e predição para a combinação de variáveis: ocupação do solo, histórico Grupo B, declives, exposição, visibilidades, população e rede viária.

	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Sucesso	30,08%	45,12%	46,98%	48,72%	51,27%	52,18%	54,45%	55,89%	68,29%
Predição	6,71%	11,87%	16,52%	22,23%	27,83%	33,41%	38,65%	57,78%	77,74%

Tabela 17 - Taxas de sucesso e predição para a combinação de variáveis: ocupação do solo, histórico Grupo B, declives, exposição, visibilidades, população e rede viária.

A leitura da tabela 17 permite depreender que o ajuste dos dados para com o modelo melhorou um pouco, subindo quase 13.00% quando comparado com o modelo anterior. Todavia, o valor de 46.98% de área ardida que é enquadrada nos 30% do território é somente o segundo valor mais baixo verificado neste segundo conjunto de combinações. A capacidade preditiva deste modelo é também muito fraca, enquadrando em 30% do território em estudo somente 16.52% das novas áreas ardidas que serviram de validação independente, não prevendo quase 85% dos novos incêndios.

Nestes dois últimos modelos apresentados a curva de predição ultrapassa, a curva de sucesso. A superioridade dos valores preditivos face aos valores de sucesso pode ser justificada com a separação aleatória já referida anteriormente. Este poderá ser o caso em que a menor área ardida total do grupo de validação (Grupo A) justifique a melhor capacidade preditiva deste modelo face ao grau de ajuste entre os dados e o modelo. No entanto não é de descurar o resultado da A. A. C. destes dois modelos, que onde os gráficos apresentados podem induzir em erro. Em ambos os modelos verifica-se que a curva de sucesso apresenta uma A. A. C. superior à A. A. C. da curva de predição, como poderemos comprovar mais à frente. A hipótese de ter ocorrido um erro do programa ArcGis 9.3 na multiplicação das variáveis com os resultados de favorabilidade não é posta de parte, mas em tempo útil não foi confirmada, nem desmentida essa suspeita. Por sua vez a base de dados em Excel foi verificada com os cálculos a estarem correctos como em todos os anteriores modelos.

5.3 Discussão dos Resultados

5.3.1 Os Resultados das Metodologias Seleccionadas

Através da análise da tabela 18, que indica a A.A.C. calculada para cada uma das cinco metodologias, verificamos que os resultados apurados são francamente desanimadores, apresentado em todos os casos valores de área abaixo da curva inferiores a 65%, expondo no caso da metodologia de Vettorazzi e Ferraz (1998) um resultado de área abaixo da curva de pouco mais de 50%, o que é francamente um mau resultado de validação da carta de susceptibilidade de incêndio para a área de estudo, denotando a menor área abaixo da curva das cinco metodologias estudadas.

Metodologias	A.A.C.
Vettorazzi & Ferraz	50,21%
Virginia Department of Forestry	53,61%
Chuvieco e Congalton	60,20%
IGEO 2009	63,45%
IGEO 2004	63,55%

Tabela 18 – Área Abaixo da Curvas verificada para as cinco metodologias estudadas

A metodologia de Vettorazzi e Ferraz é a que apresenta, de entre todas, os piores resultados, quer em taxa de predição, quer em termos de área abaixo da curva com um valor de 50.21%. Segundo Bi e Bennett (2003) e Fawcett (2003) nenhum resultado para ser válido deve ter uma Área Abaixo da Curva inferior a 50%, o que se quase se verificava no método de Vettorazzi e Ferraz. A metodologia que apresenta um melhor desempenho é a do Instituto Geográfico Português (2004) com 63.55% de área abaixo da curva. Pelo meio, estão as restantes três metodologias com um intervalo de valores de cerca de 10%, Virginia Department of Forestry com uma área abaixo da curva de 53.61%, Chuvieco e Congalton com 60.20% e, por fim, a metodologia do Instituto Geográfico Português (2009) com 63.45%.

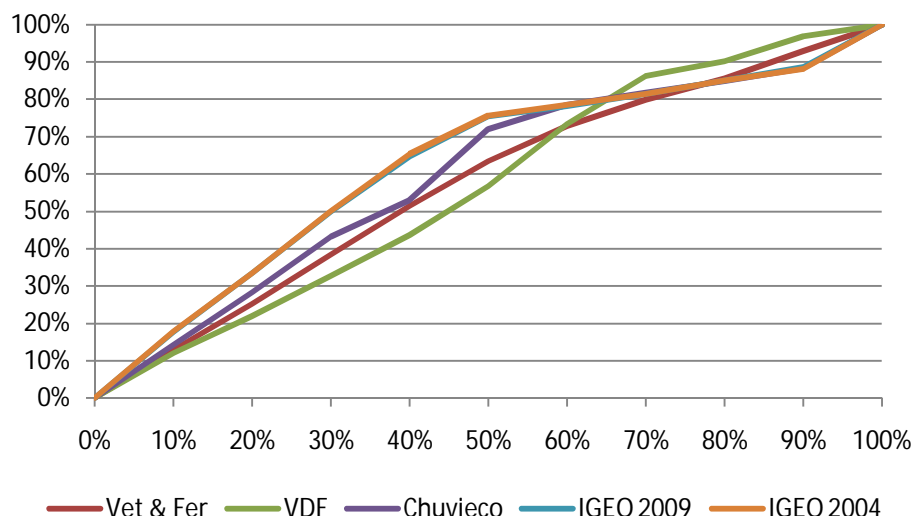


Figura 35 – Curvas de predição para as quatro metodologias comparadas

	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Vettorazzi	12,89%	25,32%	38,51%	51,39%	63,47%	72,82%	79,93%	85,63%	92,97%
VDF	11,99%	22,01%	32,71%	43,67%	56,81%	73,46%	86,31%	90,14%	96,83%
Chuvieco	14,23%	28,37%	43,25%	52,99%	71,98%	78,51%	81,73%	84,81%	88,23%
IGEO 2009	17,76%	33,51%	49,99%	64,61%	75,42%	78,21%	81,42%	84,98%	88,63%
IGEO 2004	17,89%	33,52%	50,03%	65,38%	75,63%	78,49%	81,47%	84,97%	88,12%

Tabela 19 – Taxas de predição das cinco metodologias estudadas, a negrito os valores mais elevados

A observação da tabela 19 permite realizar uma análise comparativa dos resultados das várias taxas de predição elaboradas para as cinco metodologias. A metodologia do Instituto Geográfico Português (2004) é a que apresenta uma melhor capacidade de prever novos os incêndios até enquadrar 70% do território e por isso é também a que apresenta uma maior área abaixo da curva com 63.55%, já que acima dessa percentagem a maior capacidade preditiva é verificada na metodologia do Virginia Department of Forestry, que em valores de área abaixo da curva é somente o segundo pior resultado, com 53.61%.

A pouca discrepância entre os valores de área abaixo da curva apresentados pelas cinco metodologias e a proximidade desses mesmos valores entre as metodologias de Chuvieco e Congalton (1989), a do Instituto Geográfico Português de 2009 e a do Instituto Geográfico Português de 2004 poderá ser explicada por diversas razões.

Em primeiro, podemos realçar que estes métodos são um pouco generalistas quanto aos critérios utilizados, são praticamente os mesmos classificados das mais

diversas formas e com métodos de cálculo semelhantes, o que consequentemente produz resultados pouco diferenciados.

Em segundo lugar, as metodologias de Vettorazzi e Ferraz e do Virginia Department of Forestry foram métodos constituídos para realidades diferentes das verificadas na nossa área de estudo, o que explica, em parte, serem essas os métodos que apresentam os resultados menos satisfatórios.

Por fim, a homogeneidade verificada, quer na área abaixo da curva, quer na análise das taxas de predição, entre as metodologias de Chuvieco e Congalton e as duas do Instituto Geográfico Português (2004 e 2009), é explicada no caso das metodologias do Instituto Geográfico Português por terem sido criadas especialmente para o território português e, no caso do método de Chuvieco e Congalton, por ter sido uma das fontes utilizadas para a construção dessas mesmas metodologias.

Estes resultados espelham o que se verifica todos os anos nos incêndios florestais, já que sem um planeamento eficaz, com métodos de cálculo de risco de incêndio mais fiáveis, realistas e constantemente actualizados não se pode determinar correctamente quais as áreas de maior risco de incêndio, e, com isso, realizar acções de prevenção nessas mesmas áreas.

5.3.2 Os Resultados da Carta de Susceptibilidade a Incêndios Florestais

As denominações das combinações executadas para os vários modelos foram abreviadas de forma a tornar as tabelas seguintes mais ligeiras e de mais fácil percepção. Assim sendo, o conjunto de letras “CLC” refere-se à variável ocupação do solo, o “H” é o histórico, o “D” é o declive, o “E” é a exposição solar, o “V” é a visibilidade por posto de vigia, o conjunto “DP” é a densidade populacional e, por fim, o conjunto “RV” é a rede viária.

A análise das tabelas seguintes (20, 21, 22, 23) permite depreender que a introdução de novas variáveis no modelo regra geral, para a área em estudo, não introduz melhorias nas respectivas taxas de sucesso e predição. A qualidade preditiva do modelo, assim como o sucesso, não aumenta com o número de variáveis utilizadas, antes pelo contrário na maior das vezes o que se verifica é mesmo uma redução das respectivas taxas de sucesso e predição. Porém, estas são variáveis que se consideram

*Sistema de Informação Geográfica e Susceptibilidade a Incêndio Florestal:
Análise de Metodologias em Ambiente SIG*

válidas nos mais variados estudos de susceptibilidade, inclusive nos modelos mais actuais.

Modelos Grupo A	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
CLC/H	41,37%	80,02%	99,51%	99,53%	99,67%	99,72%	99,89%	99,91%	99,95%
CLC/H/D	39,97%	80,27%	98,73%	98,91%	99,12%	99,36%	99,68%	99,79%	99,87%
CLC/H/D/E	39,65%	80,87%	97,01%	97,30%	98,21%	97,99%	98,68%	99,47%	99,89%
CLC/H/D/E/V	38,51%	83,09%	96,55%	96,97%	97,24%	98,01%	98,90%	99,22%	99,83%
CLC/H/D/E/V/DP	41,21%	74,22%	75,36%	76,82%	78,94%	79,99%	81,47%	82,93%	84,77%
CLC/H/D/E/V/DP/RV	41,09%	66,88%	68,82%	69,96%	71,58%	72,81%	74,27%	75,93%	77,82%

Tabela 20 – Taxas de sucesso para as combinações de variáveis onde o histórico Grupo A está incluído no modelo. A negrito os valores mais elevados.

Modelos Grupo A	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
CLC/H	8,53%	15,20%	21,02%	26,72%	31,89%	38,55%	44,87%	59,71%	83,47%
CLC/H/D	6,92%	13,21%	19,97%	26,32%	32,56%	38,69%	44,97%	60,01%	82,71%
CLC/H/D/E	7,35%	12,96%	18,67%	25,41%	32,43%	37,82%	44,23%	58,20%	82,02%
CLC/H/D/E/V	6,98%	12,01%	18,97%	26,85%	32,74%	48,36%	49,03%	57,82%	79,06%
CLC/H/D/E/V/DP	6,19%	12,81%	19,27%	25,84%	32,71%	38,37%	45,01%	54,52%	77,52%
CLC/H/D/E/V/DP/RV	6,33%	13,42%	20,07%	26,86%	33,24%	40,12%	46,83%	57,77%	82,09%

Tabela 21 - Taxas de predição para as combinações de variáveis onde o histórico Grupo A está incluído no modelo. A negrito os valores mais elevados

Modelos Grupo B	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
CLC/H	29,97%	59,98%	89,67%	99,33%	99,45%	99,67%	99,81%	99,89%	99,92%
CLC/H/D	27,44%	60,27%	89,73%	92,61%	93,12%	93,56%	93,89%	94,14%	94,73%
CLC/H/D/E	29,33%	61,27%	91,07%	97,28%	97,71%	98,10%	98,73%	99,42%	99,87%
CLC/H/D/E/V	27,32%	63,54%	92,19%	92,89%	93,59%	94,10%	94,83%	95,27%	96,72%
CLC/H/D/E/V/DP	29,72%	32,01%	34,00%	36,57%	38,97%	41,37%	43,69%	45,49%	73,33%
CLC/H/D/E/V/DP/RV	30,08%	45,12%	46,98%	48,72%	51,27%	52,18%	54,45%	55,89%	68,29%

Tabela 22 - Taxas de sucesso para as combinações de variáveis onde o histórico Grupo B está incluído no modelo. A negrito os valores mais elevados.

Modelos Grupo B	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
CLC/H	25,68%	50,66%	54,96%	59,27%	64,18%	68,87%	73,64%	77,85%	89,27%
CLC/H/D	4,83%	9,21%	14,26%	18,77%	23,38%	28,01%	35,93%	54,87%	78,39%
CLC/H/D/E	17,45%	31,00%	34,56%	38,19%	41,68%	45,02%	49,06%	68,36%	85,88%
CLC/H/D/E/V	4,98%	9,82%	14,39%	18,59%	23,76%	27,99%	34,27%	57,23%	79,98%
CLC/H/D/E/V/DP	4,97%	11,39%	34,82%	36,74%	48,97%	41,56%	43,67%	64,18%	84,73%
CLC/H/D/E/V/DP/RV	6,71%	11,87%	16,52%	22,23%	27,83%	33,41%	38,65%	57,78%	77,74%

Tabela 23 - Taxas de predição para as combinações de variáveis onde o histórico Grupo B está incluído no modelo. A negrito os valores mais elevados.

Verifica-se também que é a conjugação de variáveis mais simples que produz melhores resultados, quer nos modelos que utilizam o histórico do Grupo A, quer nos que utilizam o histórico Grupo B. Assim sendo, e face aos resultados apresentados, o bloco de modelação escolhido para a produção da carta de susceptibilidade para a área de estudo é a combinação CLC/H Grupo B. Apesar de não ser esta a combinação que apresenta a maior área abaixo da curva, 83.34%, é aquela que até aos 40% do território mais se aproxima da combinação com o melhor resultado que é de 87.42% (CLC/H Grupo A).

A.A.C. - Grupo A	Sucesso	Predição
CLC/H	87,42%	36,89%
CLC/H/D	86,98%	36,88%
CLC/H/D/E	86,35%	36,68%
CLC/H/D/E/V	86,28%	36,42%
CLC/H/D/E/V/DP	71,78%	36,49%
CLC/H/D/E/V/DP/RV	66,34%	37,85%

Tabela 24 – Área Abaixo da Curva para as combinações estudadas que incluem a variável histórico Grupo A

A.A.C. - Grupo B	Sucesso	Predição
CLC/H	83,34%	61,58%
CLC/H/D	79,47%	31,41%
CLC/H/D/E	82,18%	48,43%
CLC/H/D/E/V	80,28%	31,88%
CLC/H/D/E/V/DP	42,44%	35,85%
CLC/H/D/E/V/DP/RV	50,13%	34,05%

Tabela 25 - Área Abaixo da Curva para as combinações estudadas que incluem a variável histórico Grupo B

Por outro lado, no que diz respeito à área abaixo da curva da taxa de predição, a combinação CLC/H Grupo B é, sem dúvida, aquela que melhores resultados apresenta

com 61.58%, um valor que é quase o dobro da área abaixo da curva apresentada por qualquer outra combinação de variáveis, e a única que se pode considerar válida. Segundo Bi e Bennett (2003) e Fawcett (2003), para ser válido, nenhum resultado deve ter uma Área Abaixo da Curva inferior a 50%, o que se verifica em todos os outros casos.

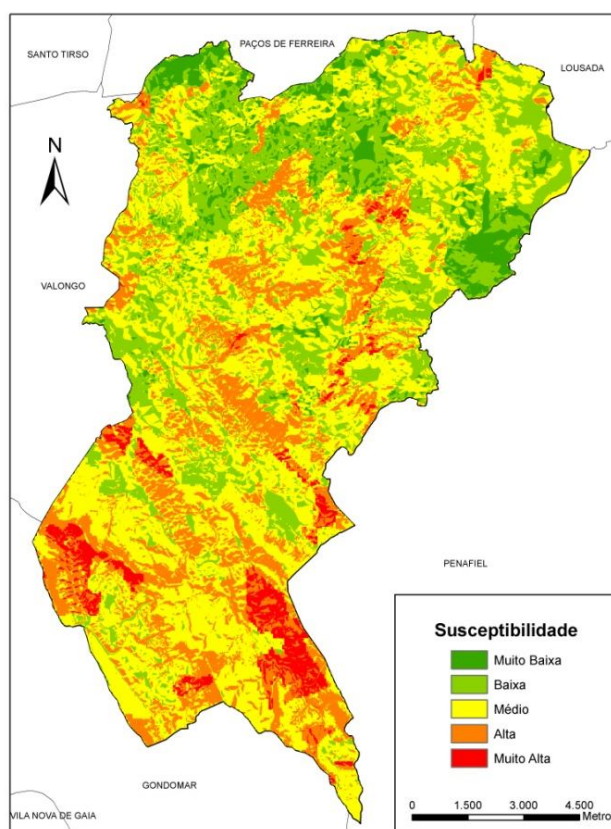


Figura 36 - Susceptibilidade a incêndios florestais, no concelho de Paredes

Por fim, foi realizada uma análise comparativa das taxas com melhores capacidades preditivas, a da metodologia do Instituto Geográfico Português de 2004 e a da combinação escolhida para construção da carta de susceptibilidade (CLC/H Grupo B). Os resultados estão reflectidos na tabela que se segue.

	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
IGEO 2004	17,89%	33,52%	50,03%	65,38%	75,63%	78,49%	81,47%	84,97%	88,12%
CLC/H	25,68%	50,66%	54,96%	59,27%	64,18%	68,87%	73,64%	77,85%	89,27%

Tabela 26 – Taxas de Predição da metodologia do Instituto Geográfico Português (2004) e da combinação de variáveis CLC/H Grupo B. A negrito os valores mais elevados

A realidade apresentada indica que até aos 30% do território é a combinação de variáveis CLC/H Grupo B que indica a melhor capacidade preditiva com 54.96% de nova área ardida enquadrada no modelo contra os 50.03% da metodologia do Instituto Geográfico Português de 2004. A partir dos 40% de área do território a situação inverte-se com a metodologia do Instituto Geográfico Português de 2004, apesar de não incluir entre as variáveis que constroem o modelo as áreas ardidas, a revelar melhor capacidade de prever os incêndios, situação que é novamente invertida quando é enquadrado 90% do território.

Metodologias	A.A.C.
IGEO 2004	63,55%
CLC/H	61,58%

Tabela 27 – Área Abaixo da Curva para a metodologia do Instituto Geográfico Português de 2004 e para a combinação de variáveis CLC/H Grupo B.

Os valores de Área Abaixo da Curva verificados nas duas metodologias atrás referidas são muito próximos, existindo uma diferença de cerca de 2%. O valor apresentado pela metodologia do Instituto Geográfico Português de 2004 é melhor do que o verificado pela combinação de variáveis CLC/H Grupo B, reflectindo a melhor performance desse modelo para uma área do território mais susceptível superior a 40%.

Capítulo 6. Considerações Finais

Os incêndios florestais em Portugal ocorrem todos os anos como se nada pudéssemos fazer para evitar este problema. O nosso tipo de clima, de características mediterrâneas (Verões quentes e secos e Invernos chuvosos), permite o crescimento de combustíveis – no Inverno – que depois estarão disponíveis para arder.

Os registos da Autoridade Florestal Nacional (1980-2008) mostram claramente que as ocorrências e as áreas ardidas têm vindo a aumentar. Como consequência, são graves os prejuízos à economia nacional, nomeadamente, perda de vidas, destruição de ecossistemas, destruição de habitações e danos patrimoniais elevados.

A integração dos riscos naturais no ordenamento do território tem sido efectuada com a criação de Instrumentos de Gestão Territorial, particularmente os PROF. Contudo, é após os grandes incêndios florestais registados nos anos de 2003 e 2005 que se verificam mudanças significativas, com a integração dos riscos dos incêndios nos objectivos prioritários do Ordenamento do Território.

A única forma de inverter a situação provocada pelos incêndios florestais é conhecer antecipadamente os factores que influenciam a ocorrência de incêndios florestais e o seu comportamento. A avaliação do risco de incêndio é fundamental para a prevenção de incêndios, pois permite a aplicação de medidas preventivas, faixas de gestão de combustível, ordenamento florestal e também possibilita a optimização da gestão de meios e medidas de combate (localização de meios de primeira intervenção nas áreas de maior susceptibilidade).

Para uma correcta avaliação do risco, é necessário ter conhecimento dos locais onde é mais provável a ocorrência de um incêndio de acordo com as condições intrínsecas do território. No fundo, trata-se de conhecer a susceptibilidade do território a incêndios florestais. As metodologias de cálculo da susceptibilidade analisadas neste trabalho são das mais utilizadas em Portugal, principalmente as do Instituto Geográfico Português (2004 e 2009) e a de Chuvieco e Congalton (1989).

A análise comparativa dos cinco métodos permitiu depreender que os resultados apresentados, quando validados com as áreas ardidas (1980-2008), não são muito animadores, apresentando todas elas, para esta área de estudo, uma área abaixo da curva inferior a 65%. Estes resultados indicam que as metodologias mais utilizadas em Portugal precisam de ser ajustadas à escala e especificidade da área de estudo, assim

como as ferramentas que permitem a realização dessas metodologias, nomeadamente os dados introduzidos nos modelos.

Na parte empírica do trabalho, a construção de uma carta de susceptibilidade a incêndio florestal com recurso a uma diferente forma de cálculo, mas utilizando os mesmos dados, acrescentando as áreas ardidas como variável, permitiu depreender que os resultados que se verificam são consequência dos dados utilizados e não dos métodos em si. A inclusão no modelo das áreas ardidas não veio melhorar os resultados, antes pelo contrário, os resultados preditivos são ligeiramente inferiores aos das metodologias do Instituto Geográfico Português.

Fechando este trabalho, recuperam-se as perguntas inicialmente formuladas:

- **Qualquer metodologia de cálculo de susceptibilidade de incêndio florestal serve para aplicar a qualquer área do território?**

Os resultados apresentados no capítulo 5 mostram claramente que os resultados são diferentes conforme a metodologia aplicada. É necessário ponderar bem a escolha do método a aplicar, assim como das variáveis introduzidas no modelo, e validá-lo com recurso às áreas ardidas, permitindo assim conhecer a capacidade do modelo de prever as novas áreas ardidas, pois os resultados finais serão considerados em acções de prevenção, planeamento e combate aos incêndios florestais.

- **Quais as semelhanças e ou diferenças entre os resultados das cartas de susceptibilidade de diferentes metodologias para determinada área do território?**

Existem efectivamente diferenças significativas consoante o método aplicado à área de estudo, a capacidade preditiva das várias cartas realizadas comprova isso mesmo. A diferença de valores das taxas de predição de novas áreas ardidas, entre as metodologias testadas, para a mesma percentagem de território (30%), chega a ser de 17.32%, um valor que não deixa de ser relevante.

➤ **De que forma é efectuada a validação desses resultados?**

A validação dos resultados é efectuada com recurso às áreas ardidas verificando a capacidade do modelo de prever novos incêndios. Nos primeiros cinco métodos, foram utilizados para validação todo o período temporal disponível (1990-2008), na construção da carta de susceptibilidade contendo nas variáveis, também, as áreas ardidas só parte desse mesmo período foi utilizado (9 anos) para validação, já que a outra parte estava incluída no modelo (9 anos). O cálculo da taxa de predição permite o conhecimento da capacidade que determinado modelo tem de prever as futuras áreas ardidas e a área abaixo da curva é indicativa da percentagem de eficácia do modelo. Um modelo com uma área abaixo da curva de 75% pressupõe que em cada quatro incêndios três ocorram nas áreas e maior susceptibilidade indicadas na carta.

A resposta à pergunta deixada em aberto no Capítulo 4 (ponto 2.2), “*A eliminação da variável visibilidade por posto de vigia da metodologia do IGEO 2004, relativamente à metodologia de 2009 vai melhorar ou piorar a seu desempenho, na validação através das áreas ardidas na área de estudo?*” é sustentada pelos resultados apresentados. Não houve melhoria significativa da capacidade preditiva do modelo de 2009 para esta área de estudo, pelo contrário, os resultados apresentados indicam um melhor desempenho da metodologia do Instituto Geográfico Português de 2004 face a 2009.

As metodologias de cálculo da susceptibilidade a incêndio florestal devem continuar a ser desenvolvidas com vista o melhoramento dos resultados finais. As variáveis incluídas no modelo devem ser bem ponderadas quanto à sua contribuição para a susceptibilidade a incêndio florestal e a inclusão de muitas variáveis não significa a obtenção de melhores resultados.

As perguntas formuladas neste trabalho foram respondidas, no entanto, outras se levantaram.

A conjugação das variáveis escolhida neste trabalho deixa em aberto a possibilidade de se obter outras conjugações, com as mesmas variáveis, que não foram possíveis em tempo útil. É exemplo disso a combinação CLC/H/D/E. Esta, apresenta

valores de A.A.C. superiores ao modelo lhe precede (CLC/H/D), era interessante proceder à conjugação da variável exposição sem a variável declives (CLC/H/E) e comprovar qual o comportamento da A. A. C.. Em vez de serem só acrescentadas variáveis é também necessário retirar algumas variáveis cujos resultados sejam piores que os apresentados pela combinação anterior, acrescentar outras e verificar se os resultados obtidos são efectivamente melhores.

O período temporal disponível das áreas ardidas é outra questão levantada. O período temporal deve ser o mais longo possível. O período temporal de 1990 a 2008 utilizado para a realização deste trabalho revela-se curto, já que a separação aleatória definiu duas áreas pouco homogêneas em termos de áreas ardidas. Um maior intervalo de tempo permitirá uma melhor homogeneização das áreas ardidas pelos dois grupos.

A necessidade de validação das cartas de susceptibilidade de ser regra, pois permite verificar se os resultados apresentados são válidos ou não. A apresentação de uma carta de susceptibilidade a incêndio florestal, cuja validação indique uma fraca qualidade preditiva a novos incêndios deve ser reformulada, com vista ao melhoramento da capacidade preditiva. No caso de não se efectivar esse melhoramento é necessária prudência na aplicação de medidas preventivas de combate aos incêndios florestais nas áreas determinadas na carta como mais susceptíveis.

A escala utilizada para determinada área de estudo também tem de ser bem definida. A inexistência de uma carta de ocupação do solo a uma escala mais pormenorizada, “obrigou” à utilização da Corine Land Cover 2006, cuja escala é 1:100.000 influenciando nos resultados finais apresentados por este trabalho. A informação relativamente à ocupação do solo, como uma das mais importantes a ter em conta na construção das cartas de susceptibilidade, já que sem combustível não pode existir fogo, deve ser constantemente desenvolvida, melhorada e actualizada com dados que cubram eventuais deficiências, que uma cobertura certamente terá, sete anos após a sua realização.

É imperativa a necessidade de concretização de uma cartografia de ocupação do solo a uma outra escala, com uma área mínima cartografada inferior à que se verifica na Corine Land Cover, designadamente a uma escala 1:25.000, semelhante à Carta de Ocupação do Solo de 1990 (COS`90), já que a Corine Land Cover apresenta uma escala de 1:100.000, com uma unidade mínima cartografada de 25 hectares, revelando-se pouco adequada para cartas de susceptibilidade à escala municipal, como é o case deste

trabalho. A produção de melhores resultados está intimamente ligada à escala utilizada pela variável ocupação do solo, a Corine Land Cover 2006 representada numa escala cuja unidade mínima cartografável é de 25 hectares origina manchas de ocupação muito homogêneas, o que não se verificaria numa escala, por exemplo, de 1:25.000.

Bibliografia

Abhinnet, J., Shirish A. R., *et al.* (1996). *Forest Fire Risk Modelling Using Sensing and Geographic Information System*. Current Science. Indian Academy of Science. 70: pp. 928-933.

AFN. (2010a). *Relatório Anual de Áreas Ardidadas e Ocorrências 2009*. Lisboa, Autoridade Florestal Nacional.

AFN. (2010b). *Relatório Final do 5.º Inventário Nacional 2005/2006*. Lisboa, Autoridade Florestal Nacional.

Aguado, I., Chuvieco E. *et al.* (2007). *Estimation of Dead Fuel Moisture Content from Meteorological Data in Mediterranean Areas. Applications in Fire Danger Assessment*. International Journal of Wildland Fire. Vol. 16: pp. 390-397.

Aranha, J. (2004). *Índice de Aptidão para o Combate a Fogos Florestais*. VII Encontro de Utilizadores de Sistemas de Informação Geográfica – ESIG 2004, Oeiras.

Bachmann, A., Allgöwer E. B. (2000). *The Need for a Consistent Wildfire Risk Terminology*. Crossing the Millennium: Integrating Spatial Technologies and Ecological Principles for a New Age in Fire Management. Idaho, The University of Idaho and the International Association of Wildland Fires.

Bi, J. e Bennett K. P. (2003) *Regression Error Characteristic Curves*. Proceedings of the Twentieth International Conference on Machine Learning (ICML-2003).

Castro, C. F., Serra G. *et al.* Eds. (2002). *Combate a Incêndios Florestais*. Manual de Formação Inicial do Bombeiro. Sintra, Gráfica Europam, Lda. Vol. XIII.

Chuvieco, E. e Congalton G. (1989). Application of Remote Sensing and Geographic Information System to Forest Fire Hazard Mapping. Remote Sensing of Environenmet. Vol. 29: pp. 147-159.

Chuvieco, E., Aguado, I., *et al.* (2010). *Development of a Framework for Fire Risk Assessment Using Remote Sensing and Geographic Information System Technologies*. *Ecological Modelling*. 221 (1): 46-58.

Cottrele, W. H. (2004). *The Book of Fire*. Missoua Press Publishing Company.

Damasceno, P. e J. S. Silva. (2007). *As Causas dos Incêndios em Portugal. Árvores e Florestas de Portugal*. J. S. Silva Edições, Lisboa, Tipografia Peres, SA: 41-67.

Erten, E., Kurgun, *et al.* (2002). *Forest Fire Risk Zone Mapping From Satellite Imagery and GIS a Case Study*. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. Vol. 4: pp. 1-10.

Fawcett, T. (2003). *ROC Grafts: Notes and Practical Considerations for Data Mining Researchers*. Intelligent Enterprise Technologies Laboratory HPL-2004-4, HP Laboratories Palo Alto.

Fernandes, P. (2007). *Entender Porque Arde Tanto a Floresta em Portugal. Árvores e Florestas de Portugal*. J. S. Silva Edições, Lisboa, Tipografia Peres, SA: 69-91.

Fimia, J. C. M. (200). *Factores Ambientales. La Defensa Contra Incendios Forestales Fundamentos y Experiencias*. A. G. Brage. Madrid, McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A.U.: 81-88.

Freire, S., Carrão, H., *et al.* (2002). *Produção de Cartografia de Incêndio Florestal com Recurso a Imagens de Satélite e Dados Auxiliares*. VII Encontro de Utilizadores de Informação Geográfica – ESIG 2002.

Garcia, C. V., Woodard, P. M., *et al.* (1998). *Dos Modelos para la Prediccion de Incendios Forestales en Whitecourt Forest, Canada*. Agricultural Research: Forest Resources System. Vol. 8 (1).

Guiomar, N., Fernandes, J. P. *et al.* (2007). *A Multifuncionalidade do Território, na Gestão do Risco de Incêndio Florestal*. III Congresso de Estudos Rurais, Faro, Universidade do Algarve.

Hardy, C. C. (2005). *Wildland Fire Hazard and Risk: Problems, Definitions, and Context*. Forest Ecology and Management. 211 (1-2): pp. 73-82.

Julião, R. P., Nery, F., *et al.* (2009). *Guia Metodológico para a Produção de Cartografia Municipal de Risco e para a Criação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) de Base Municipal*. Autoridade de Protecção Civil.

Lara, C. H. (2000). *Combustibles Forestales: Imflamabilidad. La Defensa Contra Incendios Forestales Fundamentos y Experiencias*. A. G. Brage. Madrid, McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A.U.: pp. 63-70.

Lourenço, L. (1992). Avaliação de Risco de Incêndio nas Matas e Florestas de Portugal Continental. Finisterra. XXVII, 53-54: pp. 115-140.

Lourenço, L. (1994). *Sistemas de Informação de Risco de Incêndio Florestal*. II Encontro Pedagógico sobre Risco de Incêndio. Coimbra. pp. 207-229.

Lourenço, L. (1996). *Risco de Incêndio Florestal*. Encontro Pedagógico sobre Fogos Florestais. ASEPIF. pp. 56-61

Macedo, F. W. e Sardinha, A.. (1987). *Fogos Florestais*. Lisboa, publicações Ciência Viva.

Muñoz, R. V. (2000). *La Definición de Incendio Forestal. La Defensa Contra incendios Forestales Fundamentos e Experiencias*. A. G. Brage. Madrid, McGraw-Hill/Interamericana de España, S. A. U.: 13-16.

Navarro, M. J. E., Guzman, F. P., *et al.* (2005). *Integración de una Cartografía de Vientos en Situaciones Meteorológicas de Risco de Incendio Forestales en la Comunidad Valenciana Mediante un SIG*. GeoFocus. N.º 5: pp. 94-114.

Piedade, A. M. M. (2009). *Modelação Espacial em Sistemas de Informação Geográfica da Susceptibilidade a Deslizamentos na Área Lousa-Loures*. Faculdade de Ciências Sociais e Humanas. Lisboa, Universidade Nova de Lisboa. Dissertação de Mestrado em gestão do Território, Área de Especialização em Detecção Remota e Sistemas de Informação Geográfica.

Saglam, B., Bilgili, E., *et al.* (2008). *Spatio-Temporal Analysis of Forest Fire Risk and Danger Using LANDSAT Imagery*. Sensors. Vol. 8. pp. 3970-3987.

Sande, J. e Rego, F. C.. (2007). *O Fogo Enquanto Factor Natural*. Árvores e Florestas de Portugal. L. F. Luso-Americana. Vol. 8: 15-39.

San-Miguel-Ayans, J., Barbosa, P., *et al.* (2002). *Towards a Coherent Forest Fire Information System in Europe: The European Forest Fire Information System (EEFIS)*. Forest Fire Research and wildland Fire Safety: pp. 5-16.

Strino, J. G., Alhaddad, B., *et al.* (2007). *Remote Sensing Analysis to Detect Fire Risk Locations*. Géó Congrès. Quebec, Canada.

Torres-Rojo, J. M., Magaña-Torres, O. S., *et al.* (2007). *Índice de Peligro de Incendios Forestales de Largo Plazo*. Agrociencia. 41: pp. 663-674.

Verde, J. (2008). *Avaliação da Perigosidade de Incêndio Florestal*. Lisboa, Faculdade de letras da Universidade de Lisboa, Departamento de Geografia. Dissertação de Mestrado em Geografia Física, Riscos e Recursos Ambientais.

Verde, J. e Zêzere, J. L. (2007). *Avaliação da Perigosidade de Incêndio Florestal*. Actas do VI Congresso da Geografia Portuguesa. Lisboa, Universidade Nova de Lisboa.

Vettorazzi, C. e Ferraz, S.. (1998). *Mapeamento de Risco de Incêndios Florestais por meio de Sistema de Informação Geográfica (SIG)*. Scientia Forestalis. São Paulo. 53: 39-48.

Viegas, D. X., Bovio, G. *et al.* (1999). *Comparative Study of various Methods of Fire Danger Evaluation in Southern Europe*. International Journal of Willand Fire: pp. 235-246.

Viegas, D. X., Reis, R. M., *et al.* (2004). *Calibração do Sistema Canadiano de Perigo de Incêndio para Aplicação em Portugal*. Silva Lusitano. 12: pp. 77-93.

Zêzere, J. L. (1997). *Movimentos de Vertente e Perigosidade Geomorfológica na Região a Norte de Lisboa*. Lisboa, Universidade de Lisboa. Tese de Doutoramento em Geografia Física.

Referência Legislativas

Resolução do Conselho de Ministros n.º 65/2006, de 26 de Maio, Diário da República, I Série, n.º 102 de 26/05/2006, pp. 3511-3559.

Resolução do Conselho de Ministros n.º 114/2006, de 15 de Setembro, Diário da República, I Série, n.º 179 de 15 de Setembro de 2006, pp. 6730-6809

Decreto-Lei n.º 204/99, de 9 de Junho, Diário da República, I Série-A, n.º 133 de 9 de Junho de 1999, pp. 3249-3252.

Decreto-Lei n.º 275-A, de 9 de Novembro de 2000, Diário da República, I Série-A, n.º 259 de 9 de Novembro de 2000, 6300(2)-6300(36)

Lei n.º 58/2007 de 4 de Setembro, Diário da República, I Série, n.º 170 de 4 de Setembro de 2007, pp. 6126-6181.

Declaração de Rectificação n.º 80-A/2007 de 7 de Setembro, Diário da República, I Série, n.º 173 de 7 de Setembro de 2007, pp. 6352-(2)-6352-(58).

Decreto-Lei n.º 127/2005 de 5 de Agosto, Diário da República, I Série-A, n.º 150 de 5 de Agosto de 2005, pp. 4521-4527.

Decreto-Lei n.º 124/2006 de 28 de Junho, Diário da República, I Série-A, n.º 123 de 28 de Junho de 2006, pp. 4586-4599.

Decreto-Lei n.º 17/2009, de 14 de Janeiro, Diário da República, I Série, n.º 9, de 14/01/2009, pp. 273-295.

Decreto-Lei 16/2009 de 14 de Janeiro, Diário da República, I Série, n.º 9 de 14 de Janeiro de 2009, pp. 268-273.

Decreto-Lei n.º 15/2009 de 14 de Janeiro, Diário da República, I Série, n.º 9 de 14 de Janeiro de 2009, pp. 254-267.

Decreto-Lei n.º 327/80, de 26 de Agosto de 1980, Diário da República, I Série, n.º 196 de 26/08/1980, pp. 2375-2377.

Decreto-Regulamentar n.º 55/81, de 18 de Dezembro de 1981, Diário da República, I Série, n.º 290 de 18/12/1981, pp. 3299-3307.

Decreto-Lei n.º 156/2004, de 30 de Junho de 2004, Diário da República, I Série - A, n.º 152 de 30/06/2004, pp. 3968-3975.

Portaria 1056/2004, de 19 de Agosto de 2004, Diário da República, I Série - B, n.º 195 de 19/08/2004, pp. 5450-5453.

Portaria 1060/2004, de 21 de Agosto de 2004, Diário da República, I Série - B, n.º 197 de 19/08/2004, pp. 5603-5604.