

**Universidade de Lisboa
Faculdade de Letras
Departamento de Geografia**



**AVALIAÇÃO DA PERIGOSIDADE
DE INCÊNDIO FLORESTAL**

João Carlos Verde

Mestrado em Geografia Física
Especialização em Geografia Física, Recursos e Riscos Ambientais

2008

**Universidade de Lisboa
Faculdade de Letras
Departamento de Geografia**



**AVALIAÇÃO DA PERIGOSIDADE
DE INCÊNDIO FLORESTAL**

João Carlos Verde

Mestrado em Geografia Física
Especialização em Geografia Física, Recursos e Riscos Ambientais

Dissertação orientada pelo Prof. Doutor José Luís Zêzere

2008

« the past and present are keys to the future »
Varnes

« E a Geografia, é certo, serviu-me de muito. (...)
É muito útil quando se anda perdido de noite. »
O Príncipezinho

« Porque na muita sabedoria há muita tristeza,
e o que aumenta a sua ciência, aumenta a sua dor. »
Eclesiastes 1, 18

AGRADECIMENTOS

Com a conclusão desta dissertação de mestrado cumpre-me agradecer a todos aqueles que com os seus contributos me ajudaram a alcançar os meus objectivos. Agradeço ao meu orientador, o Prof. Doutor José Luís Zêzere, pela forma como se entregou à orientação desta tese, e pelas observações que sempre tomei como certas, contribuindo de forma exigente e determinada para o que considero ser um documento melhor do que faria de outro modo.

Ao Mestre Tiago Oliveira, pela oportunidade concedida, bem como a todos os elementos da equipa de projecto do Plano Nacional de Defesa da Floresta contra Incêndios, pelo facto de me terem permitido a aproximação ao Serviço Público e estímulo para prosseguir a investigação nesta área.

Aos meus colegas de trabalho da Autoridade Florestal Nacional pelo acesso a informação necessária à conclusão deste trabalho, pelas condições concedidas para prosseguir a investigação, pelas discussões pertinentes em torno do quadro conceptual, e confiança com que acolheram o resultado da investigação.

Ao Prof. Doutor José Miguel Cardoso Pereira e Prof.^a Doutora Maria José Vasconcelos pela cedência de cartografia de áreas ardidas entre 1975 e 1984.

À minha família, e muito particularmente à minha mulher, Ivânia, pelo apoio incondicional, e aos meus pais, Domingos e Rosa, a quem tudo devo.

PREÂMBULO

Em finais de 2004 fui convidado a integrar a equipa da Proposta Técnica de Plano Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios (PNDFCI). Essa experiência, de valor inegável, aproximou-me do mundo dos engenheiros florestais e levou-me a perceber um pouco melhor o intrincado funcionamento da gestão do território, das preocupações políticas, e do que devia ser o serviço público.

Concluída a proposta técnica do PNDFCI em Setembro de 2005, ficava para mim clara a necessidade de avaliar o risco de incêndio florestal. E fazê-lo implicava voltar atrás e estudar a perigosidade para, sobre esta, realizar toda uma avaliação de prejuízos.

A gestão do território a isso obriga. Conhecer para gerir, gerir mitigando riscos e, desse modo, conseguir um território onde consigamos desenvolver melhor as nossas actividades sujeitos a menores perdas, e perdas controladas.

Encontrei diversas vezes um diálogo muito natural entre a geografia que conheço e alguma da engenharia florestal. À parte as naturais diferenças de terminologia, verifiquei que é possível levar a geografia aos florestais e trazer deles algum do conhecimento mais específico que os geógrafos nem sempre dominam. São duas perspectivas sobre o território muito compatíveis, com diversos pontos de contacto.

Embora seja uma dissertação de um geógrafo, espero que os florestais possam dela tirar partido, na convicção de que aquilo que se iniciou em 2004 com a minha aproximação a esse sector seja parte de um trabalho mais vasto que contribua para um país com melhor floresta, com melhor gestão, com um modelo de risco aplicável e aplicado.

A experiência pessoal após 2005 levou-me um pouco mais para o interior dos gabinetes e corredores onde o tal serviço público encontra muitos obstáculos, de diversas naturezas, que precisam combater-se. Em muitos aspectos mais chegado ao determinismo, acabo por dar lugar a um dos muitos paradoxos do Homem assumindo-me possibilista em matéria de gestão de riscos. Pode fazer-se, consegue fazer-se, precisa fazer-se.

RESUMO

O fogo é um fenómeno natural que faz parte da estratégia de desenvolvimento de algumas espécies e da renovação da paisagem, que modela as florestas e que é anterior às tentativas do Homem para lhe fazer frente. Em Portugal continental sofrem-se, ano após ano, prejuízos elevados resultantes da destruição de edificado e de vastas áreas de povoamentos florestais dos quais as populações retiram rendimentos, o que justifica a necessidade de se avaliar a perigosidade de incêndio florestal. A utilização de variáveis com forte relação espacial para elaboração de um mapa de susceptibilidade e respectivas curvas de sucesso e de predição, com recurso a validação independente, permitiu avaliar a perigosidade para todo o país, com base probabilística associada a cenários. Demonstra-se neste trabalho que, com um compromisso eficaz entre o número de variáveis e a capacidade preditiva, é possível avaliar com objectividade a perigosidade de incêndio florestal.

Nesta tese, abordar-se-ão sucintamente os problemas que os incêndios florestais colocam a Portugal, verificar-se-á se aos incêndios florestais se pode aplicar um quadro conceptual de risco transversal a outras áreas de conhecimento, avaliar-se-á a susceptibilidade e a perigosidade aos incêndios florestais e aferir-se-á a relevância de inclusão de variáveis meteorológicas na modelação da susceptibilidade.

Palavras-chave: risco, perigosidade, floresta, incêndios

ABSTRACT

Fire is a natural phenomenon, which some species use as part of their development strategies. Fire is also part of landscape renewal and forest modeler, prior to mankind's attempts to avoid it. The Portuguese forest is an important national economic resource that is threatened, year after year, by wildfires. Forest fires produce heavy damages and this alone justifies wildfire hazard assessment. In this study, we use variables of strong spatial correlation to assess and map forest fire susceptibility. Additionally, we compute the success and prediction rate curves of the susceptibility models that were used to assess the probabilistic wildfire hazard at a scenario basis, for the complete mainland Portuguese territory. In this thesis we present a comprehensive methodology to assess wildfire hazard with a good compromise between the number of variables within the model and the model predictive power.

In this thesis we identify, in brief, the problems wildfires pose in Portugal. We also discuss whether or not it is possible to apply to wildfires a risk framework common to other knowledge fields. We evaluate wildfire susceptibility and hazard, and also check the relevance of including meteorological variables in the susceptibility model.

Keywords: risk, hazard, forest, wildfires

ÍNDICE

Índice de Figuras	x
Índice de Tabelas	xi
Capítulo 1. Introdução	1
Capítulo 2. A floresta e o problema dos incêndios florestais em Portugal continental .	3
2.1. A floresta portuguesa	3
2.2. O problema dos incêndios florestais em Portugal continental	9
Capítulo 3. O modelo conceptual	13
Capítulo 4. Progressos recentes na predição de incêndios florestais	17
Capítulo 5. Avaliação da susceptibilidade: metodologia e resultados	36
5.1. Procedimentos metodológicos	36
5.2. As variáveis condicionantes	38
5.2.1. A altimetria	38
5.2.2. O declive	41
5.2.3. A ocupação do solo	44
5.2.4. A precipitação	49
5.2.5. Número de dias com temperatura mínima igual ou superior a 20°C	52
5.2.6. O histórico	55
5.3. A integração dos dados: avaliação e validação da susceptibilidade	58
5.3.1. Introdução	58
5.3.2. Modelos de avaliação da susceptibilidade com integração da variável "histórico"	59
5.3.3. Modelos de avaliação da susceptibilidade sem integração da variável "histórico"	62
5.3.4. Modelos de avaliação da susceptibilidade integrando as variáveis meteorológicas utilizadas por Pereira e Santos (2003)	65
5.3.5. Estudos prévios à opção por um bloco temporal de modelação	72

5.4. Discussão dos resultados e classificação da susceptibilidade	77
5.5. Potencialidades e limitações da metodologia utilizada	83
Capítulo 6. Avaliação da perigosidade	85
6.1. Avaliar a perigosidade quantitativamente	85
6.2. Aplicação prática da quantificação da perigosidade	87
Capítulo 7. Considerações finais	89
7.1. Que floresta tem Portugal continental?	90
7.2. Quais são os problemas que os incêndios florestais colocam a Portugal?	90
7.3. É aplicável aos incêndios florestais um quadro conceptual uniforme de risco?	91
7.4. Que metodologias e abordagens são comuns na gestão de risco de incêndio florestal?	91
7.5. É possível avaliar a susceptibilidade de incêndio florestal com um modelo simples?	91
7.6. Que conjunto mínimo de variáveis se deve utilizar para modelar susceptibilidade?	91
7.7. Existe vantagem em integrar muitas variáveis condicionantes?	92
7.8. As variáveis meteorológicas são relevantes na modelação da susceptibilidade?	92
7.9. É possível avaliar a perigosidade de incêndio florestal com base em cenários para futuras áreas ardidas?	93
8. Referências bibliográficas	94

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1 – Espaços Florestais conforme a classificação CLC2000	6
2.2 – Extracto do Diário de Notícias de 21 de Janeiro de 1943	7
2.3 – Tipologias concelhias de incêndios florestais (1992-2006)	10
2.4 – Área ardida em Portugal continental, por ano, entre 1975 e 2007	11
2.5 – Áreas ardidas em Portugal continental, por decénio, entre 1975 e 2004	12
3.1 – Componentes do modelo de risco	14
3.2 – Definição de Bachmann e Allgöwer (1999) conforme o modelo de risco adoptado	16
4.1 – Estrutura do Índice FWI, adaptado de Van Wagner (1987)	21
4.2 – Mapa de perigosidade estrutural (esquerda) e de perigosidade conjuntural (direita) em 2004 ...	24
4.3 – Mapa de susceptibilidade do IGP para o distrito de Viana do Castelo, 2007	27
4.4 – Anexo ao Decreto Regulamentar n.º55/81, de 18 de Dezembro, com definição da susceptibilidade aos incêndios e localização das «zonas críticas»	29
4.5 – Anexo à Portaria n.º 1060/2004, de 21 de Agosto, com distribuição das classes de probabilidade de ocorrência de incêndios florestais	30
4.6 – Mapa da previsão das classes de <i>risco</i> de incêndio por concelho	31
4.7 – Coeficientes no modelo de Chuvieco e Congalton (1989)	33
4.8 – Matriz de risco (Bachmann, 2001, p.75)	35
5.1 – Favorabilidade e Frequência das classes de altimetria	39
5.2 – Classes de altitude em Portugal continental	40
5.3 – Favorabilidade e Frequência das classes de declive	42
5.4 – Classes de declive, em Portugal continental	43
5.5 – Classes de ocupação do solo	45
5.6 – Favorabilidade e Frequência das classes de ocupação do solo	47
5.7 – Favorabilidade das classes de ocupação do solo para os blocos de modelação 1975-1984, 1985- 1994, 1995-2004 e 1975-2004	48
5.8 – Curvas de sucesso para a ocupação do solo nos blocos de modelação 1975-1984, 1985-1994 e 1995-2004	49
5.9 – Classes de precipitação anual, em milímetros, para Portugal continental	51
5.10 – Favorabilidade e Frequência das classes de precipitação anual	52
5.11 – Número de dias com temperatura mínima igual ou superior a 20°C	54
5.12 – Favorabilidade e Frequência das classes do número de dias com temperatura mínima do ar igual ou superior a 20°C	55
5.13 – Probabilidade anual de sujeição ao fogo por incêndio florestal	57
5.14 – Curvas de sucesso e de predição para a combinação "CDP"	59
5.15 – Curvas de sucesso e de predição para a combinação "ACDP"	60
5.16 – Curvas de sucesso e de predição para a combinação "ACDPR"	61
5.17 – Curvas de sucesso e predição para a combinação "ACDPRT"	61
5.18 – Curvas de sucesso e de predição para a combinação "CD"	63
5.19 – Curvas de sucesso e predição para a combinação "ACD"	63
5.20 – Curvas de sucesso e predição para a combinação "ACDR"	64
5.21 – Curvas de sucesso e predição para a combinação "ACDRT"	65
5.22 – Número de dias com temperatura máxima superior a 25°C	66
5.23 – Número de dias com precipitação igual ou superior a 1mm entre Maio e Setembro	67
5.24 – Favorabilidade e Frequência das classes de números de dias com temperatura máxima superior a 25°C	69
5.25 – Favorabilidade e Frequência das classes de números de dias com precipitação igual ou superior a 1mm entre Maio e Setembro	69
5.26 – Curvas de sucesso e predição para a combinação "CDPT"	70
5.27 – Curvas de sucesso e predição para a combinação "CDPR"	71
5.28 – Curvas de sucesso e predição para a combinação "CDPT'R"	71
5.29 – Curvas de sucesso para os blocos temporais inicialmente estudados	73
5.30 – Curvas de predição para os decénios 1985-1994 e 1995-2004 sobre modelação com os anos 1975-1984	74
5.31 – Curvas de predição para os anos 1975-1984 e 1995-2004 sobre modelação com os anos 1985-1994	75
5.32 – Curvas de predição para os anos 1975-1984 e 1985-1994 sobre modelação com os anos 1995-2004	75
5.33 – Curva de predição para os anos 1995-2004 sobre modelação com os anos 1975-1994	76
5.34 – Curva de predição para os anos 1975-1984 sobre modelação com os anos 1985-2004	76
5.35 – Curva de sucesso para a série 1975-1994 e curva de predição para a série 1995-2004	80
5.36 – Susceptibilidade aos incêndios florestais em Portugal continental	82
6.1 – Gestão de combustíveis na envolvimento das habitações	88

ÍNDICE DE TABELAS

2.1 – Áreas por ocupação do solo, em milhares de hectares, nos inventários florestais nacionais de 1995 e 2005	3
2.2 – Áreas por espécie, em milhares de hectares, para as três espécies mais representadas, nos inventários florestais nacionais de 1995 e 2005	4
4.1 – Variáveis, classes e respectivas ponderações na metodologia SCRIF/IGP	26
5.1 – Scores de favorabilidade para as classes altimétricas	38
5.2 – Scores das classes de declive definidos a partir das áreas ardidadas entre 1975 e 1994	41
5.3 – Códigos de ocupação do solo CLC2000 utilizados no modelo como espaços susceptíveis a incêndios florestais	44
5.4 – Scores das classes de ocupação do solo, definidos a partir de áreas ardidadas entre 1975 e 1994 ..	46
5.5 – Posição de cada classe CLC2000, por decénio e para a totalidade do período em análise, para as 10 primeiras classes, por ordem decrescente de favorabilidade	48
5.6 – Áreas abaixo da curva (A.A.C.) para a ocupação do solo nos três decénios estudados	49
5.7 – Scores de favorabilidade por classe de precipitação anual	50
5.8 – Scores de favorabilidade para as classes do número de dias com temperatura mínima do ar igual ou superior a 20°C	53
5.9 – Taxas de sucesso e predição para a combinação "CDP"	59
5.10 – Taxas de sucesso e predição para a combinação "ACDP"	60
5.11 – Taxas de sucesso e predição para a combinação "ACDPR"	61
5.12 – Taxas de sucesso e predição para a combinação "ACDPRT"	62
5.13 – Taxas de sucesso e predição para a combinação "CD"	63
5.14 – Taxas de sucesso e predição para a combinação "ACD"	64
5.15 – Taxas de sucesso e predição para a combinação "ACDR"	64
5.16 – Taxas de sucesso e predição para a combinação "ACDRT"	65
5.17 – Scores de favorabilidade para as classes de número de dias com temperatura máxima superior a 25°C	68
5.18 – Scores de favorabilidade para as classes de número de dias com precipitação igual ou superior a 1mm entre Maio e Setembro	68
5.19 – Taxas de sucesso e predição para a combinação "CDPT"	70
5.20 – Taxas de sucesso e predição para a combinação "CDPR"	71
5.21 – Taxas de sucesso e predição para a combinação "CDPT'R"	72
5.22 – Taxas de sucesso para as séries estatísticas modeladas. A negrito, as taxas mais elevadas. ...	73
5.23 – Área abaixo da curva (A.A.C.), em percentagem, para as curvas de sucesso das séries estatísticas modeladas	74
5.24 – Área abaixo da curva (A.A.C.), em percentagem, para as curvas de predição das séries estatísticas modeladas	77
5.25 – Taxas de sucesso para as várias combinações de variáveis. A negrito, as taxas mais elevadas	78
5.26 – Taxas de predição para as várias combinações de variáveis. A negrito, as taxas mais elevadas	78
5.27 – Áreas abaixo da curva para sucesso e predição das combinações estudadas	79
5.28 – Área e valor preditivo das classes de susceptibilidade	81
6.1 – Perigosidade de incêndio florestal em Portugal continental, para um cenário de 500 mil hectares de área ardidada total num ano	85
6.2 – Perigosidade de incêndio florestal em Portugal continental, para um cenário de 69.752,78 hectares de área ardidada total num ano	87

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

O fogo não pode e não deve eliminar-se por completo. É um fenómeno natural que faz parte da estratégia de desenvolvimento de algumas espécies e da renovação da paisagem, fenómeno que modela as florestas e que é anterior às tentativas do Homem para lhe fazer frente, na sua conquista de territórios.

Neste contexto, Portugal continental tem um problema que não é o fogo em si mesmo, mas antes a forma como este se relaciona com a utilização que os cidadãos fazem do espaço. Embora não se trate de uma fatalidade, por quanto a nossa floresta dificilmente tem combustões espontâneas, Portugal continental sofre ano após ano prejuízos elevados resultantes da destruição de edificado e de vastas áreas de povoamentos florestais dos quais as populações retiram rendimentos, a que acrescem os avultados investimentos realizados todos os anos em meios de supressão.

As acções de prevenção que se mostram necessárias, integradas numa efectiva gestão de risco para redução dos prejuízos e optimização dos investimentos na própria prevenção e posterior supressão, devem partir de um claro conhecimento das condições de perigosidade existentes no país. Adicionalmente, não se protege adequadamente aquilo cujo valor se desconhece, e não se pode valorar o que não se conhece.

Obviando as frequentes permutas entre conceitos, em particular no discurso corrente, pretende-se aplicar aos incêndios florestais o mesmo quadro conceptual que sustenta internacionalmente a avaliação de riscos em domínios como os movimentos de massa, as cheias ou os sismos. Deste modo, procura-se demonstrar a aplicabilidade de um modelo objectivo de avaliação da susceptibilidade e da perigosidade de incêndio florestal, baseado num número restrito de variáveis com forte relação espacial, e suportado pelo cálculo das respectivas taxas de sucesso e de predição.

Os resultados obtidos, de tipo probabilístico, permitirão caracterizar e cartografar a perigosidade de forma objectiva. Para além disso, poderão servir de base ao desenvolvimento de mapas de risco com a introdução posterior da componente de dano potencial.

Assim, julga-se possível colocar as seguintes questões, às quais se procurará responder nos capítulos seguintes:

- 1) Que floresta tem Portugal continental?
- 2) Quais são os problemas que os incêndios florestais colocam a Portugal?
- 3) É aplicável aos incêndios florestais um quadro conceptual uniforme de risco?
- 4) Que metodologias e abordagens são comuns na gestão de risco de incêndio florestal?
- 5) É possível avaliar a susceptibilidade de incêndio florestal em Portugal Continental com um modelo simples?
- 6) Que conjunto mínimo de variáveis se deve utilizar para modelar a susceptibilidade?
- 7) Existe vantagem em integrar muitas variáveis condicionantes?
- 8) As variáveis meteorológicas são relevantes na modelação da susceptibilidade?
- 9) É possível avaliar a perigosidade de incêndio florestal com base em cenários para futuras áreas ardidas?

CAPÍTULO 2. A FLORESTA E O PROBLEMA DOS INCÊNDIOS FLORESTAIS EM PORTUGAL CONTINENTAL

2.1. A FLORESTA PORTUGUESA

Embora se trate de uma dissertação sobre modelos de risco, é útil incluir uma breve descrição da floresta portuguesa, por se lhe aplicar o modelo que aqui se propõe e discute. Não sendo o autor um profundo conhecedor da história florestal portuguesa, e não sendo objectivo fazer pesquisa exaustiva nesse domínio, inclui-se uma evolução muito sumária, que pode complementar-se com outras obras bem mais vastas, que retratam uma imagem bastante completa de como os espaços florestais evoluíram ao longo dos anos em Portugal (ver, por exemplo, o Plano Nacional de Defesa da Floresta contra Incêndios, ou Vieira (2006)).

Portugal tem cerca de dois terços do seu território ocupados por espaço florestal, maioritariamente privado. O Inventário Florestal Nacional de 1995 apresentava como espaços florestais (povoamentos e matos) cerca de 5,4 milhões de hectares, um pouco mais que os 5,3 milhões de hectares que, 10 anos depois, o IFN2005 vem apresentar (tabela 2.1) (DSPE, 2001). Neste período de 10 anos verifica-se um aumento da área de povoamentos (3.412,3 Mha contra 3.349,3 Mha) e uma diminuição da área de matos (1.898,6 Mha contra 2.054,6 Mha).

A floresta nacional é dominada por pinheiro-bravo, eucalipto e sobreiro que, em conjunto, representavam mais de 70% dos espaços florestais em 1995. De entre estas espécies apenas o sobreiro ganha área entre os dois últimos inventários (+23,9 Mha), enquanto que o pinheiro-bravo sofre a maior queda em 10 anos, perdendo 265,5 milhares de hectares. A diminuição da área de eucalipto é, comparativamente, mais discreta, com apenas menos 25,4 milhões de hectares face a 1995 (tabela 2.2).

Tabela 2.1 – Áreas por ocupação do solo, em milhares de hectares, nos inventários florestais nacionais de 1995 e 2005.
Fonte: DGRF

Ocupação do Solo	1995/8	2005/6	Variação
Floresta	3.349,3	3.412,3	+ 63,0
Matos	2.054,6	1.898,6	- 156,0
Total	5.403,9	5.310,9	- 93,0

Tabela 2.2 – Áreas por espécie, em milhares de hectares, para as três espécies mais representadas, nos inventários florestais nacionais de 1995 e 2005. Fonte: DGRF

Espécie	1995/8	2005/6	Variação
Pinheiro-bravo	976,1	710,6	- 265,5
Eucalipto	672,1	646,7	- 25,4
Sobreiro	712,8	736,7	+ 23,9

O CORINE Land Cover 2000 (CLC2000), de acordo com a agregação do que pode considerar-se espaço florestal (fig. 2.1), contabiliza no total cerca de 4,8 milhões de hectares. As áreas de montado foram, nessa cobertura, integradas em espaços agrícolas, o que justifica a diferença nos valores de área florestal, por comparação com os dados dos inventários florestais. Esta cobertura será utilizada como base para os estudos realizados neste trabalho. À data da sua elaboração, o IFN95 estava já desactualizado, o IFN2005 não estava ainda disponível e o CLC2000 apresentava-se como a cobertura mais actual e, bem assim, adequada para um estudo aplicado à totalidade do território continental Português.

Não obstante as flutuações entre os dois inventários mais recentes, o saldo final mantém-se similar: cerca de dois terços do território correspondem a espaços florestais o que, a juntar à noção muitas vezes veiculada de que o país tem essa capacidade e vocação, fará pensar que Portugal é, de facto, um país marcadamente florestal. A atenção que sazonalmente se dá à floresta por via dos incêndios florestais desperta no público a ideia de que se está a permitir a destruição de manchas florestais que sempre existiram e até aqui haviam resistido, mais ou menos incólumes, à acção humana. Não é, de todo, assim.

A floresta portuguesa nem sempre foi extensa, e a que existia foi muitas vezes diminuída, respondendo a necessidades de madeira e de espaços para pastagens e agricultura. Vieira (2006) refere que «essa delapidação da floresta é bastante remota, intensificando-se sobretudo no tempo dos romanos que, recorrendo à sua extensa e densa rede viária, se abasteciam de resina e madeira da Península Ibérica» (op.cit., p.22). O mesmo autor refere o abate para suprir as necessidades de um império emergente: «a partir de 1377, foi mesmo fomentado o abate gratuito das matas reais para a construção de barcos (...) a época dos descobrimentos acabou assim por ser responsável pela desarborização de importantes manchas de sobreiro, azinheira e outros carvalhos, bem como de pinheiro manso» (op.cit., p.23).

A necessidade de matérias-primas, bem como de espaços para uma agricultura que sustentasse a evolução das populações, é, aliás, algo comum a todo o mediterrâneo. A interacção entre o Homem e os espaços naturais transformou-os de tal modo que, como aponta Ribeiro (1963, p.7), «nem sempre é fácil separar o que provém da sua acção do que a precedeu ou escapou a ela».

Também uma perspectiva histórica, constante do Plano Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios (PNDFCI), aponta a «necessidade de terra arável (...), a premência de vastas áreas desarborizadas para a pastorícia, a desflorestação dos bosques e matas para a construção naval e o esforço de recuperação desenvolvido após o terramoto de 1755» (APIF, 2005, p.23) como factores que motivaram a destruição da floresta nacional até ao final do século XVIII.

Como consequência, a importância da floresta em Portugal era reduzida no século XIX. Segundo Vieira (2006), «uma estimativa elaborada em 1868 (...) apontava para apenas 112.436 hectares de floresta em todo o país, o que representaria uns meros 1,3% do território» (op.cit.,p.28). Porém, é a partir do séc. XIX que se dão alguns passos importantes para a arborização.

Um diagnóstico da floresta portuguesa, datado de 1868 e com o título *Relatório acerca da arborização Geral do País* (Ribeiro e Delgado, 1868), apresenta um quadro desanimador, mas representa um momento de viragem no sentido do desenvolvimento da arborização. Mais tarde, já no séc. XX, a publicação do Regime Florestal (em 1901), permitiria o avanço do pinheiro com preocupações de fixação do litoral arenoso, regularização dos leitos dos rios, protecção de áreas agrícolas e mesmo fixação de vertentes.

O séc. XX e o Estado Novo trouxeram à floresta portuguesa um novo momento. Depois da campanha do trigo (iniciada em 1929, duraria até 1934), durante a qual toda a atenção se focara na agricultura em detrimento da arborização, o Plano de Povoamento Florestal em 1939 e o Fundo de Fomento Florestal em 1965 procuraram desenvolver e conservar áreas florestais: «o Fundo veio a arborizar, no período 1965-1974, 77 mil hectares, sobretudo em grandes propriedades do sul do país, que encontraram na florestação, uma alternativa (...) ao recuo do cereal desde os anos sessenta» (Radich e Baptista, 2005, p.148). Embora também existisse aposta no montado de sobro, era sobretudo no pinheiro-bravo que a arborização assentava. De crescimento rápido e adaptável mesmo a solos esqueléticos, esta espécie permitia obter lucro em várias frentes como a resina, a madeira e a produção de papel. Note-se que, durante o Estado Novo, o eucalipto, que mais tarde veio a aumentar a sua expressão, era muito pouco utilizado, ocupando apenas 76 hectares em 1956 (Vieira 2006, p.43).

Durante o Estado Novo, a arborização servia não apenas interesses ligados à correcção hidrológica ou à produção de madeira (Fig. 2.2). Serviria, também, interesses militares. Segundo Rego (2001, p.56), referindo-se ao Plano de Povoamento Florestal de 1939, «um dos objectivos centrais da arborização de áreas fronteiriças tem a ver com questões de defesa nacional».

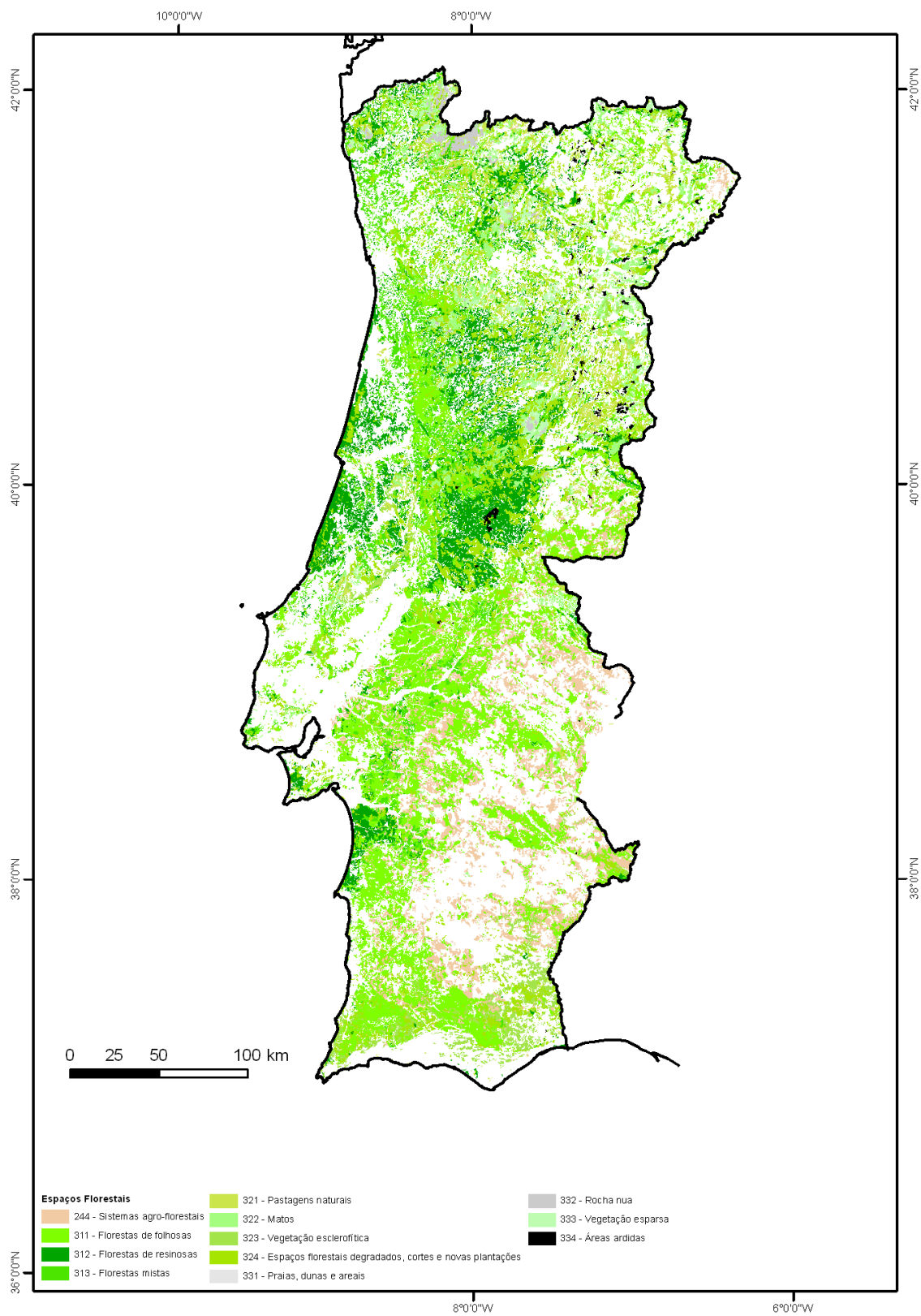
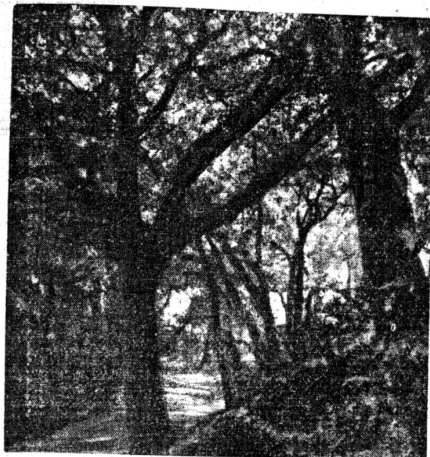


Figura 2.1 – Espaços Florestais conforme a classificação CLC2000



Um aspecto da Mata de Sete Montes, em Tomar

O POVOAMENTO florestal

É UMA DAS MAIORES OBRAS DO ESTADO NOVO

Como as nossas árvores ajudam a nossa economia

ganda, no campo do desenvolvimento florestal do País. Se a arborização dos baldios e das áreas que ocupam uma tão extensa do nosso território, foi sempre um programa

Figura 2.2 – Extracto do Diário de Notícias de 21 de Janeiro de 1943

presença activas no território, sofreram alterações que debilitaram a sua acção. Por outro lado, embora a maioria dos proprietários tradicionais optasse por manter a gestão dos baldios a cargo dos Serviços Florestais, a disposição legal de devolver esses baldios às comunidades que outrora os geriam viria a enfraquecer a capacidade de gestão dos mesmos. Na transição entre um regime de carácter autoritário e um contexto revolucionário, permitiu-se utilizar os recursos naturais sem particular cuidado. Adicionalmente, a acção dos Serviços Florestais teria sido interpretada como a extensão sobre o território de decisões tomadas pelo Regime, nem sempre populares. Tal foi o caso de arborizações, do Plano de 1939, que colidiram com os interesses populares, nomeadamente a arborização de baldios que serviam de pastagens, criando conflitos junto das populações. O contexto revolucionário determinou, assim, a perda de influência dos Serviços Florestais que, para além da gestão dos espaços florestais públicos, assumiam também o policiamento de áreas privadas.

Nos anos seguintes à revolução de 1974 acentua-se o despovoamento do interior e a queda da exploração do pinheiro-bravo (não havia, por exemplo, quem explorasse a resina e mantivesse os povoamentos), com preferência para os povoamentos de eucalipto, espécie de crescimento rápido que permitia obter rendimentos num intervalo de tempo menor. Para isso concorreram os financiamentos que ainda existiam do Fundo de Fomento Florestal (herança do Estado Novo, de 1965) e do Banco Mundial por via do Projecto Florestal Português (1981), que

Neste ponto convém recordar que em Espanha se tinha vivido uma guerra civil opondo a Frente Popular, coligação de esquerda que havia ganho as eleições legislativas de Fevereiro de 1936, e a Falange de Franco, de inspiração conservadora, de direita. Ainda em 1936, Salazar havia coordenado com o seu Ministro do Interior, Mário Pais de Sousa, uma intensificação dos controlos fronteiriços (Nogueira Pinto, 2007, p.111), não sendo por isso de estranhar que a arborização das áreas fronteiriças servisse, também, o propósito de marcar activamente os limites do território nacional em face de uma Espanha onde existiam «duas tradições, ambas anexionistas e iberistas: o imperialismo castelhano direitista e militarista e (...) o federalismo ibérico esquerdista e progressista» (op.cit, p.119).

O período revolucionário vivido após Abril de 1974 viria a modificar a floresta portuguesa: os Serviços Florestais, que tinham até então uma gestão e

foram direccionados para a plantação de eucaliptos, atraente para os proprietários por se traduzir em rendimento rápido, aproveitando a aposta do Estado nesse sector industrial (APIF, 2005; Pinho, 2000).

Após 1975, os incêndios florestais passam a ser um dos grandes problemas da floresta portuguesa. O aumento da área ardida foi expressivo, chegando mesmo a quadruplicar até 1980 (APIF, 2005), ano em que sob tutela do Ministério da Administração Interna se cria primeiro o Serviço Nacional de Bombeiros e, pouco depois, o Serviço Nacional de Protecção Civil. Com estes dois novos serviços, e com a publicação do Decreto-Regulamentar n.º 55/1981, que estabeleceu as competências de todas as entidades envolvidas (SNB, SNPC, Serviços Florestais, Autarquias), a abordagem aos incêndios florestais passou a fazer-se no âmbito da Protecção Civil, com prioridade ao edificado e populações: os Serviços Florestais mantiveram a responsabilidade pela prevenção e detecção, mas o combate deixou de contar com a experiência tradicional desta instituição.

Os fundos dos Quadros Comunitários de Apoio vieram permitir grande aposta na arborização, a partir de 1986. A rentabilidade possível com os povoamentos de eucalipto tornou esta espécie muito apetecida, o que só viria a modificar-se no final dos anos 90, altura em que aspectos económicos tornariam menos interessante a aposta nestes povoamentos (DGRF, 2007).

Os anos mais recentes, na transição do século XX para o XXI, são marcados por uma floresta sujeita a alguns desafios, como uma gestão correcta, e preocupações com a sustentabilidade dos espaços florestais e com pragas (como o nemátodo - *Bursaphelenchus xylophilus* - que mata os pinheiros, ou o plátipo - *Platypus cylindricus* - que afecta os sobreiros). Porém, os incêndios florestais são, de longe, o fenómeno que mais espaços florestais destrói, num período em que o Inventário Florestal Nacional mais recente parece apontar para um acréscimo discreto destes espaços, acompanhado por modificações na sua estrutura.

2.2 . O PROBLEMA DOS INCÊNDIOS FLORESTAIS EM PORTUGAL CONTINENTAL

Os incêndios florestais têm destruído, nos últimos anos, milhares de hectares em Portugal. Não sendo um fenómeno novo, tem conhecido maior mediatização nos primeiros anos deste século: as áreas ardidadas foram expressivas, aproximaram-se das populações e os *media* conseguem chegar rapidamente aos locais onde a supressão do incêndio está em curso.

No intervalo 1980-2006 e segundo dados oficiais (AFN), foram consumidos por incêndios florestais¹ mais de 3 milhões de hectares: o equivalente a quase todo o território da Bélgica, uma vez e meia o território de Israel ou doze vezes o Luxemburgo! O mesmo será dizer-se que, de acordo com os números do mais recente inventário florestal nacional, no intervalo de tempo referido ardeu o equivalente a quase toda a área actualmente ocupada por povoamentos florestais.

Os incêndios florestais podem estudar-se face às ocorrências ou às áreas ardidadas. Tratar ocorrências é menos interessante: podem não resultar num problema se forem rapidamente suprimidas. Note-se, a esse propósito, que o maior número de ocorrências se regista em áreas densamente povoadas, e muito particularmente ao longo do litoral norte. Apesar de muitas, não criam especial dano. São normalmente pequenos incêndios de intervenção e supressão rápida. Pelo contrário, o interior do país, onde o número de ocorrências é menor, regista maior área ardidada por ocorrência. Esse facto depende-se da observação da figura 2.3, que apresenta as tipologias concelhias face aos incêndios florestais.

As tipologias concelhias foram introduzidas em 2005 pela proposta técnica do PNDFCI (ISA, 2005) com o objectivo de criar um mecanismo que permitisse, por um lado, distinguir a natureza do problema (i.e., como actuar? Sobre as ocorrências ou sobre a extensão do ardidado?), e por outro, ter um mapa que, com o passar dos anos, permitisse avaliar a *performance* municipal na defesa da floresta contra incêndios, utilizando sempre um intervalo de referência com igual número de anos (quinze).

A distribuição dos concelhos do tipo T2 – poucas ocorrências com muita área ardidada – apresenta claramente parte do eixo florestal nacional que, como se tem observado em anos recentes, regista incêndios com uma área ardidada por ocorrência bastante expressiva.

¹ É considerado incêndio florestal todo aquele que atinja um espaço florestal, mesmo que numa área inferior, por exemplo, a uma área agrícola igualmente afectada pela mesma ocorrência.

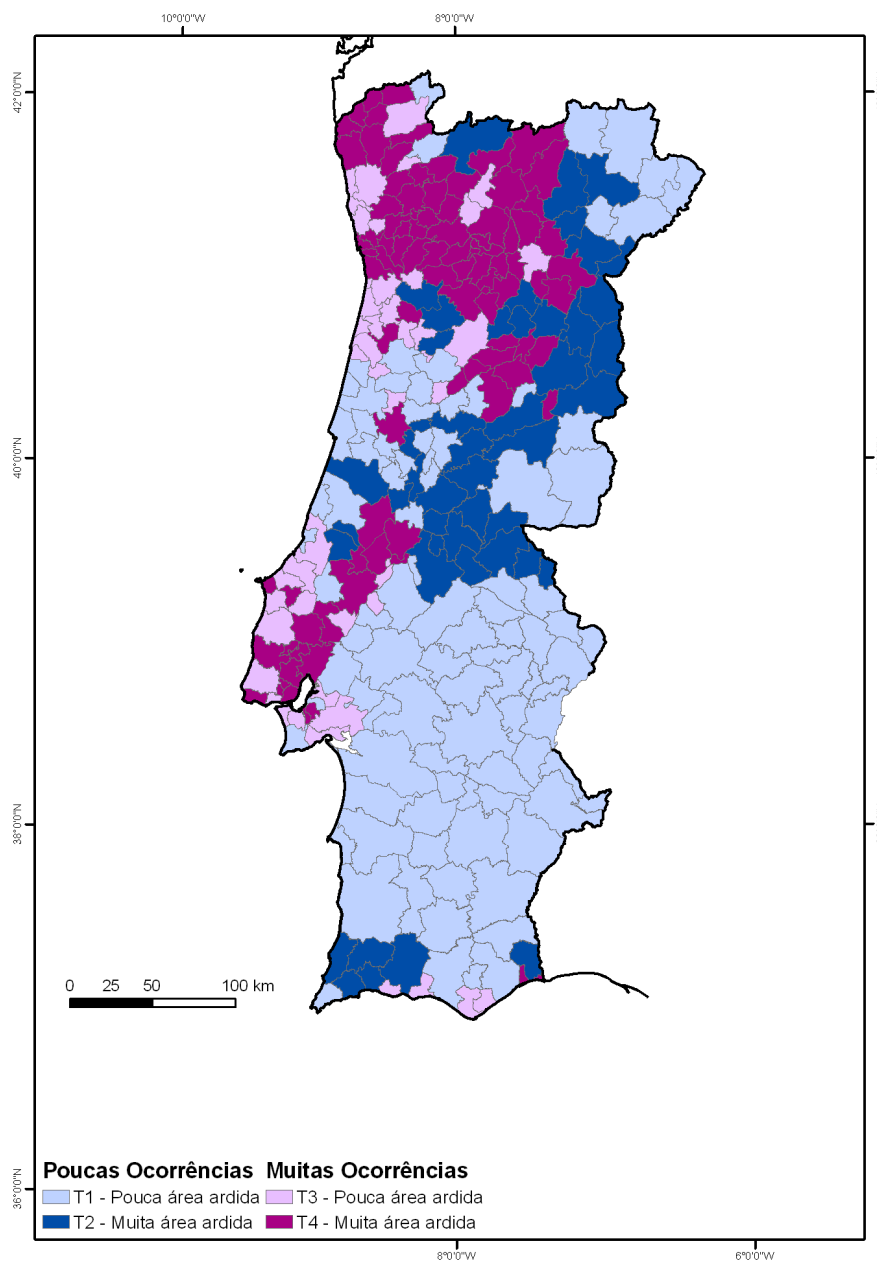


Figura 2.3 – Tipologias concelhias de incêndios florestais (1992-2006) Fonte: DGRF

Os números nos últimos dez anos são expressivos, e verões como os de 2003 e 2005 ficaram marcados na memória, com a destruição de centenas de milhar de hectares e prejuízos avultados. Porém, apesar de graves, não são exactamente uma novidade. Em anos anteriores os incêndios florestais já haviam queimado muitos hectares de espaços florestais. Quase 292 mil hectares em 1985, 204 mil em 1989, ou 215 mil hectares em 1998 são exemplos de que este não é um problema recente. De qualquer forma, é marcada a tendência, desde 1975, de aumento das áreas afectadas por esse fenómeno (fig. 2.4, 2.5).

Áreas ardidadas em Portugal Continental

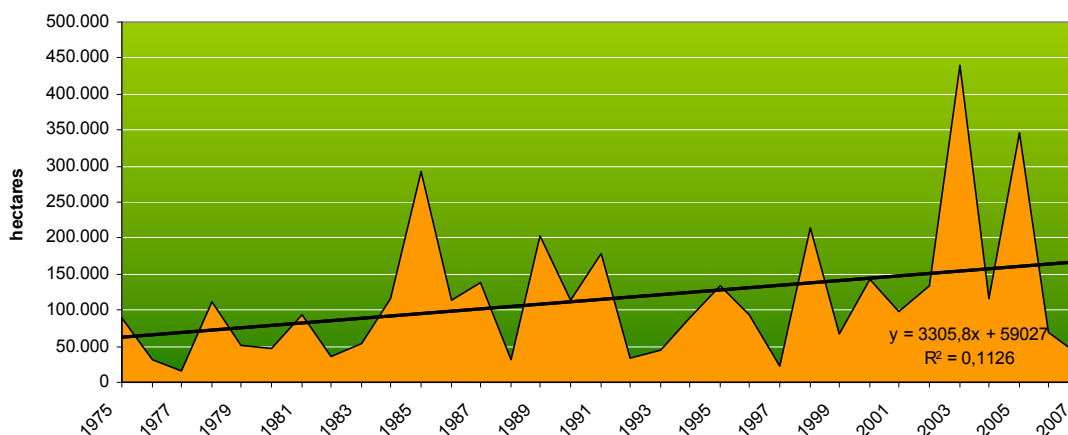


Figura 2.4 – Área ardida em Portugal continental, por ano, entre 1975 e 2007
Fonte: DGRF/ISA

Os dois terços que o país tem de espaços florestais são fornecedores de diversos produtos essenciais para actividades industriais, como a pasta e papel, cortiça e mobiliário. Adicionalmente «contribuem para gerar 3,2% do PIB, 15 mil postos de trabalho directos, [...] 12% do PIB industrial e 11% das exportações» (APIF, 2005, p13).

Por si só, o que acima se reproduz, acrescenta ao problema. Tanto mais quanto «o valor da floresta portuguesa será de 7.750 milhões de euros» e o problema dos incêndios florestais coloca em causa «a sustentabilidade de 64% do território coberto por florestas e matagais» (APIF, 2005). A floresta portuguesa é maioritariamente privada, e dos privados depende boa parte do desenvolvimento deste sector.

A perda de valor dos espaços florestais é um fenómeno que interessa contrariar. Destes espaços depende, como se viu, a criação de riqueza para o país. O combate aos incêndios florestais tem sido feito, desde 1980, no seio da protecção civil, cuja actuação é orientada essencialmente para a protecção das populações e edificado. No entanto, a protecção civil também é – ou deve ser – a protecção de tudo aquilo que garanta a subsistência dos cidadãos. Para além de quaisquer factores emocionais ou políticos, tomar opções com base em aspectos económicos, contrariar a perda de valor dos espaços florestais, também pode e deve constituir uma preocupação de protecção civil, enquanto esta tiver a responsabilidade de combater incêndios florestais.

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.

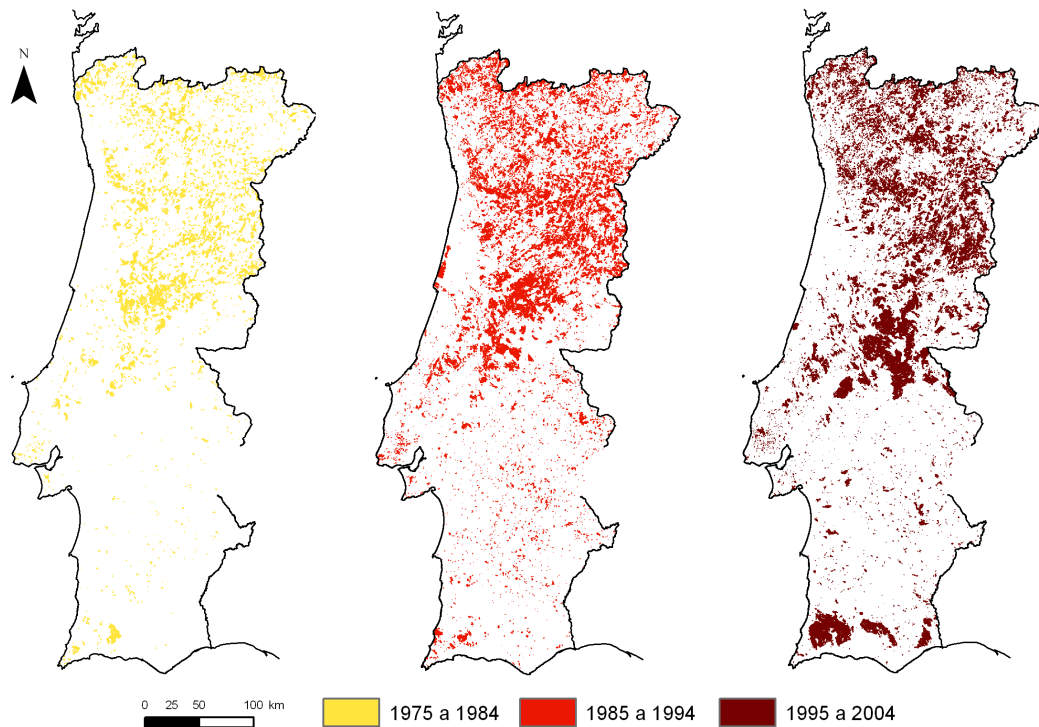


Figura 2.5 – Áreas ardidas em Portugal continental, por decénio, entre 1975 e 2004
 Fonte: DGRF/ISA

O problema em apreço consiste na mitigação do risco de incêndio. Como se verá, a mitigação deve basear-se no conhecimento da perigosidade de incêndio florestal, sobre a qual se poderá calcular risco. Antes que tal aconteça, e os prejuízos causados pelos incêndios sejam integrados no modelo, procurar-se-á estabelecer a base para esse cálculo demonstrando, sem prejuízo para metodologias mais complexas, como é possível construir um mapa de perigosidade de incêndio florestal com recurso a poucas variáveis, de forte correlação espacial. Em fase posterior, e sobre os resultados aqui expressos, poder-se-á avançar para um mapa de risco com a aplicação completa do modelo adoptado. Deste modo, o objectivo passa por descrever e aplicar um modelo de cálculo que se materializa na cartografia de perigosidade de incêndio florestal, usando poucas variáveis, cuja capacidade preditiva se aferirá com validações independentes.

CAPÍTULO 3. MODELO CONCEPTUAL

A concretização dos objectivos anteriormente expressos obriga a uma definição muito clara do modelo a adoptar e dos conceitos que lhe servem de base. Tratando-se de um modelo de risco – embora neste documento não se desenvolva na totalidade –, há que definir todos os conceitos, procurando clarificar as ideias que se pretendem transmitir sempre que se aplicam termos como susceptibilidade, perigosidade e risco, entre outros.

É difícil conseguir consensos quanto à terminologia dos modelos de risco. A esse propósito, já Bachmann e Allgöwer apontam a necessidade de se definir uma base conceptual consistente. Em artigo de 1999, referem que «the somewhat inconsiderate use of the various terms 'danger', 'hazard', and 'risk' may result in misunderstandings that can have fatal consequences» (Bachmann e Allgöwer, 1999, p1). Efectivamente, se não existir um entendimento comum da terminologia, podem utilizar-se produtos cujo conteúdo não corresponde ao esperado; um mapa de risco que forneça informação de prejuízo financeiro não permitirá uma leitura correcta se alguém o procurar interpretar apenas como um mapa que informa acerca da susceptibilidade do território. Se este erro acontecer em meio operacional e estiver na base de decisões ligadas ao pré-posicionamento de meios ou opções de supressão pode revelar-se desastroso.

Como referem os mesmos autores, «the phenomenon fire has many aspects as people who are dealing with it (...) based on their primary interests, each of these 'communities' has different notions of the term 'wildfire risk'» (ob.cit., p.1). Esta observação é tão verdadeira quanto são várias as formações daqueles que produzem cartografia de risco², incluindo a engenharia florestal, engenharia ambiental, geografia e outras. O quadro conceptual que aqui se pretende aplicar é o mesmo que orienta, internacionalmente, outros estudos como as avaliações de riscos derivados de movimentos de massa, cheias ou sismos.

Em discurso corrente a palavra “risco” é utilizada de forma indiscriminada para referir situações de dano potencial e probabilidades de ocorrência. Tão depressa se utiliza o termo “risco” para transmitir a noção de iminência de ocorrência de algum fenómeno, quanto a seguir se utiliza a mesma palavra para referir perdas, sejam financeiras, materiais ou pessoais. Se, em discurso corrente, uma terminologia coerente é apenas desejável, em documentos técnicos ela é mandatária. De uma forma simplificada, no modelo conceptual que

² Atente-se à designação *cartografia de risco* e não *mapas de risco*. Cartografia de risco, enquanto designação genérica, inclui os mapas que podem produzir-se sob o modelo conceptual de risco (e.g. susceptibilidade, probabilidade de ocorrência, perigosidade, elementos em risco, vulnerabilidade, dano potencial, risco), ao contrário de mapa de risco que é um documento cujas componentes essenciais se conhecem e precisam estar presentes.

aqui se aplica, *risco é dinheiro e segurança*. A probabilidade de ocorrência associada às condicionantes do território é algo diferente, trata-se de *perigosidade*.

Segundo Bachmann e Allgöwer (1999, p.5), risco de incêndio florestal define-se 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», que Pereira e Santos (2003, p.31) traduzem como «a probabilidade de que um incêndio florestal ocorra num local específico, sob determinadas circunstâncias, e as suas consequências esperadas, caracterizadas pelos impactes nos objectos afectados». Esta definição de Bachmann e Allgöwer cumpre o objectivo de cobrir todas as componentes do modelo de risco, e é a definição adoptada neste trabalho para caracterizar risco de incêndio florestal.

A figura 3.1 apresenta o modelo de risco que orienta este estudo. No âmbito desta dissertação, avaliar-se-á apenas a perigosidade. As componentes seguintes, necessárias ao cálculo do risco, poder-se-ão tratar mais tarde em estudo que se sirva deste como base.

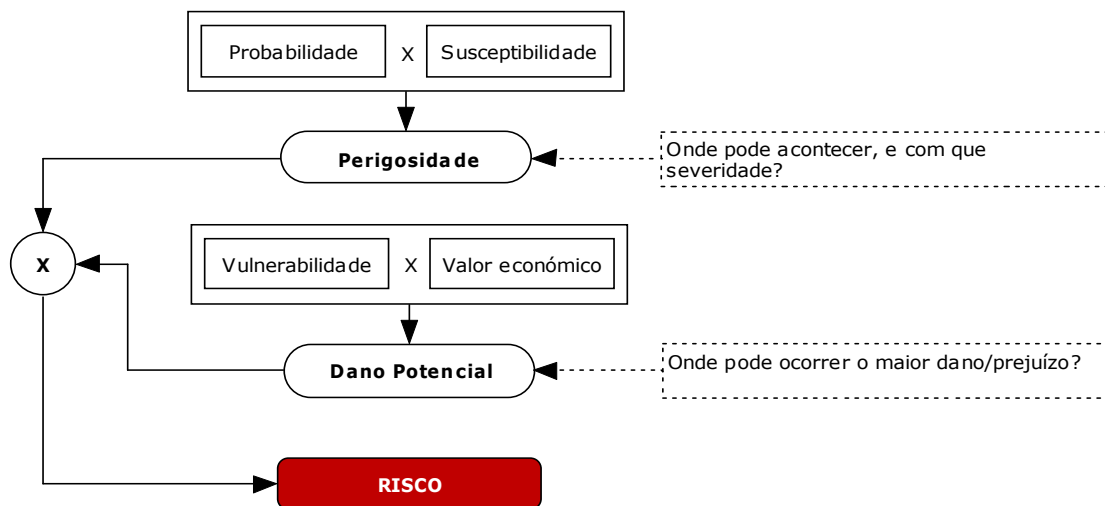


Figura 3.1 – Componentes do modelo de risco

Apresentado o modelo de forma esquemática, apresentam-se os conceitos que suportam cada componente.

Probabilidade

A probabilidade expressa a verosimilhança de que um determinado evento ocorra e, deste modo, pode entender-se como um indicador da incerteza da ocorrência desse evento. Numa abordagem clássica, entende-se que todos os eventos, não estando condicionados à existência

prévia de outros, têm a mesma possibilidade de ocorrer e portanto uma probabilidade igual. Em probabilidades condicionadas, entende-se que um determinado evento tem uma dada probabilidade de ocorrer, condicionada à probabilidade de que um evento anterior tenha ocorrido (Reis et al., 2003).

Susceptibilidade

A susceptibilidade expressa a propensão de uma dada área ou unidade territorial para ser afectada pelo fenómeno estudado, avaliada a partir das propriedades que lhe são intrínsecas. Uma unidade territorial será mais ou menos susceptível conforme seja mais afectada ou potencie a ocorrência e desenvolvimento do fenómeno. No caso dos incêndios florestais, uma determinada área será tanto mais susceptível quanto melhor permitir a deflagração e/ou a progressão do incêndio (Verde e Zêzere, 2007).

Perigosidade

A perigosidade equivale ao que na literatura anglo-saxónica se designa por *hazard*. A perigosidade é, segundo a definição de Varnes (1984), a probabilidade de ocorrência de fenómenos potencialmente destruidores, num determinado intervalo de tempo e numa dada área. Esta noção de perigosidade engloba duas dimensões: tempo e espaço. Assim sendo, engloba as duas componentes descritas anteriormente, a probabilidade, cujo cálculo se pode basear no histórico existente para o evento, e a susceptibilidade, que endereça os aspectos relacionados ao território para o qual se estuda o fenómeno.

Vulnerabilidade

A vulnerabilidade expressa o grau de perda a que um determinado elemento está sujeito em face da ocorrência do fenómeno tratado. A vulnerabilidade expressa-se numa escala que varia entre zero – não ocorre qualquer dano – e um – o dano é total, resultando na destruição do elemento em risco (Varnes, 1984; Cardona, 2003).

Dano Potencial

Na literatura encontra-se muitas vezes a expressão matemática de risco como sendo o produto da perigosidade pela vulnerabilidade, $R = P \times V$ (UNDP-BCPR, 2004). Uma dificuldade que essa abordagem levanta é não conseguir diferenciar adequadamente a perda real de elementos diferentes com a mesma vulnerabilidade. Olhando os incêndios, e a título de exemplo, uma pequena edificação pode ter uma vulnerabilidade superior à de um povoamento florestal que tenha no fogo parte da sua estratégia reprodutiva, estando por isso a edificação

sujeita a um grau de perda superior. Porém, se com base nessa informação, e com $R = P \times V$ se assumir que o risco é superior no edificado, procurar-se-á defender em primeiro lugar a edificação deixando arder o povoamento. Mas o povoamento poderá ter um valor económico muito superior ao da pequena edificação que se optou por proteger. Deste modo, o esforço de protecção do edificado permitiu uma perda financeira superior à que se teria se a prioridade fosse a protecção do povoamento florestal. Para reposição da performance dos elementos afectados, seria mais barato – e mais rápido – repor o edificado do que o povoamento. É nesta medida que a introdução de uma variável adicional, a variável *valor económico*, é útil. O dano potencial é, assim, o produto entre a vulnerabilidade e o valor económico do elemento em risco.

Risco

Como foi previamente referido, e recuperando a definição apresentada por Bachmann e Allgöwer, risco é a probabilidade de que um incêndio florestal ocorra num local específico, sob determinadas circunstâncias, e as suas consequências esperadas, caracterizadas pelos impactes nos objectos afectados. Com base nesta definição, e transportando para os incêndios florestais o mesmo quadro conceptual internacionalmente aceite em outros domínios, o risco será aqui entendido como o produto entre a perigosidade e o dano potencial (fig. 3.2).

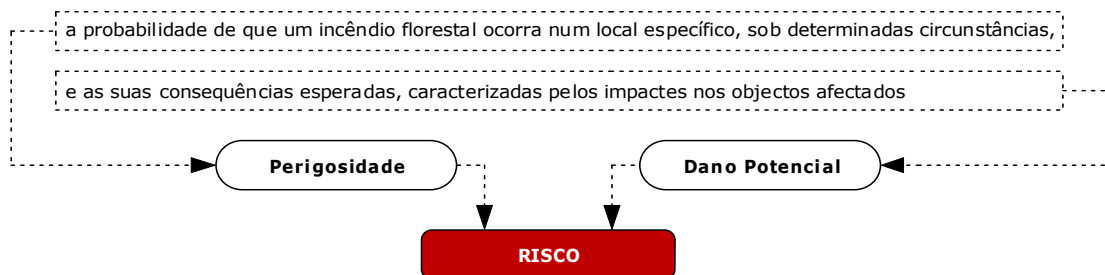


Figura 3.2 – Definição de Bachmann e Allgöwer (1999) conforme o modelo de risco adoptado

CAPÍTULO 4. PROGRESSOS RECENTES NA PREDIÇÃO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS

A avaliação das componentes do risco de incêndio não é uma preocupação nova e sobre ela já vários autores desenvolveram estudos, tanto em Portugal como em outros países. Esses estudos incidem normalmente sobre as componentes da perigosidade e nem sempre têm a cartografia como propósito. Em algumas situações, como se verá, o que se pretende é obter um índice numérico que possa utilizar-se para prever o comportamento do fogo, sensibilizar a população, aplicar restrições definidas por lei, ou manter dispositivos de informação pública.

Os termos utilizados são variados e, em alguns casos, não se ajustam ao modelo conceptual aqui proposto. Os títulos dos trabalhos referidos respeitarão os originais, embora a análise desses mesmos trabalhos se faça, no âmbito deste documento, com a tradução para o equivalente à luz do quadro conceptual adoptado.

Os métodos e parâmetros utilizados são também diversos. Alguns autores optam por formulações aditivas, outros por cálculos probabilísticos mais complexos, dependendo do respectivo objectivo.

A avaliação de perigosidade de incêndio florestal faz-se em dois grandes domínios: a análise estrutural, que avalia a favorabilidade do território para a ocorrência do fenómeno, e a análise dinâmica, que incide fundamentalmente sobre aspectos meteorológicos que permitem aferir o comportamento do fogo face a parâmetros como o vento e a temperatura.

O interesse do tema, o seu impacto na economia e hábitos sociais das populações e o desenvolvimento das metodologias, faz com que existam muitos autores a abordar este assunto. Neste capítulo não se fará referência a todos os estudos de avaliação da perigosidade de incêndio florestal mas apenas ao trabalho de autores de referência, cujo trabalho tem incentivado novos estudos ou servido de base para aplicação à gestão do território.

Um dos investigadores que há mais tempo se dedica em Portugal a estudar a perigosidade de incêndio florestal é Luciano Lourenço, que apresenta índices relacionando, de acordo com o autor, as duas principais variáveis meteorológicas que intervêm na deflagração de incêndios florestais, a temperatura e a humidade relativa [4.1] (Lourenço, 1991).

$$IR_{LL} = T / U + V \quad [4.1]$$

Para uma determinada hora do dia, este índice serve-se da temperatura (T) e humidade relativa do ar (U) registadas, acrescentando um factor de correcção (V) de acordo com o rumo e velocidade do vento a essa mesma hora. Ainda de acordo com Lourenço (1991), as

condições extremas de «risco» calculam-se com os valores máximos diários para estas componentes (para a humidade relativa, o mínimo), pese embora esses valores não se verifiquem, normalmente, à mesma hora [4.2].

$$IRMAX_{LL} = T_{max} / U_{min} + V_{max} \quad [4.2]$$

Inicialmente, foram encontradas dificuldades em integrar o vento nas fórmulas propostas, por estar ainda em investigação a forma exacta como este factor influenciava o comportamento do fogo. Mais tarde, num desenvolvimento deste método, Lourenço (1996a) aperfeiçoou a integração do vento no cálculo do seu índice, permitindo, segundo o próprio, fazer um cálculo diferenciado, não incluindo o vento caso se pretenda apenas conhecer a probabilidade de deflagração, ou incluindo-o de acordo com [4.3] se se quiser conhecer a progressão do incêndio.

$$IRPIF_{LL} = (T / U) + (V / 100) \quad [4.3]$$

Com esta evolução do método, considerar-se-iam os ventos de forma mais precisa, incluindo dois tipos de vento particularmente relevantes para os incêndios florestais: os ventos de Este, que auxiliam a deflagração, e as nortadas, que tornam a progressão mais rápida e por vezes descontrolada. Mostrou-se ainda necessário conhecer a probabilidade para dias seguintes, algo de grande utilidade para o trabalho dos bombeiros, a que se dá resposta com a fórmula de cálculo descrita em [4.4] (Lourenço, 1996b).

$$TIRIFF_{LL} = \left[\left(\frac{Tdc}{Udc} + \frac{Vdc}{100} \right) + \frac{2(Tds - Tdc) + (Udc - Uds) + (Vds - Vdc)}{100} \right] R \quad [4.4]$$

Nesta última proposta de Lourenço (op.cit.) a tendência de “risco” de incêndio florestal calcular-se-ia como anteriormente, atendendo a que os factores temperatura (T), humidade relativa do ar (U) e velocidade do vento (V) seriam integrados em observações para o dia em causa (dc) e para o dia seguinte (ds). R representa uma correcção regional baseada no histórico dos incêndios para cada concelho.

Ao trabalho de Luciano Lourenço aplica-se um quadro conceptual diferente do adoptado nesta dissertação, algo que se evidencia com a afirmação de que «Esta foi mais uma tentativa que fizemos no sentido de, atempadamente, se poder conhecer o risco para, prevenindo, se reduzir o perigo e evitar a crise (...)», a propósito de um artigo em que o autor, sob o título “Risco de Incêndio”, apresenta os conceitos e avança com o cálculo de um índice meteorológico para definição de classes de risco (Lourenço, 2004, p.173).

Em 2006 este autor revisita os incêndios florestais com um artigo intitulado *Geografia dos Incêndios Florestais em Portugal Continental* (Lourenço, 2006) em que se propõe analisar a distribuição das áreas ardidas, com particular atenção para os anos 2003 a 2005, relacionando o número de ocorrências e a extensão das áreas ardidas com os parâmetros meteorológicos observados. Nessa análise, conclui-se que as condições meteorológicas de 2003 e de 2005, apesar de muito propícias para a deflagração e progressão dos incêndios, não são as únicas nem as principais razões para o número de ocorrências e extensão das áreas ardidas desses anos. Como o autor afirma, se assim fosse, «em todas as áreas onde se fizeram sentir essas condições meteorológicas teriam ocorrido incêndios e, por isso, estariam incineradas, o que, felizmente, não se verificou» (Lourenço, 2006,p.60).

Em paralelo com o trabalho desenvolvido por Luciano Lourenço, Ramos e Ventura (1992) propõem também um índice com base meteorológica para classificar o perigo de incêndio. Estudando as condições meteorológicas associadas aos grandes incêndios (aqueles com área igual ou superior a 100ha), os autores verificam que «os dias em que se concentram os grandes incêndios florestais ocorrem, sobretudo, após longos períodos sem precipitação onde se conjugam temperaturas elevadas, acentuada *secura* e vento favorável à sua propagação» (Ramos e Ventura, 1992, p.84). Não obstante tal observação, por dificuldade em estabelecer limiares de precipitação considerados bastantes para interromper uma série de dias secos e outras dificuldades de aplicação das variáveis que teriam de ser utilizadas, optaram os autores por relacionar a temperatura máxima com a humidade atmosférica. Assim, na formulação proposta por Ramos e Ventura [4.5], o índice diário de perigo de incêndio (I) contemplaria cinco classes (Muito Baixo, Baixo, Médio, Elevado, Muito Elevado) e consideraria a temperatura do ar às 18h (T), a temperatura do ponto de orvalho à mesma hora (Td) e a temperatura máxima diária (TM).

$$I = i \times i' \quad [4.5]$$

Com

$$i = T - Td$$

e

$$i = 1; (T-Td) < 5$$

$$i = 2; 5 \leq (T-Td) < 10$$

$$i = 3; 10 \leq (T-Td) < 15$$

$$i = 4; 15 \leq (T-Td) < 20$$

$$i = 5; (T-Td) \geq 20$$

$$i' = 1; TM < 20$$

$$i' = 2; 20 \leq TM < 25$$

$$i' = 3; 25 \leq TM < 30$$

$$i' = 4; 30 \leq TM < 35$$

$$i' = 5; TM \geq 35$$

Elementos climáticos como a precipitação, humidade relativa ou temperatura têm sido, não raras vezes, considerados em estudos e modelos relacionados com incêndios florestais. Rebelo (1980, p.653) reforça a função catalizadora do clima quando declara que «a *secura estival*, [...], é a primeira explicação para estes casos; o homem, porém, através de descuidos ou de acções deliberadas, funciona, quase sempre, como detonador». Também Ventura e

Vasconcelos (2006, p.94) declaram que «enquanto a vegetação e a meteorologia são sobretudo condicionadas pelas características edafo-climáticas e topográficas de cada região, em muitas zonas a ignição de fogos está sobretudo dependente da actividade humana».

O papel catalizador do estado do tempo é evidente: inviabilizando a progressão (ou mesmo a combustão) quando a humidade relativa do ar ou precipitação o impedem, ou favorecendo o fenómeno quando a humidade relativa do ar é baixa e as temperaturas elevadas ou o vento forte.

Esta evidência torna, desde logo, necessária a utilização desses parâmetros em cálculos que possam integrar-se em modelos de risco ou no estabelecimento de índices de perigo para preparação dos dispositivos de supressão e alertas à população. Um desses produtos em utilização em Portugal é o FWI – *Fire Weather Index* -, de origem Canadiana, subsistema do *Canadian Forest Fire Danger Rating System*, que é um indicador do perigo de incêndio exprimindo «o comportamento do fogo em terreno plano e num tipo de combustível de referência (pinhal adulto de *Pinus banksiana*)» (Fernandes, 2005). Este índice, calculado pelo Instituto de Meteorologia, segundo Fernandes (op.cit.), tem sido interpretado de forma abusiva como um índice de risco. Com efeito, essa interpretação é de certo modo transversal ao que se produz actualmente em Portugal nesta matéria, tendo os elementos climáticos contribuído até aqui para produtos de perigosidade e não de risco. Os cálculos para o FWI integram apenas a temperatura e humidade relativa do ar, precipitação acumulada nas 24 horas anteriores, velocidade do vento a 10m de altura em terreno aberto e, em rigor, constituem um índice que informa o utilizador acerca da severidade que um incêndio pode ter nas condições observadas.

Apresentado no Canadá em 1970, depois de vários anos de desenvolvimento, este sistema de indexação de perigo compreende seis componentes principais (Van Wagner, 1987), três delas são índices de humidade que acompanham as variações no teor de humidade de três tipos de combustível com tempos de reacção diferente (finos, grosseiros e orgânicos em profundidade), e os restantes três são índices que expressam o comportamento do fogo em velocidade da progressão, consumo de combustível e intensidade (Figura 4.1).

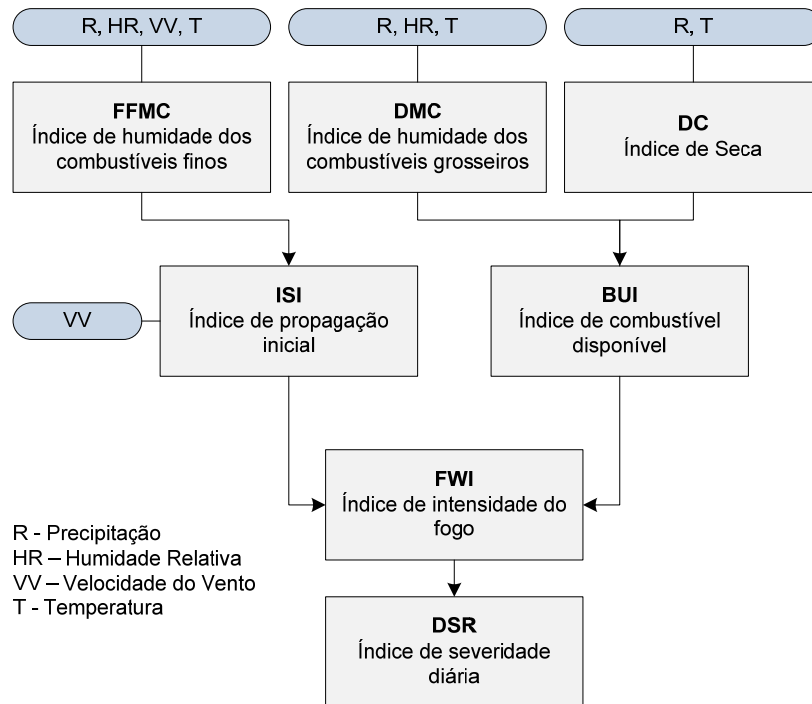


Figura 4.1 – Estrutura do Índice FWI, adaptado de Van Wagner (1987)

Aos seis componentes principais do modelo Canadano acresce um sétimo que pode derivar-se do índice FWI, o DSR ou Índice de severidade diária (*Daily Severity Rating*, no original). O DSR, introduzido por Williams (1959), foi adaptado ao sistema Canadano por Van Wagner (1987) para facilitar a definição de classes de perigosidade, por se ter verificado que a relação entre o índice FWI e a dificuldade de supressão do incêndio não era linear. Com o índice DSR assume-se uma relação logarítmica, que acentua o FWI à medida que este aumenta e que representa melhor o esforço de combate.

Individualmente, os componentes do sistema Canadano de indexação de perigo fornecem informação útil aos operacionais de pré-supressão e supressão. O FFMC (Índice de humidade dos combustíveis finos), com uma variação muito rápida ao longo do dia, permite inferir da inflamabilidade desse tipo de combustíveis. O DMC (Índice de humidade dos combustíveis grosseiros) é útil para o planeamento das acções de fogo controlado – para diminuição da carga combustível – e o DC (Índice de seca) é particularmente relevante para orientar as acções de rescaldo, procurando evitar os fogos sub-superficiais que podem manter-se durante dias em condições de segura (com um DC elevado). Actualmente os sub-índices do sistema Canadano FWI são utilizados em Portugal por, pelo menos, duas instituições: a Autoridade Florestal Nacional (AFN, anterior Direcção-Geral dos Recursos Florestais, DGRF) e o Instituto de Meteorologia (IM). A AFN disponibiliza ao IM um mapa de perigosidade que este cruza com o sistema Canadano para produzir um mapa que conjuga o FWI com o *mapa de risco conjuntural* da AFN, cuja origem se descreve em seguida.

Em 2003 a Direcção-Geral das Florestas (posterior Direcção-Geral dos Recursos Florestais e desde Setembro de 2008, Autoridade Florestal Nacional) publica um estudo de Cardoso Pereira e Nobre dos Santos (Pereira e Santos, 2003) intitulado *Áreas Queimadas e Risco de Incêndio em Portugal*, que apresentou uma cartografia que iria suceder à introduzida pelo Decreto Regulamentar n.º 55/81, de 18 de Dezembro (op.cit., p.5).

O estudo citado aproveita o primeiro conjunto de dez anos de cartografia de áreas ardidas por detecção remota, iniciado em 1990 e trabalhado por protocolo estabelecido entre a Direcção-Geral das Florestas e o Departamento de Engenharia Florestal do Instituto Superior de Agronomia.

As áreas ardidas entre 1990 e 1999, a que este trabalho de Cardoso Pereira e Nobre dos Santos se referem, têm áreas mínimas cartografadas que ao longo dos anos se foram aprimorando: 25 hectares entre 1990 e 1992, 15 ha em 1993 e 1994, e 5 ha a partir de 1995.

O quadro conceptual adoptado pelos autores para enquadrar a cartografia produzida é o mesmo que esta dissertação utiliza, apresentando inclusivamente a definição de risco de Bachmann e Allgöwer (1999), também aqui adoptada e previamente descrita no capítulo anterior. No entanto, os autores não integram no seu modelo variáveis que permitam a integração do dano potencial, optando por representar o que consideram núcleos florestais críticos (por valor e/ou extensão) sobre o fundo cartográfico, produto do modelo, para uma interpretação visual da potencialidade do dano.

As variáveis integradas no modelo de Pereira e Santos (op.cit.) são a ocupação do solo, que resulta da «concatenação de dados do projecto COS90 do CNIG, referentes aproximadamente à metade Norte de Portugal, com dados do projecto CORINE Landcover para a metade Sul do país» (op.cit, p.34), a altimetria e declives, dois temas climáticos: número de dias com temperatura superior a 25°C e o número de dias com precipitação entre Maio e Setembro (cf. Normais climatológicas 1961-90), e a população residente por freguesia, proveniente dos Censos de 1991.

As áreas ardidas não entram neste modelo de forma directa. Conforme descrito pelos autores, as áreas ardidas foram sujeitas a uma interpolação cujo objectivo foi o de anular efeitos locais sem expressão à escala de tratamento da informação – 1 km². Assim, «é importante salientar que foi este o padrão espacial de incidência de fogo que se modelou para avaliar o risco de incêndio florestal, e não o padrão espacial original de ocorrência dos fogos». (Pereira e Santos, 2003, p. 32). Com esta informação interpolada os autores calcularam probabilidades de que cada unidade matricial fosse sujeita a ignição num período de 30 anos. Essa

probabilidade foi relacionada com as restantes variáveis através de uma árvore de regressão, «construída com recurso ao algoritmo Classification and Regression Trees (CART), de Breiman et al (1984)» (op.cit. p45).

Como resultado desta metodologia os autores apresentam um mapa que classificam em cinco classes por valores de probabilidade, de 0 a 10%, 10 a 20%, 20 a 30%, 30 a 40% e superior a 40%. Sobre este sobrepõem os núcleos críticos que derivam do Inventário Florestal Nacional de 1995 e apresentam o mapa final com o título "Carta de Risco de Incêndio".

Na validação que realizam, com recurso às áreas ardidas do ano 2000, verificam que 85,4% da área ardida nesse ano ficou contida nas duas classes de probabilidade mais elevadas, com 57,3% da área ardida enquadrada na classe de probabilidade mais alta. São resultados que animam os autores, na medida em que tal constitui um teste independente por se tratar de informação que não foi englobada no modelo, confirmando o pressuposto de que com a metodologia aplicada seria possível identificar as áreas com maior propensão para arder.

Uma vez que a informação do valor e vulnerabilidade não estão contemplados neste modelo, trata-se de um mapa que, tendo como referência o quadro conceptual adoptado, se pode designar como mapa de perigosidade. Com efeito, trata-se de um mapa que conjuga variáveis de susceptibilidade ao incêndio com informação probabilística para um determinado intervalo de tempo e área afectada. Enquanto mapa de perigosidade, tem sido a referência nacional nos últimos anos, sendo ainda a cartografia adoptada pela Autoridade Florestal Nacional e também a que, publicada em portaria (Portaria n.º 1060/2004, de 21 de Agosto), surtiu efeitos de regulamentação do Decreto-Lei n.º 156/2004, de 30 de Junho, entretanto revogado pelo Decreto-Lei n.º 124/2006, de 28 de Junho, cuja regulamentação em matéria de zonamento de risco não foi ainda feita, à data de elaboração deste trabalho.

Cardoso Pereira e Nobre dos Santos alertam para as fragilidades do método e sugerem o melhoramento do modelo proposto. Considerando-o empírico e indutivo (op.cit., p.52), fazem referência a condições em que a leitura do mapa se deve revestir de especial cautela, como acontece no Sul do país, genericamente enquadrado na classe de menor perigosidade, a qual se deve avaliar de acordo com novas arborizações e/ou com índices de perigo meteorológico muito elevados.

Em domínio de melhoramento da metodologia, Pereira e Santos sugerem o refinamento da interacção entre as variáveis climáticas e a altitude, ou a decomposição da susceptibilidade ao fogo das classes de ocupação do solo, aspectos que neste trabalho serão, em boa parte, abordados, no capítulo seguinte.

Após esta publicação de 2003, o mapa resultante do modelo aplicado por estes autores passa a apresentar-se em duas variantes, uma estrutural e outra conjuntural, em que a segunda difere da primeira pela diminuição da probabilidade de ignição nas unidades matriciais que foram sujeitas a incêndio em anos anteriores. Numa perspectiva estrutural, o mapa serviria para apoiar decisões em matéria de infraestruturas e gestão do território, enquanto que na sua perspectiva conjuntural, subtraíndo perigosidade onde ardeu recentemente, o mapa permitiria apoiar a pré-disposição de meios de supressão no terreno e a definição de percursos de vigilância (Pereira, Carreiras e Santos, 2004). É este segundo produto, o mapa conjuntural, que o Instituto de Meteorologia cruza com o sistema Canadano FWI, como antes se referiu.

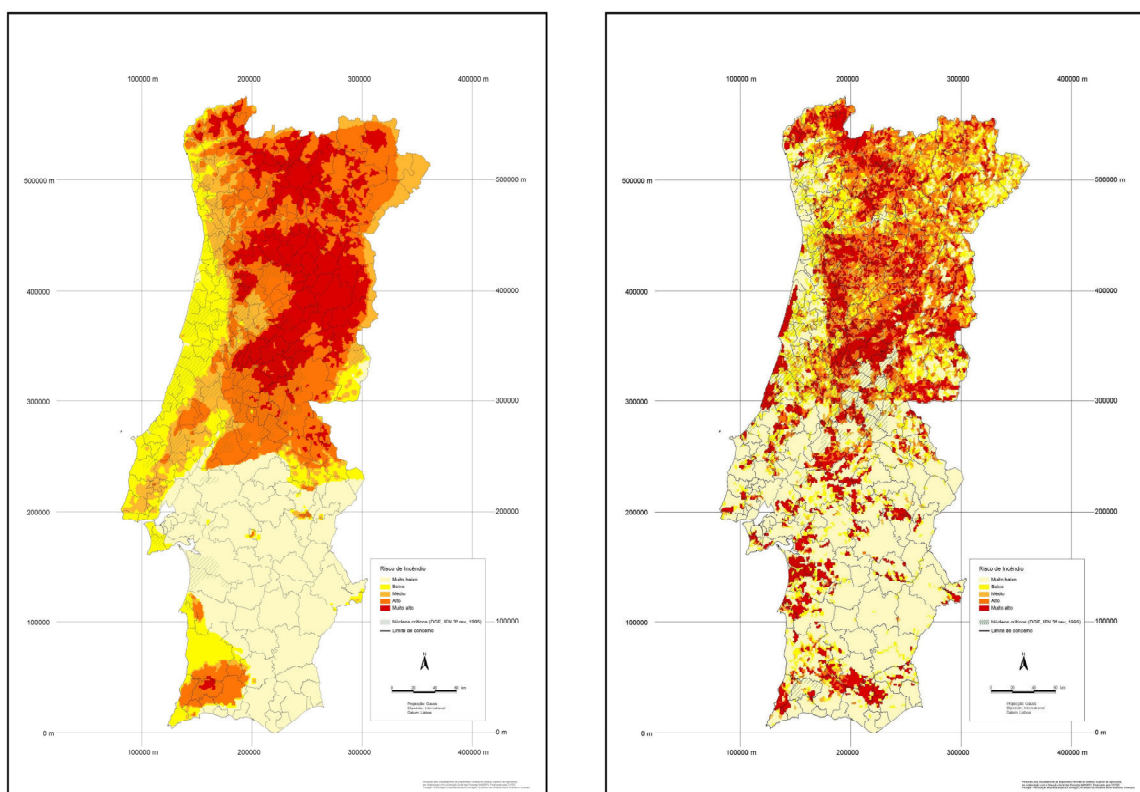


Figura 4.2 – Mapa de perigosidade estrutural (esquerda) e de perigosidade conjuntural (direita) em 2004 (Pereira, Carreiras e Santos, 2004).

Numa linha paralela à de Pereira, Carreiras e Santos, o Instituto Geográfico Português (IGP) tem desenvolvido uma metodologia diferente de cartografia de risco, especificamente, mapas de susceptibilidade a incêndio florestal, com uma resolução espacial de 25 metros por pixel e apresentação ao nível distrital – pese embora se possam fundir num único mapa nacional dada a natureza do universo utilizado. Constituindo um projecto a 3 anos, entre 2006 e 2008, esta cartografia foi realizada sensivelmente de Norte para Sul, com 4 distritos cartografados em

2006, 6 distritos em 2007 e os restantes em 2008 (o mapa nacional encontra-se entretanto terminado).

O momento inicial deste trabalho do IGP dá-se em 2004 com o distrito de Viseu, e uma metodologia originalmente assente em 7 variáveis: ocupação do solo, declives, orientação das vertentes, rede viária (distância à rede e densidade), densidade demográfica e visibilidade por postos de vigia. Em revisão de 2007, a visibilidade por postos de vigia foi abandonada resultando no incremento do peso atribuído às variáveis densidade demográfica e rede viária (nesta última, o IGP passou a incluir a rede ferroviária e as linhas de transporte eléctrico de média e alta tensão) (IGP, 2007). Na tabela 4.1 apresentam-se as variáveis e respectivas ponderações já com a revisão de 2007, excluindo a visibilidade por postos de vigia.

Conforme se lê em relatório para a cartografia produzida para o distrito de Viseu em 2004 (IGP, 2004), a ponderação das variáveis escolhidas foi feita por processo analítico hierarquico em que um conjunto de peritos avalia, de forma subjectiva porém informada, o peso de cada classe no universo de variáveis tidas por relevantes. Por cruzamento das matrizes de avaliação dos vários peritos é possível calcular-se o peso a atribuir, no final, a cada uma delas. Atribuída a ponderação, assume-se que um determinado valor máximo deve ser dividido de acordo com o peso de cada variável. Deste modo, a agregação das variáveis na metodologia aplicada pelo IGP faz-se por soma ponderada, em que cada variável é multiplicada pelo respectivo peso no valor final (tabela 4.1). A opção pela soma ponderada como método de integração das variáveis permitiu ao IGP realizar a sua cartografia distrital ao longo de três anos, garantindo que as várias partes do mapa podem comparar-se com as restantes resultando, no final, num mapa nacional, já que o universo é conhecido e comum aos 18 distritos.

A figura 4.3 apresenta o mapa de susceptibilidade produzido com esta metodologia para o distrito de Viana do Castelo, em 2007. Por não definir um quadro conceptual, a leitura da metodologia empregue pelo IGP permite identificar os mapas produzidos como mapas de susceptibilidade, à luz do quadro conceptual adoptado neste trabalho, conforme descrito no capítulo 3.

Tabela 4.1 – Variáveis, classes e respectivas ponderações na metodologia SCRIF/IGP

	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 máximo do critério	
Ocupação do Solo	Classe 1ª	100 %	590			
	Classe 2ª	80 %	472			
	Classe 3ª	70 %	413			
	Classe 4ª	40 %	236	59 %	590	
	Classe 5ª	30 %	177			
	Classe 6ª	10 %	59			
	Classe 7ª	1,5 %	9			
Declives	Acima de 40%	100 %	210			
	30 – 40 %	66,67 %	140			
	20 – 30 %	22,38 %	47	21 %	210	
	10 – 20 %	11,43 %	24			
	0 – 10 %	3,81 %	8			
Rede Viária	Até 25m	100 %	90			
	Proximidade à rede viária	25 – 50 m	46,32 %	42		
		50 – 100 m	20,58 %	19		
		100 – 150 m	9,55 %	9		
		Inf. A 5 m/ha	50 %	45		
	Densidade de caminhos agrícolas e florestais	5 – 12,5 m/ha	23,52 %	21	9 %	90
		12,5 – 20 m/ha	10,29 %	9		
		20 – 30 m/ha	5,14 %	5		
		30 – 40 m/ha	5,14 %	5		
		40 – 65 m/ha	10,29 %	9		
65 – 80 m/ha		23,52 %	21			
Sup. a 80 m/ha	50 %	45				
Exposições	135° - 225°	100 %	60			
	225° - 315°	57,45 %	34			
	45° - 135°	21,28 %	13	6 %	60	
	315° - 45°	6,38 %	4			
	-1 Plano	0%	0			
Densidade demográfica	Até 250 hab/km2	100 %	50			
	Entre 250 e 1500 hab/km2	21,05 %	11	5 %	50	
	Acima de 1500 hab/km2	100 %	50			

Carta de Risco de Incêndio do Distrito de Viana do Castelo

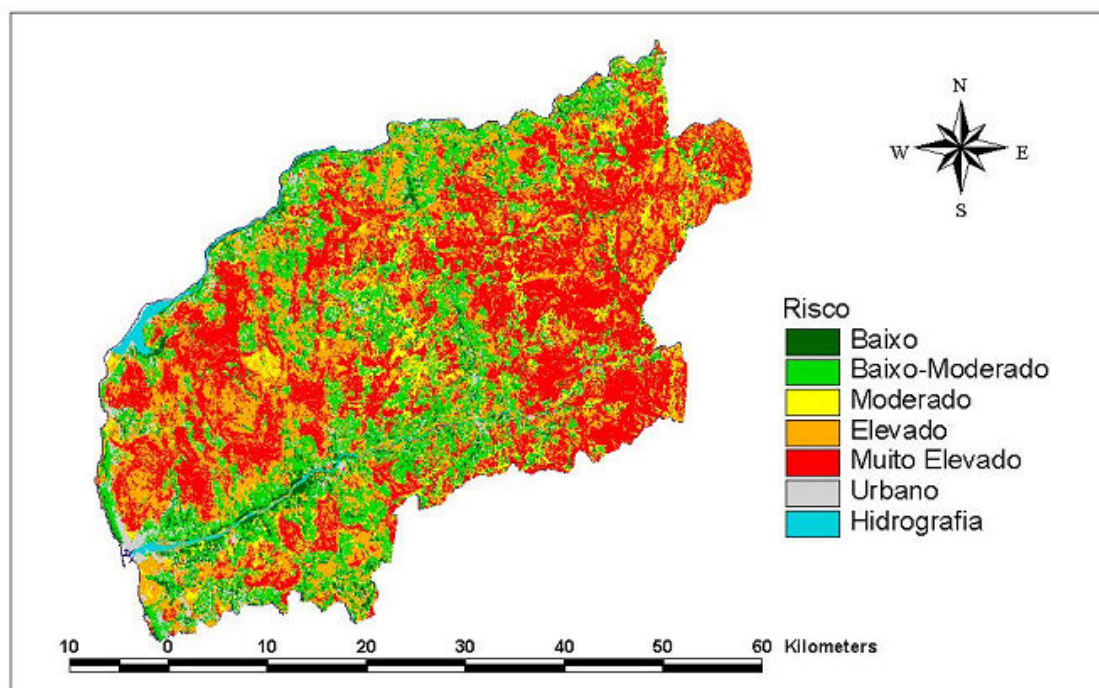


Figura 4.3 – Mapa de susceptibilidade do IGP para o distrito de Viana do Castelo, 2007

A classificação de susceptibilidade ou perigosidade, dependendo do produto em análise, contempla tradicionalmente cinco classes com designações variáveis que, genericamente, vão do “muito baixo” ao “muito alto”, ou do “mínimo” ao “extremo”. Essas designações, bem como o número de classes, têm forte ancoragem no que ao longo do tempo vem sendo a definição expressa na lei.

O Decreto-Lei n.º 327/80, de 26 de Agosto, a propósito dos avultados prejuízos e das alterações necessárias à coordenação de vários agentes em matéria de prevenção e detecção de incêndios, conforme se pode ler no preâmbulo deste diploma legal, vem lançar as bases para a cartografia de risco. Com efeito, conforme disposição das alíneas b) e g) do número 1 do art.º 2.º deste diploma, havia que «declarar as zonas e as épocas de perigo» bem como «elaborar e divulgar um mapa da região no qual» estivessem «assinaladas as zonas de perigo». Essa necessidade seria suprida mais tarde com o Decreto Regulamentar n.º 55/81, de 18 de Dezembro, que, regulamentando o Decreto-Lei n.º 327/80, de 27 de Agosto, apresentaria aquele que foi, durante vários anos, o mapa de referência nacional de susceptibilidade aos incêndios. No seu art.º 2.º - com o título Zonagem do continente segundo o grau de risco de incêndio - este Decreto Regulamentar apresenta um mapa com apenas quatro classes (I - Extremamente sensível, II - Muito sensível, III - Sensível, IV - Pouco

sensível) cuja determinação tinha por base factores como a distribuição e natureza das espécies florestais e sua vulnerabilidade ao fogo, grau de combustibilidade e inflamabilidade da vegetação arbustiva e sub-arbustiva, média das temperaturas máximas do período Maio-Setembro, humidade relativa média do ar no mesmo período, morfologia do terreno, exposição das vertentes e, finalmente, índice demográfico. Adicionalmente, nas áreas abrangidas pelas classes I e II, onde existissem extensas áreas arborizadas, motivando especiais medidas de protecção, definir-se-iam as designadas «zonas críticas», denominação que se mantém na actual lei em vigor. A figura 4.4 apresenta o mapa anexo a este Decreto Regulamentar, que vigoraria até 2004.

A publicação do Decreto-Lei n.º156/2004, de 30 de Junho, revoga as disposições do Decreto Regulamentar n.º55/81, de 18 de Dezembro, e dá origem a duas novas Portarias que apresentariam o mapa nacional de probabilidade de incêndio e um novo elenco de zonas críticas. Neste Decreto-Lei, por força do seu art.º 6.º, definem-se cinco classes de probabilidade de incêndio (I – Muito baixa, II – Baixa, III – Média, IV – Alta, V – Muito alta) recorrendo, conforme número 2 do referido artigo, a variáveis como o histórico de ocorrências, ocupação do solo, orografia, clima e demografia. A definição de zonas críticas, muito à semelhança do que já havia sido feito em 1981, contempla os espaços onde se reconhece ser prioritário aplicar medidas mais extensas de protecção em função de valores económicos, sociais e ecológicos. Definidas pela Portaria n.º 1056/2004, de 19 de Agosto, estas zonas críticas têm por base, entre outros factores, a localização das classes de probabilidade de ocorrência de incêndio florestal alta e muito alta, mas o mapa só seria publicado depois, com a Portaria n.º 1060/2004, de 21 de Agosto (figura 4.5).

Apenas dois anos volvidos, é publicado o Decreto-Lei n.º 124/2006, de 28 de Junho, que revoga o anterior embora, em matéria de cartografia de risco, não introduza novidades. Continuam a ser cinco as classes a cartografar, com a mesma designação do diploma legal anterior, porém sob um título diferente. Em 2004, a lei referia-se a um mapa de probabilidade de incêndio. Em 2006, com este novo Decreto-Lei, ainda em vigor (Setembro 2008), esse mapa passa a designar-se por *risco espacial de incêndio*, marcando a distinção em relação a um *risco temporal de incêndio* que serviria para quantificar as condições de início e propagação de um incêndio em função do estado dos combustíveis e da meteorologia. Este *risco temporal*, pese embora da responsabilidade da Autoridade Florestal Nacional na redacção da lei, é efectivamente produzido e divulgado diariamente pelo Instituto de Meteorologia (fig. 4.6), com cruzamento da informação produzida por Pereira e Santos (2003), como atrás se referiu. A utilização por vezes confusa da terminologia e a indefinição de quadros conceptuais claros terá criado um cruzamento entre produtos numéricos e cartográficos diferentes, com designações variáveis, para o que os sucessivos diplomas legais têm contribuído ao não

estabilizar os conceitos, possivelmente pelos *inputs* técnicos de profissionais de diferentes áreas do conhecimento.

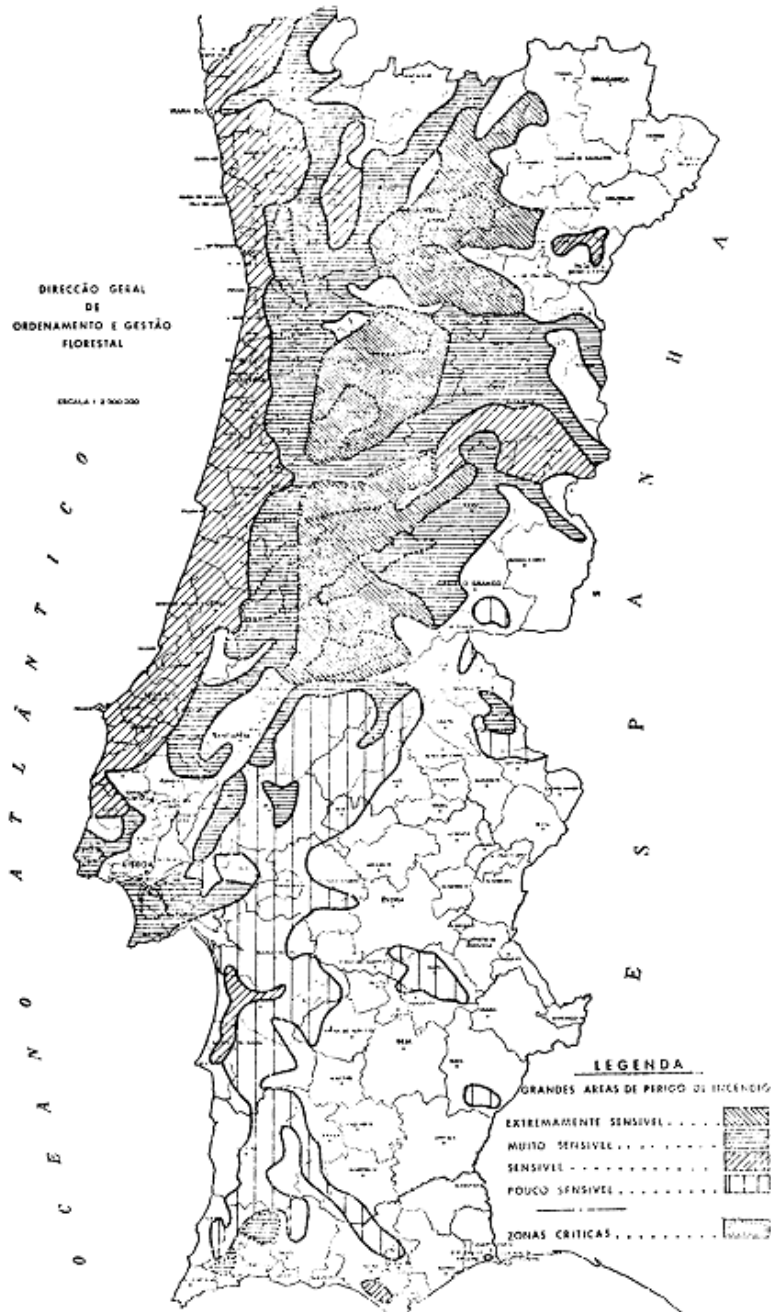


Figura 4.4 – Anexo ao Decreto Regulamentar n.º55/81, de 18 de Dezembro, com definição da susceptibilidade aos incêndios e localização das «zonas críticas».

ANEXO

Zonagem do continente segundo a probabilidade de ocorrência de incêndio

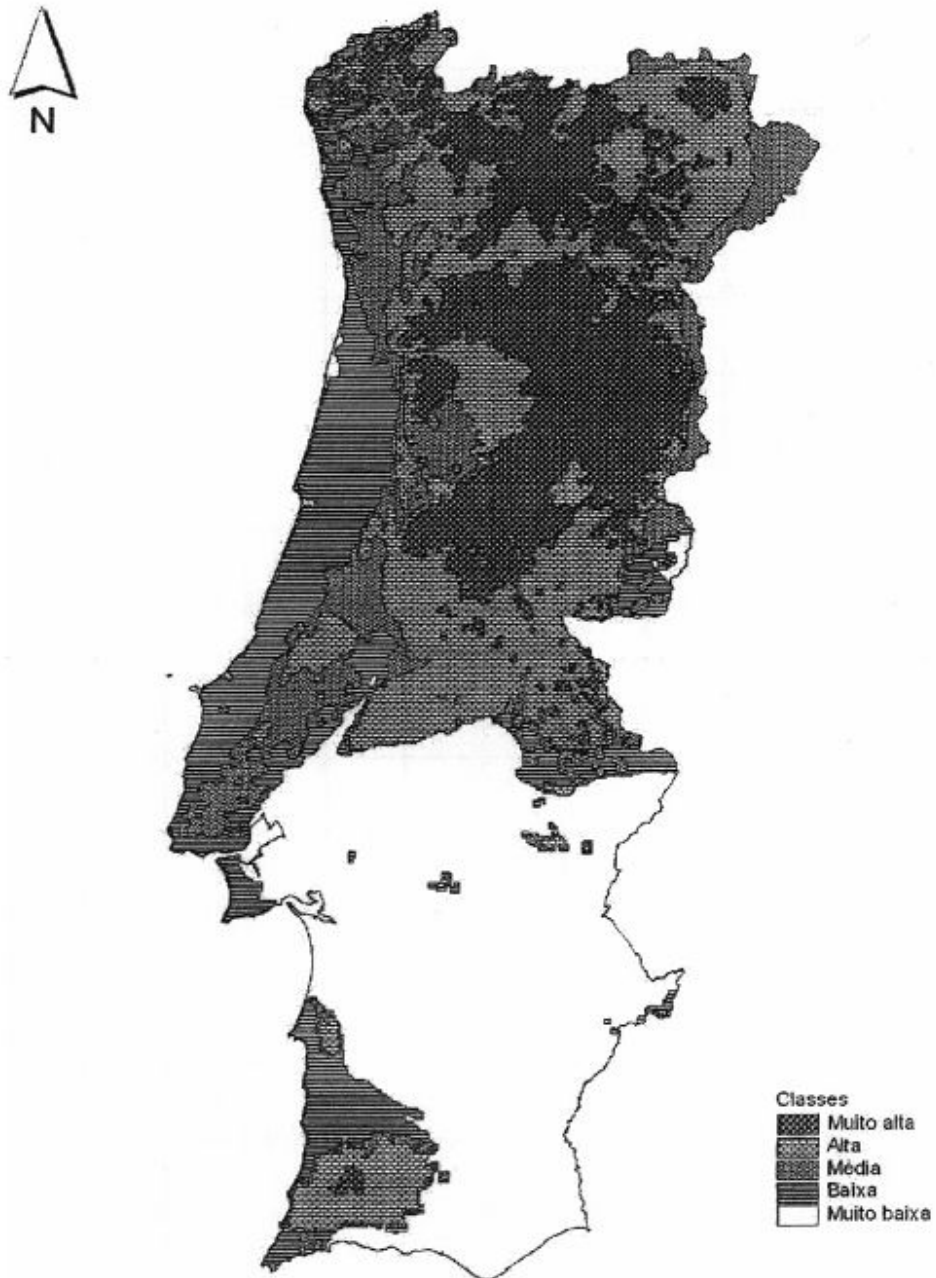


Figura 4.5 - Anexo à Portaria n.º 1060/2004, de 21 de Agosto, com distribuição das classes de probabilidade de ocorrência de incêndios florestais.

Referindo-se às mesmas variáveis já descritas no Decreto-Lei de 2004, nada nesta nova abordagem legislativa permite considerar como risco a informação produzida, em concordância com o quadro conceptual defendido neste trabalho. Até à data (Setembro de 2008) não está publicada a portaria do referido *mapa de risco espacial* nem o das zonas críticas.

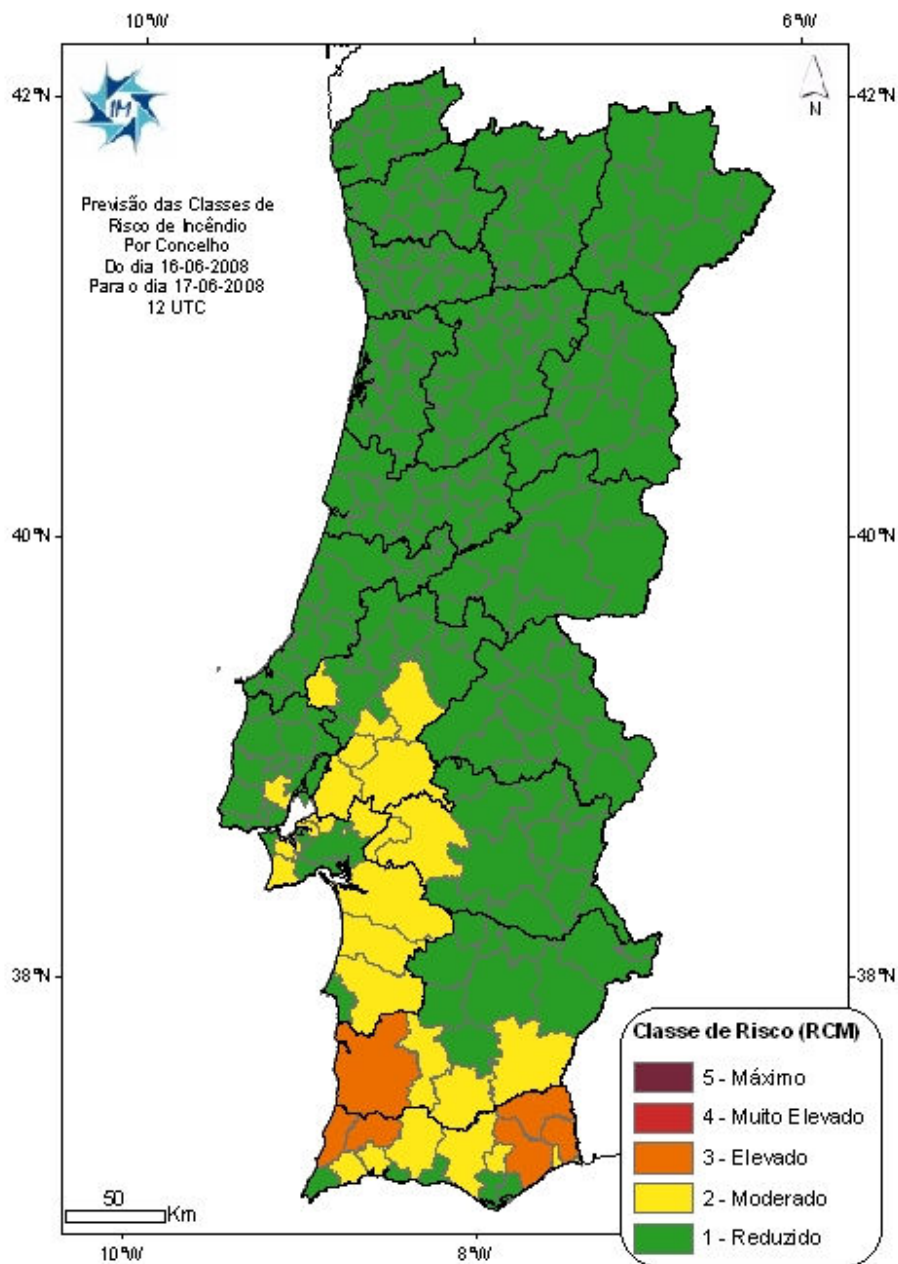


Figura 4.6 – Mapa da previsão das classes de risco de incêndio por concelho. Fonte: Instituto de Meteorologia.

Internacionalmente, e para além do desenvolvimento e aplicação do sistema canadiano de indexação de perigo de incêndio (FWI) anteriormente referido, vários autores têm avançado com propostas de avaliação de uma ou mais componentes do modelo de risco adoptado nesta dissertação.

Chuvieco e Congalton (1989) são autores cujo trabalho em cartografia de susceptibilidade a incêndios florestais é largamente conhecido, servindo de referência a outros estudos, nacionais e internacionais. A abordagem seguida por estes autores, desenvolvida para aplicação numa área de teste na costa mediterrânea espanhola, baseia-se no cruzamento de diversas variáveis consideradas como factores condicionantes dos incêndios florestais, como o tipo de vegetação, altimetria, declive, orientação das vertentes e a proximidade a redes viárias ou edificado. Considera-se, nesta abordagem, que as características da vegetação (o combustível) são o factor mais relevante. Por ordem decrescente de relevância, junta-se o declive, que tem uma dupla função: «(...) steep slopes increase the rate of spread because of a more efficient convective preheating and ignition by point contact. Slope also has a major effect in the suppression of the fire, because it affects crew fatigue, rolling material, and safety» (op.cit., p.150). A orientação das vertentes e a altimetria são consideradas neste modelo, assumindo que as vertentes mais expostas à radiação solar favorecem a combustão por secura dos materiais, e que com a altitude a disponibilidade dos combustíveis para arder, por via de maior humidade, é menor. Intercalando estas duas variáveis, na ponderação que é dada no modelo, surge a distância às redes viárias e ao edificado. Chuvieco e Congalton (1989) consideram que essa variável é relevante, porque a rede viária pode funcionar como faixa de contenção do fogo ou como factor potenciador do fogo pela presença humana. A ambivalência presente nesta variável está expressa na descrição que os autores fazem: «(...) Trail and road locations are also an important factor in fire hazard mapping. Two major effects can be considered. First, they can serve as fire breaks or pathways for suppression of the fire (...) second, they are potential routes for hiking or camping areas (...) they increase forest fire hazard because of the more intense human activity» (op.cit., p.152).

A integração das variáveis no modelo faz-se por adição de factores ponderados, conforme expresso em [4.6]:

$$H = 1 + 100v + 30s + 10a + 5r + 2e \quad [4.6]$$

Na equação anterior, H representa o índice de susceptibilidade (no original, designado por *hazard*, no entanto os autores não calculam probabilidades), 'v' é o coeficiente aplicado à vegetação, 's' o coeficiente do declive, 'a' o coeficiente da orientação das vertentes, 'r' o coeficiente da proximidade às redes viárias e edificado, e finalmente, 'e' o coeficiente da

altimetria. Estes coeficientes são arbitrários, como os próprios autores referem, e seguem a classificação que se apresenta na figura 4.7.

Table 1. Fire Hazard Modeling Method

<i>Original Classes</i>	<i>Fire Hazard Groups</i>	<i>Coefficient</i>
1.1. Vegetation Layer (Weight 100)		
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
2.1. Slope Layer (Weight 30)		
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
2.3. Aspect Layer (Weight 10)		
Southeast	high	0
Southwest	medium	1
North	low	2
2.4. Proximity to Roads Layer (Weight 5)		
Inside buffered area (< 150 m from any trail or < 50 m from any road)	high	0
Outside buffered area	low	1
2.5. Elevation Layer (Weight 2)		
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 4.7 – Coeficientes no modelo de Chuvieco e Congalton (1989)

Neste modelo, aos valores mais baixos é atribuído o maior grau de susceptibilidade, podendo os valores finais variar entre 0 e 255. Os valores 0 (zero) são reservados a espaços urbanos e

húmidos, e os valores que no cálculo final ultrapassem 255 são convertidos neste limite superior para permitir a representação em formato matricial de 8 bits, operação que não afecta significativamente o resultado do modelo na medida em que os valores mais elevados correspondem à menor susceptibilidade, em função das ponderações acima expressas. Aplicado à área de estudo, o modelo não revelou ter boa capacidade preditiva: «(...) our model performed poorly in predicting the burned area (...)», algo que Chuvieco e Congalton (op.cit.,p.157) atribuem ao facto de o seu modelo não pretender avaliar o comportamento do fogo mas sim a susceptibilidade (não se consideram factores como o vento e humidade).

Não obstante o resultado modesto em capacidade preditiva do modelo proposto por Chuvieco e Congalton (1989), este trabalho veio influenciar vários outros autores que, sobre ele, desenvolveram os seus próprios estudos (Freire, Carrão e Caetano, 2002; IGP, 2007; Vettorazzi e Ferraz, 1998). Em Portugal, são vários os municípios que adoptaram os princípios de Chuvieco e Congalton (op.cit) na produção dos respectivos planos municipais de defesa da floresta contra incêndios.

Bachmann (2001) disserta, com base na conceptualização de risco previamente apresentada (Bachmann e Allgower, 1999), acerca de um modelo de referência para cálculo e gestão de risco de incêndio florestal. Na sua concepção, a análise de risco faz-se sobre uma matriz de risco para situações específicas, que integra cenários, objectos e situações: «(...) The key elements of the risk matrix are scenarios (risk donors), objects (risk acceptors) and situations. (...)» (Bachmann, op.cit, p.74). Um cenário, ou um potenciador de risco nesta concepção, pode materializar-se como um ponto de início de um incêndio, caracterizado pela sua localização e probabilidade de que ali ocorra o fogo. Os objectos são elementos em risco, quaisquer *entidades* consideradas relevantes pelos gestores de risco, como edificado, povoamentos florestais ou elementos lineares como transporte de energia. As situações são o meio em que o incêndio se desenvolve, o que é determinado pelo tipo de combustível presente, topografia, vento e humidade, entre outros factores condicionantes.

A matriz de risco (fig. 4.8) permite, nesta abordagem, calcular o risco individual para cada objecto (elemento em risco), bem como o risco total em cada cenário e o risco colectivo, dadas todas as variáveis de entrada do modelo.

		Scenarios							Individual Risk of an Object
		S_1 p_1	S_2 p_2	...	S_i p_i	...	S_{n-1} p_{n-1}	S_n p_n	
Objects	O_1								
	O_2								
	...								
	O_j				e_{ij} $k_{ij} = p_i \cdot e_{ij}$ d_{ij}				$k_j = \sum_{i=1}^n k_{ij}$ $d_j = \sum_{i=1}^n k_{ij} \cdot d_{ij}$
	...								
	O_{m-1}								
	O_m								
Collective Risk of a Scenario					$k_i = p_i \cdot \sum_{j=1}^m e_{ij}$ $d_i = \sum_{j=1}^m e_{ij} \cdot d_{ij}$				$k = \sum_{i=1}^n k_i$ $d = \sum_{i=1}^n p_i \cdot d_i$

Figura 4.8 – Matriz de risco (Bachmann, 2001, p.75). Em cima e ao centro, os cenários. Na coluna à direita, o risco individual de cada objecto (definidos ao centro), calculando-se em baixo o risco colectivo de cada cenário (i.e., para todos os objectos em cada cenário).

CAPÍTULO 5. AVALIAÇÃO DA SUSCEPTIBILIDADE: METODOLOGIA E RESULTADOS

5.1. Procedimentos metodológicos

A metodologia empregue neste trabalho, que a seguir se detalha, assenta nos seguintes pressupostos:

- A probabilidade de ocorrência de áreas ardidas pode ser avaliada quantitativamente através de relações estatísticas entre as áreas ardidas no passado e um conjunto de bases de dados espaciais;
- Assume-se que os incêndios florestais, avaliados pelas respectivas áreas ardidas, ocorrem sob condições que podem ser caracterizadas pelos temas incluídos na referida base de dados que, assim, são considerados como factores condicionantes (ou de predisposição), integrantes do modelo assumido.

A avaliação da susceptibilidade do território de Portugal Continental aos incêndios florestais realizou-se num Sistema de Informação Geográfica com base matricial, após preparação e transformação para esse formato da informação vectorial disponível. A utilização de temas matriciais apresenta como vantagem a facilidade de cálculo e a definição de áreas lógicas pequenas, o que em formato vectorial seria mais complicado e exigiria uma capacidade de processamento superior.

O tamanho de pixel adoptado foi de 80 metros, limitação imposta pelo modelo digital de elevação a partir do qual se derivaram a altimetria e os declives (fonte: <http://www.fc.up.pt/pessoas/jagoncal/srtm/srtm.htm>). Para concretização do modelo usaram-se algumas variáveis de utilização comum em modelação de perigosidade de incêndio florestal, tendo-se realizado análise sensitiva de modo a determinar qual a combinação mais sólida para o objectivo traçado. As variáveis utilizadas são: altimetria, declive, ocupação do solo, precipitação média anual (Daveau et al., 1977), número de dias com temperatura mínima igual ou superior a 20°C, e histórico (cartografia anual de áreas ardidas transformada em probabilidade simples).

A base territorial do trabalho e a dimensão da unidade de terreno matricial adoptada determinam a geração de imagens digitais com 13.919.012 pixeis, que se podem observar nos temas correspondentes à altimetria e ao declive. No entanto, há temas em que tal não acontece (e.g., precipitação média anual) devido a diferentes critérios aplicados na produção da informação, sobretudo ao nível da definição dos limites das águas interiores e da linha de costa. No caso específico do tema do uso do solo, o facto de não se considerarem os códigos

de nível 1, 4 e 5 (espaços artificializados, águas interiores e oceano, respectivamente) justifica a correspondência com um menor número de unidades de terreno matriciais. Não se aplicaram esforços no sentido de “forçar” todos os temas à mesma extensão territorial porque, por um lado, se assumiu que as diferenças verificadas são pouco significativas face ao total do território; e por outro, se verificou a impossibilidade de o concretizar face à ausência de informação.

Havendo acesso a uma série estatística de áreas ardidas de 32 anos (1975 a 2005, fontes: AFN, ISA/DEF), fizeram-se vários ensaios, procurando estabelecer qual a combinação temporal mais sólida para criação do modelo, ficando anos disponíveis para validação independente. Nesta dissertação utiliza-se a série 1975 a 1994 para elaboração do mapa de susceptibilidade, ficando os anos de 1995 a 2004 disponíveis para validação independente. Os ensaios previamente realizados, que sustentam as opções tomadas, encontram-se descritos no ponto 5.3.5 deste capítulo. À data de elaboração deste estudo, a cartografia das áreas ardidas em 2006, efectuada com base em imagens Landsat, não se encontrava ainda disponível, levando à opção de usar blocos de 10 anos, especificamente 20 anos para modelação e 10 para validação.

Com uma série temporal razoavelmente longa, podem ser determinados scores de favorabilidade para as várias classes de cada variável integrada no modelo. Com excepção para a probabilidade, em que os valores de entrada no modelo correspondem a percentagens, para todas as outras variáveis calcularam-se os scores de favorabilidade (Chung e Fabbri, 1993; Fabbri et al., 2002), com base na série 1975-1994, adoptada como série de referência para modelação.

O cálculo dos scores de favorabilidade fez-se ponderando o número de unidades matriciais (u.m.) ardidas pelo número de u.m. disponíveis para arder. Por conveniência operacional, o resultado dessa ponderação foi multiplicado por 100 e arredondado, evitando assim realizar operações SIG com valores decimais [5.1].

$$Sfx = \frac{umAx}{\Omega x} \times 100 \quad [5.1]$$

Na fórmula anterior, Sfx representa o score de favorabilidade da variável x , com $umAx$ o total de unidades matriciais ardidas na variável x e Ωx o total de unidades matriciais da variável x .

No processo de integração dos dados, o score de susceptibilidade de cada unidade matricial é obtido pela multiplicação dos scores de favorabilidade das variáveis presentes na unidade matricial.

Para análise dos dados e sustentação de algumas opções tomadas neste trabalho recorreu-se ao cálculo e desenho de taxas e curvas de sucesso e predição (Chung e Fabbri, 2005), bem como ao cálculo das áreas abaixo da curva (Bi e Bennett, 2003; Liu e Li, 2005).

As taxas de sucesso são obtidas através do cruzamento do mapa obtido por aplicação do modelo com a cartografia das áreas ardidas que foram utilizadas para a sua construção. Assim, para cada valor de favorabilidade obtém-se o número de pixels ardidos, assumindo que ao maior valor de favorabilidade deve caber a maior área ardida, pelo que estes valores são ordenados por ordem decrescente da favorabilidade e traçados, em gráfico, na correspondência entre a percentagem da área ardida e da área total. As taxas de predição são calculadas da mesma forma, porém com recurso à cartografia de áreas ardidas que não foram integradas no modelo, de tal modo que possam constituir uma validação independente do mesmo.

As áreas abaixo da curva (A.A.C.) são uma métrica útil para verificar qual a curva com o melhor comportamento. Como as curvas de sucesso e predição são trabalhadas em percentagem, também a A.A.C. pode ser expressa em percentagem. Para determinação desta métrica, as curvas de sucesso e predição foram decompostas em áreas menores, somadas no final.

5.2. As variáveis condicionantes

5.2.1. A altimetria

A altitude é um dos factores que influenciam directamente o fogo. Como referem Ventura e Vasconcelos (2006, p.101-102), «condiciona a temperatura e a precipitação» pelo que a altitude fará variar o tipo de combustível e a sua humidade. Com base na classificação expressa na tabela 5.1, calcularam-se os scores de favorabilidade.

Tabela 5.1 – Scores de favorabilidade para as classes altimétricas

Altimetria Classe (m)	Pixels		Proporção	Score de favorabilidade
	Disponíveis	Ardidos		
0	114.515	240	0,0021	1
0 – 100	2.769.360	103.914	0,0375	4
100 – 200	3.102.003	216.481	0,0698	7
200 – 300	2.490.516	237.136	0,0952	10
300 – 400	1.384.088	217.162	0,1569	16
400 – 500	951.387	217.120	0,2282	23
500 – 600	774.191	223.624	0,2888	29
600 – 700	732.445	222.151	0,3033	30
700 – 800	702.783	214.079	0,3046	30
800 – 900	436.979	160.150	0,3665	37
900 – 1000	221.888	100.843	0,4545	45
1000 – 1100	112.622	58.780	0,5219	52
1100 – 1200	59.698	34.392	0,5761	58
1200 – 1300	31.791	19.637	0,6177	62
1300 – 1400	14.420	7.160	0,4965	50
1400 – 1500	7.932	2.240	0,2824	28
1500 – 1600	4.695	1.110	0,2364	24
1600 – 1700	3.961	547	0,1381	14
1700 – 1800	1.744	258	0,1479	15
1800 – 1900	1.574	28	0,0178	2
1900 – 2000	420	0	0,0000	1
Total	13.919.012	2.037.052		

Portugal continental não é um território dominado por grandes elevações, apesar do Centro e Norte acidentados. Como se observa na tabela 5.1, as classes que apresentam maior frequência correspondem às altitudes de 0 a 300 metros. Como refere Lautensach em 1932, «(...) 43 por cento da superfície de Portugal se situa a uma altitude inferior a 200m (...)» (Ribeiro, Lautensach e Daveau, 1987, p.14), facto que a figura 5.1 reforça. Os locais do país onde a favorabilidade para o incêndio florestal mais se manifesta são aqueles de altitudes mais elevadas, acima dos 900m e sempre em crescendo até aos 1300m de altitude. Aos locais de maior altitude correspondem maiores declives, um dos factores condicionantes para a rápida progressão do fogo. Por outro lado, estas áreas apresentam, geralmente, um coberto vegetal denso, o que favorece os incêndios. Em contrapartida, com o aumento da altitude, a partir dos 1300m, reduzem-se os combustíveis e aumenta a humidade, tendo o fogo menor facilidade em propagar, facto que justifica o decréscimo na favorabilidade. A figura 5.2 apresenta o mapa com as classes altimétricas em Portugal continental.

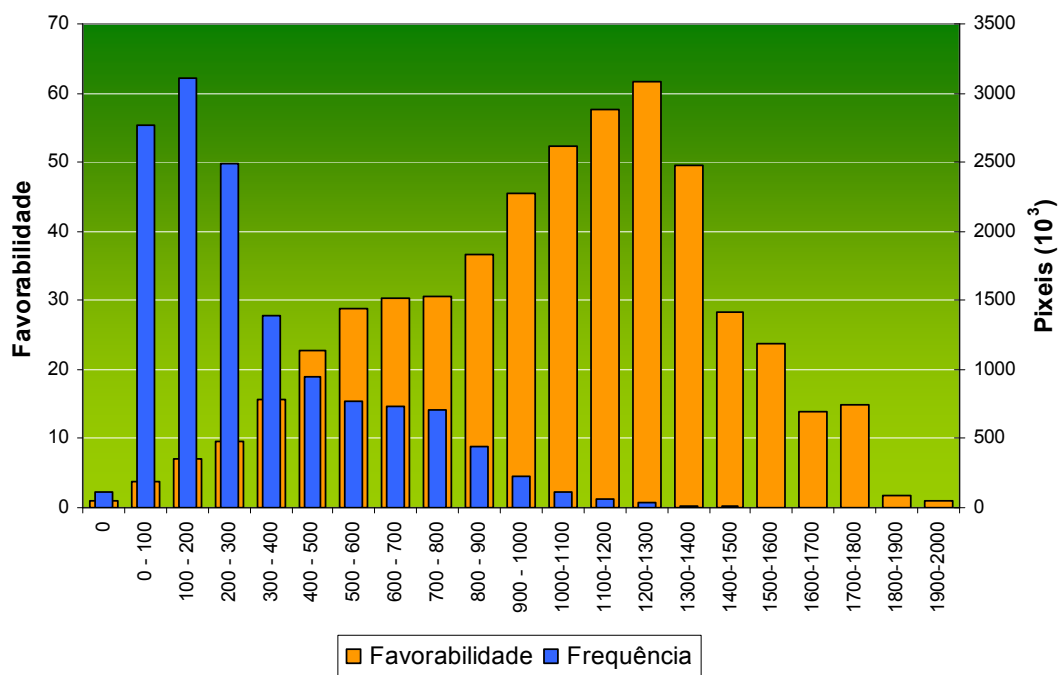


Figura 5.1 – Favorabilidade e Frequência das classes de altimetria

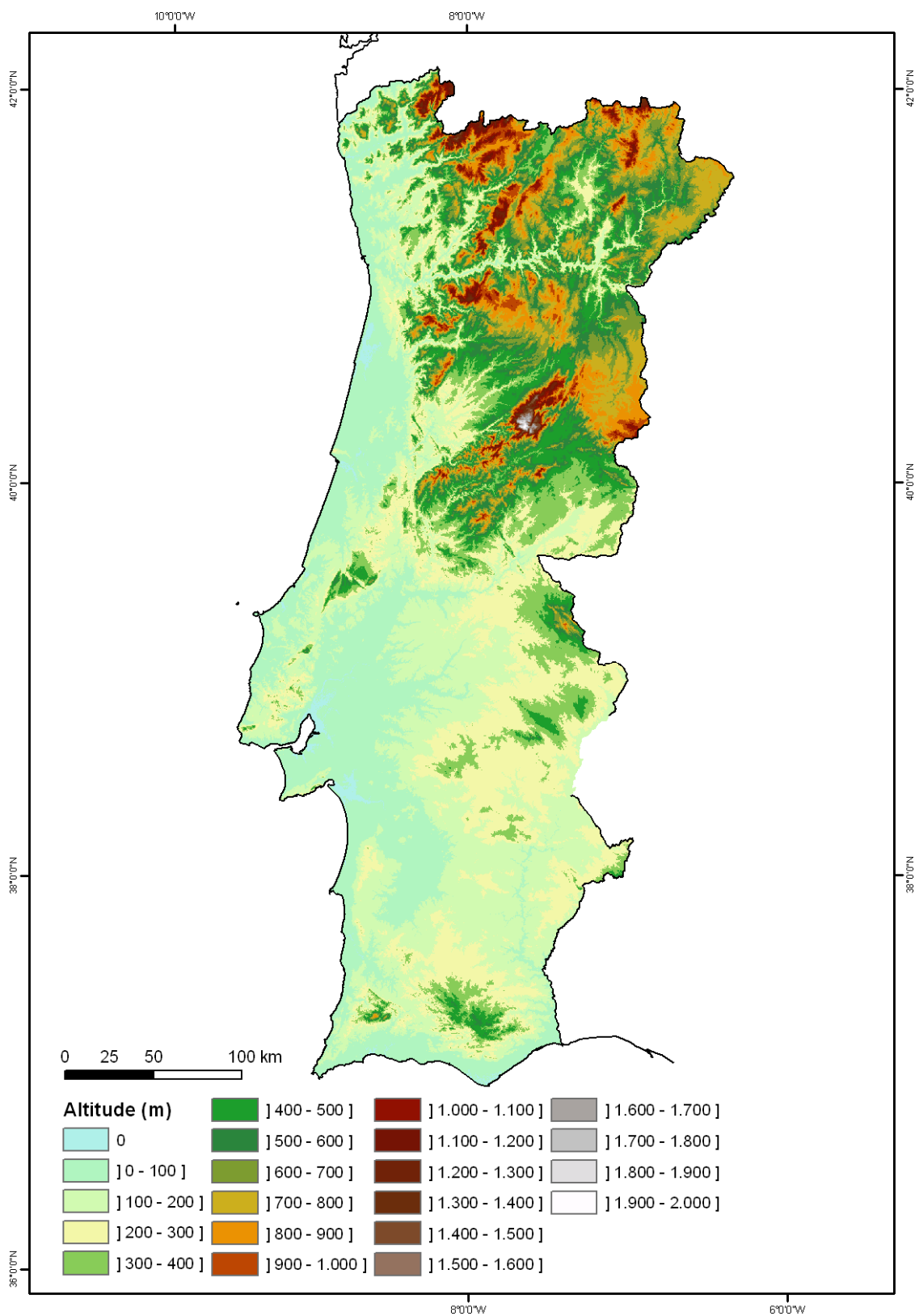


Figura 5.2 – Classes de altitude em Portugal continental

5.2.2. O declive

A influência do declive na progressão dos incêndios florestais é conhecida. Quanto maior é o declive mais depressa o fogo se propaga, por aquecimento dos combustíveis acima na vertente, e como factor potenciador do vento (Macedo e Sardinha, 1993; Ferreira de Castro et al, 2003; Viegas, 2006). Assume-se, portanto, que o declive é uma variável a considerar, mas não pode dizer-se com segurança que a relação entre declive e susceptibilidade é linear, nem tão pouco resulta como prático usar todos os valores possíveis no cálculo. Deste modo, o declive foi primeiramente reclassificado, de tal modo que este tema tivesse as seguintes classes, em graus: [0 – 2],] 2 – 5],] 5 – 10],] 10 – 15],] 15 – 20] e] 20 – 90]. A tabela 5.2 apresenta os scores atribuídos a cada classe, de acordo com a relação anteriormente expressa.

Tabela 5.2 – Scores das classes de declive definidos a partir das áreas ardidas entre 1975 e 1994

Declives Classe (graus)	Pixeis		Proporção	Score de favorabilidade
	Disponíveis	Ardidos		
0 – 2	3.769.671	176.063	0,0467	5
2 – 5	4.620.398	410.381	0,0888	9
5 – 10	3.113.286	603.791	0,1939	19
10 – 15	1.363.989	424.216	0,3110	31
15 – 20	659.408	253.866	0,3850	39
> 20	392.260	168.735	0,4302	43
Total	13.919.012	2.037.052		

Na figura 5.3 comparam-se os scores de favorabilidade de cada classe de declive com a frequência das mesmas. Tal como verificado com a altitude, também no caso do declive às classes de maior frequência não cabem as maiores favorabilidades ao fogo. Aplica-se o mesmo racional da altimetria: com uma percentagem significativa de Portugal continental abaixo dos 200m de altitude, também os declives menos acentuados (abaixo de 5 graus) têm maior expressão territorial. Porém, é onde os declives são mais acentuados que o fogo encontra melhores condições para propagar rapidamente gerando grandes áreas ardidas, que se reflectem na favorabilidade das classes de declives mais fortes, embora não sejam essas as mais presentes no país. A distribuição espacial destas classes apresenta-se na figura 5.4.

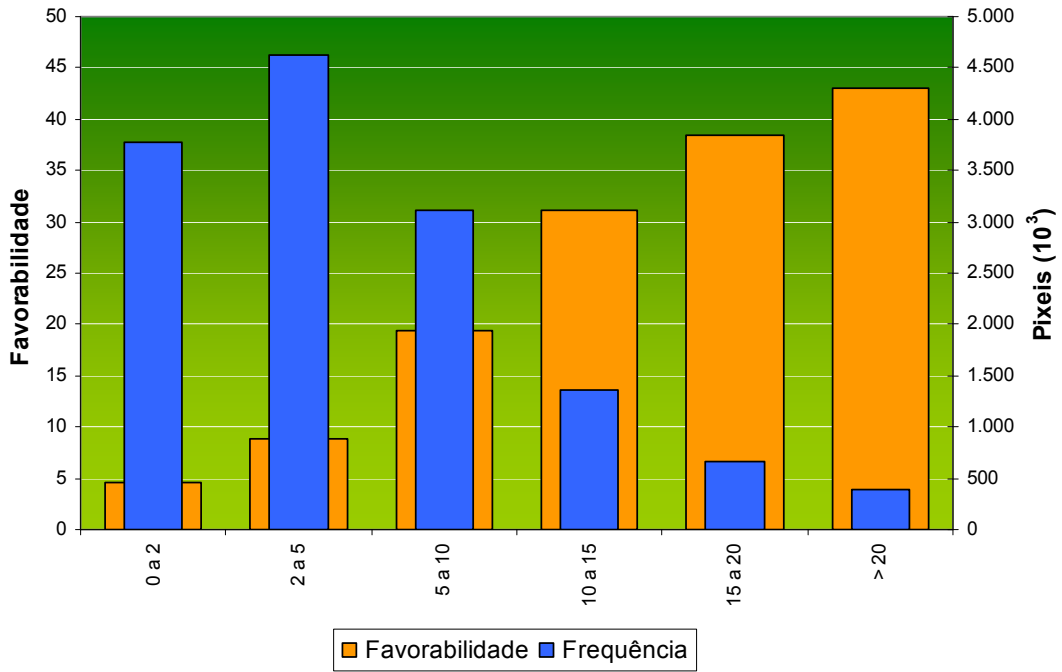


Figura 5.3 – Favorabilidade e Frequência das classes de declive

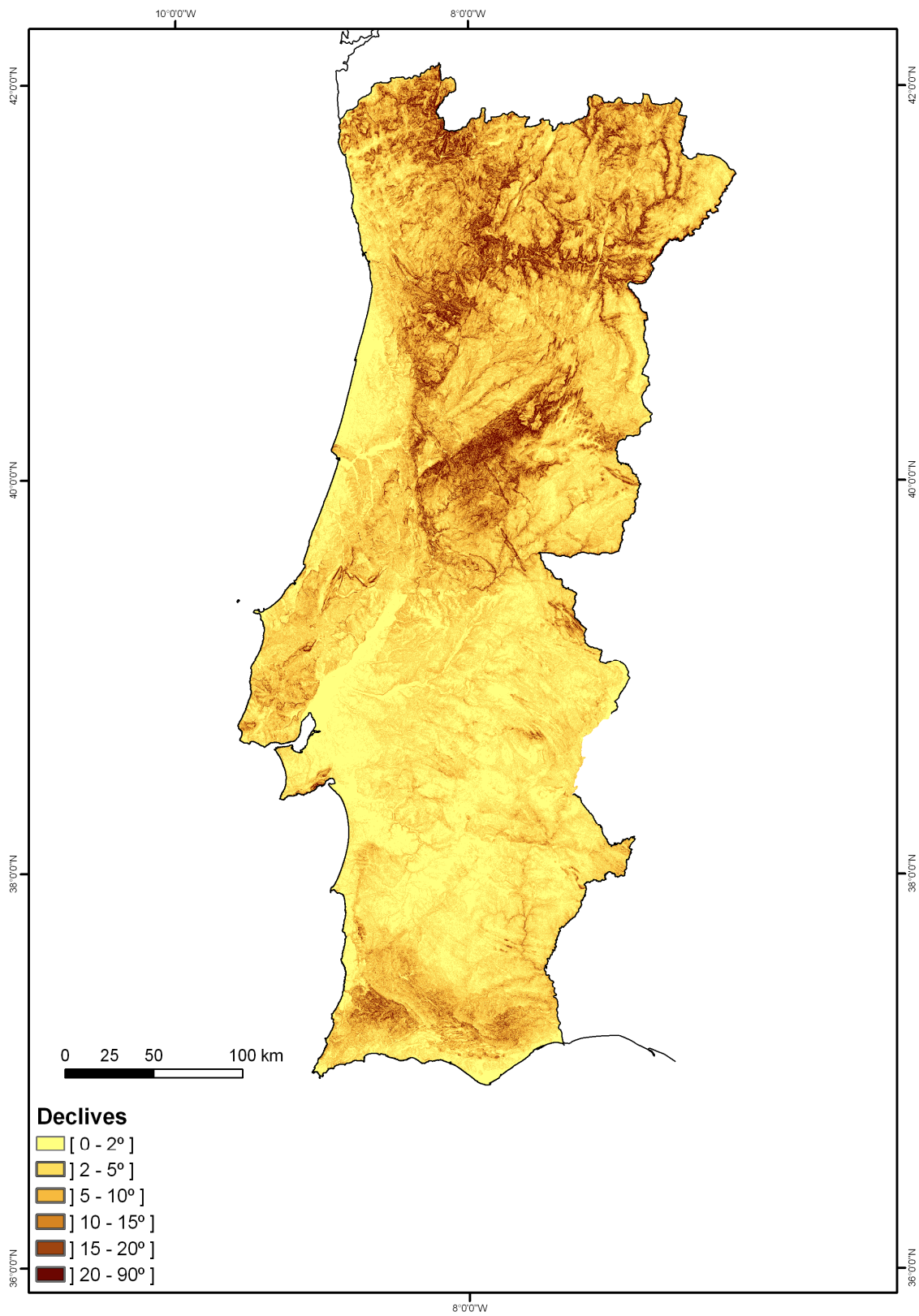


Figura 5.4 – Classes de declive, em Portugal continental

5.2.3. A ocupação do solo

A existência de perigosidade de incêndio florestal pressupõe a presença de espaços susceptíveis à ocorrência e propagação deste fenómeno, não fazendo sentido a avaliação do perigo em territórios onde não existem espaços florestais ou rurais. Assim, da análise efectuada foram deliberadamente retiradas todas as áreas cuja ocupação do solo corresponde, conforme a classificação Corine Land Cover 2000 (CLC2000), a espaços artificializados, águas interiores e oceano, os níveis 1, 4 e 5, respectivamente. Deste modo, os códigos de ocupação do solo do CLC2000 utilizados neste trabalho são os que se reproduzem e descrevem na tabela 5.3.

Tabela 5.3 – Códigos de ocupação do solo CLC2000 utilizados no modelo como espaços susceptíveis a incêndios florestais

2. Áreas Agrícolas	21. Culturas anuais	211. Culturas anuais de sequeiro 212. Culturas anuais de regadio 213. Arrozais
	22. Culturas permanentes	221. Vinhas 222. Pomares 223. Olivais
	23. Pastagens	231. Pastagens
	24. Áreas agrícolas heterogéneas	241. Culturas anuais associadas às culturas permanentes 242. Sistemas culturais e parcelares complexos 243. Agricultura com espaços naturais 244. Sistemas agro-florestais
3. Florestas e meios semi-naturais	31. Florestas	311. Florestas de folhosas 312. Florestas de resinosas 313. Florestas mistas
	32. Vegetação arbustiva e herbácea	321. Pastagens naturais 322. Matos 323. Vegetação esclerofítica 324. Espaços florestais degradados, cortes e novas plantações
	33. Zonas descobertas e com pouca vegetação	331. Praias, dunas e areais 332. Rocha nua 333. Vegetação esparsa 334. Áreas ardidas

A figura 5.5 apresenta os territórios aos quais se aplicou o modelo. Existem áreas ardidas cartografadas sobre o que o CLC2000 considera áreas artificiais ou mesmo águas interiores (áreas cuja ocupação se alterou ou que em época estival se encontram secas), no entanto, por uniformidade de critério, essas áreas ardidas não são consideradas neste trabalho, que restringe a análise aos níveis 2 e 3. Os tipos de ocupação do solo podem ser classificados de acordo com o seu comportamento face ao fogo, determinado a partir da análise histórica, mostrando a tabela 5.4 os respectivos scores de favorabilidade e a figura 5.6 a comparação entre favorabilidade e frequência das classes.

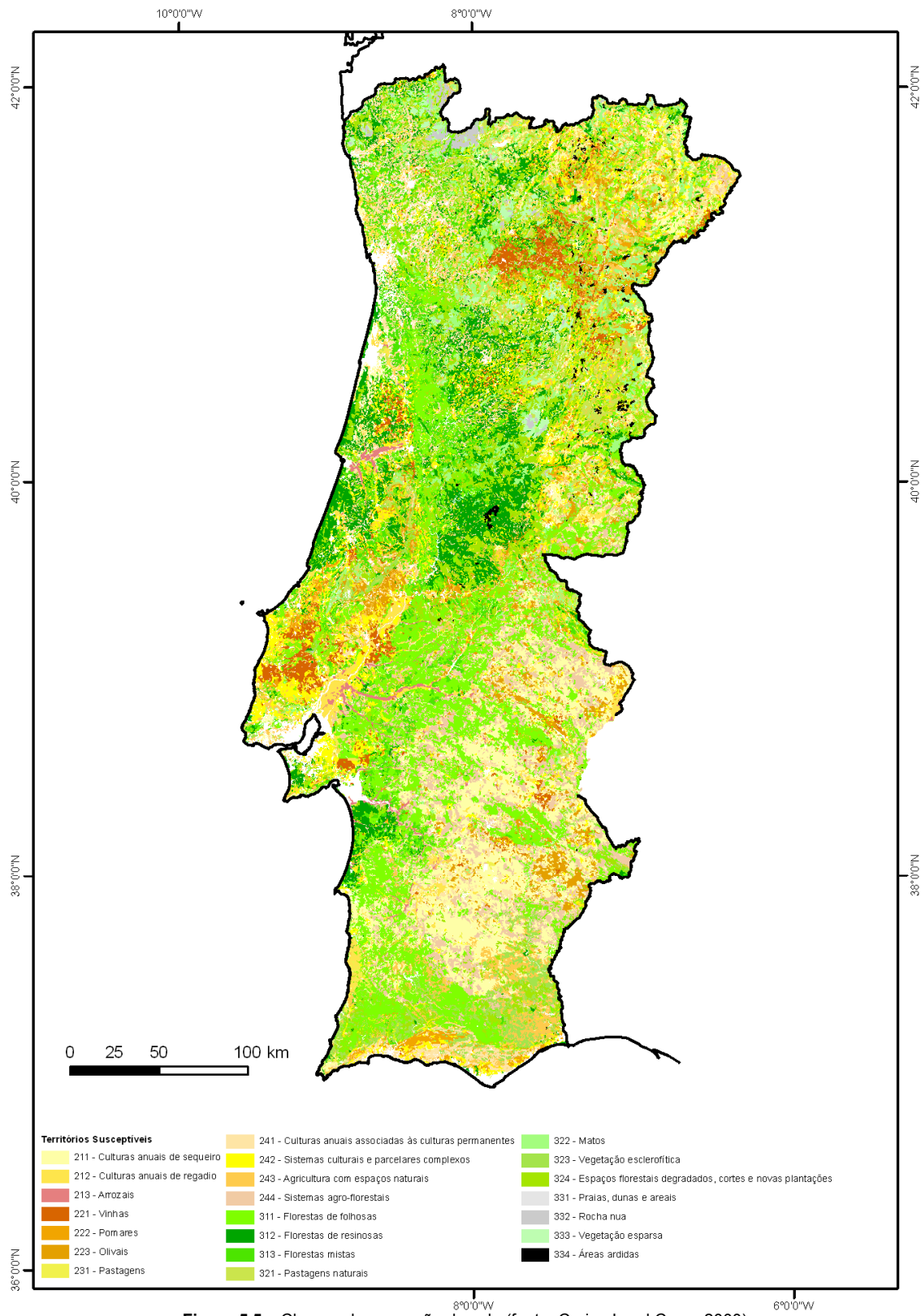


Figura 5.5 – Classes de ocupação do solo (fonte: Corine Land Cover 2000)

Tabela 5.4 – Scores das classes de ocupação do solo, definidos a partir de áreas ardidas entre 1975 e 1994

Ocupação	Pixels		Proporção	Score de favorabilidade
	Código	Disponíveis		
211	1.708.124	82.209	0,0481	5
212	304.212	7.269	0,0239	2
213	83.543	662	0,0079	1
221	363.891	8.010	0,0220	2
222	156.557	5.298	0,0338	3
223	422.767	7.772	0,0184	2
231	58.999	2.444	0,0414	4
241	656.927	10.909	0,0166	2
242	972.839	17.430	0,0179	2
243	1.063.543	75.674	0,0712	7
244	874.533	20.794	0,0238	2
311	1.908.393	212.452	0,1113	11
312	1.079.951	214.363	0,1985	20
313	820.553	145.770	0,1776	18
321	289.554	157.757	0,5448	54
322	526.757	290.650	0,5518	55
323	303.814	46.371	0,1526	15
324	1.505.318	578.481	0,3843	38
331	18.868	456	0,0242	2
332	69.070	32.018	0,4636	46
333	121.568	79.077	0,6505	65
334	49.378	27.389	0,5547	55
Total	13.359.159	2.023.255		

A ocorrência de um incêndio está condicionada, entre outros aspectos, à existência de combustível e, embora existam vários tipos de ocupação do solo capazes de manter um fogo activo, alguns são especialmente eficazes, apesar de não serem os mais presentes no país. As florestas de folhosas (código 311) estão entre a ocupação do solo mais abundante, mas não se revelam tão favoráveis ao fogo quanto, por exemplo, as pastagens naturais (321) ou os matos (322), apesar de estes terem menor representação espacial. Também as áreas classificadas como rocha nua (332), de vegetação esparsa (333) ou áreas ardidas (334) são bastante favoráveis ao fogo, apesar da sua pouca expressão territorial. Não atendendo às áreas ardidas classificadas (334), cuja ocupação prévia não está aqui considerada, as restantes são áreas onde o fogo progride facilmente, ao passo que as já referidas florestas de folhosas resistem melhor aos incêndios.

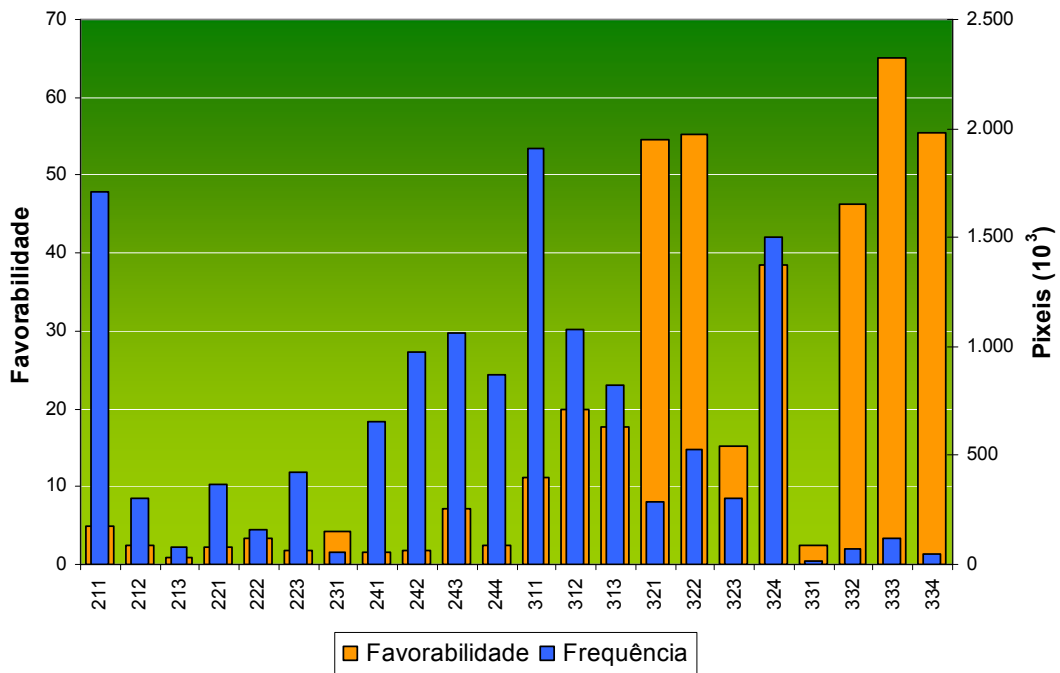


Figura 5.6 – Favorabilidade e Frequência das classes de ocupação do solo

Poderá discutir-se, como limitação desta variável, o desfasamento temporal existente entre a série estatística de áreas aridas e a data do levantamento de ocupação do solo. Efectivamente, existirá toda a conveniência em integrar uma cobertura de ocupação do solo que seja o mais concordante possível com a série de áreas aridas. No entanto, como se demonstra na figura 5.7, a favorabilidade das várias classes CLC2000 não se altera de modo significativo conforme os blocos temporais usados na modelação (tabela 5.5). Assim, e considerando não existir alternativa viável ao Corine Land Cover 2000, conclui-se não se introduzir enviesamento relevante pelo facto de se modelarem áreas aridas do intervalo 1975 – 1994 com uma cobertura de ocupação do solo produzida posteriormente.

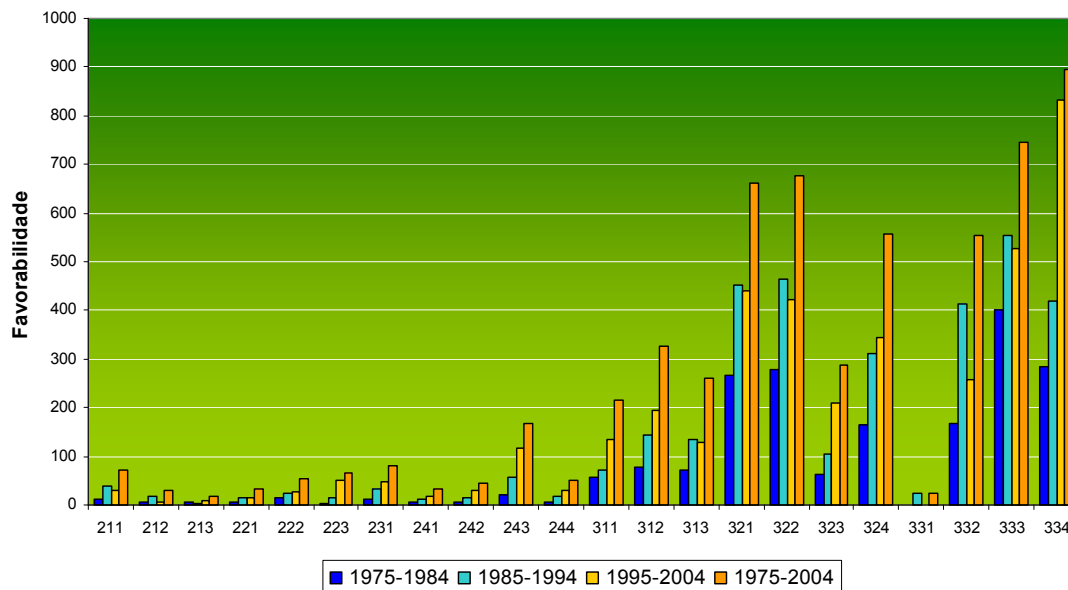


Figura 5.7 – Favorabilidade das classes de ocupação do solo para os blocos de modelação 1975-1984, 1985-1994, 1995-2004 e 1975-2004

Tabela 5.5 – Posição de cada classe CLC2000, por decénio e para a totalidade do período em análise, para as 10 primeiras classes, por ordem decrescente de favorabilidade

Decénio	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	9º	10º
1975-1984	333	334	322	321	332	324	312	313	323
1985-1994	333	322	321	334	332	324	312	313	323
1995-2004	334	333	321	322	324	332	323	312	311
1975-2004	324	311	322	312	313	321	243	211	333

Tal como se apresenta na figura 5.8, é interessante verificar que o desfasamento temporal entre as áreas ardidadas e a ocupação do solo não opera uma relação de perda cronológica do sucesso do modelo, i.e., do ajuste entre o modelo preditivo e os dados que o originam. Na verdade, a ocupação do solo modela melhor as áreas ardidadas do decénio 1975-1984 do que qualquer outro decénio estudado e, inclusivamente, modela pior o decénio que enquadra temporalmente a data da própria cobertura de ocupação do solo, embora com diferenças pouco significativas. As áreas abaixo da curva (que podem variar entre 0 e 100%) para os três decénios reforçam o que se conclui por observação do gráfico: 79,61%, 78,05% e 74,82% respectivamente (tabela 5.6).

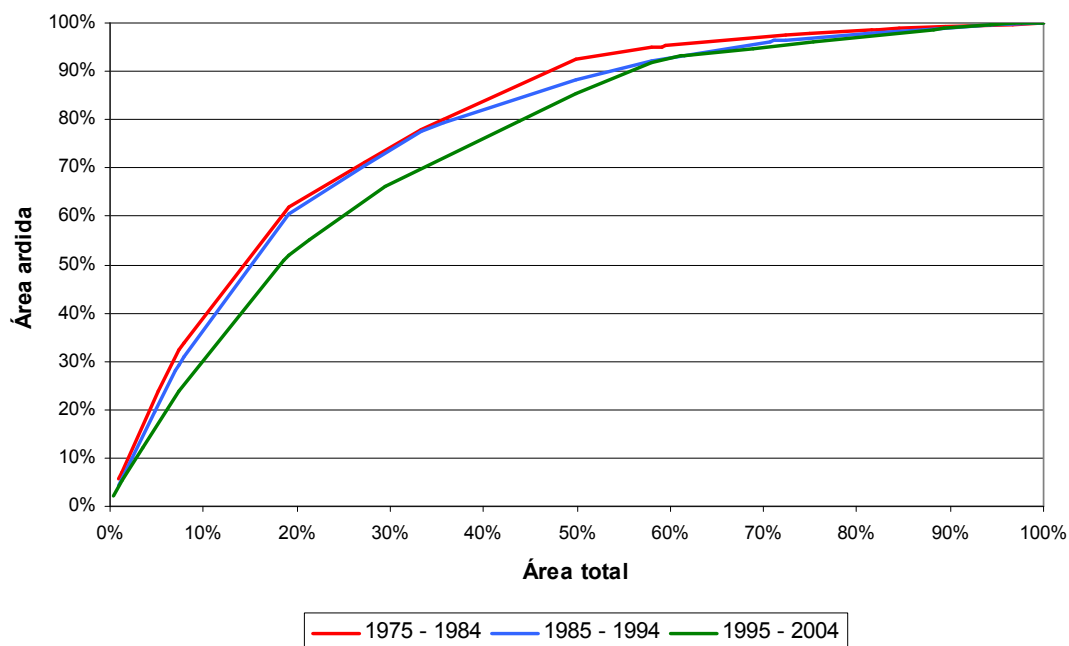


Figura 5.8 – Curvas de sucesso para a ocupação do solo nos blocos de modelação 1975-1984, 1985-1994 e 1995-2004

Tabela 5.6 – Áreas abaixo da curva (A.A.C.) para a ocupação do solo nos três decénios estudados

Decénio	1975-1984	1985-1994	1995-2004
A.A.C.	79,61 %	78,05 %	74,82 %

Ainda acerca da ocupação do solo, deve assinalar-se o facto de a actual albufeira de Alqueva existir, à data de produção dessa informação, como território emerso. Por essa razão, optou-se por não retirar essa área dos cálculos e por não a subtrair ou ocultar no mapa final embora, na actualidade, não se trate de um território susceptível aos incêndios florestais.

5.2.4. A Precipitação

De acordo com Pereira et al. (2006), «a precipitação entre Janeiro e Abril exibe uma ligeira correlação positiva com a área ardida, possivelmente porque favorece o crescimento de combustíveis finos (...) para arder durante o Verão». Inversamente «observa-se uma correlação negativa (...) entre a área ardida e a precipitação do mês de Maio» (op.cit,p.149) que resultará no humedecimento dos combustíveis que, desse modo, verão reduzida a sua disponibilidade para a ignição. Esta variável integra-se no modelo partindo da cartografia da média anual da precipitação entre 1931 e 1960 (Fig. 5.9) e, com ela, procura estudar-se o contributo que este elemento climático dá ao modelo de susceptibilidade. Ao incidir sobre todo o ano, a informação relativa à precipitação não permite fazer uma ligação directa ao racional previamente exposto. Porém, conhecendo o regime pluviométrico português, pode assumir-se

que as regiões com maiores quantitativos de precipitação anual registam, igualmente, as precipitações máximas invernais, favorecendo a relação apontada por Pereira et al. (op.cit). É, portanto, essa relação que se pretende explorar com a integração da precipitação média anual no modelo. A tabela 5.7 apresenta os scores de favorabilidade por classe de precipitação.

Não é necessariamente nos locais onde mais chove que o fogo encontra melhores condições para consumir combustível. Se à partida esta afirmação parece lógica, deve considerar-se a ideia de que a uma precipitação superior poderia corresponder o crescimento de maiores quantidades de combustível, que nos meses mais secos estaria disponível para arder. No entanto, como se observa na figura 5.10, esta relação não é linear e apenas se verifica a partir de precipitações médias anuais acima de 500 mm. De resto, são as áreas mais secas do país (com precipitação média anual abaixo de 400 mm) as que apresentam maiores valores de favorabilidade ao incêndio florestal, confirmando a complexidade das relações entre as duas variáveis em causa.

Tabela 5.7 – Scores de favorabilidade por classe de precipitação anual

Precipitação Classe	Píxeis		Proporção	Score de favorabilidade
	Disponíveis	Ardidos		
200-300	3.353	1.488	0,4438	44
300-400	37.445	16.903	0,4514	45
400-500	530.578	52.359	0,0987	10
500-600	2.274.773	123.320	0,0542	5
600-700	2.653.299	163.279	0,0615	6
700-800	1.893.065	146.436	0,0774	8
800-900	1.247.532	143.681	0,1152	12
900-1000	841.013	154.706	0,1840	18
1000-1200	1.329.184	258.192	0,1942	19
1200-1400	1.117.460	288.552	0,2582	26
1400-1600	790.464	267.946	0,3390	34
1600-1800	449.731	148.567	0,3303	33
1800-2000	301.067	100.095	0,3325	33
2000-2500	267.007	88.570	0,3317	33
2500-3000	145.103	53.847	0,3711	37
3000-3500	52.601	21.649	0,4116	41
3500-4000	9.002	3.918	0,4352	44
Total	13.942.677	2.033.508		

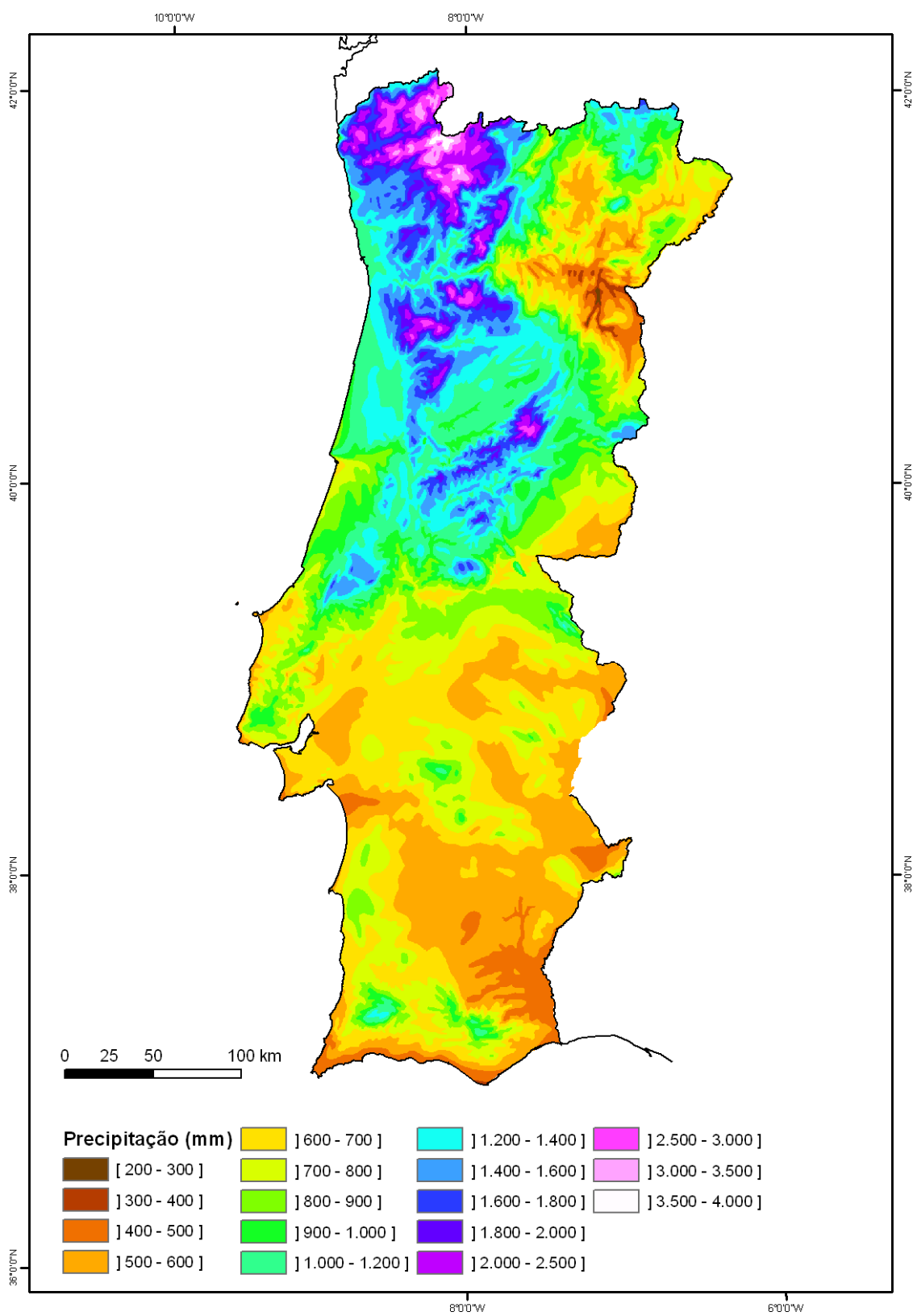


Figura 5.9 – Classes de precipitação anual, em milímetros, para Portugal continental (Fonte: Daveau, 1975).

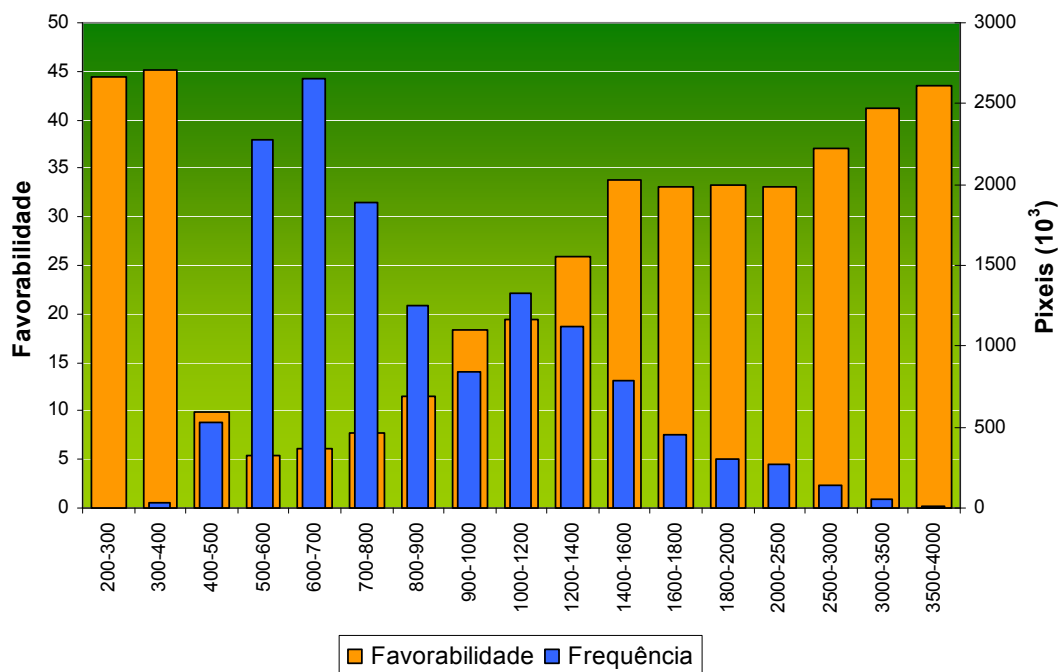


Figura 5.10 – Favorabilidade e Frequência das classes de precipitação anual

5.2.5 Número de dias com temperatura mínima igual ou superior a 20°C

Em estudos prévios de modelação de susceptibilidade (Pereira e Santos, 2003), a temperatura do ar é um dos parâmetros avaliados, assumindo-se que com temperaturas mais elevadas a susceptibilidade ao incêndio florestal é superior. Nesses estudos, a temperatura é integrada nos modelos considerando o número de dias, entre Maio e Setembro, em que a temperatura máxima é superior a 25°C.

Como Ventura e Vasconcelos (2006, p.101) referem, «temperaturas elevadas e humidades baixas favorecem a secagem dos combustíveis». Com base nesse pressuposto, neste estudo, optou-se por integrar a temperatura de um modo diferente. Considerando que é durante a noite que os esforços de supressão têm melhores condições meteorológicas para a extinção dos incêndios, tirando partido das temperaturas do ar mais baixas e de um teor de humidade do ar mais elevado, pressupõe-se, nesta análise, que quanto maior é o número de dias (ou, no caso, noites) com temperaturas mínimas iguais ou superiores a 20°C (o limiar para se considerar uma noite tropical), maior é a susceptibilidade. Com base em dados cedidos pelo Instituto de Meteorologia, procedeu-se a uma interpolação pelo método Kriging e a uma reclassificação por quintis (Fig. 5.11), estando representados na tabela 5.8 os scores de

favorabilidade para cada uma das 5 classes definidas (Classe 1: 0 a 3 dias, Classe 2: 3 a 6 dias, Classe 3: 6 a 9 dias, Classe 4: 9 a 18 dias, Classe 5: 18 a 36 dias). Os dias expressos dizem respeito à média anual para o total da série, i.e., 18 anos, de 1990 a 2007.

Tabela 5.8 – Scores de favorabilidade para as classes do número de dias com temperatura mínima do ar igual ou superior a 20°C

Classe (# dias)	Tmin		Proporção	Score de favorabilidade
	Disponíveis	Ardidos		
1 (0 – 3d)	2517498	395707	0,1572	16
2 (3 – 6d)	3665182	720590	0,1966	20
3 (6 – 9d)	2561075	466648	0,1822	18
4 (9 – 18d)	3358875	383563	0,1142	11
5 (18 – 36d)	1816251	70544	0,0388	4
Total	13918881	2037052		

Na figura 5.12 apresenta-se o gráfico comparativo da favorabilidade e da frequência das classes de temperatura mínima do ar igual ou superior a 20°C entre 1990 e 2007. A favorabilidade e a frequência dessas classes é, porventura, das mais concordantes, e a favorabilidade é, neste caso, efectivamente superior na classe que regista maior número de observações (3 a 6 dias em média, por ano). No entanto, a relação não é linear: a frequência de ocorrência não aumenta com o incremento do número de noites tropicais e os territórios onde se registam mais casos não são os que apresentam maior favorabilidade. Observa-se mesmo o inverso, a favorabilidade ao incêndio é a mais baixa no território com maior número, em média, de noites tropicais. Depreende-se, assim, que a ocorrências de noites tropicais não é um factor condicionante na favorabilidade dos espaços combustíveis. O mesmo será dizer que o facto de haver locais onde se registam muitas noites tropicais não significa que esses mesmos locais sejam mais favoráveis à ocorrência do fogo.

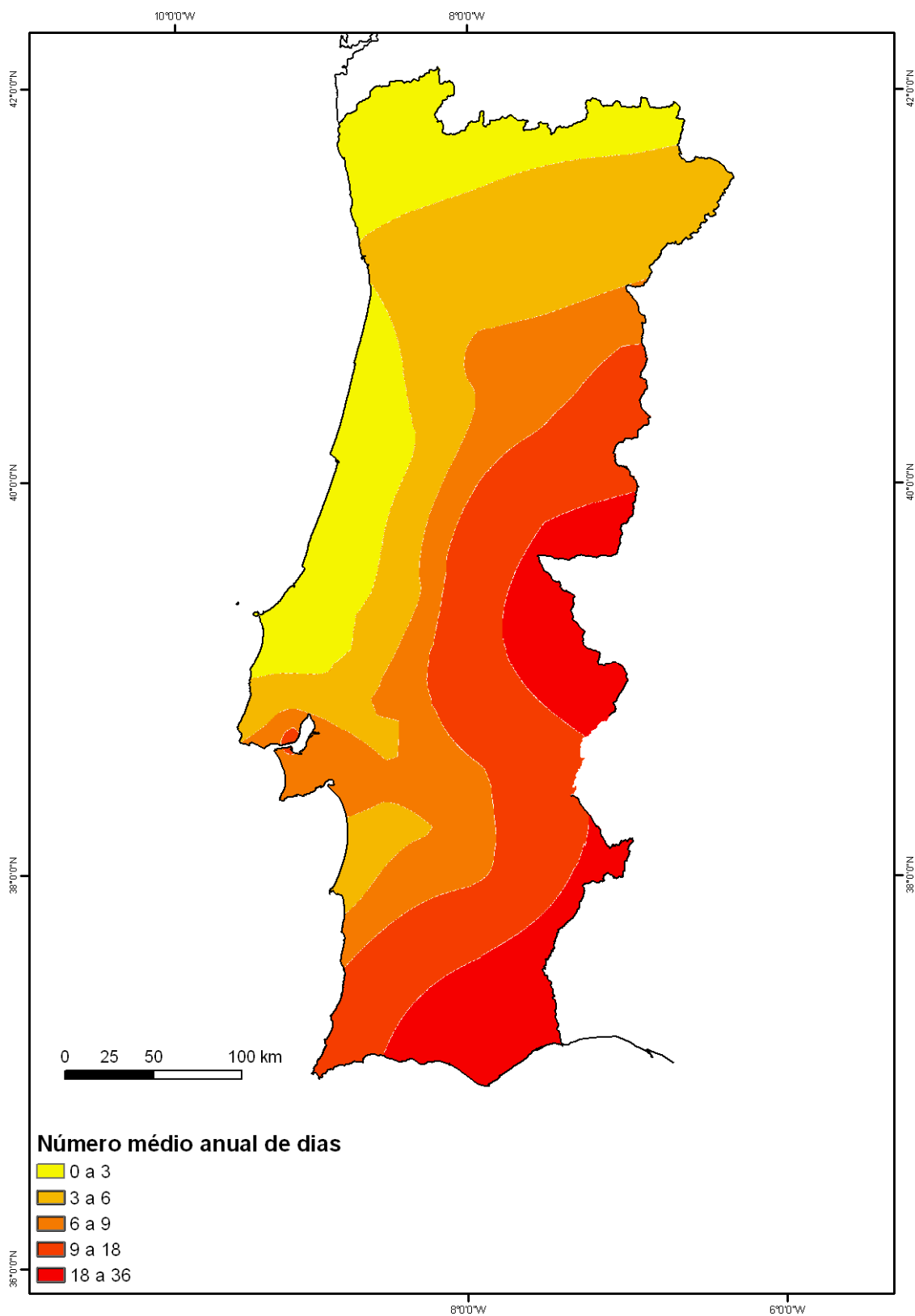


Figura 5.11 – Número de dias com temperatura mínima igual ou superior a 20°C

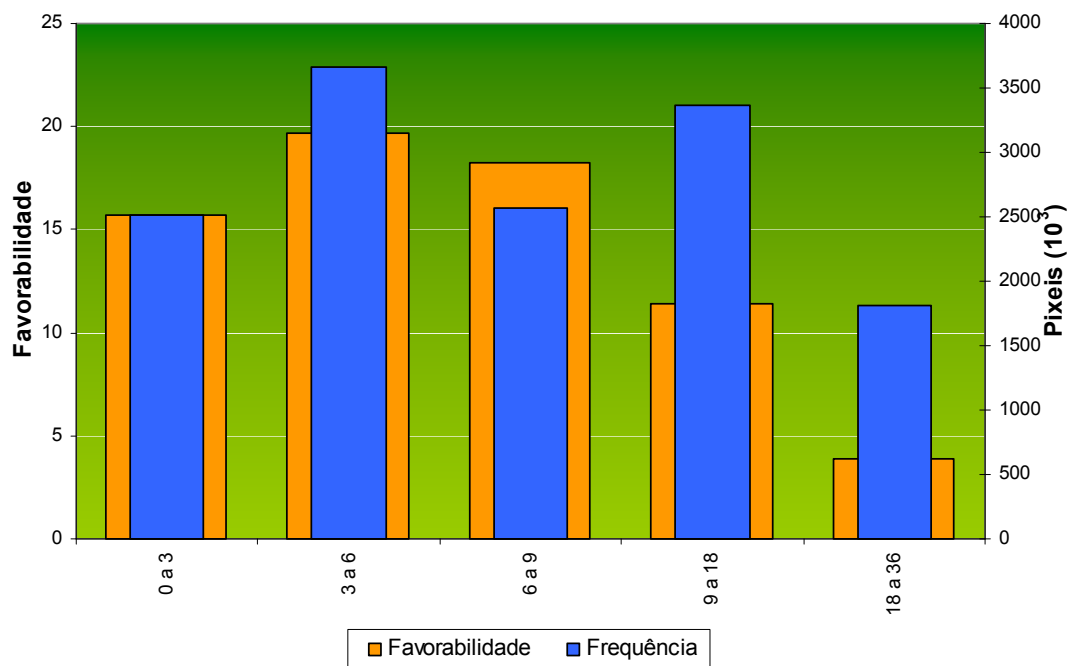


Figura 5.12 – Favorabilidade e Frequência das classes do número de dias com temperatura mínima do ar igual ou superior a 20°C

5.2.6. O histórico

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 de terreno matricial sofra combustão? Esta abordagem aplica-se com a formulação que se apresenta em [5.2]. Trata-se de aproveitar uma longa série estatística que permite introduzir um padrão de recorrência no cálculo, distinguindo os locais onde o fogo é um fenómeno frequente.

$$P = \frac{f}{N} \times 100 \quad [5.2]$$

Nesta equação, f é o número de vezes que cada pixel ardeu e N é o número de anos da série. Depreende-se que um pixel que ardeu todos os anos terá probabilidade de 100%, enquanto que um pixel que nunca ardeu terá probabilidade zero. As razões pelas quais determinada unidade de terreno matricial nunca ardeu são desconhecidas e, perante a existência de combustível, não se pode garantir que a verosimilhança de que esse pixel combustível venha a ser afectado seja efectivamente zero, apenas que é reduzida. Por outro lado, dado o carácter multiplicativo do modelo de avaliação da susceptibilidade, sendo o zero elemento absorvente da multiplicação, os pixels com essa probabilidade não devem ser considerados como tal.

Deste modo, optou-se por reclassificar todos os pixels de valor zero (absorventes) para um (neutros). Assim, pixels que nunca sofreram combustão no intervalo considerado serão neutros, não afectando o resultado final. Os restantes pixels são classificados de acordo com a probabilidade que resulta da aplicação da fórmula anteriormente expressa em [5.2]. Um pixel que tenha ardido 10 vezes em 20 anos terá uma probabilidade anual de sofrer uma combustão de 50%. A distribuição espacial desta probabilidade anual é a que se ilustra na figura 5.13.

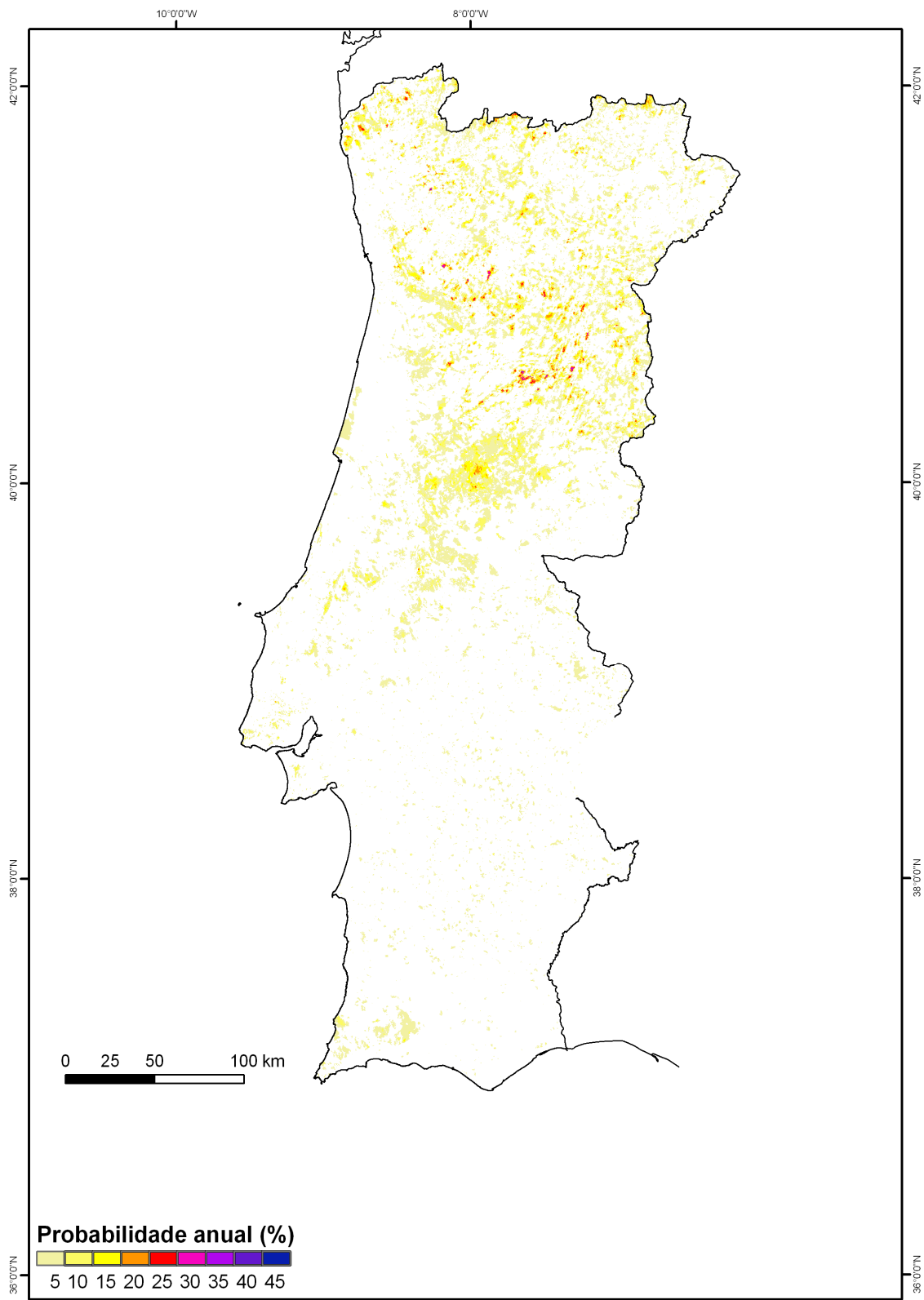


Figura 5.13 – Probabilidade anual de sujeição ao fogo por incêndio florestal

5.3. A integração dos dados: avaliação e validação da susceptibilidade

5.3.1. Introdução

A partir dos *scores* obtidos para as variáveis previamente apresentadas, a informação matricial foi reclassificada de tal modo que os pixels pertencentes a cada classe assumissem o valor, ou *score* apresentados nos pontos anteriores. A informação histórica, vertida para o modelo sob a forma de probabilidade anual, conforme referido no ponto 5.2.6, foi integrada juntamente com os *scores* de favorabilidade de cada variável de acordo com a seguinte formulação (eq. 5.3, 5.4):

$$\text{Condição Única} = pa \cap Sf1 \cap Sf2 \cap \dots \cap Sfn \quad [5.3]$$

$$\text{Favorabilidade da Condição Única} = F(pa) \times F(Sf1) \times F(Sf2) \times F(\dots) \times F(Sfn) \quad [5.4]$$

em que $F()$ é a função de favorabilidade (anteriormente descrita em [5.1]), pa é a probabilidade anual e Sf é o *score* de favorabilidade de cada variável integrada no modelo. Conforme previamente descrito, foram realizados vários ensaios, experimentando de forma progressiva a integração de todas as variáveis.

As *layers* matriciais, que correspondem às variáveis utilizadas, simbolizam-se neste documento por um código, que permite identificar quais as que foram usadas em cada cálculo. A codificação das variáveis é a seguinte: A – Altimetria, D – Declive, C – Ocupação do Solo, R – Precipitação, T – Temperatura, P – Probabilidade.

A combinação destas letras ou códigos denota a integração realizada, e.g., um modelo identificado por “ACD” significa que se trata de um cálculo cujos resultados foram obtidos por multiplicação das variáveis altimetria, ocupação do solo e declive. Por multiplicação simples das *layers* matriciais, obtém-se uma representação do território a que correspondem as favorabilidades das condições únicas. As favorabilidades das condições únicas que resultam deste produto, quando hierarquizadas por ordem decrescente e cruzadas com as áreas ardidadas, permitem realizar dois tipos de curva já anteriormente referidas: curvas de sucesso e curvas de predição.

Estas curvas, para além de permitirem concluir acerca da validade do modelo de susceptibilidade, servem ainda como orientação para a definição das classes a utilizar no mapa final. A curva de sucesso de um modelo preditivo constroi-se a partir do cruzamento do mapa de susceptibilidade resultante do processo de integração dos dados, com a distribuição das áreas ardidadas utilizadas para definir os *scores* de favorabilidade (i.e., áreas ardidadas entre 1975 e 1994, no caso de estudo). Neste sentido, a taxa de sucesso avalia apenas o grau de ajuste

entre o modelo preditivo e os dados que o originaram, não permitindo uma validação cabal do mapa de susceptibilidade. A curva de predição do modelo obtém-se através do cruzamento do mapa de susceptibilidade com a distribuição de áreas ardidas que não foram consideradas na construção do modelo (i.e., no caso em apreço, áreas ardidas entre 1995 e 2004). Deste modo, os resultados da curva de predição podem ter uma interpretação preditiva, visto que decorrem de um processo de validação independente.

5.3.2. Modelos de avaliação da susceptibilidade com integração da variável "histórico"

A primeira corrida do modelo de avaliação da susceptibilidade fez-se com integração da ocupação do solo, declives e probabilidade (CDP). Assume-se, neste modelo, que a susceptibilidade ao fogo florestal pode avaliar-se considerando o combustível, o declive em que se insere, e o padrão histórico das ocorrências. Trata-se de um modelo com taxas de sucesso e de predição elevadas (Figura 5.14; tabela 5.9). Isolando os 30% do território classificado pelo modelo como mais susceptível, verifica-se que o sucesso ultrapassa os 90% da área ardida no bloco de modelação (1975-1994). A predição apresenta valores igualmente animadores: para os mesmos 30% do território, apenas cerca de 29% da nova área ardida ficaram por enquadrar no modelo, para o bloco de predição (1995 - 2004).

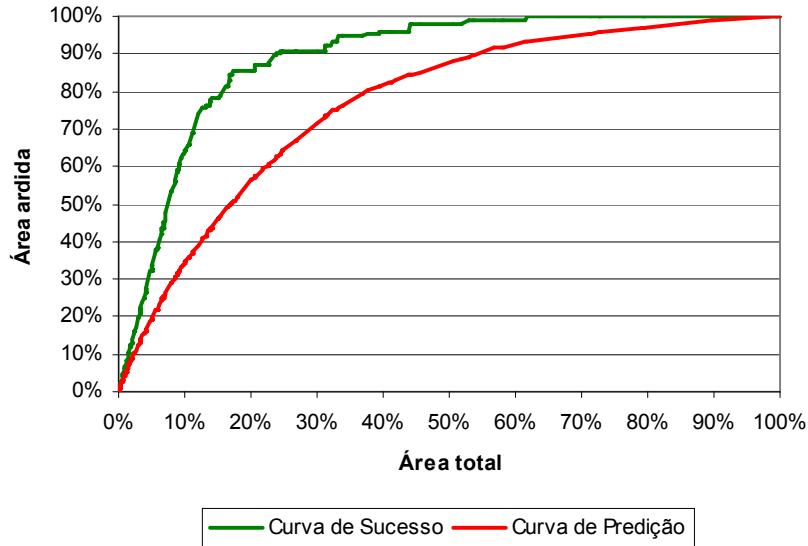


Figura 5.14 – Curvas de sucesso e de predição para a combinação "CDP"

Tabela 5.9 – Taxas de sucesso e predição para a combinação "CDP"

	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Sucesso	64,12 %	85,46 %	90,87 %	95,77 %	97,83 %	99,00 %	99,97 %	100 %	100 %
Predição	34,52 %	56,36 %	71,31 %	81,77 %	87,87 %	92,68 %	95,02 %	97,11 %	99,79 %

Procurando melhorar o modelo, integrou-se uma variável adicional, a altimetria (modelo **ACDP**). Correndo o modelo com as quatro variáveis (as do ensaio anterior mais a altimetria) verifica-se que os resultados mantêm-se elevados. Tomando por referência os 30% do território classificado como mais susceptível, verifica-se que este modelo tem uma taxa de sucesso ligeiramente inferior, mas uma taxa de predição um pouco acima da anterior (Figura 5.15, tabela 5.10). As curvas originais da combinação CDP surgem como referência para comparação.

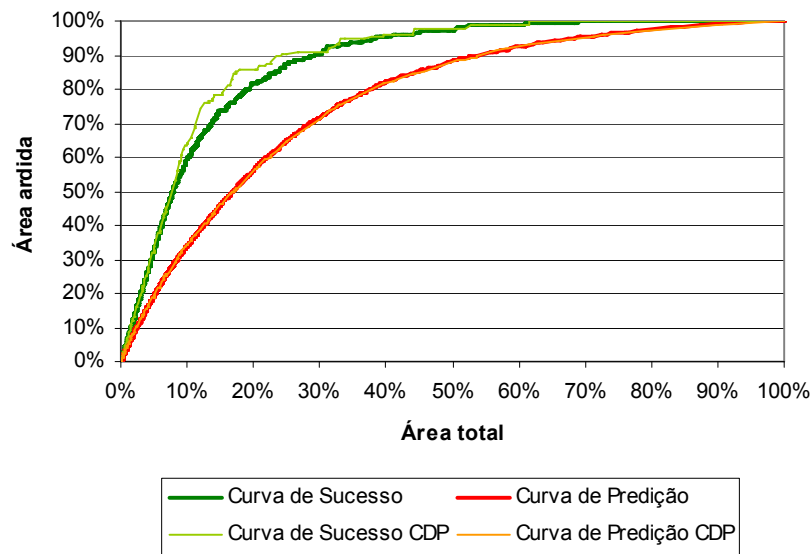


Figura 5.15 – Curvas de sucesso e de predição para a combinação “ACDP”

Tabela 5.10 – Taxas de sucesso e predição para a combinação “ACDP”

	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Sucesso	59,47 %	81,72 %	90,42 %	95,57 %	97,42 %	98,88 %	99,73 %	99,97 %	99,99 %
Predição	33,91 %	56,31 %	71,65 %	82,08 %	88,41 %	92,53 %	95,40 %	97,55 %	99,23 %

Procurou-se, também, avaliar o efeito da variável precipitação no modelo. Com cinco variáveis (modelo **ACDPR**), as taxas de validação pioram em relação aos modelos anteriores, menos complexos. O comportamento da taxa de predição é similar, aos 30% do território, mas a taxa de sucesso é inferior à que se verificava anteriormente (figura 5.16, tabela 5.11).

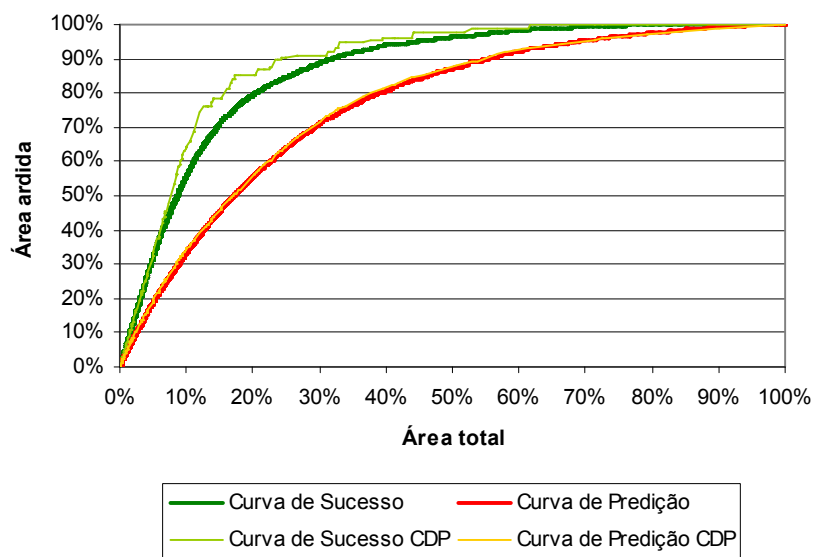


Figura 5.16 – Curvas de sucesso e de predição para a combinação “ACDPR”

Tabela 5.11 – Taxas de sucesso e predição para a combinação “ACDPR”

	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Sucesso	55,76 %	79,66 %	88,84 %	94,06 %	96,35 %	98,26 %	99,52 %	99,82 %	99,98 %
Predição	33,37 %	55,65 %	71,14 %	80,63 %	87,06 %	92,21 %	95,42 %	97,61 %	99,32 %

A integração da temperatura mínima no modelo (modelo **ACDPRT**) produz resultados menos satisfatórios. Com efeito, verifica-se que aos 30% do território classificado como mais susceptível, tanto a taxa de sucesso quanto a de predição são inferiores às obtidas com os modelos anteriores (figura 5.17, tabela 5.12).

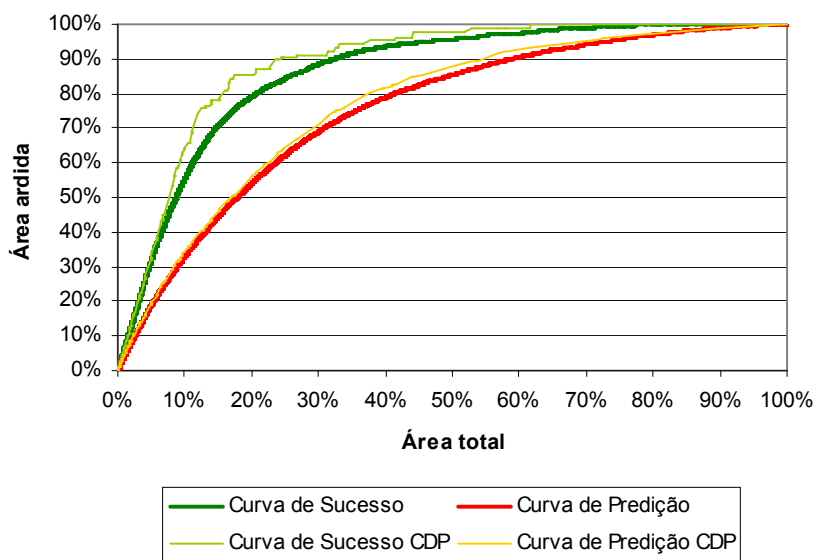


Figura 5.17 – Curvas de sucesso e de predição para a combinação “ACDPRT”

Tabela 5.12 – Taxas de sucesso e predição para a combinação “ACDPRT”

	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Sucesso	55,59 %	79,12 %	88,60 %	93,55 %	95,73 %	97,44 %	98,99 %	99,77 %	99,97 %
Predição	33,08 %	54,13 %	69,11 %	79,06 %	85,55 %	90,51 %	94,22 %	97,00 %	99,06 %

5.3.3. Modelos de avaliação da susceptibilidade sem integração da variável “histórico”

Após os ensaios descritos anteriormente, procurou perceber-se qual a contribuição dos dados históricos das áreas ardidas no modelo de avaliação da susceptibilidade. A informação histórica, nos ensaios anteriores, teve dupla entrada: por um lado, serviu de base à definição dos scores de favorabilidade das diversas variáveis; por outro, entrou como variável independente sob a forma de probabilidade clássica. Para se concluir acerca do peso desta variável, e até que ponto ela poderia enviesar os resultados, correram-se os mesmos modelos anteriormente descritos mas sem a probabilidade, simplificando as fórmulas [5.3] e [5.4] para:

$$\text{Condição Única} = Sf1 \cap Sf2 \cap \dots \cap Sfn \quad [5.5]$$

$$\text{Favorabilidade da Condição Única} = F(Sf1) \times F(Sf2) \times F(\dots) \times F(Sfn) \quad [5.6]$$

Em que $F()$, tal como em [5.4], é a função de favorabilidade de cada variável integrada no modelo.

O primeiro ensaio nesta série, sem probabilidade, combina apenas a ocupação do solo com os declives (modelo **CD**). Por comparação, as taxas de sucesso e predição sem probabilidade são inferiores às que integram esta variável. Analisando os 30% do território classificado como mais susceptível, verifica-se que o modelo com probabilidade explica mais de 90% da área ardida no intervalo de modelação, enquanto que sem essa informação probabilística apenas cerca de 76% da área ardida é justificada. A diferença de cerca de 15% da área ardida na taxa de sucesso não é inesperada; mais interessante é o facto de, para os mesmos 30% do território, a taxa de predição ser quase igual, quer se use ou não a informação probabilística. Sem ela, o modelo enquadra apenas cerca de 1% a menos da nova área ardida (Figura 5.18, tabela 5.13).

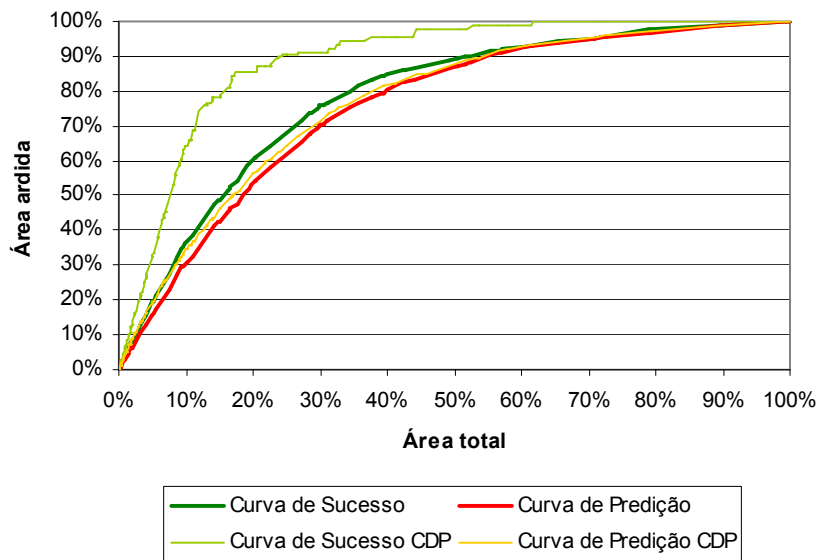


Figura 5.18 – Curvas de sucesso e de predição para a combinação “CD”

Tabela 5.13 – Taxas de sucesso e predição para a combinação “CD”

	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Sucesso	36,39 %	60,07 %	75,92 %	84,83 %	89,21 %	92,62 %	94,96 %	97,84 %	99,00 %
Predição	30,48 %	53,29 %	70,12 %	80,15 %	87,04 %	92,39 %	94,74 %	96,96 %	98,81 %

Seguindo a mesma ordem das anteriores combinações (secção 5.3.1), o modelo **ACD** apresenta-se com pior sucesso que o modelo **ACDP** e com uma evolução das curvas de predição muito próxima. Em relação ao ensaio anterior, a adição da variável altimetria trouxe uma resposta favorável mas discreta, com ganhos normalmente inferiores a 1%, tanto no sucesso quanto na predição (Figura 5.19, tabela 5.14).

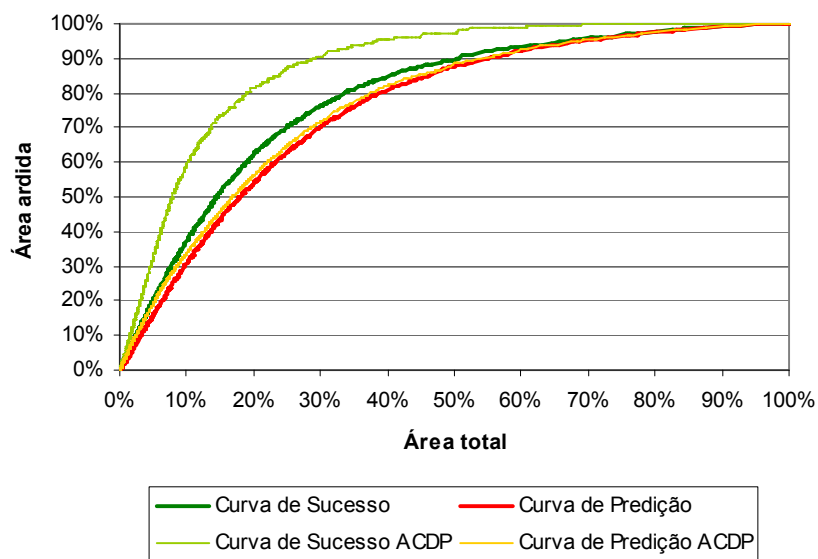


Figura 5.19 – Curvas de sucesso e de predição para a combinação “ACD”

Tabela 5.14 – Taxas de sucesso e predição para a combinação “ACD”

	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Sucesso	37,51 %	62,38 %	76,24 %	84,78 %	89,59 %	93,36 %	95,77 %	97,69 %	99,27 %
Predição	31,04 %	53,99 %	70,36 %	81,01 %	87,81 %	92,25 %	95,24 %	97,50 %	99,22 %

A inclusão da precipitação resulta em taxas similares às anteriores (modelo **ACDR**). A taxa de sucesso para esta combinação tem uma ligeira subida, que não se regista em toda a extensão da curva de sucesso, enquanto que a taxa de predição tem valores inferiores aos do modelo anterior até aos 70% do território (Figura 5.20, tabela 5.15).

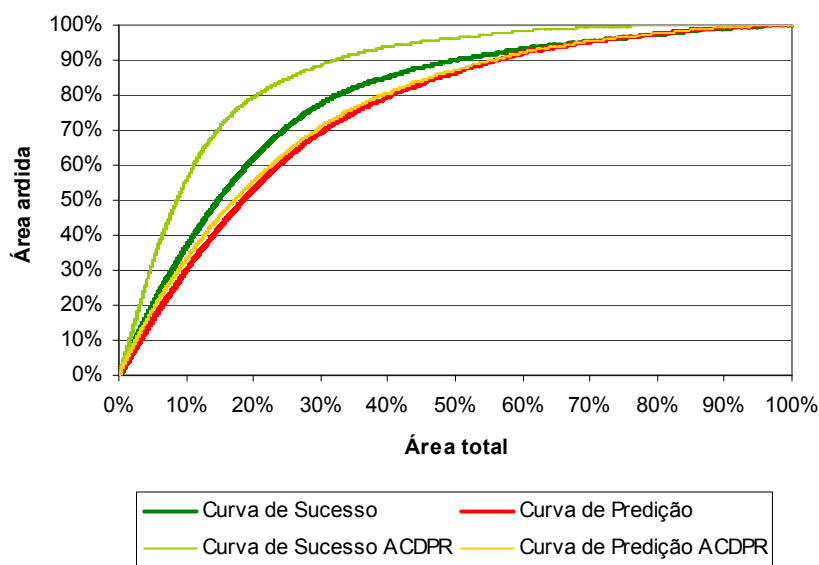


Figura 5.20 – Curvas de sucesso e predição para a combinação “ACDR”

Tabela 5.15 – Taxas de sucesso e predição para a combinação “ACDR”

	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Sucesso	36,90 %	62,25 %	77,50 %	85,22 %	90,00 %	93,25 %	95,50 %	97,36 %	99,00 %
Predição	30,05 %	53,10 %	69,35 %	79,53 %	86,35 %	92,02 %	95,28 %	97,57 %	99,30 %

Por fim, fechando esta sequência com as variáveis inicialmente descritas, integrou-se a temperatura mínima (modelo **ACDRT**), que resulta numa taxa de sucesso superior às anteriores, mas com uma taxa de predição sempre inferior às das restantes combinações (Figura 5.21, tabela 5.16). Entre 1995 e 2004, a temperatura mínima não terá sido um factor determinante na extensão da área ardida pelos incêndios florestais.

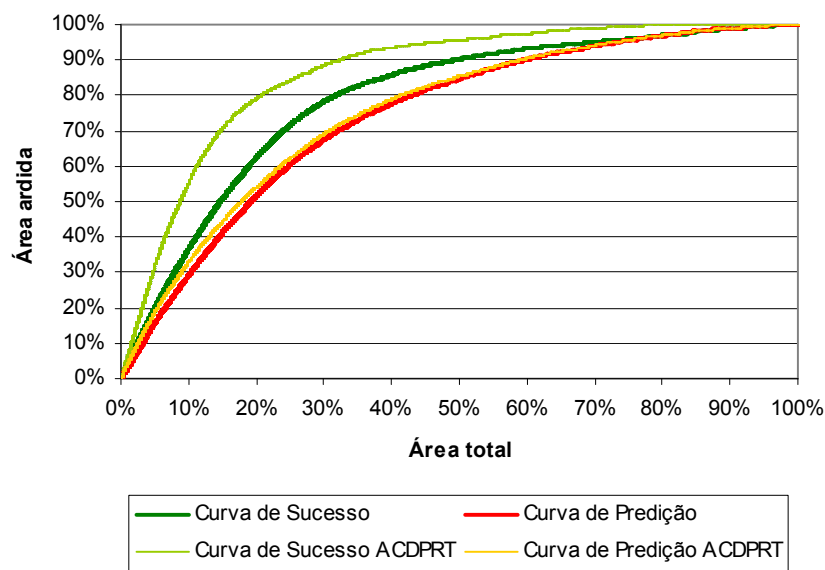


Figura 5.21 – Curvas de sucesso e predição para a combinação “ACDRT”

Tabela 5.16 – Taxas de sucesso e predição para a combinação “ACDRT”

	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Sucesso	36,78 %	62,47 %	78,36 %	85,75 %	90,19 %	93,25 %	95,09 %	97,01 %	98,82 %
Predição	29,25 %	51,68 %	67,61 %	77,83 %	84,56 %	90,23 %	94,02 %	96,89 %	99,02 %

5.3.4. Modelos de avaliação da susceptibilidade integrando as variáveis meteorológicas utilizadas por Pereira e Santos (2003)

Após a primeira sequência de ensaios havia ainda um exercício adicional a realizar. Partindo do trabalho prévio de Pereira e Santos (2003), que gentilmente cederam a informação digital necessária, substituíram-se as duas variáveis meteorológicas que já haviam sido estudadas por aquelas que estes autores utilizaram no seu estudo: o número de dias com temperatura máxima superior a 25°C, e o número de dias com precipitação igual ou superior a 1mm, entre Maio e Setembro, ambas com origem nas normais climatológicas 1961-90 do Instituto de Meteorologia. A estas novas variáveis, e de acordo com a simbologia adoptada para as restantes, foram atribuídos os códigos T' e R'.

Esta nova informação foi reclassificada de forma a obter, para cada tema, cinco classes com uma expressão territorial equivalente (Figuras 5.22 e 5.23). Posteriormente, a exemplo do efectuado para as restantes variáveis, os dados foram processados para o cálculo dos respectivos scores de favorabilidade (tabelas 5.17 e 5.18). A integração destas duas novas variáveis fez-se com a combinação inicial **CDP**, para a qual, como antes se discutiu, se determinou não haver especial valor acrescentado ao adicionar mais informação.

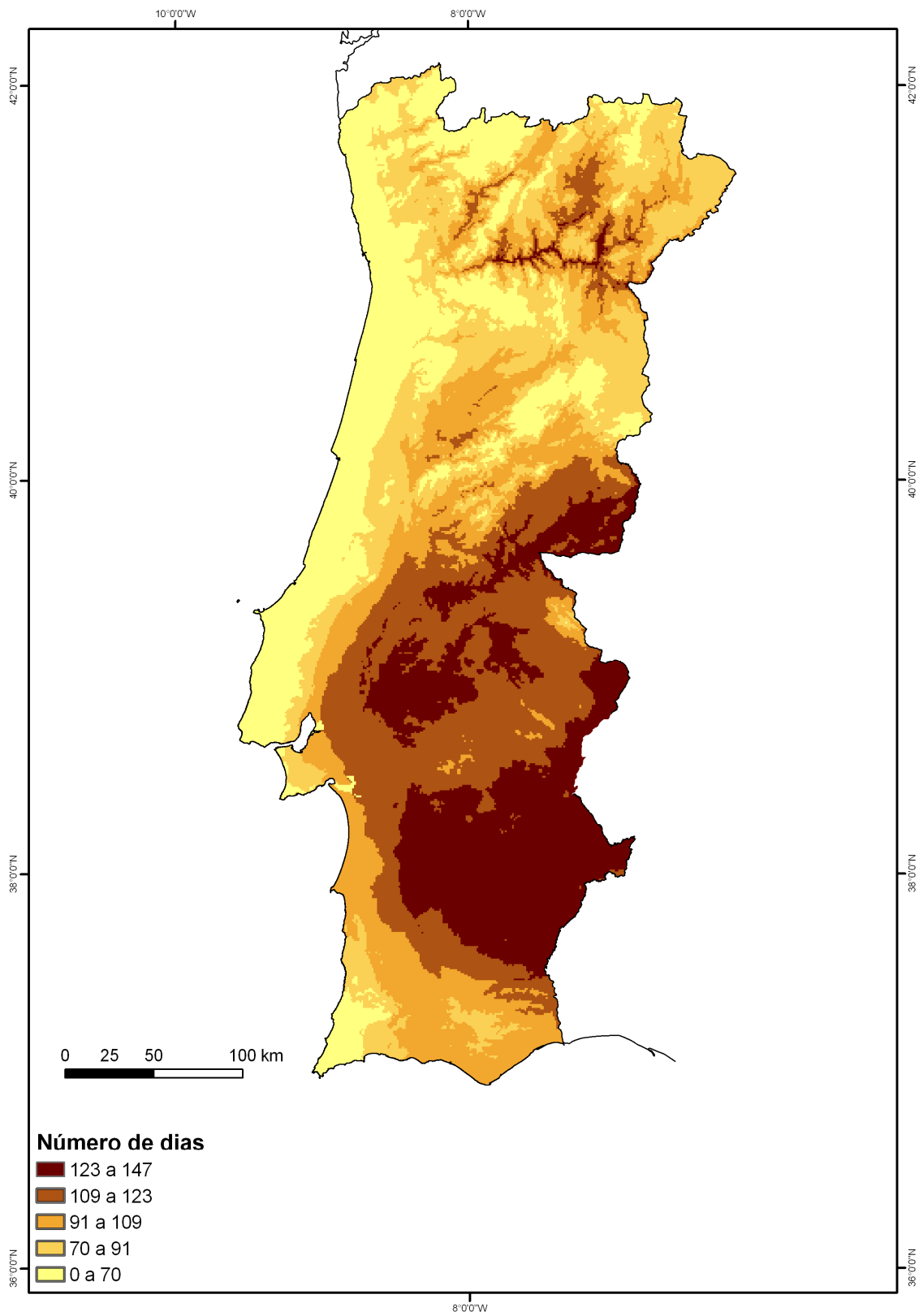


Figura 5.22 – Número de dias com temperatura máxima superior a 25°C

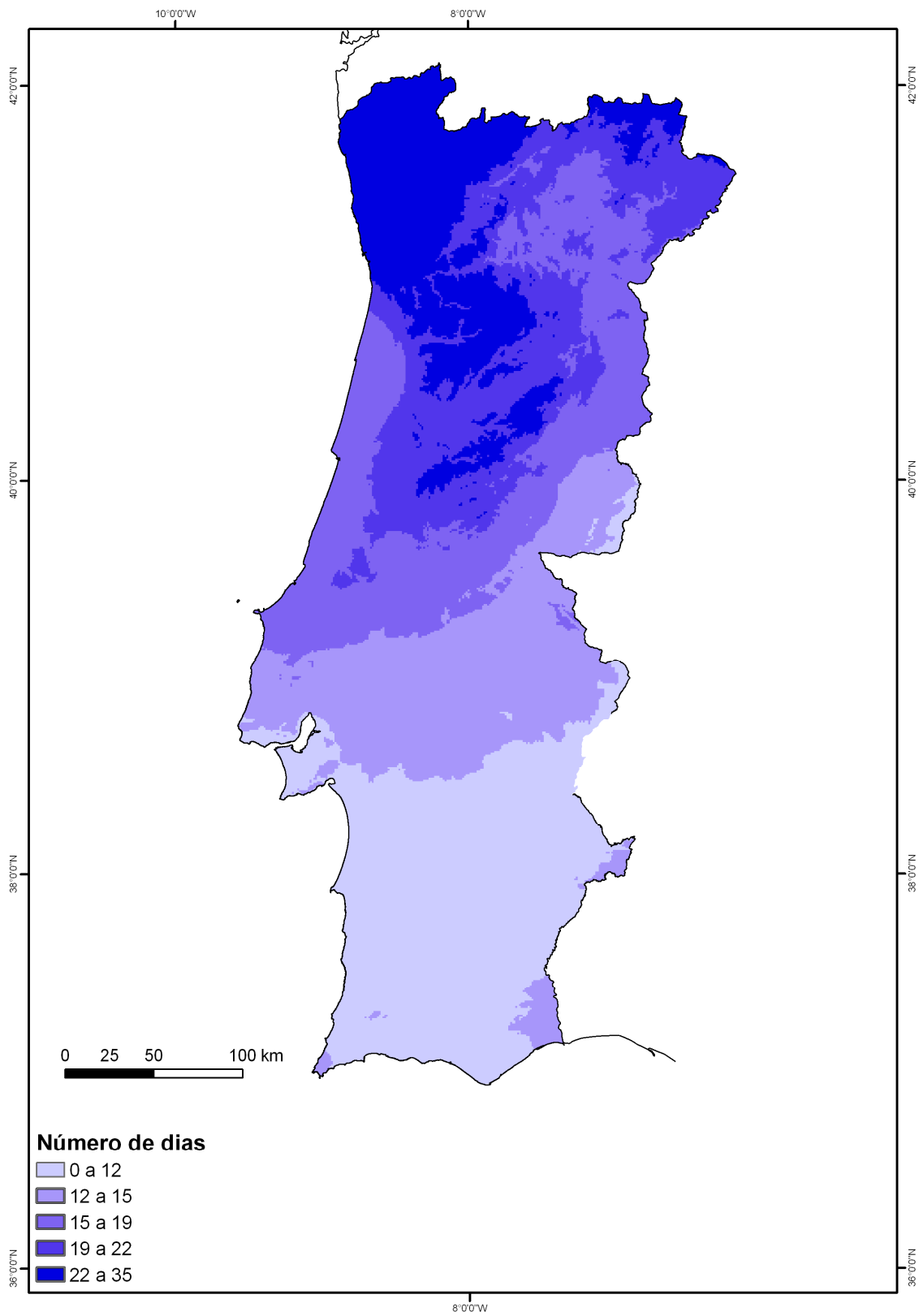


Figura 5.23 – Número de dias com precipitação igual ou superior a 1mm entre Maio e Setembro

Tabela 5.17 – Scores de favorabilidade para as classes de número de dias com temperatura máxima superior a 25°C

Classe (# dias)	Píxeis		Proporção	Score de favorabilidade
	Disponíveis	Ardidos		
1 (0 – 70d)	2.815.258	656.570	0,2332	23
2 (70 – 91d)	2.879.577	628.173	0,2181	22
3 (91 – 109d)	2.744.746	455.421	0,1659	17
4 (109 – 123d)	2.947.017	213.930	0,0726	7
5 (123 – 147d)	2.532.216	82.958	0,0328	3
Total	13.918.814	2.037.052		

Tabela 5.18 – Scores de favorabilidade para as classes de números de dias com precipitação igual ou superior a 1mm entre Maio e Setembro

Classe (# dias)	Píxeis		Proporção	Score de favorabilidade
	Disponíveis	Ardidos		
1 (0 – 12d)	3.686.505	131.445	0,0357	4
2 (12 – 15d)	2.733.141	107.704	0,0394	4
3 (15 – 19d)	2.932.750	519.524	0,1771	18
4 (19 – 22d)	2.420.884	659.656	0,2725	27
5 (22 – 35d)	2.145.534	618.723	0,2884	29
Total	13.918.814	2.037.052		

A comparação entre os scores de favorabilidade e frequência destas duas variáveis apresenta-se de seguida. Poder-se-ia pensar que os territórios com temperaturas máximas mais elevadas, ou com maior número de dias com máximas acima de 25°C, teriam maior favorabilidade ao incêndio florestal. A figura 5.24 não permite confirmar essa ideia, mostrando que a favorabilidade mais alta corresponde à classe que tem menor número de dias com esses valores de temperatura, decrescendo a partir daí. Os territórios abrangidos pela classe que regista o maior número de dias, por ano, com temperaturas máximas acima de 25°C são, inclusivamente, aqueles em que a favorabilidade é menor, facto que vem de encontro às conclusões tiradas acerca da favorabilidade associada à ocorrência de noites tropicais (ver secção 5.2.5 deste capítulo).

Observando a figura 5.25, relativa ao número de dias com precipitação igual ou superior a 1mm entre Maio e Setembro, verifica-se que a favorabilidade ao incêndio florestal é superior onde, neste período, se verifica maior número de dias (mas não a maior frequência). A precipitação entre Maio e Setembro não se apresenta, neste estudo, como factor de diminuição de favorabilidade ao incêndio. Inversamente, quantos mais dias de chuva há nesse período, maior é a favorabilidade.

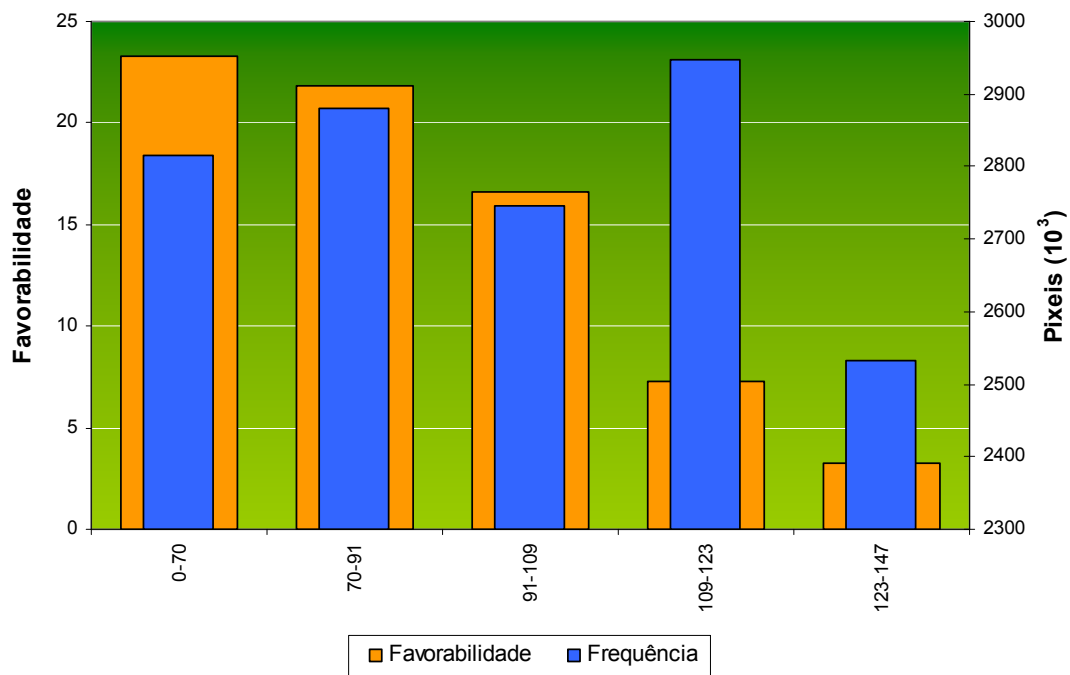


Figura 5.24 – Favorabilidade e Frequência das classes de números de dias com temperatura máxima superior a 25°C

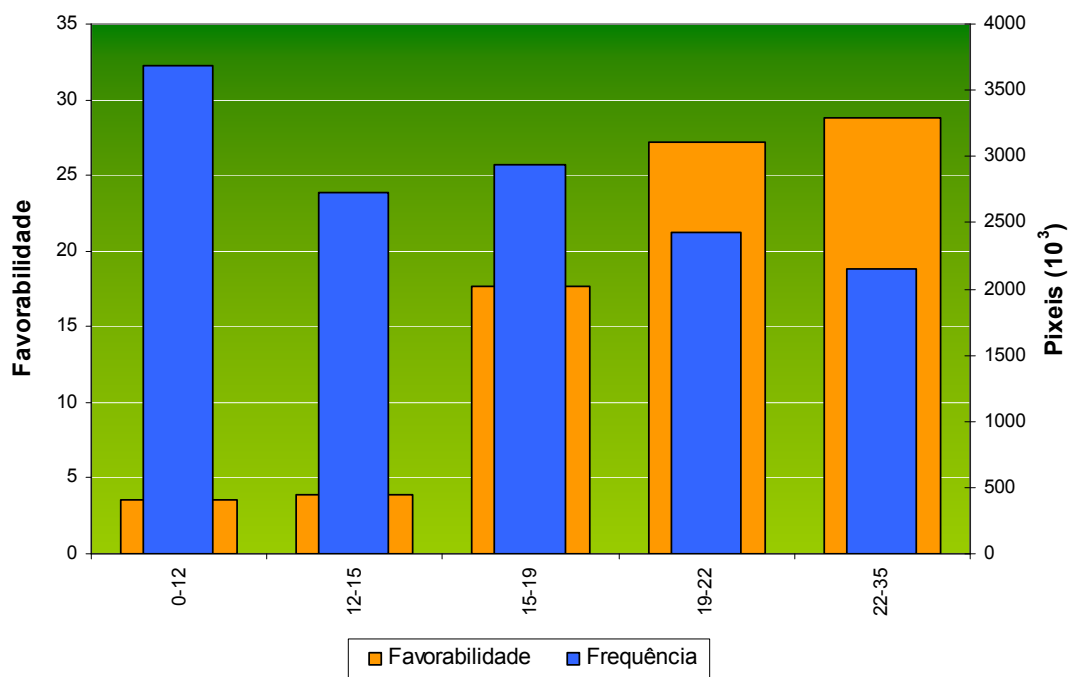


Figura 5.25 – Favorabilidade e Frequência das classes de números de dias com precipitação igual ou superior a 1mm entre Maio e Setembro

Quando ao modelo original **CDP** se adiciona o número de dias com temperatura máxima igual a 25°C (T'), assiste-se a um decréscimo nas taxas de sucesso bem como a uma capacidade preditiva inferior (figura 5.26, tabela 5.19).

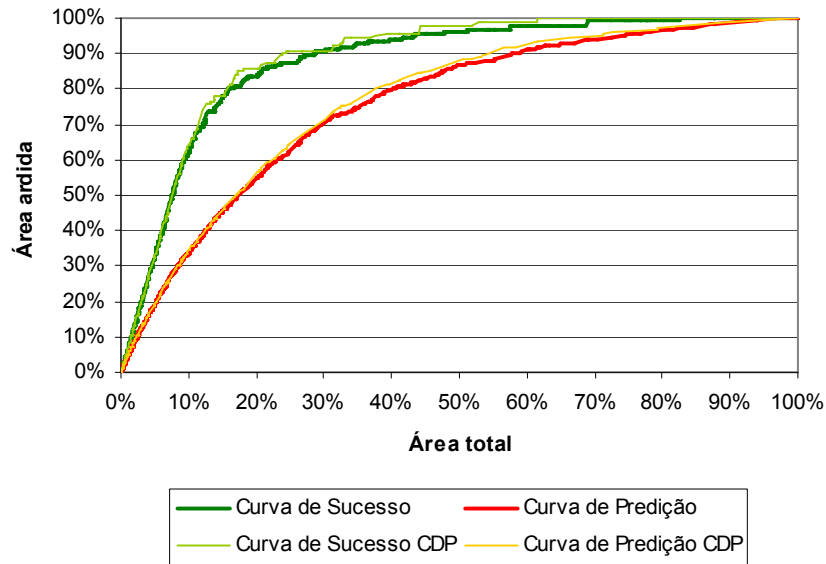


Figura 5.26 – Curvas de sucesso e predição para a combinação “CDPT”

Tabela 5.19 – Taxas de sucesso e predição para a combinação “CDPT”

	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Sucesso	62,47 %	83,31 %	90,71 %	93,71 %	95,92 %	97,92 %	99,37 %	99,65 %	100 %
Predição	33,89 %	54,64 %	70,59 %	79,67 %	86,76 %	91,08 %	94,07 %	96,65 %	98,65 %

O mesmo acontece com o número de dias em que se regista precipitação, entre Maio e Setembro. A figura 5.27 e a tabela 5.20 demonstram que, neste caso, a descida das taxas de sucesso e predição é mesmo mais acentuada do que na combinação anterior.

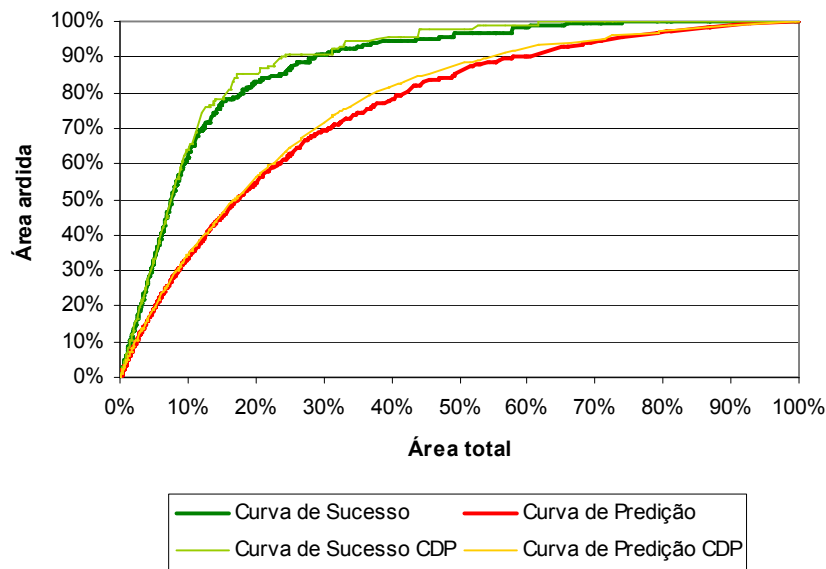


Figura 5.27 – Curvas de sucesso e predição para a combinação “CDPR”

Tabela 5.20 – Taxas de sucesso e predição para a combinação “CDPR”

	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Sucesso	62,40 %	83,27 %	90,59 %	94,33 %	96,65 %	98,62 %	99,27 %	99,98 %	100 %
Predição	33,79 %	54,66 %	69,23 %	78,15 %	85,68 %	90,20 %	94,28 %	96,96 %	98,80 %

As descidas em sucesso e predição que se observaram nas modelações anteriores acentuam-se quando ao modelo original **CDP** se juntam em simultâneo as duas novas variáveis (fig. 5.28, tabela 5.21), o que vem demonstrar que, com a metodologia utilizada, a adição de variáveis meteorológicas não introduz melhoria da resposta do modelo de avaliação da susceptibilidade.

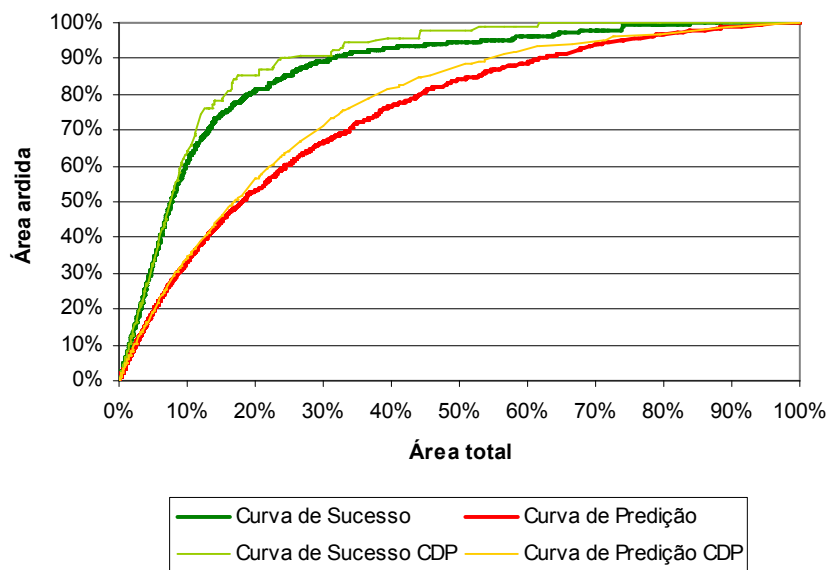


Figura 5.28 – Curvas de sucesso e predição para a combinação “CDPT'R”

Tabela 5.21 – Taxas de sucesso e predição para a combinação “CDPT’R”

	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Sucesso	60,87 %	80,78 %	89,26 %	93,16 %	94,56 %	96,02 %	98,04 %	99,65 %	100 %
Predição	33,30 %	53,02 %	66,60 %	76,69 %	84,22 %	88,82 %	93,86 %	96,91 %	98,85 %

5.3.5. Estudos prévios à opção por um bloco temporal de modelação

Como atrás se referiu, perante uma série estatística de 32 anos (1975 a 2006), havia que decidir acerca da forma como se agruparia essa série para aplicação num modelo de cálculo de susceptibilidade.

Para manter uniformidade entre os blocos de modelação, optou-se em primeiro lugar por deixar fora da série os anos 2005 e 2006. Esta decisão é justificada pelo facto de, no início deste trabalho, esses dois anos não existirem ainda, à semelhança dos anos anteriores, como produto de detecção remota do Landsat (apenas via MODIS). Adicionalmente, não considerando os anos de 2005 e 2006, seria possível trabalhar com blocos de, exactamente, 10 anos.

A forma como se agruparia a série estatística deveria permitir reduzir a incerteza face ao fenómeno tratado. Verificando qual o comportamento estatístico da série, utilizar-se-ia um bloco para efectiva modelação, deixando outro para validar de forma independente os resultados do modelo.

Assim, partindo de um modelo base que consideraria três variáveis – descritas em detalhe nos pontos anteriores -, o declive, a ocupação do solo e o histórico, verificou-se qual o ajuste da informação ao modelo e qual a capacidade preditiva que este revelava, i.e., que capacidade teria de, com uma determinada série estatística, prever os incêndios ocorridos em anos que não haviam sido considerados nos cálculos iniciais.

À série estatística inicial foram retirados os dois últimos anos, como acima se referiu, e foram criados três blocos de 10 anos (1975–1984, 1985–1994 e 1995–2004), dois blocos com 20 anos (1975-1994 e 1985-2004), e um bloco final com a totalidade da série (1975-2004). Para esses blocos determinaram-se as respectivas curvas de sucesso e de predição, nos mesmos moldes apresentados nas páginas anteriores, com excepção para o bloco com toda a série, para o qual apenas se determinou a curva de sucesso, visto não ser possível efectuar uma validação independente. Neste último caso, 1975-2004, calcular a respectiva curva de sucesso é um exercício comparativo face aos restantes resultados, permitindo concluir acerca da resposta do modelo com a integração de mais ou menos anos.

A figura 5.29 apresenta as curvas de sucesso dos blocos modelados neste estudo prévio, ilustrando o ajuste entre o modelo e os dados de origem.

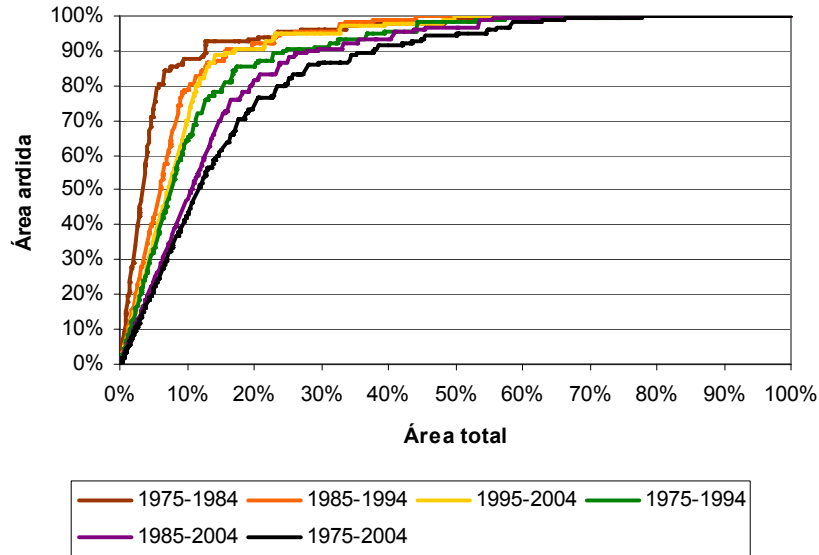


Figura 5.29 – Curvas de sucesso para os blocos temporais inicialmente estudados

A curva de sucesso para a totalidade da série é claramente a pior, revelando menor adequação das variáveis ao modelo naquele intervalo. É no intervalo 1975-1984 que se encontra a melhor curva de sucesso, o que permite concluir que o ajuste entre a distribuição das áreas ardidas e as variáveis do modelo é, nesse decénio, o mais estreito. Avançando no tempo e observando o comportamento das curvas de sucesso, é lícito concluir que poderão ter existido factores externos ao modelo que, para além das variáveis utilizadas, terão influenciado a ocorrência e/ou a progressão dos incêndios, para lá das relações de favorabilidade mais directas e avaliadas neste trabalho.

As taxas de sucesso descrevem-se na tabela 5.22. O cálculo das áreas abaixo da curva (tabela 5.23) confirma aquilo que já se determinara visualmente.

Tabela 5.22 – Taxas de sucesso para as séries estatísticas modeladas. A negrito, as taxas mais elevadas.

Série	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
'75-'84	87,95 %	93,23 %	95,94 %	97,95 %	99,37 %	99,85 %	100 %	100 %	100 %
'85-'94	78,73 %	92,14 %	95,75 %	98,90 %	99,93 %	99,99 %	99,99 %	100 %	100 %
'95-'04	69,85 %	90,52 %	94,98 %	97,66 %	99,78 %	99,92 %	100 %	100 %	100 %
'75-'94	64,12 %	85,43 %	90,84 %	95,76 %	98,47 %	99,71 %	99,97 %	99,97 %	100 %
'85-'04	47,21 %	81,83 %	90,45 %	93,26 %	96,54 %	99,67 %	99,78 %	99,99 %	99,99 %
'75-'04	43,26 %	74,11 %	86,32 %	91,70 %	94,58 %	98,28 %	99,42 %	99,96 %	99,97 %

Tabela 5.23 – Áreas abaixo da curva (A.A.C.), em percentagem, para as curvas de sucesso das séries estatísticas modeladas.

Série	1975-1984	1985-1994	1995-2004	1975-1994	1985-2004	1975-2004
A.A.C.	94,22 %	92,07 %	90,94 %	89,04 %	86,38 %	83,98 %

A capacidade preditiva do modelo criado com os anos 1975-1984 é superior para o bloco 1985-1994, o decénio imediatamente a seguir ao de modelação (fig. 5.30).

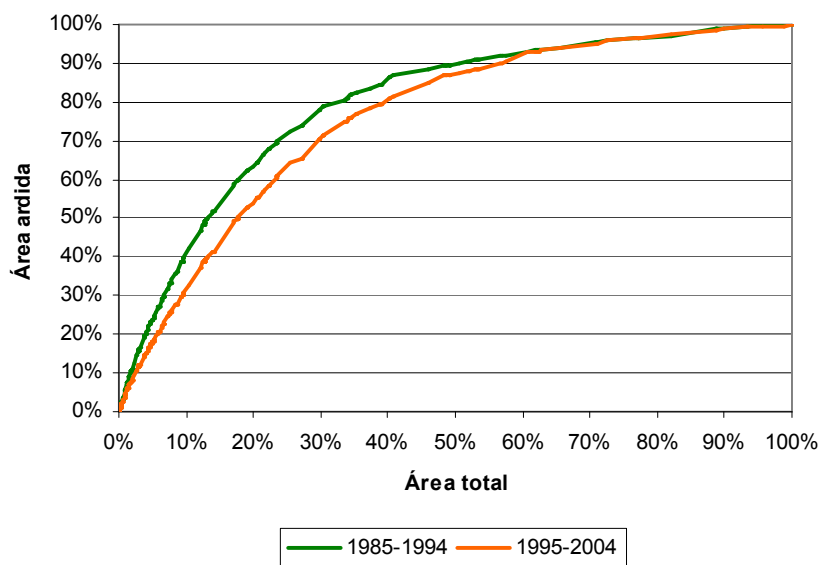


Figura 5.30 – Curvas de predição para os decénios 1985-1994 e 1995-2004 sobre modelação com os anos 1975-1984

A predição com base num modelo que integra os anos 1985 a 1994 é superior para o decénio anterior. Verifica-se pelo comportamento das respectivas curvas (fig 5.31) que este modelo explica com maior dificuldade as áreas ardidas do decénio seguinte do que as do precedente.

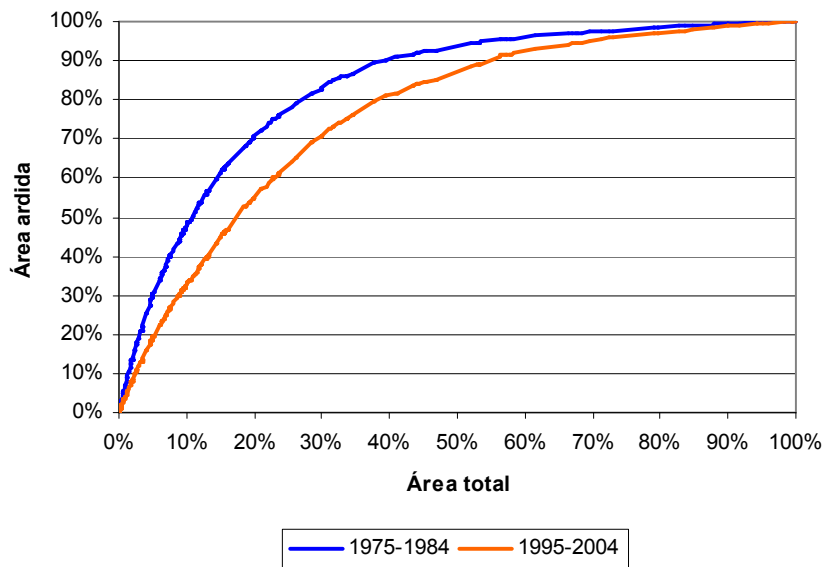


Figura 5.31 – Curvas de predição para os decênios 1975-1984 e 1995-2004 sobre modelação com os anos 1985-1994

As curvas de predição mais irregulares – e mais próximas – são as que se conseguem com base no modelo que integra no seu cálculo as áreas ardidas de 1995 a 2004. A diferença preditiva entre os decênios 1975-1984 e 1985-1994 é pequena, e a menor regularidade das curvas, quando comparadas com as de outros modelos, poderá sugerir que a relação entre as áreas ardidas de 1995 a 2004 e as variáveis que o modelo integra não é tão sólida (fig. 5.32).

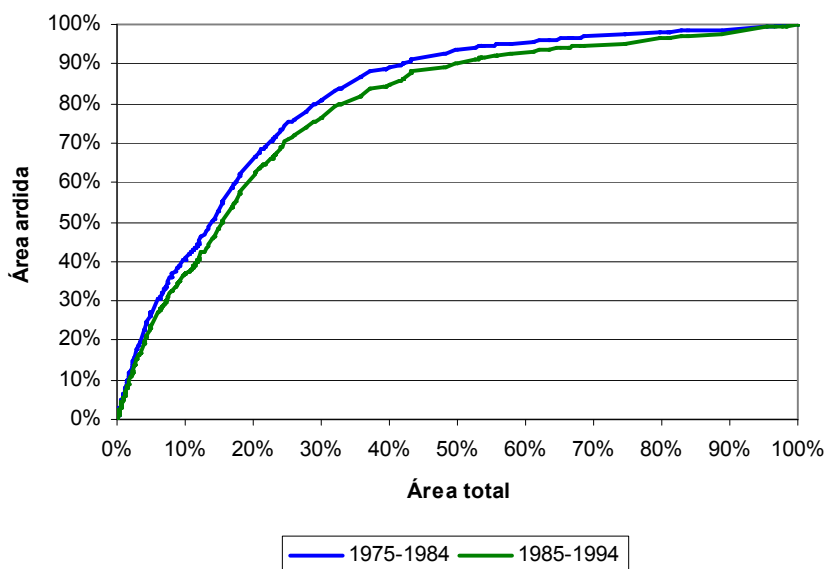


Figura 5.32 – Curvas de predição para os decênios 1975-1984 e 1985-1994 sobre modelação com os anos 1995-2004

Na figura 5.33 apresenta-se a curva de predição traçada sobre um modelo que integra 20 anos de áreas ardidas, entre 1975 e 1994, o que permite fazer validação independente com apenas um bloco de dez anos.

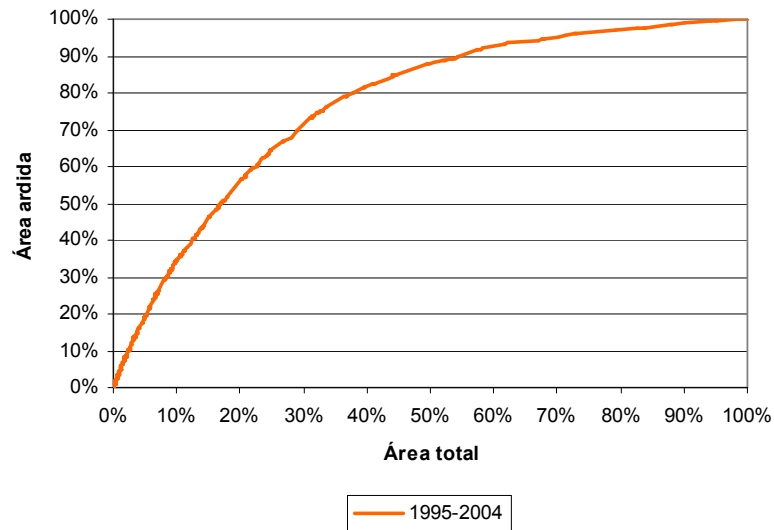


Figura 5.33 – Curva de predição para o decênio 1995-2004 sobre modelação com os anos 1975-1994

Por último, a figura 5.34 contém a curva de predição obtida para o decênio 1975-1984 sobre um modelo de vinte anos (1985-2004). Visualmente, por comparação com as anteriores curvas, esta apresenta-se como a que exhibe melhor comportamento preditivo, o que se confirma com o cálculo das áreas abaixo da curva (tabela 5.24).

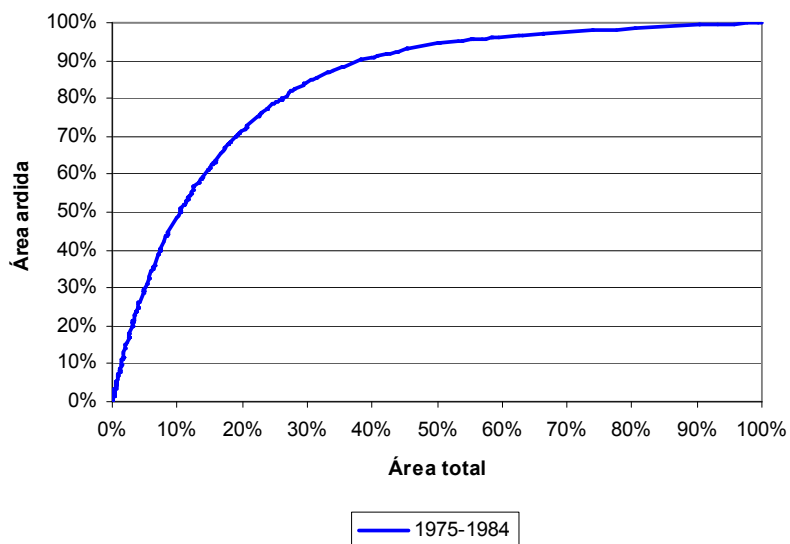


Figura 5.34 – Curva de predição para o decênio 1975-1984 sobre modelação com os anos 1985-2004

A tabela 5.24 apresenta as áreas abaixo da curva para as curvas de predição das séries estatísticas modeladas. O bloco de modelação 1985-2004 é aquele cuja capacidade de predição é melhor, mas para o passado. Com efeito, para a série estatística total disponível – deixando de fora 2005 e 2006 como antes se descreveu e procurando validar sempre com múltiplos de 10 anos -, o único bloco de validação com o qual se pode testar a capacidade preditiva do bloco 1985-2004 é 1975-1984.

Este modelo é particularmente eficaz na predição das áreas ardidas do passado, que não entram na modelação e portanto constituem validação independente. O melhor bloco de validação com capacidade preditiva para o futuro é o bloco 1975-1984, mas apenas para uma validação realizada com o intervalo 1985-1994.

Globalmente, aplicando o maior número de anos na modelação e, ainda assim, permitindo validação independente com 10 anos, é o bloco 1975-1994 que melhor justifica as áreas ardidas “futuras”, razão que justifica a sua adopção como bloco de referência para todos os cálculos desenvolvidos neste trabalho.

Tabela 5.24 – Áreas abaixo da curva (A.A.C.), em percentagem, para as curvas de predição das séries estatísticas modeladas.

Anos de validação		'75-'84	'85-'94	'95-'04
Anos de modelação	'75-'84	x	79,65 %	76,07 %
	'85-'94	83,40 %	x	76,47 %
	'95-'04	81,57 %	78,74 %	x
	'75-'94	x	x	76,87 %
	'85-'04	83,75 %	x	x

Assim, e pelo exposto, muito embora o bloco 1975-1994 não apresente a melhor taxa de sucesso e não tenha a melhor capacidade preditiva de entre todas as combinações possíveis com três decénios, é o bloco que se considera mais sólido para aplicação neste trabalho ao integrar 20 anos de cartografia de incêndios florestais e ao permitir uma validação independente com 10 anos, requisito essencial para se demonstrar – ou refutar – a aplicabilidade do modelo proposto.

5.4. Discussão dos resultados e classificação da susceptibilidade

Realizados todos os ensaios com o bloco temporal de modelação 1975-1994, conclui-se que adicionar complexidade ao modelo de avaliação da susceptibilidade não é garantia de obtenção de melhores resultados. Como se verificou, a qualidade preditiva do modelo (assim como o seu sucesso) não aumenta de forma consistente com o número de variáveis utilizadas (tabelas 5.25 e 5.26), ainda que, tradicionalmente, elas se considerem válidas nos estudos de

susceptibilidade. Verifica-se, também, que as formas mais simples de modelação, com poucas variáveis de forte correlação, têm uma relação custo/benefício mais vantajosa.

Tabela 5.25 – Taxas de sucesso para as várias combinações de variáveis. A negrito, as taxas mais elevadas.

Área	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
CDP	64,12 %	85,46 %	90,87 %	95,77 %	97,83 %	99,00 %	99,97 %	100 %	100 %
ACDP	59,47 %	81,72 %	90,42 %	95,57 %	97,42 %	98,88 %	99,73 %	99,97 %	99,99 %
ACDPR	55,76 %	79,66 %	88,84 %	94,06 %	96,35 %	98,26 %	99,52 %	99,82 %	99,98 %
ACDPRT	55,59 %	79,12 %	88,60 %	93,55 %	95,73 %	97,44 %	98,99 %	99,77 %	99,97 %
CD	36,39 %	60,07 %	75,92 %	84,83 %	89,21 %	92,62 %	94,96 %	97,84 %	99,00 %
ACD	37,51 %	62,38 %	76,24 %	84,78 %	89,59 %	93,36 %	95,77 %	97,69 %	99,27 %
ACDR	36,90 %	62,25 %	77,50 %	85,22 %	90,00 %	93,25 %	95,50 %	97,36 %	99,00 %
ACDRT	36,78 %	62,47 %	78,36 %	85,75 %	90,19 %	93,25 %	95,09 %	97,01 %	98,82 %
CDPT'	62,47 %	83,31 %	90,71 %	93,71 %	95,92 %	97,92 %	99,37 %	99,65 %	100 %
CDPR'	62,40 %	83,27 %	90,59 %	94,33 %	96,65 %	98,62 %	99,27 %	99,98 %	100 %
CDPT'R'	60,87 %	80,78 %	89,26 %	93,16 %	94,56 %	96,02 %	98,04 %	99,65 %	100 %

Tabela 5.26 – Taxas de predição para as várias combinações de variáveis. A negrito, as taxas mais elevadas.

Área	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
CDP	34,52 %	56,36 %	71,31 %	81,77 %	87,87 %	92,68 %	95,02 %	97,11 %	99,79 %
ACDP	33,91 %	56,31 %	71,65 %	82,08 %	88,41 %	92,53 %	95,40 %	97,55 %	99,23 %
ACDPR	33,37 %	55,65 %	71,14 %	80,63 %	87,06 %	92,21 %	95,42 %	97,61 %	99,32 %
ACDPRT	33,08 %	54,13 %	69,11 %	79,06 %	85,55 %	90,51 %	94,22 %	97,00 %	99,06 %
CD	30,48 %	53,29 %	70,12 %	80,15 %	87,04 %	92,39 %	94,74 %	96,96 %	98,81 %
ACD	31,04 %	53,99 %	70,36 %	81,01 %	87,81 %	92,25 %	95,24 %	97,50 %	99,22 %
ACDR	30,05 %	53,10 %	69,35 %	79,53 %	86,35 %	92,02 %	95,28 %	97,57 %	99,30 %
ACDRT	29,25 %	51,68 %	67,61 %	77,83 %	84,56 %	90,23 %	94,02 %	96,89 %	99,02 %
CDPT'	33,89 %	54,64 %	70,59 %	79,67 %	86,76 %	91,08 %	94,07 %	96,65 %	98,65 %
CDPR'	33,79 %	54,66 %	69,23 %	78,15 %	85,68 %	90,20 %	94,28 %	96,96 %	98,80 %
CDPT'R'	33,30 %	53,02 %	66,60 %	76,69 %	84,22 %	88,82 %	93,86 %	96,91 %	98,85 %

A dupla integração da informação histórica reforça os resultados do modelo e, assim, julga-se relevante manter essa presença dupla. Surge como interessante o facto de a subtracção da probabilidade ao modelo não alterar de forma significativa a sua capacidade preditiva. É facilmente justificável que, sem essa variável, as curvas de sucesso piorem, na medida em que se deixam de considerar, directamente, as áreas ardidas já conhecidas. Mas sem essa variável, o que se observa é que o modelo explica quase de igual modo o que ardeu no passado quanto o que arderia no "futuro". Tal facto permite avançar a ideia de que a favorabilidade das unidades consideradas se manteve razoavelmente inalterada entre o bloco de modelação e o bloco de predição. Isto equivale a dizer que os factores de predisposição ao fogo florestal considerados (ocupação do solo e declive) condicionaram de modo equivalente as áreas ardidas verificadas entre 1975 e 1994, e 1995 e 2004.

Com base nos resultados dos ensaios realizados, adopta-se como referência para este estudo a combinação que pareceu mais sólida e equilibrada, tanto nos resultados obtidos quanto no esforço necessário para obter e processar a informação de base, o modelo **CDP** (Ocupação do solo * declive * probabilidade). Este modelo tem a melhor área abaixo da curva (a.a.c.) para a curva de sucesso e, embora não seja a melhor a.a.c. para a curva de predição, até aos 20%

do território integra mais área ardida do que qualquer dos outros modelos (tabela 5.27, ver tabela 5.26).

Tabela 5.27 – Áreas abaixo da curva para sucesso e predição das combinações estudadas.

	GDP	ACDP	ACDPR	ACDPRT	CD	ACD	ACDR	ACDRT	CDPT	CDPR	CDPTR
Sucesso	89,04%	87,87%	86,79%	86,47%	78,29%	79,08%	79,07%	79,15%	87,90%	87,84%	86,73%
Predição	76,87%	77,06%	76,60%	75,50%	75,61%	76,05%	75,57%	74,39%	75,87%	75,71%	74,62%

Ao adoptar este modelo como referência, parte-se do pressuposto que, para a realidade portuguesa, a susceptibilidade aos incêndios florestais é, no essencial, determinada pelo tipo de combustíveis, declive subjacente e padrão de recorrência. Trata-se de uma observação muito ligada às características do fogo em Portugal continental, e não pode generalizar-se para outros territórios em que o fogo tenha causalidade e características diferentes.

Inclusivamente, em Portugal continental poderá ser necessário, com o passar dos anos, ajustar o modelo, caso este comece a apresentar taxas de sucesso e predição consistentemente inferiores, e, bem assim, partindo do que se observou com a retirada da variável probabilidade, verificar se as curvas de sucesso e de predição registam diferenças progressivamente maiores: isso poderá significar que a favorabilidade se alterou, obrigando a rever os cálculos.

Deve também notar-se que a aplicação deste modelo não é indiferente à escala de análise, admitindo-se que, a outras escalas, outras variáveis poderiam mostrar-se vantajosas ou mesmo necessárias para manter as taxas preditivas aqui verificadas.

Estando definido o modelo de referência, a figura 5.35 apresenta as respectivas curvas de sucesso e predição, bem como as classes de susceptibilidade.

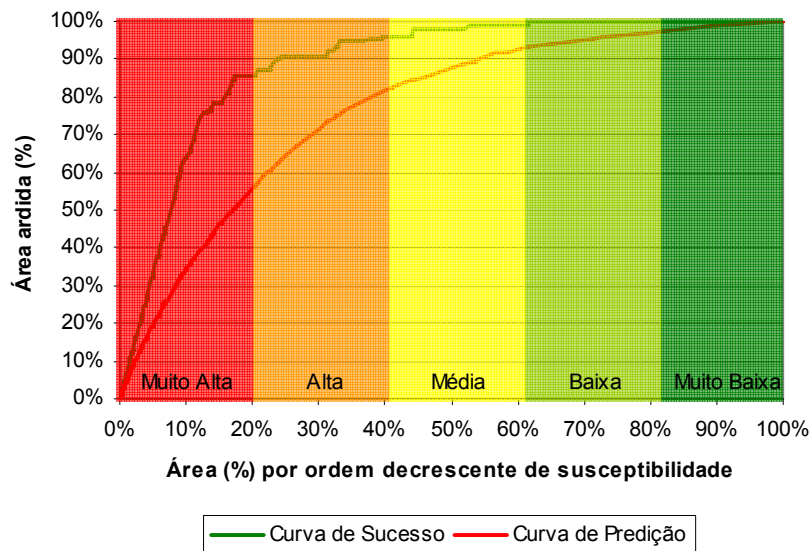


Figura 5.35 – Curva de sucesso para a série 1975-1994 e curva de predição para a série 1995-2004. As cores assinalam as classes de susceptibilidade definidas com base em quintis, cuja expressão espacial está expressa na figura 5.36

A curva de sucesso do mapa de susceptibilidade demonstra que, para as variáveis utilizadas, com apenas 10% da área classificada como mais susceptível se conseguem justificar mais de 64% dos pixels ardidos. Quando se consideram os 24% da área total classificada como mais susceptível, verifica-se que ela integra mais de 90% da área ardida no período 1975-1994. A curva de predição apresenta, como seria de esperar, resultados menos bons do que os da curva de sucesso. Apesar disso, verifica-se que 50% da nova área ardida está constringida aos 17% da área classificada como mais susceptível pelo modelo preditivo. Adicionalmente, alargando a área classificada como mais susceptível para 30%, constata-se que ficam explicadas 71% das novas áreas ardidas. A interpretação preditiva destes valores permite concluir que, por exemplo, num horizonte temporal não definido, 71% das futuras áreas ardidas vão ocorrer na área correspondente aos 30% do território nacional classificada como mais susceptível pelo modelo preditivo.

A curva de predição para a série 1995-2004 sobre o mapa de susceptibilidade para 1975-1994 apresenta-se muito regular, sem quebras expressivas que facilitem classificações baseadas na variação da capacidade preditiva do modelo. Desse modo, uma classificação objectiva e puramente matemática parece adequada. É o caso da classificação baseada nos quantis que, remetendo para cada classe o mesmo número de observações, é neutra. Assim, o mapa de susceptibilidade obtido por multiplicação dos scores de favorabilidade das três variáveis foi reclassificado em quintis. O universo de valores do modelo foi classificado de modo a obter cinco classes com aproximadamente 20% das observações, ressalvando que unidades matriciais com o mesmo valor não pertençam a classes diferentes. Para evitar que tal

aconteça, em algumas classes existem mais unidades matriciais em detrimento de outras, pese embora o desvio face aos 20% seja pequeno (tabela 5.28).

A opção por quintis como método de classificação prende-se, ainda, com o que está legalmente previsto (Decreto-Lei n.º 124/2006, de 28 de Junho) e com o que tradicionalmente se utiliza nos mapas de susceptibilidade aos incêndios florestais: cinco classes com a denominação qualitativa de "muito baixa", "baixa", "média", "alta" e "muito alta" (figura 5.30).

A tabela 5.28 apresenta as capacidades preditivas de cada classe de susceptibilidade. A primeira classe de susceptibilidade, denominada de "muito alta", apresenta uma capacidade preditiva de 52%, i.e., nos 20% do território nacional susceptível que essa classe enquadra estão contempladas 52% das áreas ardidas no bloco de validação (1995-2004). Elevando para 40% a área nacional enquadrada pelo modelo (classes de susceptibilidade alto e muito alta), sobe para 80% a capacidade preditiva combinada. Deste modo, assume-se que, num horizonte temporal com limite não definido, 80% das futuras áreas ardidas vão ocorrer nas classes de susceptibilidade alta ou muito alta.

Tabela 5.28 – Área e valor preditivo das classes de susceptibilidade

Classe de Susceptibilidade	Área	Valor preditivo
	(n.º de pixeis, pixel=80m)	
Muito Baixa	2.783.096	0,03
Baixa	2.780.358	0,05
Média	2.758.308	0,12
Alta	2.634.032	0,28
Muito Alta	2.401.267	0,52

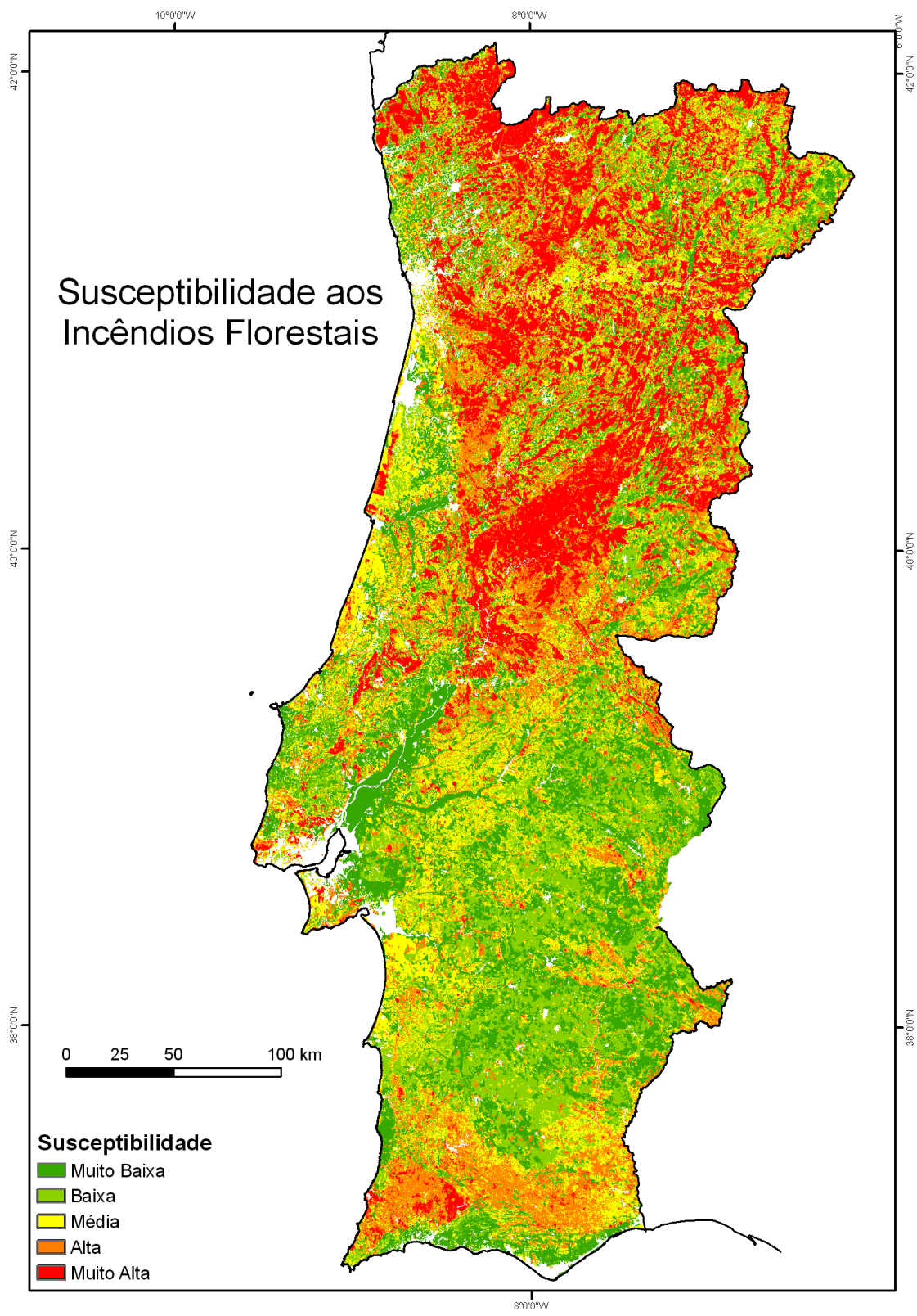


Figura 5.36 – Susceptibilidade aos incêndios florestais em Portugal Continental

5.5. Potencialidades e limitações da metodologia utilizada

A metodologia descrita neste capítulo apresenta potencialidades e limitações que devem ser conhecidas para uma aplicação correcta, prevenindo utilizações para além do seu objectivo e âmbito.

Quando aplicada como aqui se propõe, é uma metodologia expedita que recorre a variáveis cuja informação se obtém de forma gratuita e por via electrónica. Declives (derivados de modelos digitais de elevação), ocupação do solo e áreas ardidas são informações que se encontram disponíveis para transferência a partir da internet, disponibilizadas por entidades oficiais. Os cálculos realizados são razoavelmente directos e de pouca complexidade, logo acessíveis a um vasto leque de formações profissionais.

Deve, porém, ter-se em atenção em que condições se pode ou não aplicar este método com as variáveis que neste trabalho se descrevem. Uma das limitações a considerar é a escala de aplicação do mapa de susceptibilidade. A escala deve obedecer às variáveis de entrada do modelo, particularmente aos declives e à ocupação do solo. Com um pixel de 80 metros (a que corresponde uma área de 6400m² ou 0,64 hectares), e uma ocupação do solo trabalhada para a escala 1:100.000 não é correcto fazer análises locais intra-municipais, como as que se poderiam fazer à escala 1:10.000 ou mesmo 1:25.000. Os resultados desta metodologia, os mapas de susceptibilidade ou de perigosidade (quando aplicados cenários), são válidos para análises regionais e podem aplicar-se às unidades administrativas distrito ou NUTSIII.

Por outro lado, deve considerar-se que as conclusões a que se chegou neste trabalho em matéria de favorabilidade e capacidade preditiva são válidas apenas para a série estatística com que se trabalhou e podem não se conseguir reproduzir com séries estatísticas mais pequenas ou, quando de igual amplitude, relativas a outros intervalos anuais.

A ocupação do solo é a variável cuja volatilidade pode ser maior. Não se esperam grandes alterações nos declives, mas a ocupação do solo pode sofrer modificações muito rápidas de ano para ano. O ritmo de actualização das cartografias de ocupação do solo não acompanha a rapidez potencial dessas mudanças e, por essa razão, podem modelar-se favorabilidades ao incêndio florestal que não encontram reflexo no território. Os exercícios realizados neste capítulo demonstram que a ocupação do solo não potenciou grandes desajustes aos modelos, mas deve observar-se a possibilidade de que tal venha a acontecer no futuro. Será da máxima relevância ir verificando as relações de favorabilidade à medida que novas cartografias de ocupação do solo são disponibilizadas. Bastará que tenha ocorrido arborização desde a última cartografia de ocupação do solo para que a favorabilidade considerada no modelo seja desajustada, classificando com uma susceptibilidade inferior unidades matriciais que correspondem, no terreno, a situações mais susceptíveis.

Há também limitações a considerar quanto à cartografia de áreas ardidas que, neste modelo, servem para o cálculo das favorabilidades e definição das probabilidades. Tratando-se de cartografia realizada por processos automáticos, sem validação no campo, será inevitável que existam unidades matriciais cartografadas por excesso em alguns locais, noutros por defeito. Mesmo considerando que estes erros se anulem entre si, deve manter-se presente esta noção, de que nem todas as áreas efectivamente ardidas em Portugal continental estarão representadas, e que algumas que se supõe terem ardido podem, em alguns casos, resultar de erros de interpretação ou generalização, em face das unidades mínimas cartografadas.

Por último, deve atender-se a que um modelo é uma abstracção da realidade e que, procurando reduzir a incerteza face ao desconhecimento da realidade no momento, não consegue produzir respostas com total precisão. Haverá sempre alguma incerteza associada ao modelo e, conseqüentemente, margem para erro.

CAPÍTULO 6. AVALIAÇÃO DA PERIGOSIDADE

6.1. Avaliar a perigosidade quantitativamente

A avaliação da perigosidade de incêndio florestal produz um mapa em tudo similar ao mapa de susceptibilidade, com a diferença de que tem um cenário subjacente para o qual se podem determinar as probabilidades de envolvimento de cada unidade de terreno matricial num incêndio florestal. Em 2003 arderam, de acordo com dados oficiais, 425.726 hectares, o pior ano registado. A partir do mapa de susceptibilidade apresentado e da determinação das taxas de predição para cada classe, pode partir-se para um mapa de perigosidade tendo por base um cenário similar, determinando-se assim qual a probabilidade de que cada pixel – individualmente – venha a ser afectado por um incêndio florestal.

A determinação das probabilidades para cada pixel pertencente a uma classe de susceptibilidade particular assenta na aplicação da fórmula (Zêzere et al, 2004):

$$P = 1 - \left(1 - \frac{aaf}{at} \times vpred \right) \quad [6.1]$$

Em que *aaf* é a área total afectada (i.e., a área ardida do cenário assumido), *at* é a área total da classe de susceptibilidade e *vpred* é o valor preditivo da mesma.

Considere-se um cenário em que a área ardida total em Portugal continental é de 500 mil hectares, ultrapassando o pior ano registado até ao momento. Qual seria a probabilidade de que cada pixel fosse afectado por um incêndio? Essa probabilidade apresenta-se na tabela 6.1.

Tabela 6.1 – Perigosidade de incêndio florestal em Portugal Continental, para um cenário de 500 mil hectares de área ardida total num ano.

Classe de Susceptibilidade	Área (n.º de pixeis, pixel=80m)	Valor preditivo	Probabilidade por pixel
Muito Baixa	2.783.096	0,03	0,85 %
Baixa	2.780.358	0,05	1,40 %
Média	2.758.308	0,12	3,38 %
Alta	2.634.032	0,28	8,42 %
Muito Alta	2.401.267	0,52	16,81 %

No cenário apresentado, a probabilidade de que qualquer pixel da classe de susceptibilidade muito baixa seja afectado é muito reduzida, abaixo de 1%. Não sendo seguro, em probabilidades, dizer-se que a possibilidade de ocorrência seja absolutamente nula, no cenário presente seria muito improvável que essa classe fosse afectada.

A classe de susceptibilidade alta apresenta uma probabilidade de 8,42% e, note-se, a probabilidade de que cada pixel da classe de susceptibilidade muito alta seja afectado é quase exactamente o dobro daquela da classe imediatamente abaixo. Para a classe mais susceptível, cada pixel tem 16,8% de probabilidade de ser afectado por um incêndio. O valor preditivo combinado das duas classes de susceptibilidade mais elevada atinge os 80%, sendo que a área abrangida pelas duas classes corresponde apenas a 37,7% do total de Portugal Continental. Por outras palavras, a fracção das áreas queimadas fora das duas classes de susceptibilidade máxima, correspondente a 63,3% do território nacional, estará limitada a 20% do total das futuras áreas ardidas.

Dentro do mesmo cenário traçado, pode revelar-se útil saber qual é a probabilidade de que uma determinada área seja afectada, quando inserida nas várias classes de susceptibilidade. Considere-se uma mata pública de 100 hectares. Dependendo da classe de susceptibilidade em que esta mata se insira, qual seria a probabilidade de que uma parte da mata seja afectada por um incêndio num cenário em que, num dado ano, ardessem 500 mil hectares? É possível responder a essa questão aplicando a fórmula (Zêzere et al., 2004):

$$P' = 1 - \left(1 - \frac{aaf}{at} \times vpred \right)^{aer} \quad [6.2]$$

em tudo similar a [6.1] com excepção para a potência *aer* que designa a área do elemento em risco.

No exemplo proposto, para o cenário de área ardida total de 500 mil hectares, considere-se a mata pública com 100 hectares (157 pixels), totalmente inserida na classe de susceptibilidade mais elevada. A probabilidade de que uma parte desta mata venha a arder é praticamente 100%. Mesmo na classe de susceptibilidade mais baixa, a probabilidade continuaria elevada, nos 74%. Pode dizer-se que num cenário de área ardida anual de 500 mil hectares, as probabilidades de uma mata extensa ser afectada por um incêndio são muito elevadas, qualquer que seja a classe de susceptibilidade. Tratando-se de um cenário do qual Portugal esteve já muito próximo (2003 e 2005), e face ao valor directo e indirecto da floresta portuguesa, trata-se de um risco que se pode considerar inaceitável.

Considere-se um cenário menos severo, similar à situação de 2006, em que a área ardida total foi de 69.752,78 hectares. Neste cenário as probabilidades de que qualquer pixel, individualmente, seja percorrido por incêndio, são menores (tabela 6.2). A mesma mata pública de 100 hectares utilizada anteriormente como exemplo, teria neste cenário apenas 17% de probabilidade de ser parcialmente afectada, na classe mais baixa, e 98% na classe de susceptibilidade mais elevada.

Tabela 6.2 – Perigosidade de incêndio florestal em Portugal Continental, para um cenário de 69.752,78 hectares de área ardida total num ano.

Classe de Susceptibilidade	Área (n.º de pixeis, pixel=80m)	Valor preditivo	Probabilidade por pixel
Muito Baixa	2.783.096	0,03	0,12 %
Baixa	2.780.358	0,05	0,20 %
Média	2.758.308	0,12	0,47 %
Alta	2.634.032	0,28	1,17 %
Muito Alta	2.401.267	0,52	2,34 %

6.2. Aplicação prática da quantificação da perigosidade

Quantificar a perigosidade, enquanto exercício isolado, reveste-se de fraco interesse, senão puramente académico. Poder definir com exactidão a probabilidade de que cada pixel ou classe de perigosidade sejam afectados por um incêndio é algo que ganha relevância considerando que o objectivo desta quantificação é auxiliar o processo de decisão e preparar melhor o território para os piores cenários possíveis.

Com efeito, na avaliação de perigosidade de incêndio florestal para Portugal continental, área de estudo nesta dissertação, deve procurar entender-se quais são os piores cenário que se podem colocar, e de que modo instrumentos como a cartografia de risco podem ser úteis para os evitar ou gerir, caso eventualmente se concretizem.

A este propósito, Bachmann (2001,p.25) refere que, «(...) "worst-case" scenarios are constructed to study events that produce the most unwanted consequences. Other scenarios are constructed to represent "every day" events(...)». No caso português, poder-se-á considerar como pior cenário possível, um em que a área ardida total, num determinado ano, seja igual ou superior ao máximo registado em 2003, cerca de 425 mil hectares. A tabela 6.1 apresentou as probabilidades associadas a um cenário ainda pior, com 500 mil hectares afectados. Um cenário intermédio, concordante com o que se encontra actualmente definido como meta nacional, de áreas ardidas anuais inferiores a 100 mil hectares, pode e deve ser equacionado, em sede de prevenção e combate, enquanto seja essa a meta traçada para o país.

A ligação entre os cenários e a aplicação no terreno pode fazer-se de diversas formas. No domínio da prevenção e vigilância, as probabilidades calculadas para cada cenário podem servir como coeficientes para determinar:

- o número de hectares em que é necessário gerir combustíveis, utilizando as diferentes técnicas disponíveis (como os mosaicos de parcelas de gestão de combustível, a aplicação do fogo controlado, entre outras);
- o dimensionamento das redes de faixas de gestão de combustíveis;
- a necessidade de criar, manter ou redimensionar a rede viária florestal;
- o número de localização dos pontos de água necessários ao abastecimento de viaturas e aeronaves;
- o dimensionamento da gestão de combustíveis a realizar na envolvência do edificado e em áreas de interface com perímetros florestais (fig. 6.1);
- o dimensionamento e localização da rede de postos de vigia e frequência de passagem em trajectos realizados por equipas de vigilância.

Também na supressão dos incêndios é possível utilizar os cenários traçados e respectivas probabilidades, por exemplo no dimensionamento e locais de pré-posicionamento das forças no terreno. Se os decisores pretenderem preparar uma resposta ao pior cenário possível, terão interesse em colocar um número adicional de meios em pré-posicionamento nos locais mais susceptíveis. As probabilidades associadas ao pior cenário, utilizadas como coeficientes, podem auxiliar a determinar o número de elementos e outros meios envolvidos. É inclusivamente possível cruzar cenários: ao decisor pode dar-se a oportunidade de aplicar medidas especiais para prevenir ou responder ao pior cenário possível nos locais de susceptibilidade máxima, aplicando nos restantes um dimensionamento de forças relativo a um cenário menos gravoso.

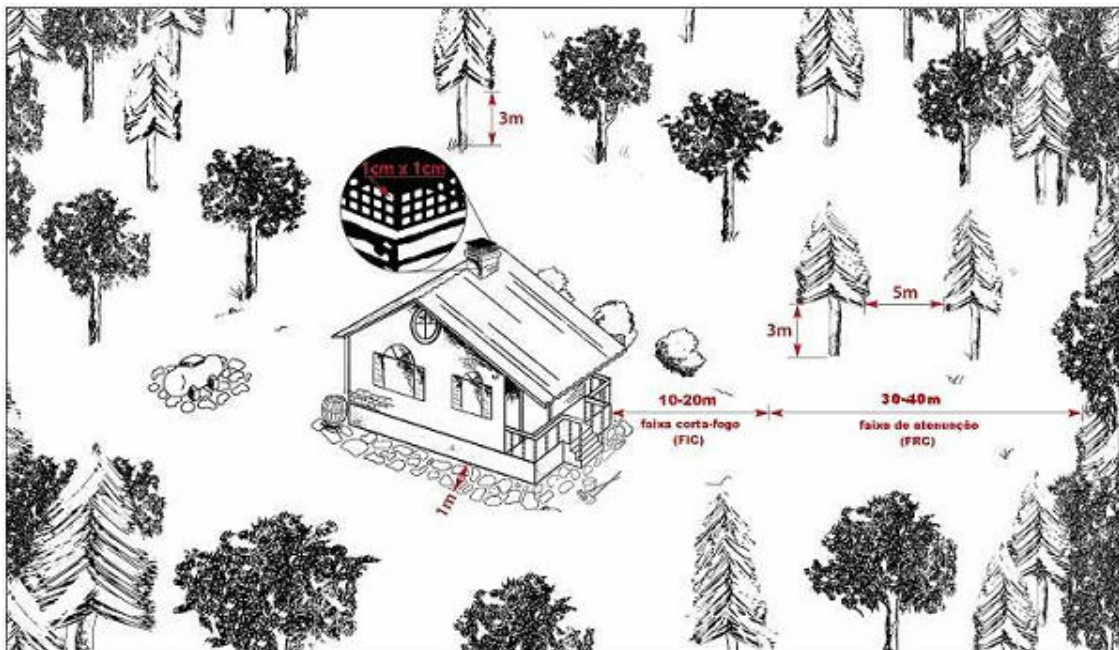


Figura 6.1 – Gestão de combustíveis na envolvência das habitações (Fonte: MADRP, 2005)

CAPÍTULO 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos neste trabalho demonstram que é possível avaliar a perigosidade de incêndio florestal com recurso a poucas variáveis como o histórico de incêndios, o declive e a ocupação do solo. A relação que o fogo tem com a ocupação do solo e o declive permite conhecer os locais onde a susceptibilidade é superior, a que se junta o histórico de incêndios para a melhor definição de padrões e diferenciação de locais onde a recorrência surge como um problema. Esse facto é tanto mais relevante quanto os incêndios florestais portugueses têm uma causalidade maioritariamente relacionada com actos negligentes e/ou dolosos. Em condições equivalentes, territórios com a mesma ocupação do solo e declive teriam a mesma susceptibilidade. O padrão de ocorrência, por estar associado à causalidade, vem diferenciar o território susceptível, introduzindo indirectamente factores que de outro modo seriam mais complicados trabalhar: o comportamento humano e aspectos sociais. Bachmann (2001,p.1) refere-o claramente: «(...) To predict where the next spark will ignite a fire is very difficult because in many cases this involves the consideration of hardly quantifiable socio-economic factors such as land use code, arson, and so on».

As vantagens de implementação de um modelo simplificado com recurso a apenas três variáveis passam pela rapidez da actualização periódica e facilidade processual. Apenas o histórico tem alterações anuais, e a ocupação do solo é uma cartografia com actualizações periódicas. Os declives em espaços susceptíveis (áreas rurais) são razoavelmente estáveis. Processualmente, implementar e actualizar o modelo é uma tarefa que recorre a temas ou layers que se podem obter de forma gratuita e rápida. A Autoridade Florestal Nacional fornece gratuitamente a cobertura digital de áreas ardidas, obtida com interpretação de imagens Landsat. Por outro lado, é possível obter coberturas de ocupação do solo a partir da internet como é o caso do Corine Land Cover, e existem igualmente modelos digitais de elevação com qualidade, a partir dos quais se podem derivar os declives.

Verificando-se que é rápido e menos complexo implementar modelos como o aqui descrito, começam a existir menos razões para não se fazer uma avaliação de perigosidade, instrumento de base para acções de mitigação de risco, tais como acções de prevenção – intervenção directa no território como a criação de faixas de gestão de combustíveis – e apoio ao pré-posicionamento de meios de supressão durante as fases mais favoráveis à ocorrência de incêndios florestais.

Não obstante os resultados favoráveis, com um bom compromisso entre o número de variáveis e a qualidade do produto final, devidamente validado, existem melhoramentos que podem aplicar-se ao método utilizado na informação relativa à ocupação do solo, usando

dados mais actualizados que corrijam deficiências que uma cobertura certamente terá, sete anos depois da sua realização.

Fechando este trabalho, recuperam-se as questões inicialmente formuladas.

7.1 Que floresta tem Portugal continental?

A floresta em Portugal continental, como figura *de facto*, é razoavelmente recente. Com povoamentos de grande peso em resinosas, é dominada por pinheiro-bravo, eucalipto e sobreiro. Trata-se de uma floresta em que os povoamentos têm ganho expressão face aos matos, e em que os matos ardem mais que os povoamentos. O avanço dos povoamentos face aos matos resulta numa floresta em que existe mais valor, e em que maior é o valor que se pode perder. Mas é também uma floresta maioritariamente privada (84,2%) (DGRF, 2007, p.19), pelo que o desenvolvimento do sector florestal português, precisamente com base na iniciativa privada, necessita de melhor percepção e consequente redução de riscos (op.cit., p23).

7.2 Quais são os problemas que os incêndios florestais colocam a Portugal?

A perda de valor, não apenas o económico mas também o de conservação, é porventura um dos maiores problemas que os incêndios causam a Portugal (conforme descrito no capítulo 2). Às perdas de rendimento, juntam-se outros problemas como a erosão e as ameaças à segurança que dela resultam. Dos incêndios no verão podem resultar escoadas de detritos e quedas de blocos que não só causam prejuízos materiais como podem também resultar em mortes (Cannon e Reneau, 2000; Conedera, 2003). A erosão das vertentes tem múltiplos impactes, na qualidade da água, na geodiversidade, na instabilização de materiais e consequente mobilização, que mais uma vez resulta, eventualmente, em prejuízos e danos pessoais. Outros problemas podem equacionar-se, como as emissões de poluentes para a atmosfera e a dificuldade acrescida em cumprir metas impostas por protocolos de que Portugal é subscritor (DGRF, 2007; Pereira da Silva et al., 2006), e os efeitos sobre a saúde das populações em função da inalação de fumo.

Estes problemas não são exclusivos de Portugal mas, como se demonstrou, a tendência é ainda de aumento das áreas ardidadas não obstante os (comparativamente) bons resultados em 2006, 2007 e 2008 (segundo dados provisórios de 15 de Setembro) (AFN, 2008), pelo que estes problemas são bastante relevantes dada a dimensão do país.

7.3 É aplicável aos incêndios florestais um quadro conceptual uniforme de risco?

No capítulo 3 foi apresentado o quadro conceptual aplicado neste trabalho, quadro que orienta estudos em outras áreas como os movimentos de massa, a hidrologia e os sismos, entre outros. Com o desenvolvimento metodológico de um modelo que aplica esse mesmo quadro conceptual, no capítulo 5, julga-se ter demonstrado que aos incêndios florestais se pode aplicar com sucesso um quadro conceptual que, por ser comum a outros domínios de estudo, confere uniformidade ao produto final e contribui para um discurso claro e menos favorável a interpretações incorrectas do que cada produto é e que respostas fornece (nomeadamente, o que constitui susceptibilidade, perigosidade e risco).

7.4 Que metodologias e abordagens são comuns na gestão de risco de incêndio florestal?

No capítulo 4 apresentaram-se as abordagens mais comuns à gestão de risco de incêndio florestal. Verifica-se a existência, generalizada, de quadros conceptuais em que as noções de risco e perigosidade são usadas de forma comutativa, ou mais ainda, em que a susceptibilidade é directamente interpretada como se de risco se tratasse, embora sem a inclusão das variáveis indispensáveis para que seja correcto fazê-lo.

7.5 É possível avaliar a susceptibilidade de incêndio florestal em Portugal continental com um modelo simples?

Os ensaios de validação do capítulo 5 e os resultados que estes permitiram obter confirmam o pressuposto de que a susceptibilidade pode avaliar-se com um modelo simples. Neste trabalho, com um modelo multiplicativo simples e uma determinação de favorabilidade de pouca complexidade matemática, conseguiram-se resultados animadores. Numa extensão territorial de apenas 38% e para um horizonte temporal indefinido, demonstrou-se ser possível enquadrar 80% da área ardida futura com uma resolução espacial de 80 metros por pixel. A resposta é, assim, afirmativa.

7.6 Que conjunto mínimo de variáveis se deve utilizar para modelar susceptibilidade?

Dependendo dos modelos utilizados (capítulo 4) são mais ou menos as variáveis utilizadas, sendo frequente a utilização de parâmetros distintos, alguns de carácter físico, como o declive ou ocupação do solo, outros ligados a aspectos humanos como a densidade demográfica. Neste trabalho procurou avaliar-se qual o contributo das variáveis para o sucesso do modelo. De fora ficaram, intencionalmente, as variáveis relacionadas com aspectos sociais, mas

integraram-se variáveis meteorológicas. Demonstrou-se, no capítulo 5, que é suficiente modelar com variáveis de forte correlação espacial, directamente ligadas ao fenómeno: a ocupação do solo, que traduz a existência de combustível para arder, o declive, que condiciona a progressão do incêndio favorecendo-a ou retardando-a, e o histórico, que permite a definição de padrões de recorrência e destaca os locais onde o fogo é comum daqueles onde o fogo resultou de algo fortuito.

7.7 Existe vantagem em integrar muitas variáveis condicionantes?

A integração de muitas variáveis num modelo de susceptibilidade ao incêndio florestal resulta da tentativa de considerar o máximo de factores condicionantes, sabendo-se que para além das condicionantes mais directas, conforme descrito no ponto anterior, outras podem ter influência, como os tempos de intervenção, a dispersão dos núcleos urbanos, a temperatura elevada ou a precipitação, esta de forma dupla, porque em abundância motiva o crescimento de combustíveis e por defeito não reconstitui o teor de humidade. Ainda que no capítulo 6 não se tenham utilizado todas as variáveis possíveis, ficou demonstrado que a adição de variáveis ao modelo não se traduz num ganho assinalável dos respectivos sucesso ou qualidade preditiva. Os ganhos, quando existem, são discretos e não confirmam as fortes correlações que, empiricamente, se dizem existir. Pelo exposto não se comprova a vantagem em integrar muitas variáveis.

7.8 As variáveis meteorológicas são relevantes na modelação da susceptibilidade?

As variáveis meteorológicas, conforme o presente trabalho, não apresentam relevância que justifique a sua introdução no modelo. Numa perspectiva estrutural não adicionam sucesso ou qualidade preditiva relevantes. São variáveis que interessa considerar, sobretudo, numa base diária, como elementos catalizadores, i.e., há de facto uma concentração de área ardida em poucos dias com condições meteorológicas extremas (Lourenço, 2006; Pereira et al., 2006; Trigo et al., 2006), mas tal facto não torna o território mais susceptível, antes potencia a susceptibilidade existente e confere outra dimensão espacial a comportamentos negligentes ou dolosos. Para que a floresta arda espontaneamente é necessária uma temperatura do ar muito superior àquela a que os humanos seriam capazes de sobreviver (Ramos e Ventura, 1992, p.80), mas em sequências de dias com temperaturas do ar elevadas e humidades relativas baixas, em particular com ventos de Leste, é fácil submeter os dispositivos de combate a condições a que não conseguem dar resposta, falhando o sistema montado não apenas pela insuficiência numérica (com quinhentas ocorrências diárias nenhum dispositivo é suficiente) mas também pelo colapso de quem o integra (cansaço, doença súbita, acidentes, falhas mecânicas, etc.). Nos aspectos dinâmicos dos incêndios florestais a meteorologia desempenha, efectivamente um papel importante. No entanto, na modelação para

determinação da susceptibilidade do território, como acima se referiu, as variáveis meteorológicas não se traduzem em valor acrescentado relevante.

7.9. É possível avaliar a perigosidade de incêndio florestal com base em cenários para futuras áreas ardidas?

Um dos propósitos de avaliação de perigosidade é preparar os decisores e as populações para lidar com os piores cenários possíveis, de modo a encontrar estratégias de mitigação de risco, quando este se encontra quantificado, ou pelo menos a intervir no território para modificar a susceptibilidade dos espaços sujeitos aos fenómenos em apreço.

No capítulo 6 verificou-se qual a perigosidade associada a alguns cenários iguais ou próximos a realidades já vividas em Portugal continental. Com um histórico longo que permite reconhecer padrões espaciais e temporais de ocorrência do fogo, é possível avaliar a perigosidade de incêndio florestal para cenários que têm por base futuras áreas ardidas, sem fazer “adivinhação”.

Uma vez obtidas as respostas para as questões que orientaram este trabalho, e sendo certo que a avaliação de perigosidade fornece, desde logo, respostas úteis à gestão de risco, é igualmente certo que a utilidade deste método só será total quando, sobre o resultado agora conseguido, se adicionar a componente de dano potencial. Depois de se conseguir responder onde é mais provável que o fogo ocorra, importa determinar onde existem maiores valores a perder. Só depois de responder a esta questão se pode gerir o risco adequadamente, contribuindo para uma floresta mais resiliente. Só se protege racionalmente aquilo cujo valor se conhece.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Autoridade Florestal Nacional (AFN) (2008) – *Relatório provisório de incêndios florestais* n.º9, de 15 de Setembro, Lisboa.

APIF (2005) – *Plano Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios*, MADRP, Miranda do Corvo.

Bachmann, A.; Allgöwer, B. (1999) – The need for a consistent wildfire risk terminology. *The Joint Fire Science Conference and Workshop*, Boise, Idaho, E.U.A.

Bachmann, A. (2001) – *GIS-based Wildland Fire Risk Analysis*, Dissertation zur Erlangung der naturwissenschaftlichen Doktorwürde, Universität Zürich, Zürich.

Bi, J., Bennett, K. (2003) - Regression Error Characteristic Curves. *Proceedings of the Twentieth International Conference on Machine Learning (ICML-2003)*, Washington DC, 8 p.

Cannon, S., Reneau, S. (2000) – Conditions for generation of fire-related debris flows, Capulin Canyon, New Mexico, *Earth Surface Processes and Landforms*, 25, 1103-1121.

Cardona, O. (2004) – The need for rethinking the concepts of vulnerability and risk from a holistic perspective: A necessary review and criticism for effective risk management, in Bankoff, G., Frerks, G., Hilhorst, D. (eds), *Mapping Vulnerability, Disasters, Development & People*, pp37-51, Earthscan Publishers, London.

Chuevico, E., Congalton, R.G. (1989) – Application of remote sensing and geographic information systems to forest fire hazard mapping, *Remote sensing of the environment*, 29, 147-159.

Chung, C.F., Fabbri, A. (2005) – Systematic procedures of landslide hazard mapping for risk assessment using spatial prediction models. In: Glade, T., Anderson, M.G., Crozier, M.J. (Eds.), *Landslide Hazard and Risk*. Wiley, Chichester, 139–174.

Chung, C. F., Fabbri, A. (1993) – The representation of geoscience information for data integration, *Nonrenewable Resources*, 2 (2), 122–138.

Conedera, M., Peter, L., Marxer, P., Forster, F., Rickenmann, D., Re, L. (2003) – Consequences of forest fires on the hydrogeological response of mountain catchments: a case study of the Riale Buffaga, Ticino, Switzerland, *Earth Surface Processes and Landforms*, 28, 117-129.

Daveau, S., Coelho, C., Costa, V.G. and Carvalho, L. (1977) - *Répartition et rythme des précipitations au Portugal*. Memórias do Centro de Estudos Geográficos, 3, Lisboa.

Decreto-Lei n.º327/80, de 26 de Agosto, Diário da República, I Série, n.º 196 de 26/08/1980.

Decreto Regulamentar n.º55/81, de 18 de Dezembro, Diário da República, I Série, n.º 290 de 18/12/1981.

Decreto-Lei n.º156/2004, de 30 de Junho, Diário da República, I Série, n.º 152-A de 30/06/2004, pp. 3968-3975.

Decreto-Lei n.º124/2006, de 28 de Junho, Diário da República, I Série, n.º 123-A de 28/06/2006, pp. 4586-4599.

Direcção-Geral dos Recursos Florestais (DGRF) (2007) – *Estratégia Nacional para as Florestas*, Resolução do Conselho de Ministros n.º 114/2006, de 15 de Setembro, Lisboa, 219 p.

Direcção de Serviços de Planeamento e Estatística (DSPE) (2001) - *Inventário Florestal Nacional. 3.ª Revisão, 1995-1998. Relatório Final*. Direcção-Geral das Florestas, Lisboa, 234 p.

Fabbri, A., Chung, C. F., Napolitano, P., Remondo, J., and Zêzere, J. L. (2002) - Prediction rate functions of landslide susceptibility applied in the Iberian Peninsula, edited by Brebbia, C. A., *Risk Analysis III*, Series: Management Information Systems, WIT Press, Southampton, Boston, vol. 5, 703–718.

Fernandes, P. (2005) - *Estudo de adaptação para Portugal do Sistema Canadano de Indexação do Perigo de Incêndio*, Relatório para a Agência para a Prevenção de Incêndios, UTAD, Vila Real.

Ferreira de Castro, C., Serra, G., Parola, J., Reis, J., Lourenço, L., Correia, S. (2003) – *Combate a Incêndios Florestais, Manual de Formação Inicial do Bombeiro*, 2ª Ed, Escola Nacional de Bombeiros, Sintra, 93p.

Freire, S., Carrão, H., Caetano, M. (2002) – *Produção de cartografia de risco de incêndio florestal com recurso a imagens de satélite e dados auxiliares*, Projecto Premfire, Lisboa.

IGP (2007) – *Cartografia de Risco de Incêndio Florestal, Relatório do Distrito de Viana do Castelo, versão provisória*, Instituto Geográfico Português, Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, Lisboa. Disponível em <http://scrif.igeo.pt/cartografiacrif/2007/crif07.htm> (última consulta em 16/06/2008).

IGP (2004) – *Cartografia de Risco de Incêndio Florestal, Relatório do Distrito de Viseu, versão provisória*, Lisboa.

ISA (2005) – *Proposta Técnica de Plano Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios*, ISA, Lisboa (www.isa.utl.pt/pndfci).

Liu, H., Li, G. (2005) - Testing Statistical Significance of the Area under a Receiving Operating Characteristics Curve for Repeated Measures Design with Bootstrapping. *Journal of Data Science*, 3, 257-278.

Lourenço, L. (2006) – Geografia dos incêndios florestais em Portugal continental, *in Actes de les jornades sobre terrasses i prevenció de riscos naturals*, Mallorca, 39-62.

Lourenço, L. (2004) – Risco Meteorológico de Incêndio Florestal, *Estudos*, 44, Coimbra, 167-175.

Lourenço, L. (1996) – Risco de Incêndio, *Encontro pedagógico sobre Fogos Florestais*, ASEPIF, 56-61.

Lourenço, L. (1996) – Tendência do índice de risco de incêndio florestal para o dia seguinte – um precioso auxiliar no trabalho do bombeiro, *V Jornadas de Prevenção e Segurança na Floresta de Betão*, Lisboa, 114-123.

Lourenço, L. (1991) – Uma fórmula expedita para determinar o índice meteorológico de risco de eclosão de fogos florestais em Portugal Continental, *Cadernos Científicos sobre Incêndios Florestais*, 2, Coimbra, 3-63.

Macedo, F.W., Sardinha, A.M. (1993) – *Fogos Florestais*, Vol I, 2ª Ed, Publ. Ciência e Vida, Lisboa, 430p.

Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas (MADRP), Conselho Nacional de Reflorestação (2005) – *Orientações estratégicas para a recuperação das áreas aridas em 2003 e 2005*, Lisboa.

Nogueira Pinto, J. (2007) – *António de Oliveira Salazar, O outro retrato*, 4ª ed., Esfera dos Livros, Lisboa.

Pereira, J.M.C.P., Santos, M.T. (2003) - *Áreas Queimadas e Risco de Incêndio em Portugal*. Direcção-Geral das Florestas, Lisboa, 64 p.

Pereira, J.M.C.P., Carreiras, J., Santos, M.T. (2004) – *Cartografia de Risco de Incêndio Florestal em Portugal continental*, Jornada de informação aos órgãos da comunicação social.

Pereira, J.M.C.P., Carreiras, J., Silva, J., Vasconcelos, M. (2006) – Alguns conceitos básicos sobre os fogos rurais em Portugal, *Incêndios Florestais em Portugal, Caracterização, Impactes e Prevenção*, ISAPress, Lisboa, 133-161.

Pereira da Silva, T., Pereira, J., Paúl, J., Santos, M.T., Vasconcelos, M.J. (2006) – Estimativa de emissões atmosféricas originadas por fogos rurais em Portugal, *Silva Lusitana*, 14, Lisboa, 239-263.

Pinho, J.R. (2000) – *Referências para o Planeamento Florestal*, Dissertação para a obtenção do grau de mestre em Planeamento Regional e Urbano, Universidade Técnica de Lisboa.

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

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

Radich, M., Baptista, F. (2005) – Floresta e sociedade: um percurso (1875-2005), in *Silva Lusitana*, 13, Lisboa, 43-157.

Ramos, C., Ventura, J. (1992) – Um índice climático de perigo de incêndio aplicado aos fogos florestais em Portugal, *Finisterra*, XXVII, 53-54, Centro de Estudos Geográficos, Lisboa, 79-93.

Rebelo, F. (1980) – Condições de tempo favoráveis à ocorrência de incêndios florestais. Análise de dados referentes a Julho e Agosto de 1975 na área de Coimbra, *BIBLOS*, LVI, Coimbra, 653-673.

Rego, F. (2001) – *Florestas públicas*, CNEFF/MADRP, Lisboa, 105p.

Reis, E., Melo, P., Andrade, R., Calapez, T. (2003) – *Estatística Aplicada*, Volume 1, 4ª ed., Edições Sílabo, Lisboa, 266p.

Ribeiro, C., Delgado, J.N. (1868) – *Relatório ácerca da arborisação geral do paiz apresentado a Sua Excellencia o Ministro das Obras Publicas*, Typographia da Academia Real das Sciencias, Lisboa.

Ribeiro, O. (1963) – *Portugal, o Mediterrâneo e o Atlântico*, Ed. Sá da Costa, Lisboa.

Ribeiro, O., Lautensach, H., Daveau, S. (1987) – *Geografia de Portugal, Vol. I – A posição geográfica e o território*, Ed. João Sá da Costa, Lisboa (4ª Ed. 1998).

Trigo, R., Pereira, J., Pereira, M., Mota, B., Calado, T., Da Câmara, C., Santo, F. (2006) – Atmospheric conditions associated with the exceptional fire season of 2003 in Portugal, *International Journal of Climatology*, 26, 1741-1757.

United Nations Development Programme – Bureau for Crisis Prevention and Recovery (UNDP-BCPR) (2004) – *Reducing Disaster Risk: A challenge for Development. A Global report*, UNDP Publications, New York, 161p.

Van Wagner, C.E. (1987) - *Development and structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System*. Can. For. Serv., Ottawa, Onto For. Tech. Rep. 35.

Varnes, D.J. (1984) - *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*, UNESCO, Paris.

Ventura, J., Vasconcelos, M.J. (2006) – O fogo como processo físico-químico e ecológico, *Incêndios Florestais em Portugal, Caracterização, Impactes e Prevenção*, ISAPress, Lisboa, 93-113.

Verde, J.; Zêzere, J.L. (2007) - Avaliação da perigosidade de incêndio florestal. *Actas do VI Congresso da Geografia Portuguesa*, Lisboa (no prelo)

Vettorazzi, C., Ferraz, S. (1998) – Mapeamento de risco de incêndios florestais por meio de sistema de informações geográficas (SIG), *Scientia Forestalis*, 53, São Paulo, 39-48.

Viegas, D.X. (2006) – Modelação do comportamento do fogo, *Incêndios Florestais em Portugal, Caracterização, Impactes e Prevenção*, ISAPress, Lisboa, 287-325.

Vieira, P.A. (2006) – *Portugal: O vermelho e o negro*, Publicações Dom Quixote, Lisboa.

Williams, D.E. (1959) – *Fire season severity rating*. Can. Dep. Northern Aff. Nat. Resources, Forest Res. Div. Tech. Note 73, 13p.

Zêzere, J.L., Reis, E., Garcia, R., Oliveira, S., Rodrigues, M.L., Vieira, G., Ferreira, A.B. (2004) – Integration of spatial and temporal data for the definition of different landslide hazard scenarios in the area north of Lisbon (Portugal), *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 4, 133-146.