

**UNIVERSIDADE DE LISBOA**  
**INSTITUTO DE GEOGRAFIA E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO**



**Avaliação da suscetibilidade à ocorrência de incêndios florestais  
no concelho de Leiria**

**António Francisco Carneiro Geraldes Neto de Vasconcelos**

**MESTRADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E  
MODELAÇÃO TERRITORIAL APLICADOS AO ORDENAMENTO**

**2013**

**UNIVERSIDADE DE LISBOA**  
**INSTITUTO DE GEOGRAFIA E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO**

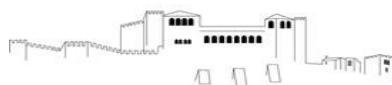


**Avaliação da suscetibilidade à ocorrência de incêndios florestais  
no concelho de Leiria**

**António Francisco Carneiro Geraldes Neto de Vasconcelos**

Relatório de estágio orientado pelo  
Prof. Doutor Eusébio Joaquim Marques dos Reis

Estágio elaborado  
na C. M. Leiria



Município de Leiria  
Câmara Municipal

[www.cm-leiria.pt](http://www.cm-leiria.pt)

**MESTRADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E  
MODELAÇÃO TERRITORIAL APLICADOS AO ORDENAMENTO**

**2013**

## Índice geral

Agradecimentos .....	i
Índice Figuras.....	iii
Índice Quadros .....	vii
Lista de Abreviaturas.....	ix
Resumo .....	xii
Abstract .....	xiii
1. Introdução.....	1
1.1 Tema e objetivos do trabalho .....	1
1.2 Âmbito da realização do Estágio .....	2
2. Enquadramento geográfico do concelho de Leiria .....	3
2.1. Clima.....	3
2.2. Relevo.....	6
2.3. Ocupação do solo.....	12
2.4. População.....	17
3. Fatores e informação geográfica para análise dos fogos florestais.....	19
3.1 Fatores que condicionam os fogos florestais.....	19
3.2 Informação geográfica e variáveis espaciais.....	23
4. Análise das ocorrências e da área ardida do concelho de Leiria .....	25
4.1. Causalidade dos incêndios florestais .....	25
4.2. Distribuição espacial das ocorrências e da área ardida .....	26
4.2.1. <i>Distribuição geral no concelho</i> .....	26
4.2.2. <i>Distribuição por freguesia</i> .....	27
4.2.3. <i>Área ardida e n.º de ocorrências por classes de extensão</i> .....	30
4.2.4. <i>Área ardida em espaços florestais</i> .....	31

4.3.	Distribuição temporal das ocorrências e da área ardida .....	32
4.3.1.	<i>Distribuição anual e mensal</i> .....	32
4.3.2.	<i>Distribuição pelos dias da semana</i> .....	34
4.3.3.	<i>Distribuição diária e horária</i> .....	35
5.	A cartografia de risco florestal .....	37
5.1	Noções e conceitos associados ao Risco de Incêndio Florestal.....	37
5.2	Conjuntos amostrais para a elaboração dos modelos de suscetibilidade .....	39
5.3	Perigosidade de Incêndio Florestal.....	41
5.4	Risco de Incêndio Florestal .....	52
5.5	Suscetibilidade de Incêndio Florestal.....	57
6.	Análise comparativa dos modelos .....	73
7.	Conclusão .....	79
	Bibliografia .....	81

## Agradecimentos

Ao longo do tempo de elaboração deste trabalho, integrante do Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Modelação Territorial aplicados ao Ordenamento, tive oportunidade de contar com o apoio de diversas pessoas, que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão deste relatório, do qual estou agradecido.

Em primeiro lugar ao orientador, Professor Doutor Eusébio Reis, pela orientação científica, pela disponibilidade e pelo empenho que demonstrou ao longo do processo de elaboração deste trabalho.

Ao Comandante Tenente-Coronel Artur Figueiredo, Chefe de Divisão de Proteção Civil e Bombeiros, pela orientação, dedicação e disponibilidade no acompanhamento da elaboração do trabalho.

Aos colegas de trabalho que me ajudaram na disponibilização de informação pertinente para o trabalho.

À minha família e amigos que sempre apoiaram e deram alento, sendo preponderantes para a apresentação deste trabalho.



## Índice de Figuras

Figura 1.	Enquadramento geográfico do concelho de Leiria.....	3
Figura 2.	Temperatura e Precipitação (médias mensais) na estação de Leiria.....	5
Figura 3.	Humidade relativa média (%) na estação de Monte Real.....	5
Figura 4.	Classes de altitude do concelho de Leiria.....	7
Figura 5.	Distribuição das classes de declive (%) no concelho de Leiria.....	8
Figura 6.	Declives (%) no concelho de Leiria.....	9
Figura 7.	Distribuição das exposições das vertentes no concelho de Leiria.....	10
Figura 8.	Exposição das vertentes do concelho de Leiria.....	11
Figura 9.	Ocupação do solo do concelho de Leiria (IGP, 2007, Nível 1).....	13
Figura 10.	Distribuição da ocupação do solo do concelho de Leiria (COS, 2007).....	15
Figura 11.	Distribuição da floresta do concelho de Leiria, nível 5 da Carta de Ocupação do Solo (IGP, 2007).....	16
Figura 12.	Distribuição da área dos pedidos de plantação do concelho de Leiria, de 2007 a 2012 ..	16
Figura 13.	Densidade populacional das freguesias do concelho de Leiria (INE, 2011).....	17
Figura 14.	Distribuição das causas de incêndios florestais (2001-2011) no concelho de Leiria (Fonte: ICNF).....	26
Figura 15.	Distribuição espacial das áreas ardidas (1990-2011), no concelho de Leiria (ICNF, 2012)...	27
Figura 16.	Área ardida e n.º de ocorrências (1996-2010), no concelho de Leiria.....	31
Figura 17.	Variação anual, em relação à média, dos números de incêndios superiores a 1ha (1996-2010), no concelho de Leiria.....	31
Figura 18.	Distribuição da área ardida por espaços florestais (1996-2010), no concelho de Leiria (representação em escala logarítmica).....	32
Figura 19.	Distribuição anual da área ardida e do n.º de ocorrências (1980-2010), no concelho de Leiria.....	33
Figura 20.	Variação anual, em relação à média, dos números de ocorrências (1980-2010), no concelho de Leiria.....	33

Figura 21. Distribuição mensal da área ardida e do número de ocorrências (1996-2010), no concelho de Leiria.....	34
Figura 22. Distribuição da área ardida e do número de ocorrências pelos dias da semana (1996-2010), no concelho de Leiria.....	35
Figura 23. Distribuição diária acumulada da área ardida e do número de ocorrências (1996-2010), no concelho de Leiria.....	35
Figura 24. Distribuição horária acumulada da área ardida e do n.º de ocorrências, no concelho de Leiria.....	36
Figura 25. Áreas ardidas no concelho de Leiria, de 1990 a 2010, divididas em dois subconjuntos, um utilizado para modelação (1990-2004) e outro para validação (2005-2010). .....	40
Figura 26. Componentes do Modelo de Risco (AFN, 2012). .....	41
Figura 27. Probabilidade (%) de ocorrência de incêndio florestal, no concelho de Leiria, para o período 1990-2004.....	42
Figura 28. Suscetibilidade à ocorrência de incêndios com base nos declives (modelo ICNF), no concelho de Leiria.....	44
Figura 29. Suscetibilidade à ocorrência de incêndios (modelo ICNF) com base na ocupação do solo (CML, 1999), no concelho de Leiria.....	46
Figura 30. Componentes para cálculo da perigosidade de incêndio florestal (ICNF, 2012). .....	47
Figura 31. Suscetibilidade à ocorrência de incêndios (modelo ICNF), no concelho de Leiria.....	48
Figura 32. Perigosidade de Incêndio Florestal no concelho de Leiria (modelo ICNF).....	50
Figura 33. Distribuição (%) das sete classes CRIF no concelho de Leiria.....	55
Figura 34. Risco de Incêndio Florestal – CRIF 2011 no concelho de Leiria (IGP).....	56
Figura 35. Classes de declive do concelho de Leiria: frequência (%) e fração de área ardida (1990-2004). .....	58
Figura 36. Classes de exposição do concelho de Leiria: frequência (%) e fração de área ardida (1990-2004). .....	59
Figura 37. Classes de hidrografia do concelho de Leiria: frequência (%) e fração de área ardida (1990-2004). .....	60

Figura 38. Classes de ocupação do solo no concelho de Leiria: frequência (%) e fração de área ardida (1990-2004).....	64
Figura 39. Classes de altitude do concelho de Leiria: frequência (%) e fração de área ardida (1990-2004).....	65
Figura 40. Altitude média (m) por classe de ocupação do solo. ....	65
Figura 41. Classes de distância à rede viária no concelho de Leiria: frequência (%) e fração de área ardida (1990-2004).....	67
Figura 42. Classes de densidade de caminhos no concelho de Leiria: frequência (%) e fração de área ardida (1990-2004).....	68
Figura 43. Classes de densidade populacional no concelho de Leiria: frequência (%) e fração de área ardida (1990-2004).....	69
Figura 44. Suscetibilidade a Incêndio Florestal no concelho de Leiria, com base na Análise Multi-Critério com ponderação obtida a partir do método desvio-padrão da probabilidade condicionada.....	71
Figura 45. Frequência (%) das classes de perigosidade e distribuição (%) das áreas ardidas (2005-2010) pelas classes de perigosidade no concelho de Leiria, de acordo com o modelo do ICNF.74	
Figura 46. Frequência (%) das classes CRIF e distribuição (%) das áreas ardidas (2005-2010) pelas classes CRIF no concelho de Leiria, de acordo com o modelo do IGP. ....	74
Figura 47. Frequência (%) das classes de suscetibilidade e distribuição (%) das áreas ardidas (2005-2010) pelas classes de suscetibilidade no concelho de Leiria.....	74
Figura 48. Distribuição (%) da proporção das áreas ardidas (2005-2010) pelas cinco classes dos modelos no concelho de Leiria. ....	75
Figura 49. Curvas de predição dos três modelos com base na série das áreas ardidas 2005-2010, no concelho de Leiria. ....	76
Figura 50. Relação espacial entre as classes “muito alta” e “alta” nos resultados obtidos a partir dos modelos de perigosidade (AFN/ICNF, 2012) e de suscetibilidade (Reis, 2008). ....	77



## Índice de Quadros

Quadro 1. Ocupação do solo no concelho de Leiria, por freguesia (COS, 2007, Nível 1).....	14
Quadro 2. Evolução da população residente no concelho de Leiria, entre 1970 e 2011 (INE, 2011).18	
Quadro 3. Resumo das características dos dados de Informação Geográfica utilizada.....	24
Quadro 4. Número de ocorrências e área ardida por freguesia (1995-2011), no concelho de Leiria (Fonte: ICNF, 2012). .....	28
Quadro 5. Fração (%) de área ardida por freguesia (1995-2011), no concelho de Leiria. ....	30
Quadro 6. Áreas ardidas e número de incêndios, de 1990 a 2004, ocorridos no concelho de Leiria.39	
Quadro 7. Valor de ponderação atribuído a cada célula, de acordo com a classe de declive.....	43
Quadro 8. Relação entre as classes de perigosidade, obtidas entre o modelo da ICNF, e as áreas ardidas (2005-2010), no concelho de Leiria.....	51
Quadro 9. Critérios e ponderações utilizados na metodologia CRIF (IGP, 2011).....	53
Quadro 10. Comparação entre as classes de risco de incêndio florestal e as áreas ardidas (2005-10), para efeitos de validação. ....	54
Quadro 11. Relação entre as classes de declive e áreas ardidas (1990-2004) no concelho de Leiria. 58	
Quadro 12. Relação entre as classes de exposição e áreas ardidas (1990-2004) no concelho de Leiria. .....	59
Quadro 13. Relação entre as classes de hidrografia e áreas ardidas (1990-2004) no concelho de Leiria.....	60
Quadro 14. Códigos de ocupação do solo de 1999, existentes no concelho de Leiria utilizados no modelo (IGP, 1990). .....	62
Quadro 15. Relação entre as classes de ocupação do solo e áreas ardidas (1990-2004) no concelho de Leiria.....	63
Quadro 16. Relação entre as classes de altitude e áreas ardidas (1990-2004) no concelho de Leiria.64	
Quadro 17. Relação entre as classes de distância à rede viária e áreas ardidas (1990-2004) no concelho de Leiria. ....	66
Quadro 18. Relação entre as classes de densidade de caminhos e áreas ardidas (1990-2004) no concelho de Leiria. ....	67

Quadro 19. Relação entre as classes de densidade populacional e áreas ardidas (1990-2004) no concelho de Leiria.....	68
Quadro 20. Síntese das variáveis, classes e respetivas ponderações.....	70
Quadro 21. Comparação entre as classes de suscetibilidade de incêndio florestal e as áreas ardidas (2005-10), para efeitos de validação.....	72
Quadro 22. Coincidência entre as classes nos modelos de perigosidade (AFN/ICNF, 2012) e de suscetibilidade (Reis, 2008): <b>A</b> – em % da área do concelho; <b>B</b> – em % do total de cada classe (média dos resultados obtidos para cada modelo). .....	78

## **Lista de Abreviaturas**

AFN – Autoridade Florestal Nacional (atualmente inserida no ICNF)

ANPC – Autoridade Nacional de Proteção Civil

ARH – Administração da Região Hidrográfica

BGRI – Base Geográfica de Referenciação de Informação

CAOP – Carta Administrativa Oficial de Portugal

CML – Câmara Municipal Leiria

COS – Carta de Ocupação do Solo

CRIF – Carta de Risco de Incêndio Florestal

DIPCB – Divisão de Proteção Civil e Bombeiros

DL – Decreto-Lei

ICNF – Instituto de Conservação da Natureza e Florestas

IG – Informação Geográfica

IGeoE – Instituto Geográfico do Exército

IGOT – Instituto de Geografia e Ordenamento do Território

IGP – Instituto Geográfico Português (atualmente inserido na Direção-Geral do Território)

IM – Instituto de Meteorologia (atualmente inserido no IPMA)

INE – Instituto Nacional de Estatística

IPMA – Instituto Português do Mar e Atmosfera

MDT – Modelo Digital do Terreno

NUTS – Nomenclatura de Unidade Territorial para fins estatísticos

PMDFCI - Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios

POM - Plano Operacional Municipal

SIG – Sistemas de Informação Geográfica

UL – Universidade de Lisboa



## Resumo

Os incêndios florestais constituem um dos maiores flagelos em Portugal, em particular durante o Verão; neste contexto, o concelho de Leiria não constitui exceção a esta realidade. Assim, a avaliação da suscetibilidade de incêndios florestais constitui um processo fundamental na definição de estratégias com vista à prevenção e mitigação dos incêndios florestais.

O presente trabalho, realizado em âmbito de estágio académico na Divisão de Proteção Civil e Bombeiros da Câmara Municipal de Leiria, pretende analisar e comparar três modelos para avaliar áreas suscetíveis à ocorrência de incêndios florestais, recorrendo aos Sistemas de Informação Geográfica: o modelo definido pelo Instituto da Conservação da Natureza e Florestas (ICNF) no Guia de elaboração do Plano Municipal de Defesa da Floresta; o modelo desenvolvido pelo Instituto Geográfico Português (IGP) na Carta de Risco de Incêndio elaborada para o território nacional em 2011; e um modelo de suscetibilidade assente na Análise Multi-Critério, baseado num método de ponderação das variáveis que se fundamenta nos valores da probabilidade condicionada de encontrar áreas ardidas em cada classe dos diversos fatores.

Neste último método, foi identificado um conjunto de variáveis que potencialmente condiciona a distribuição dos incêndios florestais - ocupação do solo, declive, altitude, exposição, densidade populacional, densidade de caminhos florestais e rurais, proximidade à rede viária e proximidade à rede hidrográfica - as quais foram classificadas, e cruzadas de seguida com a distribuição da área ardida, com vista ao cálculo da fração afetada por incêndios em cada classe. Com base neste procedimento, as 3 primeiras variáveis foram definidas como as mais importantes na explicação da distribuição espacial dos incêndios no concelho e, por isso, foram utilizadas no modelo de suscetibilidade.

Como informação representativa do fenómeno estudado, foram utilizadas as áreas ardidas registadas no concelho de Leiria de 1990 a 2010, constituindo-se duas amostras, em que a primeira série (1990-2004) foi utilizada na conceção dos modelos e os anos posteriores (2005-2010) foram usados para validação de cada um dos três modelos.

O modelo definido pelo ICNF e o modelo de suscetibilidade foram os que apresentaram resultados mais adequados e próximos entre si: com base nas áreas ardidas utilizadas para validação, verificou-se que, respetivamente, 36% e 34% das classes alta e muito alta foram afetadas por incêndios, enquanto no modelo do IGP esse valor foi de apenas 23%. Isto significa que no modelo do ICNF 68% dos incêndios em 2005-2010 ocorreram naquelas duas classes (que ocupam 34% do concelho) enquanto no modelo de suscetibilidade esse valor foi de 74% (que ocupam 37% do concelho).

Palavras-chave: incêndios florestais, perigosidade, suscetibilidade, concelho de Leiria, SIG



## Abstract

Forest wildfires are a major scourge in Portugal, particularly during summer; in this context, the municipality of Leiria is no exception to this reality. Thus, the assessment of forest wildfires susceptibility is a key process in developing strategies for forest wildfires prevention and mitigation.

This study, carried out in the context of an academic internship in the Division of Civil Protection and Fire Department of Leiria municipality, aims to analyze and compare three models for susceptibility assessment to forest wildfire occurrence, using Geographical Information Systems: the model defined in the Institute for Nature Conservation and Forestry (ICNF) Guide for the Municipal Plan of Forest Defence; the model developed by the Portuguese Geographical Institute (IGP) in the Wildfire Risk Map for mainland Portugal (cartography of 2011); and a Multi-Criteria susceptibility model, using a weighting method for the variables based on the conditional probability values of finding wildfire areas in each class of the various factors.

In this last method, a set of variables that potentially influences the distribution of forest fires was identified - land use, slope, altitude, aspect, population density, forest and rural road density, distance to roads and distance to the streams - which were classified and crossed with the wildfire areas distribution for calculating the fraction affected by wildfires in each class. Using this procedure, the first three were selected as the more important variables for wildfire areas occurrence explanation in the municipality and then used in the susceptibility model.

The wildfire areas registered in the Leiria municipality, from 1990 to 2010, were used as information representative of the studied phenomena, constituting two samples: one series (1990 to 2004) was used in model construction and the remaining years (2005 -2010) were used for model validation.

The ICNF model and the susceptibility model presented similar and more appropriate results regarding the wildfire areas used for validation; in fact 36% and 34%, respectively, of the high and very high susceptibility classes were affected by wildfires during 2005-2010, while this value is only 23% in the IGP model. Additionally, 68% of the wildfire area in 2005-2010 occurred in that two higher classes (that corresponds to 34% of the municipality) in the ICNF model while in the susceptibility model this value was 74% (37% of the municipality).

Keywords: forest wildfire, hazard, susceptibility, municipality of Leiria, GIS

## **1. Introdução**

### **1.1 Tema e objetivos do trabalho**

A existência de incêndios florestais na época estival em toda a Bacia Mediterrânea é uma ocorrência natural e inevitável. O clima mediterrânico permitiu o desenvolvimento de uma vegetação xerófita propícia à deflagração e desenvolvimento de grandes incêndios (Cabral, 1984 *in CML*, 2012). Assim, a própria Natureza, com a sua floresta original criou, por si própria, as suas defesas e estabeleceu um equilíbrio. Esse equilíbrio foi rompido pelo Homem (Cabral, 1984 *in CML*, 2012).

Os incêndios modificam o Ambiente causando grandes alterações bióticas e abióticas nos ecossistemas. O aumento do número de incêndios florestais causa danos na biodiversidade, assim como perdas socioeconómicas. A Floresta desempenha um papel muito importante na economia e qualidade de vida das populações locais e urge preservá-la. Só existindo uma intervenção racional com o desenvolvimento e otimização de meios para a prevenção, deteção e combate de incêndios florestais se poderá contribuir para a preservação e valorização do património florestal.

Os incêndios florestais assumem-se como fenómenos verdadeiramente geográficos pois as suas origens associam-se a fatores eminentemente territoriais e os seus efeitos têm uma clara incidência na paisagem (Nunes, 2001). É neste contexto que o contributo da Geografia se pode revelar essencial, participando na investigação dos agentes de deflagração, acompanhando o comportamento das chamas e avaliando as consequências espaciais após a sua manifestação.

Revela-se fundamental o prévio conhecimento da suscetibilidade e risco de incêndio, de modo a interferir na gestão e organização das equipas de deteção e de combate ao fogo, assim como, no ordenamento florestal.

A finalidade do trabalho consiste na comparação dos modelos de conceção da cartografia de suscetibilidade e perigosidade de incêndio florestal, com vista à identificação das áreas mais suscetíveis a uma escala espacial compatível com o ordenamento do território ao nível municipal, assim como, construir uma base de trabalho de auxílio ao planeamento e ordenamento da floresta tendo em vista a prevenção e combate dos incêndios florestais. Procura-se demonstrar a aplicabilidade de modelos objetivos de avaliação da suscetibilidade e perigosidade de incêndio florestal, baseado num número restrito de variáveis com forte relação espacial. A cartografia gerada constitui uma ferramenta de apoio à prevenção do risco de incêndio, permitindo identificar as áreas mais suscetíveis ao fenómeno e as áreas com maior potencial de perda.

No momento, em Portugal, são utilizadas duas metodologias de cálculo da perigosidade e do risco de incêndio florestal: metodologia definida pelo ICNF, cuja utilização é recomendada nos Guias Técnicos

para Elaboração do Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios (PMDFCI) e Plano Operacional Municipal (POM) e a metodologia do IGP, baseada no método de Análise Multicritério sugerida por Chuvieco *et al.* (1989) e por Almeida *et al.* (1995).

O objetivo do presente trabalho passa por demonstrar as diferenças entre as metodologias de elaboração das cartas de suscetibilidade/perigosidade de incêndio florestal atualmente sugeridos pelo ICNF e IGP, assim como, aplicar uma metodologia baseada na análise multi-critério, que assenta num método de ponderação das variáveis, que exige o cruzamento prévio das classes dessas variáveis com as áreas ardidas do concelho de Leiria.

## **1.2 Âmbito da realização do Estágio**

O concelho de Leiria, à semelhança de grande parte do território português é vulnerável à ocorrência de grandes incêndios florestais, como os verificados em 2005. Apresentando o concelho uma probabilidade significativa e grande impacto causado pelos incêndios florestais, releva o estudo deste risco. O presente trabalho consiste num relatório de estágio curricular realizado como parte integrante e conclusiva do Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Modelação Territorial aplicados ao Ordenamento (IGOT-UL). O estágio foi realizado no âmbito da Divisão de Proteção Civil e Bombeiros (DIPCB) da Câmara Municipal de Leiria (CML), tendo como objetivo o estudo comparativo das metodologias de perigosidade de incêndio florestal e verificar qual se adequa ao concelho de Leiria.

Sendo competência da DIPCB definir estratégias para mitigar os incêndios, urge identificar áreas prioritárias de atuação, assim como locais onde devem ser reforçadas ações de sensibilização e fiscalização. Anualmente, em abril, são definidas estratégias para aplicação durante o período crítico de incêndios florestais, como pré-posicionamento dos meios de combate ou reforço de vigilância da floresta em áreas definidas como críticas.

A importância fundamental do trabalho passa pela identificação das áreas suscetíveis aos incêndios florestais onde devem incidir as ações de defesa da floresta contra incêndios, com vista a evitar a ocorrência de grandes incêndios, responsáveis pela destruição do ecossistema. Neste sentido, foram modeladas e testadas três metodologias para determinar a perigosidade/suscetibilidade do território aos incêndios florestais no concelho de Leiria.

## 2. Enquadramento geográfico do concelho de Leiria

O concelho de Leiria fica situado no distrito de Leiria e na sub-região do Pinhal Litoral (NUTS III); está limitado a norte pelo concelho de Pombal, a sul pelos da Batalha e Porto de Mós, a nascente pelo de Ourém e a poente pelos de Marinha Grande e Alcobaça, confinando ainda a noroeste com o Oceano Atlântico (Fig. 1).

Possui uma área aproximada de 564 km<sup>2</sup>, distribuída por 29 freguesias. A maior freguesia é a de Coimbrão que representa 10% da área do concelho; seguem-se as freguesias de Maceira e Monte Redondo, representando cada freguesia cerca de 8%. As freguesias de menor dimensão são as de Chaínça, Carreira e Leiria que representam cada uma apenas 1% da área do concelho.

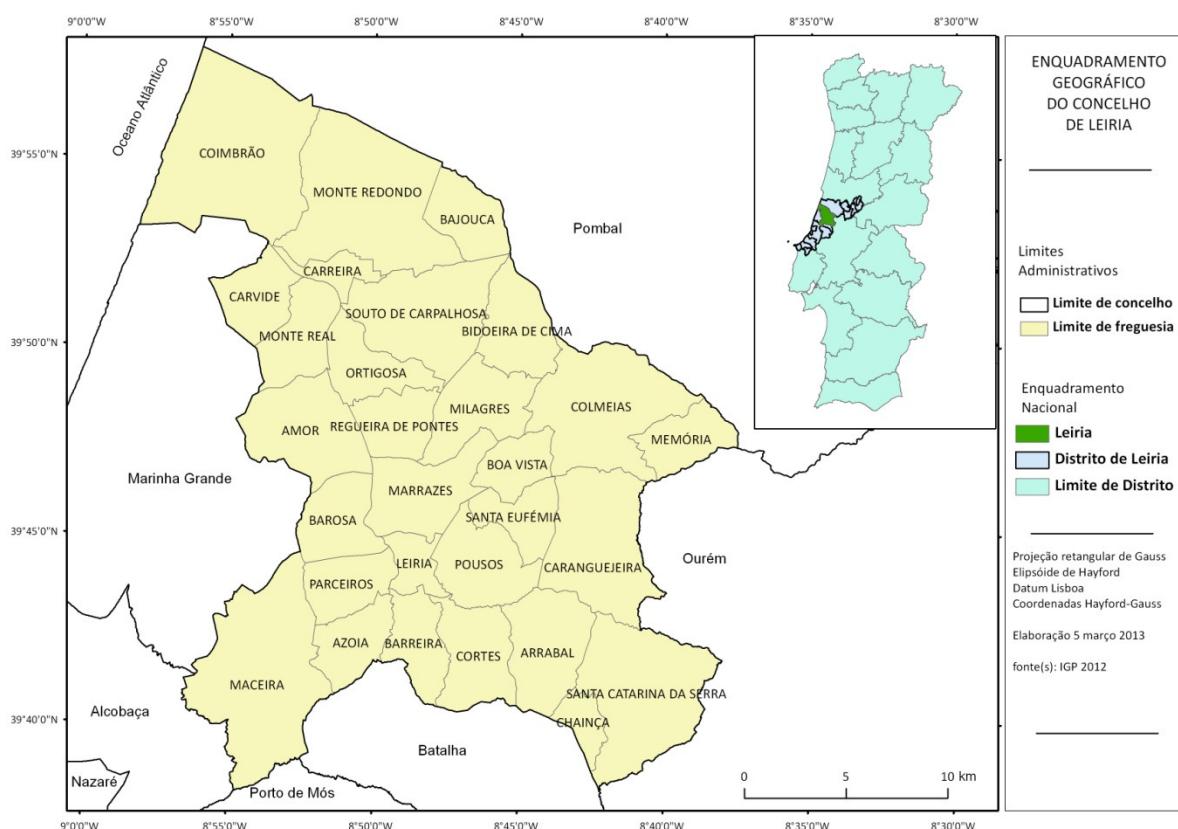


Figura 1. Enquadramento geográfico do concelho de Leiria.

### 2.1. Clima

A eclosão, a progressão, o comportamento e os efeitos dos fogos estão dependentes dos diversos elementos climáticos: radiação solar, temperatura do ar, do solo e da cobertura vegetal, humidade atmosférica, pluviosidade, regime geral do vento e ventos locais, entre outros. As características do clima mediterrânico são propiciadoras da ocorrência e propagação de fogos: Verões quase sem chuva secam a vegetação e o solo; as temperaturas diurnas são altas e a humidade baixa no Verão;

os ventos superiores sopram do interior da Meseta e dirigem-se para o Atlântico durante os meses secos (Macedo e Sardinha, 1987 *in* CML, 2012).

A temperatura age de vários modos: o seu aumento aproxima a temperatura dos combustíveis das respetivas temperaturas de ignição; quanto mais elevada é a temperatura, mais elevada é a perda de água existente no solo ou nos combustíveis vegetais, vivos ou mortos, através da evaporação física da água que contém ou por transpiração; quanto maior for a secura dos combustíveis menor será a quantidade de calor necessária para se alcançar o ponto de ignição (Macedo e Sardinha, 1987 *in* CML, 2012).

O vento é um dos fatores mais importantes a afetar a propagação do fogo. O vento atmosférico pode ser causado quer por forças mecânicas induzidos por gradientes de pressão ou por gradientes térmicos. De acordo com Viegas (2005), os ventos induzidos pelo fogo são causados pela elevadíssima energia libertada num incêndio florestal que produz uma convecção muito forte, devido as forças de impulsão térmica (efeito de Arquimedes).

Utilizando dados da normal climatológica (1971-2000) da estação meteorológica de Leiria faz-se uma breve descrição da climatologia do concelho (Fig.2). Os valores médios mensais da temperatura do ar variam fortemente durante o ano, como é normal na maior parte do País, com o máximo em julho e agosto e o mínimo em janeiro. No período de 1971 – 2000 o valor médio anual da temperatura do ar foi 18,4°C; a média anual das temperaturas máximas foi 22,8°C e a média das temperaturas mínimas 14°C. A amplitude da variação anual da temperatura do ar (diferença das temperaturas médias do mês mais quente e do mês mais frio do ano) apresentou o valor de 15,1°C. O valor médio mensal das temperaturas máximas diárias durante os quatro meses de Verão (que constituem a época de maior perigo de incêndio) situou-se acima dos 24°C com o máximo em julho e agosto com 25,2°C e 24,6°C, respetivamente; a média mensal das temperaturas mínimas diárias para a mesma época apresenta o valor de 14°C, atingindo em julho 20,2°C e em agosto 20,7°C. O número médio de dias do ano com temperatura máxima superior a 25°C é de 92.

Outro fator a ter em consideração é o valor de precipitação que afeta o teor de água no solo e também na vegetação, tanto viva como morta. Segundo o índice de Gaussem, um mês seco é aquele em que  $P < 2T$ , isto é, em que a precipitação P, expressa em mm é inferior ao dobro da temperatura média T, expressa em °C. De acordo com os valores de P e T na estação meteorológica de Leiria, os meses secos são: junho, julho, agosto e setembro (Fig. 2).

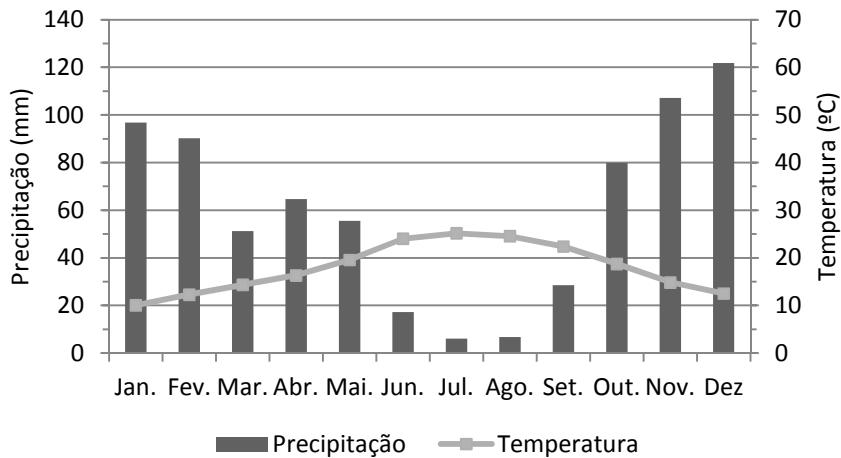


Figura 2. Temperatura e Precipitação (médias mensais) na estação de Leiria.  
(Fonte: IPMA, 2012; Normais climatológicas, 1971-2000).

Os valores médios mensais da precipitação variam durante o ano, e têm o mínimo em julho e o máximo em dezembro. O semestre seco abrange os meses de abril a setembro, correspondendo-lhe, em média, a 25% do valor anual de precipitação. Ao período de junho a setembro corresponde em média 8% do valor da precipitação anual.

A humidade corresponde ao vapor de água que o ar possui. Este vapor de água humedece os materiais, além de saturar o próprio ar, dificultando a ignição dos fogos, e retardando a combustão dos materiais. Para a análise da humidade relativa média apenas foi possível dispor de dados relativos à estação de Monte Real (1951-1980), verificando-se valores de humidade mais elevados nos meses de Inverno e mais baixos durante o Verão (Fig. 3). Destaca-se a fraca variação mensal média ao longo do ano, em que o valor mais alto de humidade se verificou em janeiro (83%) e os valores mais baixos em maio e junho (73%).

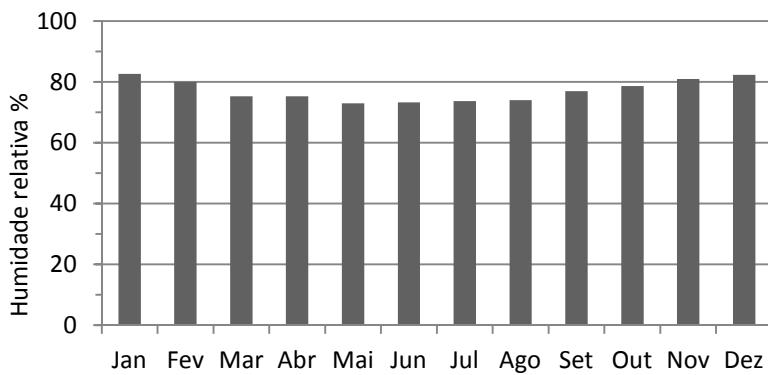


Figura 3. Humididade relativa média (%) na estação de Monte Real.  
(Fonte: IM 1991, Normais climatológicas, 1951-1980).

## **2.2. Relevo**

O concelho de Leiria apresenta uma topografia pouco acidentada: cerca de 87% do território encontra-se abaixo da cota 200 m e cerca de 93% dos declives são inferiores a 15%. A altitude do território oscila entre 0 m, no setor noroeste, e 415 m no extremo sul do concelho (Senhora do Monte). A área é caracterizada por extensas áreas planas e pequenas elevações (Fig. 4).

A região enquadra-se na Orla Mesocenozóica Ocidental Portuguesa. Na caracterização geomorfológica da região refere-se a importância do Maciço Calcário Estremenho sobre a paisagem, uma vez que a delimita a sudeste. A zona ocidental deste maciço estende-se, no concelho de Leiria, de Santa Catarina da Serra a Arrabal e Cortes (Carvalho, 2011).

Em termos hidrológicos, a maior parte da área do concelho pertence à bacia hidrológica do rio Lis; destaca-se ainda uma pequena área, a norte integrante da bacia do Mondego, outra área, a sudeste, que faz parte da bacia do Tejo, e, ainda, uma pequena área, a oeste, correspondente às bacias de drenagem das ribeiras costeiras. O rio Lis é o maior curso de água do concelho com uma extensão de cerca de 38 km e com grande importância ecológica. A bacia do Lis é ainda significativa nos processos hidrológicos e nas disponibilidades hídricas da região.

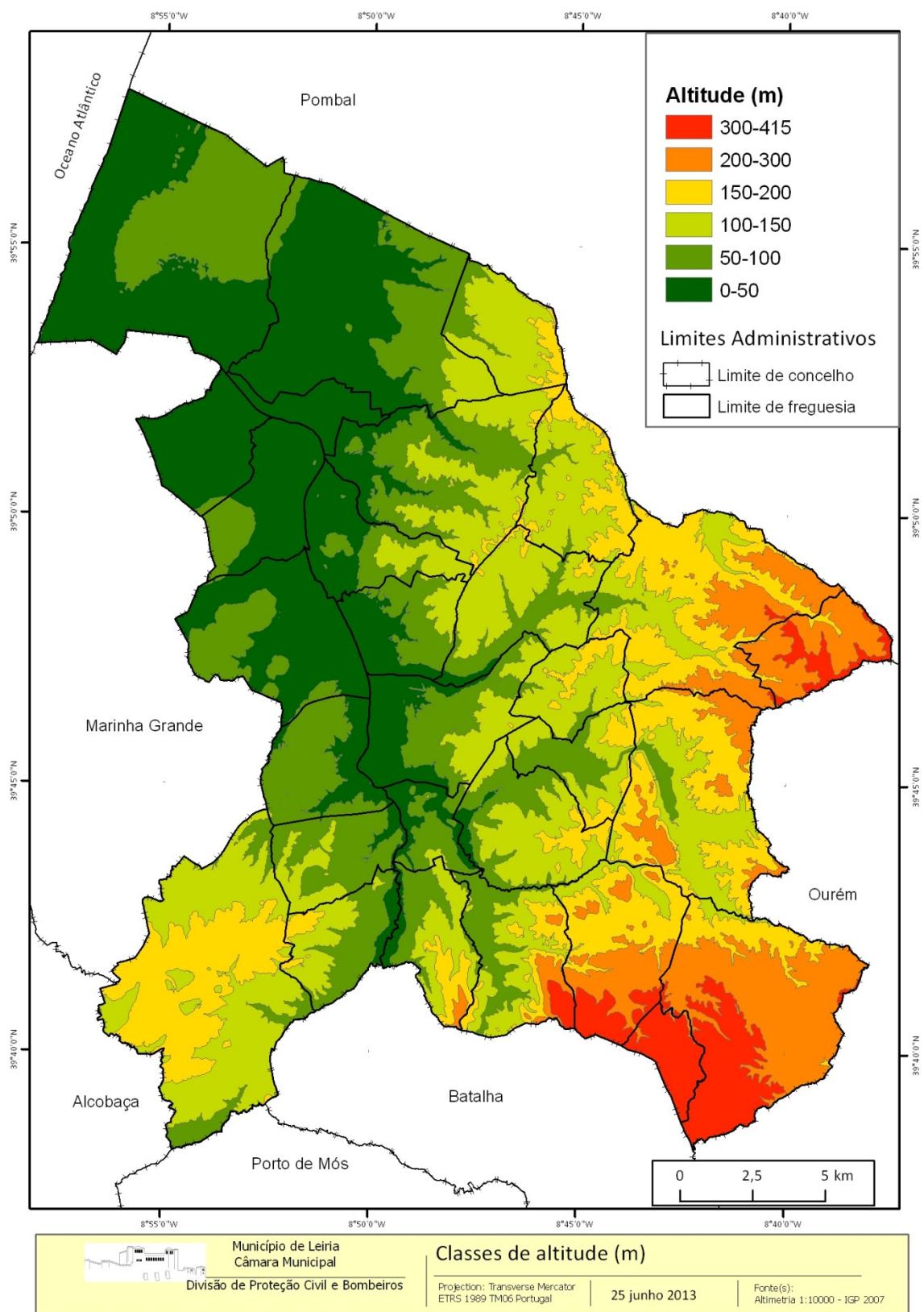


Figura 4. Classes de altitude do concelho de Leiria.

De acordo com a figura 5, é possível verificar que cerca de 57% do território tem declive inferior a 5%, sendo que apenas cerca de 3% do território apresenta declive superior a 20%.

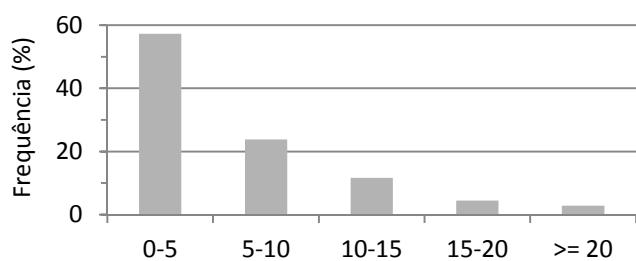


Figura 5. Distribuição das classes de declive (%) no concelho de Leiria.

O concelho apresenta na maior parte da sua superfície, topografia plana, sendo que os **declives** acentuados estão presentes nas áreas sul e leste (Fig. 6).

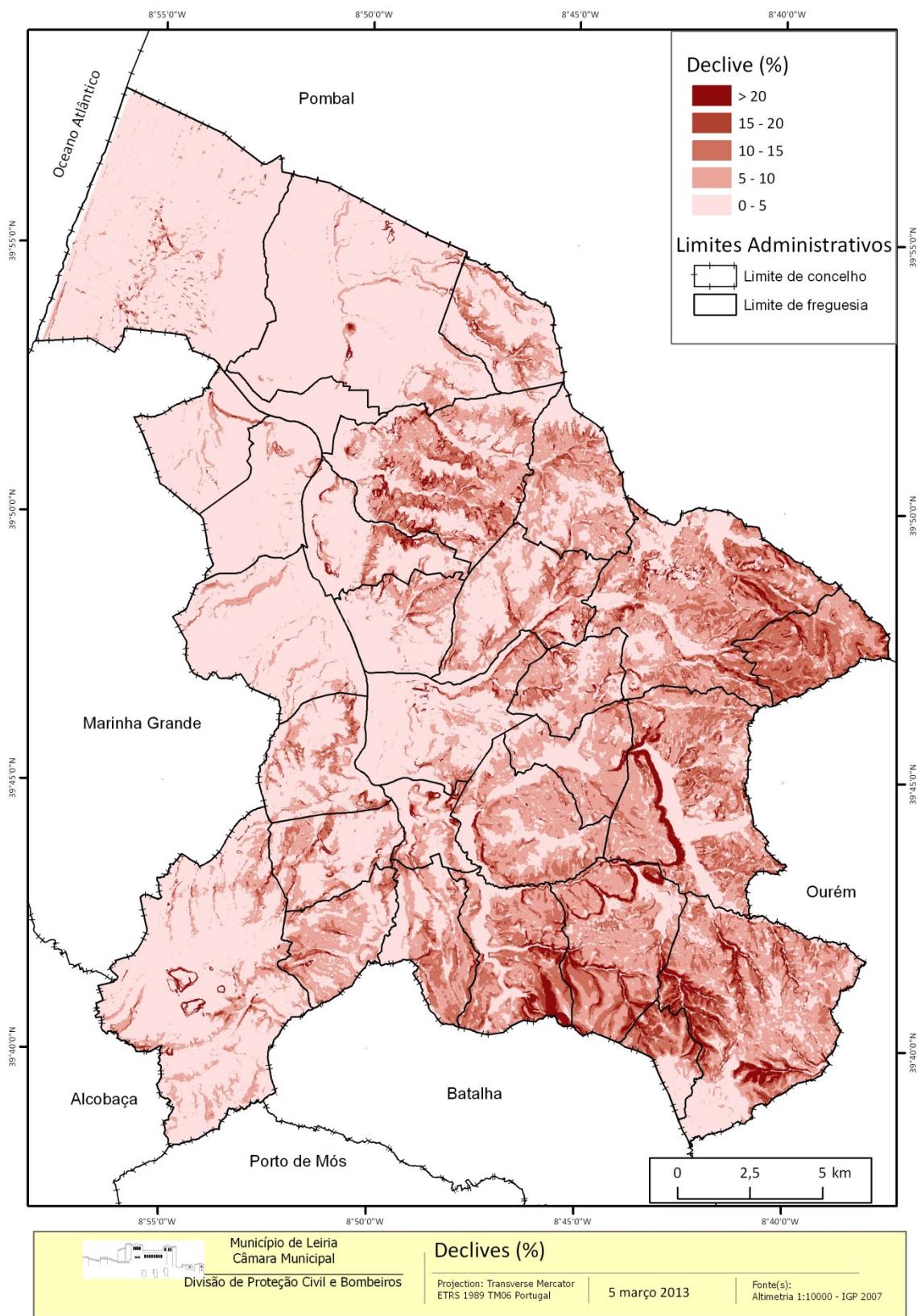


Figura 6. Declives (%) no concelho de Leiria.

A **exposição** solar de um terreno corresponde à sua orientação geográfica, e representa o maior ou menor grau de insolação face à orientação das encostas, fator que influencia a vegetação e as culturas agrícolas. A quantidade de radiação solar recebida varia para as diferentes exposições; assim, alguns elementos climáticos (sobretudo humidade e temperatura do ar e do solo) vão variar localmente, bem como o tipo e quantidade da vegetação combustível. Regra geral, as vertentes Sul e Sudoeste apresentam condições climáticas e um mosaico de vegetação (com abundância de espécies esclerófitas) favorável à rápida inflamação e propagação do fogo, contrariamente as vertentes Norte (umbrias) e Nordeste que ardem mais lentamente e desenvolvem menores temperaturas (CML, 2012).

O concelho de Leiria possui uma distribuição equilibrada pelos diversos quadrantes, onde cada classe tem uma expressão de cerca de 20%, conforme verificado nas figuras 7 e 8.

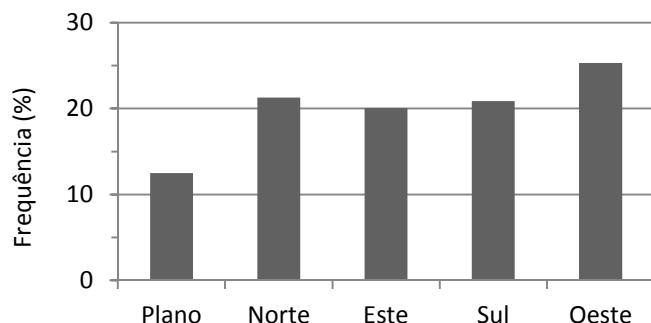


Figura 7. Distribuição das exposições das vertentes no concelho de Leiria.

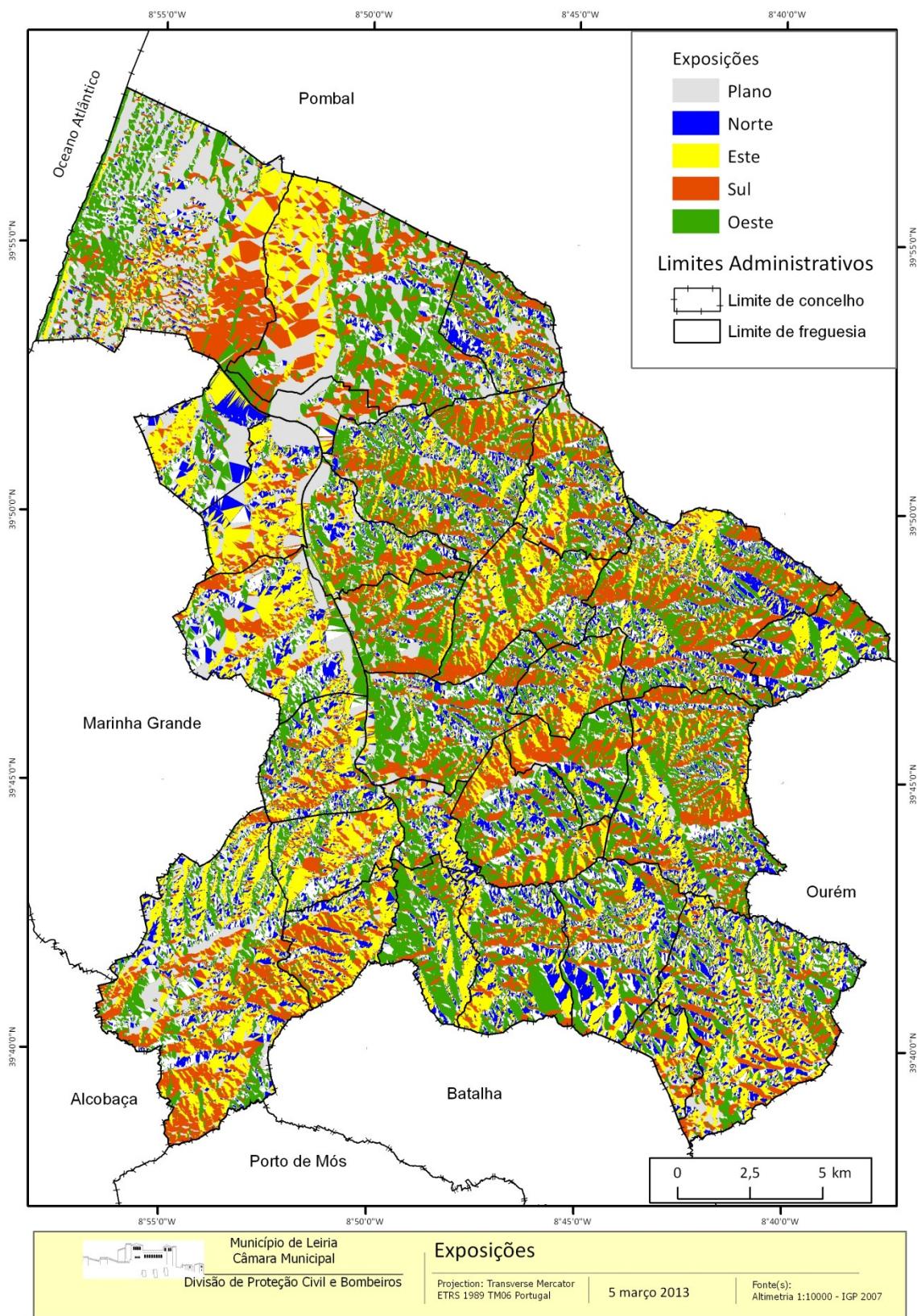


Figura 8. Exposição das vertentes do concelho de Leiria.

### **2.3. Ocupação do solo**

De acordo com a Carta de Ocupação do Solo de 2007, elaborada pelo IGP (Fig. 9), no concelho de Leiria, as florestas e meios naturais e seminaturais ocupam cerca de 62% do território. As áreas agrícolas e agroflorestais correspondem a cerca de 23% do concelho, sendo que 14% da área é ocupada por territórios artificializados (Fig. 10).

Nos territórios artificializados destacam-se as freguesias de Maceira e Marrazes com cerca de 833 ha e 747 ha, respetivamente. Com maiores áreas agrícolas e agroflorestais destacam-se as freguesias de Santa Catarina da Serra (939 ha) e Maceira (926 ha). As florestas e meios naturais e seminaturais encontram-se com maior frequência na freguesia de Coimbrão (4583 ha) onde se encontram as Matas Nacionais do Pedrógão e Urso e na freguesia de Monte Redondo (3177 ha). As zonas húmidas têm maior expressão na Ortigosa (30 ha) e Marrazes (15 ha). Os corpos de água destacam-se em Coimbrão (23 ha), com a presença da Lagoa de Ervedeira, e em Carreira (13 ha) onde se encontra o extenso Vale do Lis (Quadro 1).

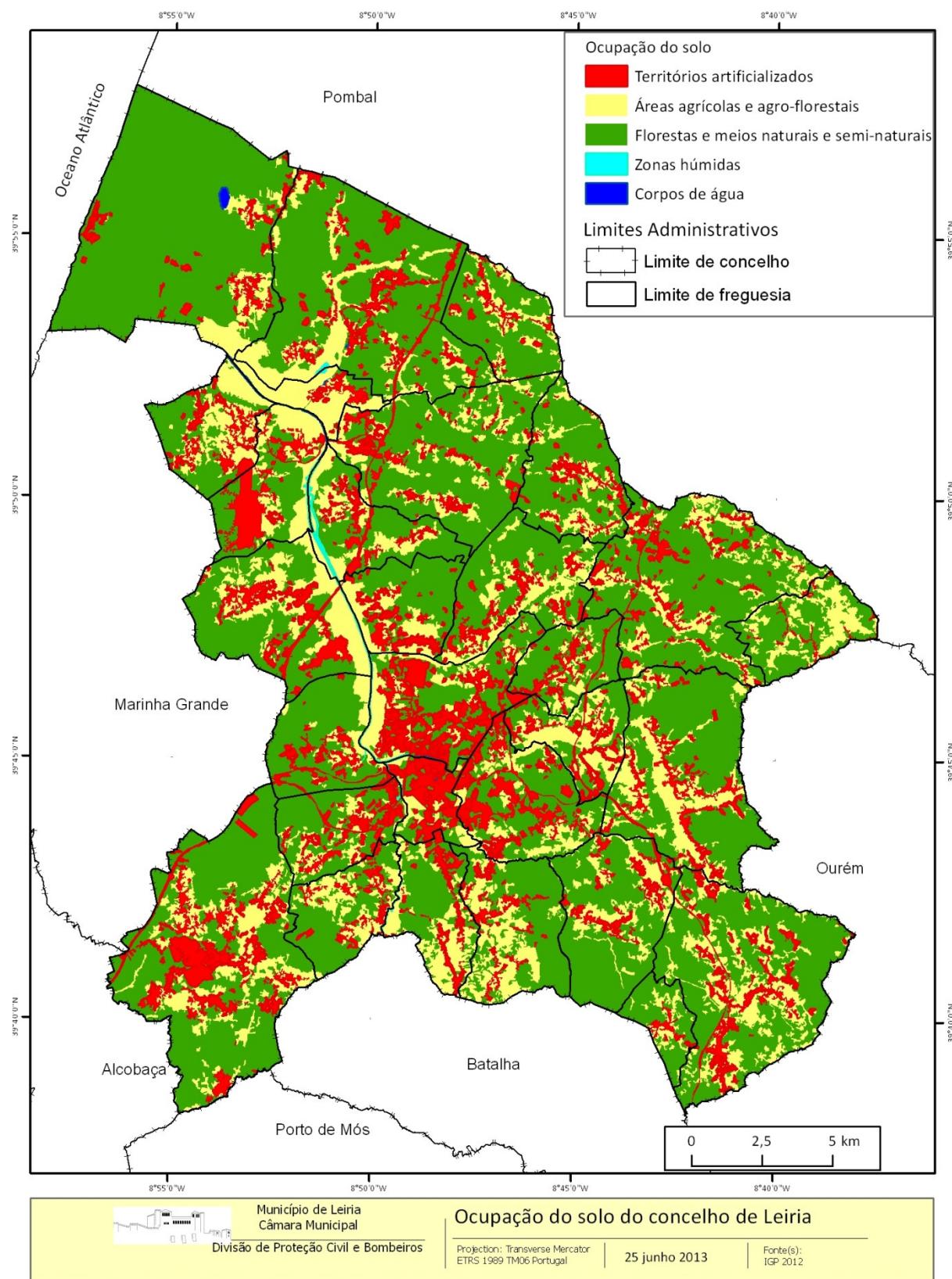


Figura 9. Ocupação do solo do concelho de Leiria (IGP, 2007, Nível 1).

Quadro 1. Ocupação do solo no concelho de Leiria, por freguesia (COS, 2007, Nível 1).

Freguesias	Ocupação do solo (em hectares)				
	Territórios artificializados	Áreas agrícolas e agro-florestais	Florestas e meios naturais e semi-naturais	Zonas Húmidas	Corpos de Água
Amor	352	737	1248	12	0
Arrabal	195	417	1397	0	0
Azoia	171	318	647	5	0
Bajouca	128	229	870	0	0
Barosa	187	172	995	13	0
Barreira	163	434	580	5	0
Bidoeira de Cima	161	291	1109	0	0
Boavista	157	147	614	0	0
Caranguejeira	346	743	2010	0	0
Carreira	82	398	56	4	13
Carvide	218	466	540	0	6
Chaínça	46	104	392	0	0
Coimbrão	212	401	4583	0	23
Colmeias	469	678	2392	0	0
Cortes	165	552	957	0	0
Leiria	339	132	164	6	6
Maceira	833	926	2937	0	0
Marrazes	747	394	754	15	3
Memória	58	378	682	0	0
Milagres	229	470	1036	0	0
Monte Real	382	441	532	10	7
Monte Redondo	493	860	3177	7	2
Ortigosa	178	416	661	30	2
Parceiros	267	206	680	4	0
Pousos	518	333	872	0	0
Regueira de Pontes	191	314	642	7	0
Santa Catarina da Serra	366	939	2273	0	0
Santa Eufémia	193	430	413	0	0
Souto da Carpalhosa	344	541	2050	0	0
<b>Total</b>	<b>8190</b>	<b>12867</b>	<b>35263</b>	<b>118</b>	<b>62</b>

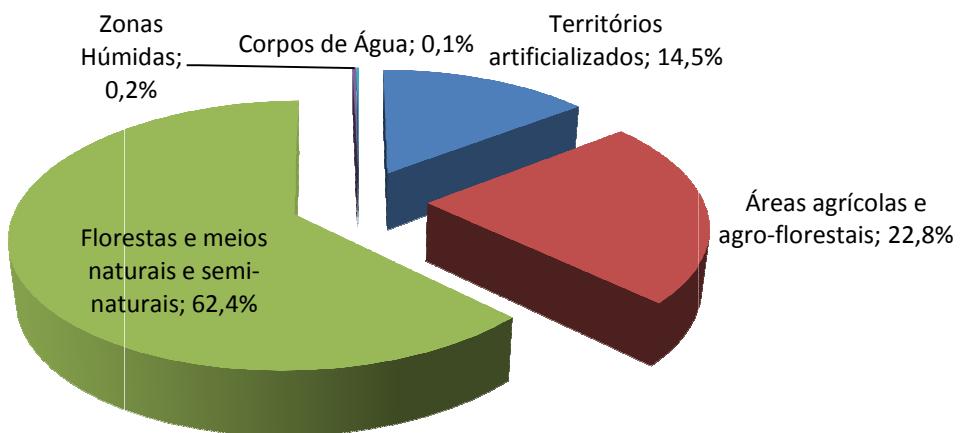


Figura 10. Distribuição da ocupação do solo do concelho de Leiria (COS, 2007).

A ocupação do solo no concelho é caracterizada pela ocorrência de uma mistura de espécies na mesma mancha (por exemplo olival com mato, pinheiros e uns restos de vinha) e por as manchas florestais apresentarem frequentemente um grau de cobertura bastante inferior a 100% (por exemplo, uma mancha de um antigo pinhal que já ardeu e que atualmente é ocupada por mato no estrato arbustivo e 20% de pinheiros mais 20% de eucaliptos no estrato arbóreo).

A floresta é constituída por povoamentos puros de pinheiro-bravo e eucalipto que, em conjunto, representam 33% da superfície do concelho. A floresta mista representa 9%, sendo que outro tipo de floresta corresponde a 19% (Fig. 11). Em comparação com os dados anteriores de ocupação de solo<sup>1</sup> (1999), verificamos que a área ocupada por pinheiro-bravo sofreu um decréscimo de cerca de 6%, para que muito contribuiu a expansão do nemátodo da madeira do pinheiro, o que tem levado a que grande quantidade dos produtores florestais prescinda desta espécie, por temerem que as suas matas sejam afetadas por esta doença.

A floresta de eucalipto registou um aumento de 3%. A produção florestal em moldes intensivos, como a que se baseia nas espécies de rápido crescimento (ciclos produtivos curtos – 10 a 16 anos) apresenta-se como preferência, à semelhança do registado ao nível nacional, dado que, proporcionando elevadas produtividades, confere vantagens de ordem financeira que pesam de modo determinante nas escolhas efectuadas.

<sup>1</sup> A informação inicial de ocupação de solo do IGP de 1990 foi atualizada dando origem a uma carta de ocupação de solo de produção municipal, baseada em ortofotomapas de 1999.

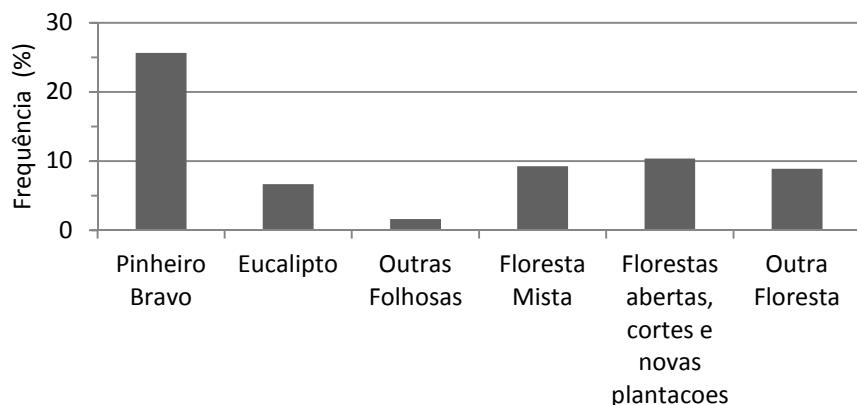


Figura 11. Distribuição da floresta do concelho de Leiria, nível 5 da Carta de Ocupação do Solo (IGP, 2007).

A figura 12 indica a percentagem da área a ocupada pelas espécies florestais requeridas para plantação pelos produtores florestais, proprietários dos terrenos no Município de Leiria, durante o período de 2007-2012. Os dados abaixo indicados referem-se aos pedidos de licença de mobilização de solo para efeitos de plantação de espécies florestais, realizados na C.M. Leiria.

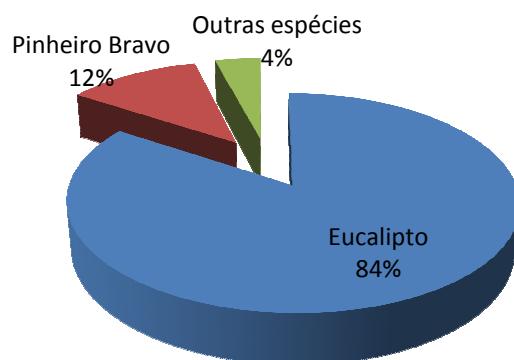


Figura 12. Distribuição da área dos pedidos de plantação do concelho de Leiria, de 2007 a 2012.  
(Fonte: C.M. Leiria, 2012).

Os 84% de área requerida para plantação de Eucalipto correspondem a 290 ha. É percutível verificar que a área de eucalipto tem tendência para aumentar em relação à área de pinheiro-bravo. Desde 2007 até 2012 foram apresentados cerca de 570 pedidos de plantação, onde se obtém uma dimensão média de 6000 m<sup>2</sup> por parcela. Estes dados indicam a realidade do concelho, nomeadamente parcelas de minifúndio com ausência de ordenamento florestal.

Estabelecendo a comparação entre os dados de 1999 e 2007 da carta de ocupação do solo, verifica-se que a área florestal aumentou cerca de 5%, a área agrícola teve um decréscimo de 10%, sendo que as áreas impermeabilizadas, dominadas por tecido urbano tiveram um crescimento de 4%.

## **2.4. População**

De acordo com os censos de 2011 a população residente no concelho de Leiria é de 126 879 habitantes, o que corresponde a uma densidade populacional de 225 hab/km<sup>2</sup>, valor claramente superior à média nacional (115 hab/km<sup>2</sup>) e ao da NUTS III Pinhal Litoral<sup>2</sup> (150 hab/km<sup>2</sup>).

Através da análise da distribuição da densidade populacional, facilmente constatamos que a freguesia de Leiria apresenta o maior valor de densidade, em contrapartida com a freguesia de Coimbrão que apresenta o valor de densidade menor do concelho.

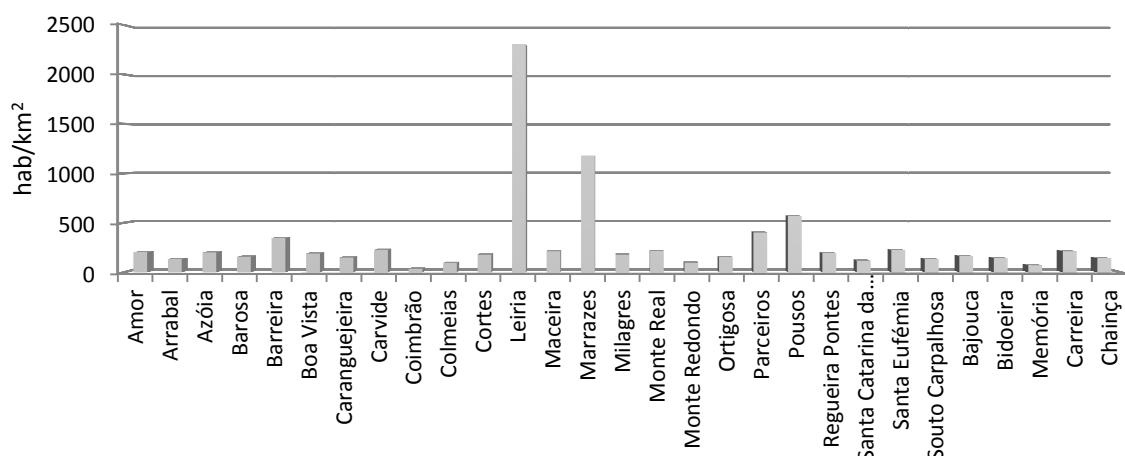


Figura 13. Densidade populacional das freguesias do concelho de Leiria (INE, 2011).

No que concerne à população residente, a freguesia de Marrazes é a mais populosa, sendo a freguesia da Chaínça a que apresenta menor valor de população residente.

Como se observa no Quadro 2, existe um aumento populacional no concelho de Leiria de 1970 a 2011, ou seja, estamos perante um concelho em claro crescimento, registando-se um aumento de cerca de 6% entre 2001 e 2011.

Todavia, este aumento não ocorre em todo o concelho; entre 2001 e 2011, verificou-se um decréscimo da população nas freguesias de Arrabal, Boavista, Carangueira, Carvide, Coimbrão, Colmeias, Regueira de Pontes, Santa Catarina da Serra, Santa Eufémia, Souto da Carpalhosa, Memória, Carreira e Chaínça.

<sup>2</sup>NUTS III da qual fazem também parte os concelhos de Batalha, Marinha Grande, Pombal e Porto de Mós.

Quadro 2. Evolução da população residente no concelho de Leiria, entre 1970 e 2011 (INE, 2011).

<b>ANOS</b>	<b>1970</b>	<b>1981</b>	<b>1991</b>	<b>2001</b>	<b>2011</b>	<b>VARIAÇÃO 91/01 (%)</b>	<b>VARIAÇÃO 01/11 (%)</b>
<b>População</b>	78950	96517	102762	119870	126879	16,65	5,85

### **3. Fatores e informação geográfica para análise dos fogos florestais**

#### **3.1 Fatores que condicionam os fogos florestais**

Os incêndios florestais são das catástrofes naturais mais significativas em Leiria, não só pela elevada frequência com que ocorrem e extensão que alcançam, como pelos efeitos destrutivos que causam. Para além dos prejuízos económicos e ambientais, podem constituir uma fonte de perigo para as populações e bens.

Os fogos florestais são considerados catástrofes naturais, mas pelo facto de se desenvolverem na Natureza e por a sua possibilidade de ocorrência e características de propagação dependerem fortemente de fatores naturais, do que por serem causados por fenómenos naturais. A intervenção humana pode desempenhar um papel decisivo na sua origem e na limitação do seu desenvolvimento. A propagação de um incêndio depende das condições meteorológicas (direção e intensidade do vento, humidade relativa do ar e temperatura), do grau de secura e do tipo do coberto vegetal, declive, rede viária e tempo de intervenção (ANPC, 2012).

O abandono de atividades típicas das comunidades rurais, como o pastoreio e a extração de lenha e mato, tem provocado um aumento da carga de combustível disponível nos espaços florestais e rurais. O problema é particularmente grave nos espaços florestais de pequena dimensão, na sua maioria de baixa produtividade, que tendem a ficar abandonados sem qualquer tipo de gestão (Salinero e Isabel 2004, González-Olabarria e Pukkala 2010, *in* Saturnino, 2011).

Na realização dos modelos de suscetibilidade não serão tidas em conta as variáveis de índole meteorológica visto não apresentarem relevância que justifique a sua introdução. São variáveis que interessam considerar, sobretudo, numa base diária, como elementos catalisadores, isto é, há de facto uma concentração da área ardida em poucos dias com condições meteorológicas extremas, mas tal facto não torna o território mais suscetível, antes potencia a suscetibilidade 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 que os humanos seriam capazes de sobreviver. Nos aspetos dinâmicos dos incêndios florestais, a meteorologia desempenha efetivamente um papel muito importante. No entanto, na modelação para determinação da suscetibilidade do território, as variáveis meteorológicas não se traduzem em valor acrescentado relevante (Verde, 2008).

Para cálculo da perigosidade de incêndio florestal foram identificados fatores que, potencialmente, podem condicionar os fogos, nomeadamente a ocupação do solo, altitude, declive, exposições, densidade populacional, proximidade às estradas, densidade de caminhos florestais e rede hidrográfica.

Entende-se que ponderar uma comunidade vegetal em função do risco de incêndio, é atribuir-lhe um valor de acordo com as suas características de inflamabilidade e combustibilidade, que permita estabelecer comparações com as comunidades vizinhas. Esta tarefa revela-se particularmente difícil, porque o tipo, a quantidade, o arranjo e a continuidade dos combustíveis podem variar continuamente de local para local, e no mesmo local ao longo do tempo. A cartografia de **ocupação do solo** (2007) representa as espécies dominantes que caracterizam a paisagem vegetal.

Os combustíveis florestais representam a matéria orgânica disponível para ignição e combustão, e representam o único fator que pode ser controlado ao nível da gestão e planeamento do território (Rothermel, 1972, Chuvieco e Martin, 1994, *in* Neves *et al.* 2011), e podem ser definidos pelas características das partículas de biomassa viva e/ou morta, que contribui para a propagação, intensidade e severidade dos fogos florestais (Burgan e Rothermel, 1984 *in* Neves *et al.* 2011). A integração dos combustíveis florestais no modelo de avaliação foi efetuada através da atribuição de valores de suscetibilidade a classes de ocupação do solo.

No que concerne à análise do fator **declive**, quanto maior for, maior será a dificuldade de atuação dos meios de combate, incapacitando-os de um ataque direto ao incêndio, para além de contribuírem para a formação de ventos locais, que influenciam diretamente a progressão das chamas, em particular no sentido ascendente (CML, 2012). Ao subir as encostas, as chamas aproximam-se dos combustíveis e facilitam o seu aquecimento e ignição, pelo que a propagação se faz muito mais rápida do que em terreno plano. Segundo Viegas (1989), a velocidade de propagação duplica, regra geral, em cada 10% de aumento do declive. Acrescenta que quando o sentido de propagação é descendente as chamas propagam-se de forma mais lenta e que nestas ocasiões, o declive do terreno praticamente não afeta o desenvolvimento do fogo (CML, 2012).

Em termos de defesa da floresta contra incêndios, as operações ao nível da prevenção, são dificultadas nas zonas onde os declives são superiores a 20%, sendo o custo inerente, muito superior, comparativamente ao necessário nas zonas com declives mais baixos (Oliveira, 2006). O combate aos incêndios florestais torna-se igualmente mais difícil nos locais com maiores inclinações, não só pelo acidentado do terreno, que dificulta o avanço dos meios, mas pela rápida propagação do fogo nestas áreas. Deste modo, na elaboração dos modelos de cálculo de suscetibilidade de incêndio florestal, é considerado, em regra, que quanto maior for o declive maior a dificuldade de extinção do incêndio florestal.

A **altitude** também foi analisada como fator que interfere na distribuição dos incêndios florestais. A altitude influencia a meteorologia da área, condicionando a temperatura, o vento e precipitação. De acordo com Castellà e Almirall (2005), a altitude e a forma de diversos fenómenos orográficos (colos,

cumeadas, vales encaixados, etc.) são fatores de influência na velocidade e “canalização” dos ventos dominantes e locais, influenciando, consequentemente, a velocidade de propagação e comportamento de hipotéticos incêndios florestais (Saturnino, 2011).

A **orientação das vertentes**, juntamente com o declive, determina a quantidade de energia solar que chega à vegetação. A um maior grau de insolação corresponderá, em termos gerais, um menor teor de humidade dos combustíveis vegetais, vivos ou mortos, especialmente na época mais seca, e a uma temperatura máxima diurna do solo e do ar adjacente consideravelmente mais elevada. A exposição poderá comportar-se como um dos fatores intervenientes na velocidade de propagação das chamas. Podemos associar que têm uma função retardadora quando expostas para Norte e Oeste, e ampliam a sua progressão sempre que voltadas para Sul e para Este. As vertentes viradas para Norte e para o Ocidente estão associadas a teores de humidade mais elevado, comparativamente às expostas para Sul e Oriente, que usufruem de maior radiação solar (CML, 2012). No entanto, estes fatores podem ser contrários, as vertentes Norte e Ocidente estão expostas aos ventos dominantes, que podem ser uma das causas de mais rápida propagação dos incêndios; por outro lado, a maior disponibilidade de humidade pode levar a um maior desenvolvimento da vegetação arbustiva e herbácea, propiciando o combustível disponível no período mais seco.

O Homem e as atividades por ele desenvolvidas no mundo rural, têm sido a principal causa dos incêndios florestais em Portugal ao longo dos últimos anos; efetivamente a proporção de incêndios com origem em fenómenos naturais (trovoadas, etc.) é pequena quando comparada com a dos incêndios originados por acidente, descuido ou mesmo intencionais (IGP, 2011). A **densidade populacional** no meio rural pode ser relacionada com a suscetibilidade de incêndio. Podemos considerar que uma forte presença humana na floresta aumenta o risco de ignição, logo maior a suscetibilidade; no entanto a baixa densidade populacional, também pode ser desfavorável, na medida em que conduz a um certo abandono da floresta, e à consequente acumulação de combustíveis, bem como diminui a vigilância sobre a mesma, reduzindo assim a probabilidade de um fogo poder ser detetado e combatido na fase inicial (IGP, 2011).

A **proximidade às estradas** principais e a **densidade de caminhos agrícolas e florestais** são dois fatores que interferem com a suscetibilidade de incêndio florestal. Anualmente, grande número de incêndios provocados por descuido ou desleixo e mesmo intencionais iniciam-se ao longo das vias de comunicação; deste modo a proximidade a uma estrada poderá implicar aumento do perigo de ignição (IGP, 2011). A densidade de caminhos florestais e rurais interfere na suscetibilidade de incêndios florestais, uma floresta fragmentada por diversos caminhos, poderá facilitar o acesso dos meios de combate aos espaços que lhe estão diretamente associados, no entanto também permite o acesso à população em geral, tal como tudo o que lhe está associado.

Em regra, a **rede hidrográfica**, ou seja o conjunto dos rios, ribeiras, riachos, lagoas, albufeiras, etc. que ocorrem em determinada região, apresentam uma certa estabilidade no espaço e no tempo. Os cursos de água permanentes constituem aspectos físicos da paisagem pouco mutáveis (a médio prazo), cuja presença determina a existência de "corredores verdes", ou seja, faixas de vegetação ripícola, com elevado teor de humidade, que se mantêm devido ao microclima local proporcionado pela presença de água todo o ano (IGP, 2011).

O efeito da rede hidrográfica sobre a suscetibilidade de incêndio é avaliado considerando os cursos de água e superfícies com água como locais incombustíveis, e a vegetação circundante numa faixa de 30 metros (que pelas razões expostas apresenta reduzida inflamabilidade sendo suscetível de barrar ou reter temporariamente a progressão de um incêndio) como áreas de menor suscetibilidade de incêndio (IGP, 2011). A utilização desta variável espacial, quando já é usada a ocupação do solo, prende-se com o facto de, nesta última, na maior parte dos troços não ser possível detetar esses corredores potenciais de vegetação ripícola. Por outro lado, considera-se que a partir do limite definido de 30 m, a distância às linhas de água torna-se irrelevante, pelo que foi considerada apenas a presença e ausência daquela faixa, e não uma classificação das várias distâncias a essas linhas de água.

Considerando a complexidade de variáveis que podem influenciar as ignições dos incêndios florestais, e de acordo com Salinero e Isabel 2004 e Martínez *et al.* 2009, destacam-se ainda as seguintes situações (Saturnino, 2011):

- O uso negligente do fogo devido a práticas tradicionais agrícolas/florestais, como forma de desmatação para instalação de culturas e renovação das pastagens;
- O uso negligente de determinada maquinaria agrícola e florestal, por exemplo sem tapachamas ou a utilização de determinadas alfaias que accidentalmente produzem faúlhas;
- O envelhecimento da população como fator de aumento de ignições tem ganho particular importância nas últimas décadas. Uma menor capacidade física implica também uma menor capacidade de controlo do fogo e/ou de tomar as medidas necessárias de prevenção, através da prática “ancestral” do uso do fogo na eliminação de resíduos vegetais;
- A presença crescente de pessoas nos espaços florestais, como consequência do intenso desenvolvimento das atividades recreativas nestas áreas também eleva o fator de risco. As atividades como a caça, a pesca, campismo, percursos pedestres, entre outros, tem implicado um aumento desmesurado de pessoas nos espaços florestais, nem sempre sensíveis às consequências do uso negligente do fogo;

- A expansão dos perímetros urbanos em determinadas áreas também tem o efeito de aumentar a pressão sobre os terrenos florestais;
- As infraestruturas lineares, caso da rede viária, ferroviária ou de transporte de energia, devido essencialmente à falta de limpeza do combustível na periferia das referidas infraestruturas.

### **3.2 Informação geográfica e variáveis espaciais**

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) caracterizam-se por um conjunto de ferramentas de gestão e apoio à decisão. Este conjunto de ferramentas pode consistir em programas de gestão de base de dados, programas de edição de dados geográficos e alfanuméricos ou programas de edição e georreferenciação de imagens. Na realidade um SIG pode ser constituído por tantas ferramentas quantas forem necessárias para a concretização dos objetivos propostos. O resultado final destas interações é a produção de informação geográfica.

Os dados de informação geográfica devem ser acompanhados de metadados que são uma descrição textual, de forma normalizada, da informação geográfica. A sua documentação é indispensável para a identificação e avaliação técnica (sistema de referência, extensão geográfica) dos conjuntos de dados geográficos, assim como aspectos ligados ao acesso a serviços e dados dos responsáveis (Silva, 2010).

A cartografia, nomeadamente a altimetria (curvas de nível e pontos cotados) constitui um dos elementos mais importantes para o processo de análise da suscetibilidade visto que é usada para produzir temas derivados com bastante importância, a partir do respetivo modelo digital do terreno, tais como os mapas de altitude, de declive e de exposição, que são, potencialmente, fatores condicionantes da distribuição dos incêndios florestais.

O Quadro 3 identifica de modo resumido as características dos dados de informação geográfica utilizados para modelação da suscetibilidade de incêndio florestal no concelho de Leiria, fazendo referência à sua origem, sistemas de referência e a sua disponibilização.

Quadro 3. Resumo das características dos dados de Informação Geográfica utilizada.

Sigla ou descrição	Tipo de dados	Sistemas de referência	Fonte dos dados	Data	Formato digital original	Disponibilização
CAOP	Limites Administrativos	ETRS89 – PT-TM06 (European Terrestrial Reference System 1989)	IGP	março de 2012	Arcview (SHP)	Via internet
COS	Ocupação do solo			junho a novembro de 2007		C.M. Leiria
COS	Ocupação do solo			Julho a agosto de 1990		C.M. Leiria
CRIF	Risco de Incêndio			2011		Via internet
Área ardidas	Áreas ardidas	Lisboa_Hayford Gauss_IGeoE	ICNF	20-11-2011	Arcview (SHP)	Via internet
Cartografia derivada do MDT	Altitude, Declives, Exposições	Datum73_Hayford Gauss_IPCC	IGP	2007	DGN	C.M. Leiria
Rede Viária	Rede Viária					
Rede Hidrográfica	Hidrografia					
População (BGRI 2011)	População	ETRS89 – PT-TM06 (European Terrestrial Reference System 1989)	INE	2011	Arcview (SHP)	C.M. Leiria

#### **4. Análise das ocorrências e da área ardida do concelho de Leiria**

O **fogo** é o desenvolvimento simultâneo do calor e luz, produzido pela combustão de certos corpos. Trata-se de um fenómeno natural, um fogo só se transforma num incêndio quando não se consegue controlar a sua evolução. Por vezes os incêndios têm origem em **queimadas**, que podem ser definidas como práticas agropastoris ou florestais que utilizam o fogo de forma controlada para viabilizar a agricultura. O decreto-lei n.º 17/2009, de 14 de janeiro, define “queimada como o uso do fogo para renovação de pastagens e eliminação de restolho e ainda, para eliminar sobrantes de exploração cortados mas não amontoados”. O mesmo decreto-lei define “**queima** como o uso do fogo para eliminar sobrantes de exploração, cortados e amontoados.”

**Incêndio florestal** é definido como o fogo sem controlo que incide sobre qualquer forma de vegetação, podendo tanto ser provocado pelo Homem ou por uma causa natural. Um incêndio só ocorre se o calor gerado ao queimar o combustível vegetal proporciona a energia necessária para que o fogo continue, podendo propagar-se por três vias: pelo solo, pela superfície ou pelas copas das árvores.

##### **4.1. Causalidade dos incêndios florestais**

Segundo Viegas (2005), podemos dizer que o Homem é a principal causa de incêndios florestais, pois na maioria das vezes a sua ocorrência decorre das atividades e/ou intervenções humanas. A ocorrência de incêndios florestais devido a processos naturais é mínima. Assim, podemos distinguir dois grandes grupos de causas de incêndios: as naturais e as antrópicas. As causas de incêndio antrópicas podem ainda subdividir-se em acidentais ou intencionais. Relacionadas com estas causas (antrópicas) estão fatores sociais e económicos. Consideram-se as atividades humanas e a negligência da segurança do uso do fogo como fatores que estão na origem dos incêndios.

A estatística utilizada na análise seguinte é proveniente do ICNF, entidade responsável pela sua disponibilização. Os incêndios investigados no período 2001 a 2011 correspondem a cerca de 50% dos incêndios registados ao longo desse período. As ações negligentes ocupam 50% das ocorrências, as causas desconhecidas cerca de 33%, as ações intencionais 16% dos incêndios, e apenas a 1% dos incêndios investigados foi atribuída a causa natural (Fig. 14).

Analizando o histórico anualmente é verificado que o tipo de causa intencional tem vindo a diminuir ao longo dos anos, onde se destacam as ações de sensibilização, dissuasão e fiscalização que cada vez mais penalizam este tipo de incidente, contribuindo para a sua diminuição.

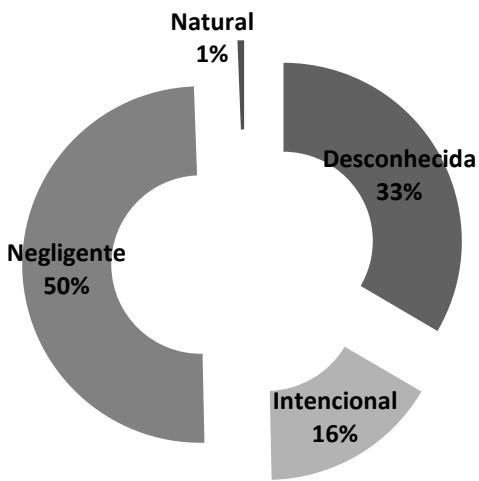


Figura 14. Distribuição das causas de incêndios florestais (2001-2011) no concelho de Leiria (Fonte: ICNF).

#### **4.2. Distribuição espacial das ocorrências e da área ardida**

##### **4.2.1. Distribuição geral no concelho**

Os dados tratados foram fornecidos pelo ICNF e correspondem à base de dados construída por esta instituição, no período 1990 a 2011, onde se detalha relativamente a cada incêndio ocorrido a seguinte informação:

- localização geográfica (distrito, concelho, freguesia);
- definição temporal da ocorrência (data e hora do inicio e fim do incêndio);
- contabilização da área queimada (povoamento e mato);
- informação sobre se o incêndio é ou não reacendido.

A análise da distribuição espacial das áreas ardidas (Fig. 15) permite identificar os locais do concelho mais suscetíveis, a sua dispersão no espaço e a dimensão das manchas. Existem áreas que se caracterizam por fogos cíclicos, como a Senhora do Monte, na freguesia de Arrabal e Cortes, com áreas ardidas registadas nos anos de 1995, 2003 e 2005. A freguesia de Souto da Carpalhosa, também viu a mesma área arder em 2002 e 2005. Estas áreas são definidas como áreas críticas, onde devem recarregar especial atenção as questões de vigilância, deteção e primeira intervenção, uma vez que os incêndios ocorridos assumem grandes proporções, são áreas onde o declive é acentuado, conjugado com a ocupação do solo (incultos) e a direção dos ventos criam condições favoráveis à ocorrência de grandes incêndios.

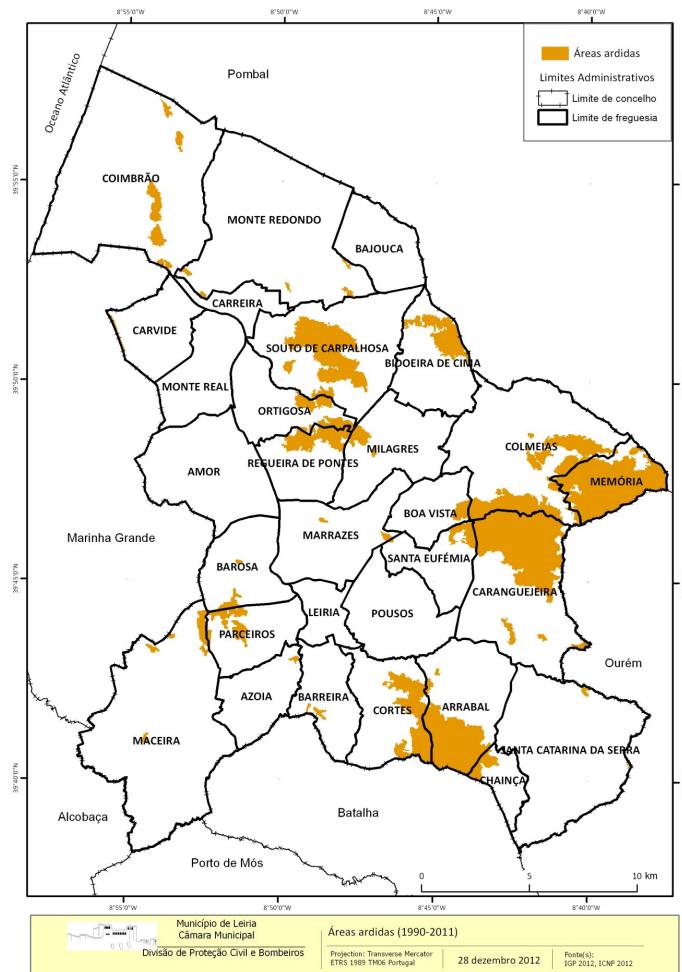


Figura 15. Distribuição espacial das áreas ardidas (1990-2011), no concelho de Leiria (ICNF, 2012).

#### 4.2.2. Distribuição por freguesia

Relativamente aos dados por freguesia foi utilizado o período de 1995 a 2011, uma vez que o ICNF só começou a disponibilizar dados por freguesia a partir desta data. A freguesia de Maceira é a que regista um número de incêndios mais elevados ao longo dos 17 anos (187 ocorrências), seguido da freguesia de Monte Redondo (163) e Colmeias (159). O número de ignições deve ser confrontado com a área da freguesia, de modo a tentar perceber as freguesias que têm maior expressão, realçando-se a freguesia de Leiria, com 11 ocorrências, seguida da freguesia de Marrazes com 8 ocorrências. A freguesia de Colmeias é a que apresenta maior valor de área ardida (3167 ha), seguida de Souto da Carpalhosa (871 ha) e Cortes (356 ha). As freguesias de Chaínça, Bajouca e Carreira todas com 3 ha ou menos, registam os menores valores de área ardida ao longo dos 17 anos de análise. A área média de cada incêndio apresenta maior valor nas freguesias de Colmeias e Cortes, respetivamente 20 ha e 9 ha (Quadro 4).

A série estatística disponibilizada pelo ICNF contém todos os registos e histórico de ocorrências relacionados com os incêndios florestais, sendo o registo sempre associado à freguesia onde o fenómeno deflagrou, sendo visíveis discrepâncias entre a série estatística (Quadro 4) e a cartografia das áreas ardidas (Fig. 15), que obedece a outros critérios, visto que apenas são cartografadas áreas ardidas superiores a um hectare.

Quadro 4. Número de ocorrências e área ardida por freguesia (1995-2011), no concelho de Leiria (Fonte: ICNF, 2012).

Freguesias	N.º de Ocorrências		Área ardida		Área média por incêndio (ha)
	Total (n)	Densidade (nº/km <sup>2</sup> )	Total (ha)	Fração da Freguesia (%)	
Amor	69	2,9	11	0,5	0,2
Arrabal	44	2,2	184	9,2	4,2
Azoia	50	4,4	40	3,5	0,8
Bajouca	24	2,0	3	0,2	0,1
Barosa	59	4,3	52	3,8	0,9
Barreira	79	6,7	36	3,0	0,5
Bidoeira de Cima	51	3,3	299	19,2	5,9
Boavista	22	2,4	4	0,5	0,2
Caranguejeira	129	4,2	142	4,6	1,1
Carreira	17	3,1	3	0,6	0,2
Carvide	32	2,6	8	0,6	0,2
Chainça	10	1,8	1	0,2	0,1
Coimbrão	78	1,5	205	3,9	2,6
Colmeias	159	4,5	3167	89,5	19,9
Cortes	39	2,3	356	21,3	9,1
Leiria	74	11,4	22	3,4	0,3
Maceira	187	4,0	60	1,3	0,3
Marrazes	148	7,7	43	2,3	0,3
Memória	21	1,9	6	0,5	0,3
Milagres	83	4,8	21	1,2	0,2
Monte Real	35	2,6	7	0,5	0,2
Monte Redondo	163	3,6	50	1,1	0,3
Ortigosa	45	3,5	12	0,9	0,3
Parceiros	59	5,1	182	15,7	3,1
Pousos	60	3,5	9	0,5	0,2
Regueira de Pontes	36	3,1	5	0,4	0,1
Santa Catarina da Serra	99	2,8	30	0,8	0,3
Santa Eufémia	31	3,0	6	0,6	0,2
Souto da Carpalhosa	144	4,9	871	29,7	6,0
<b>Total</b>	<b>2047</b>		<b>5835</b>		

Na análise dos dados por freguesia, foram confrontados os valores publicados pelo ICNF relativamente à estatística com os dados publicados pela mesma instituição, mas referente à cartografia para o mesmo período temporal. Na comparação dos dados, faz-se referência que para registo cartográfico apenas se consideram incêndios com área superior a 1 ha, de acordo com o

manual de tratamento da informação geográfica associada a terrenos percorridos por incêndios, enquanto na análise estatística são considerados todos os incêndios registados nesse período. De modo a verificar quais as freguesias com áreas mais devastadas faz-se uma análise da percentagem de área ardida por freguesia (Quadro 5).

As freguesias de Colmeias, com 166% da área ardida, e Souto da Carpalhosa, com 161% da área ardida, destacam-se na série estatística como as freguesias com maior proporção ardida, registando valores de área ardida superiores aos valores da área total da freguesia, no entanto, convém ter em consideração a análise utilizando a série cartográfica. Na análise da série cartográfica verificamos que a freguesia de Memória foi devastada por fogos florestais em 87% da sua área, seguido da freguesia de Arrabal com 38% da área da freguesia ardida.

A diferença destes valores corresponde ao registo efetuado aquando da ocorrência do incêndio. A área atribuída ao incêndio corresponde à freguesia onde o mesmo deflagrou. É possível verificar que um incêndio que tenha origem na freguesia A, mas que rapidamente passe para a freguesia B, o registo estatístico associado a esse incêndio apenas vai ser efetuado na freguesia A. De modo a proceder a uma análise mais próxima da realidade é essencial a análise da cartografia para verificar as freguesias onde os incêndios tiveram maior expressão ao nível da área ardida.

Quadro 5. Fração (%) de área ardida por freguesia (1995-2011), no concelho de Leiria.

Freguesias	Fração de área ardida (%)	
	Dados estatísticos (ICNF)	Cartografia (ICNF)
Amor	0	0
Arrabal	9	38
Azoia	4	1
Bajouca	0	0
Barosa	4	3
Barreira	4	2
Bidoeira de Cima	10	17
Boavista	0	6
Caranguejeira	3	37
Carreira	0	0
Carvide	0	2
Chaínça	0	16
Coimbrão	4	4
Colmeias	166	18
Cortes	21	26
Leiria	2	0
Maceira	1	2
Marrazes	3	1
Memória	1	87
Milagres	1	4
Monte Real	1	0
Monte Redondo	1	1
Ortigosa	1	13
Parceiros	6	11
Pousos	1	0
Regueira de Pontes	0	20
Santa Catarina da Serra	3	0
Santa Eufémia	1	9
Souto da Carpalhosa	161	24

Os maiores valores de área ardida registados nas freguesias não têm relação direta com o número de incêndios, facto que pode estar relacionado com a eficiência das ações de combate em determinadas freguesias, nomeadamente ao nível da 1ª intervenção, mas também pode estar relacionado com as características de cada freguesia no que respeita à ocupação do solo ou topografia.

#### 4.2.3. Área ardida e número de ocorrências por classes de extensão

A Figura 16 ilustra a distribuição da área ardida e do número de ocorrências por classes de extensão (1996-2010) e permite analisar que a classe de incêndios com tamanho inferior a 1 ha representa cerca de 92% do número total de incêndios e corresponde a cerca de 2% da área ardida nos quinze anos analisados. Os grandes incêndios (superiores a 100 ha) representam cerca de 84% da área ardida em 15 anos e menos de 1% do número total de ocorrências. Facto já comprovado por

Bergonse e Bidarra (2010) que referem no seu estudo que o distrito de Leiria, entre outros, é particularmente afetado por grandes incêndios, com valores de área ardida superior a 100 ha.

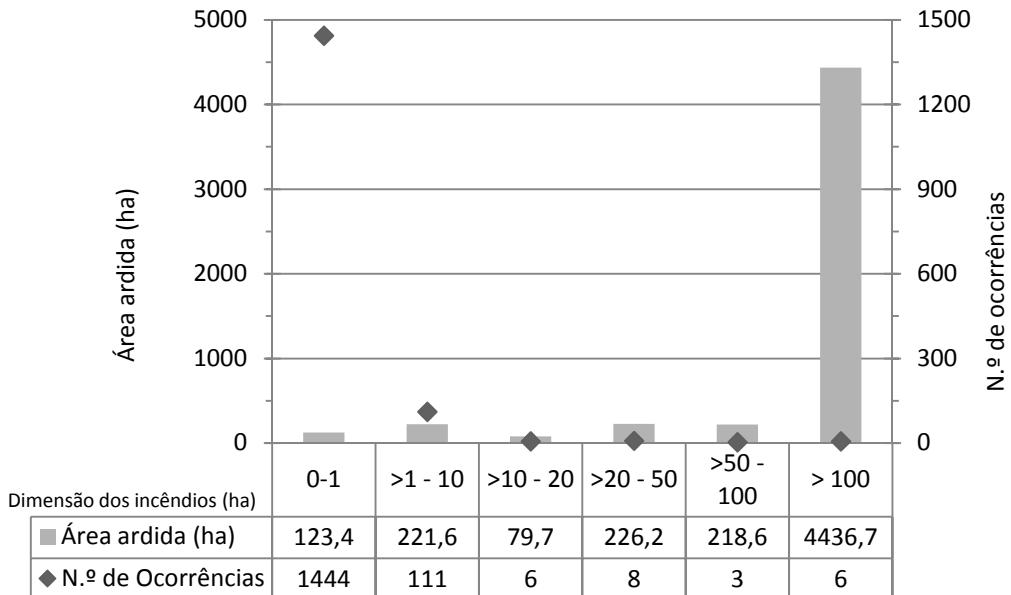


Figura 16. Área ardida e n.º de ocorrências (1996-2010), no concelho de Leiria.

O concelho de Leiria ao longo de 15 anos registou cerca 134 incêndios (ocorrências superiores a 1 ha), registando uma média de 9 ocorrências por ano. A Figura 17 mostra a variação em relação à média do número de incêndios superiores a 1 ha pelos anos analisados, onde se verifica, a partir de 2005, uma tendência abaixo da média do número de incêndios superiores a 1 ha.

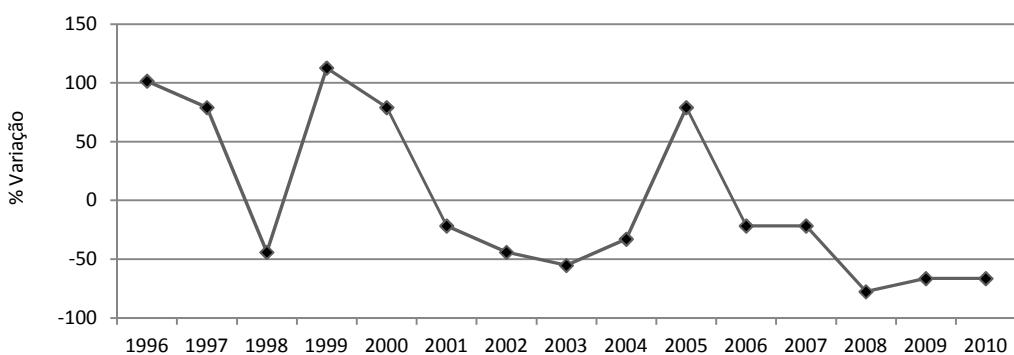


Figura 17. Variação anual, em relação à média, dos números de incêndios superiores a 1ha (1996-2010), no concelho de Leiria.

#### 4.2.4. Área ardida em espaços florestais

O estudo da área ardida por tipo de coberto vegetal permite verificar que têm ardido no concelho essencialmente áreas com povoamento florestais (Fig. 18), num total de 4424 ha (83% da área ardida). A perda destas áreas são sinónimo de elevadas perdas económicas, diretas e indiretas, que se têm vindo a registar ao longo dos anos, nomeadamente no ano de 2005. Estas assumem um

carácter direto, quando a floresta é encarada como perda de madeira, resina ou mesmo, os custos de reflorestação resultantes dos grandes incêndios florestais; e indireto no sentido da perda de uma importante parte da estrutura ecológica dos lugares, da sua função protetora, de áreas de lazer, e mesmo de uma identidade simbólica e cultural dos lugares.

Embora em número mais reduzido, as áreas ardidas de mato correspondem a 17% da área total ardida (cerca de 884 ha) e resultam quer da continuação dos incêndios provenientes dos povoamentos florestais, quer da realização de queimadas associadas à substituição de pastagens, ou a tentativa de diminuir cargas de combustível existentes em pousios de longa duração. Apesar de serem frequentemente considerados incêndios de menor importância, os incêndios ocorridos sobre matos, são responsáveis muitas vezes pela diminuição de áreas com culturas agrícolas e áreas de silvo pastorícia.

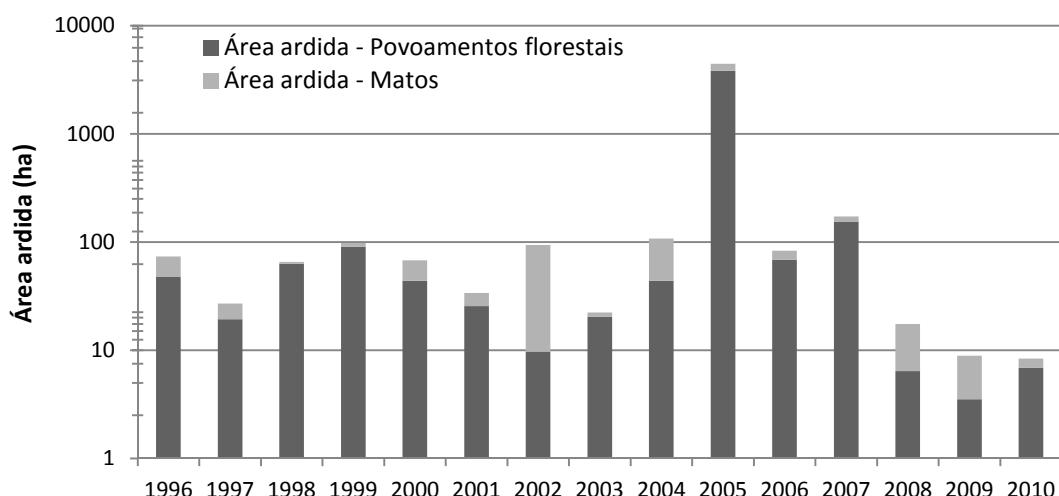


Figura 18. Distribuição da área ardida por espaços florestais (1996-2010), no concelho de Leiria (representação em escala logarítmica).

#### **4.3. Distribuição temporal das ocorrências e da área ardida**

##### **4.3.1. Distribuição anual e mensal**

A análise do histórico dos incêndios florestais de 1980 a 2010 permite-nos identificar os anos de 1994 e 1995 como os com maior número de incêndios (Fig. 19), 268 e 220 ocorrências, respetivamente, seguidos de 2005 (199), 2008 (186), 1993 (154) e 2007 (130).

No que concerne à área ardida destaque para o ano de 2005 que registou cerca 4429 ha, tornando-se num ano excepcional pelos valores tão elevados (Fig. 19). Seguem-se os anos de 1995 (507 ha), 1990 (266 ha), 2007 (173 ha) 1989 (154 ha) e 1993 (149 ha). Em termos meteorológicos, estes anos caracterizam-se por apresentar condições especialmente favoráveis à propagação de grandes

incêndios associados a situações de bloqueio atmosférico da Península Ibérica, onde resultam ventos de leste quentes e secos. As temperaturas sobem acima dos 40°C, o arrefecimento noturno é reduzido, os ventos sopram mais de 30km/h e a humidade relativa desce consideravelmente.

Nos últimos 31 anos (1980-2010), os incêndios, destruíram uma área de, aproximadamente, 6731 ha, equivalente a cerca de 12% da área do concelho. Um outro aspeto que poderá ser preocupante é o facto de, dessa área, 3/4 ter ocorrido na última década (2000-2009); todavia, há que ter em consideração que quase 66% dessa área foi consumida em apenas um ano (2005), o qual, como se referiu, se reveste de enorme excepcionalidade.

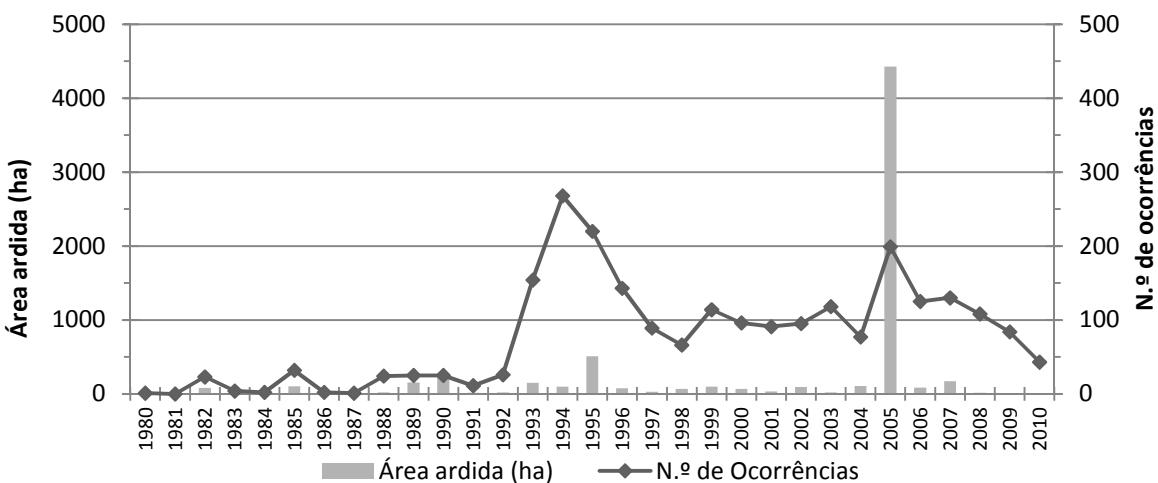


Figura 19. Distribuição anual da área ardida e do n.º de ocorrências (1980-2010), no concelho de Leiria.

A Figura 20 representa a variação em relação à média do número de incêndios florestais, registada ao longo de 31 anos. O valor médio de ocorrências do concelho de Leiria é de 77, sendo que se verifica um acréscimo significativo a partir de 1992, mantendo-se a percentagem acima da média até 2009. O ano de 2007 serve como viragem da tendência, uma vez que representa um decréscimo do número de incêndios até à atualidade, representando o ano de 2010 um valor abaixo da média de ocorrências para o período em análise.

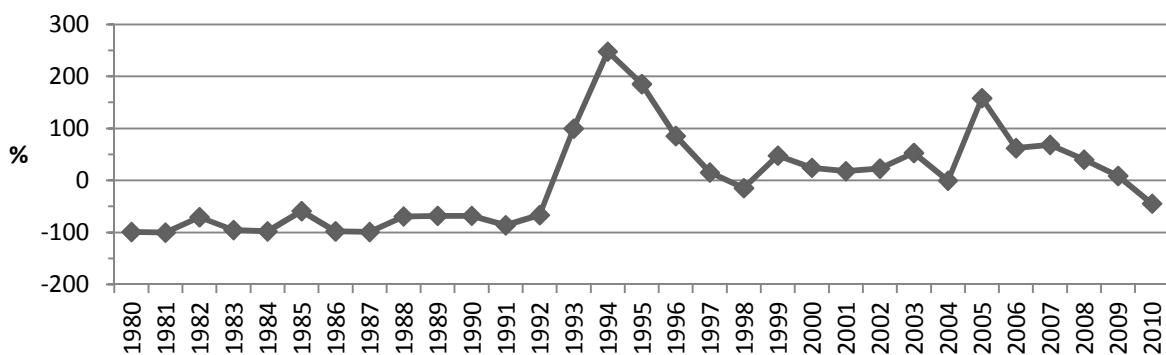


Figura 20. Variação anual, em relação à média, dos números de ocorrências (1980-2010), no concelho de Leiria.

Os incêndios são considerados um dos flagelos do Verão, embora possam ter lugar nas estações de transição, Outono e Inverno (Alcoforado e Almeida, 1993).

O número de ocorrências de fogos ao longo do ano (1996-2010) revela que 71% dos fogos florestais têm lugar durante os quatro meses do período estival que se estende de junho a setembro, no entanto, esta tendência tem vindo a diminuir desde 2007, onde os fogos não se têm concentrado durante os “tradicionais” meses de Verão.

Na distribuição mensal da área ardida e do número de ocorrências (1996-2010), destaca-se o mês de Agosto que regista maiores valores de área ardida e número de ocorrências (Fig. 21). O histórico de 15 anos permite aferir ao nível de ocorrências e área ardida um período crítico entre Junho e Outubro, facto para o qual contribuem as elevadas temperaturas registadas nestes meses, que favorecem a eclosão e a rápida progressão dos fogos florestais.

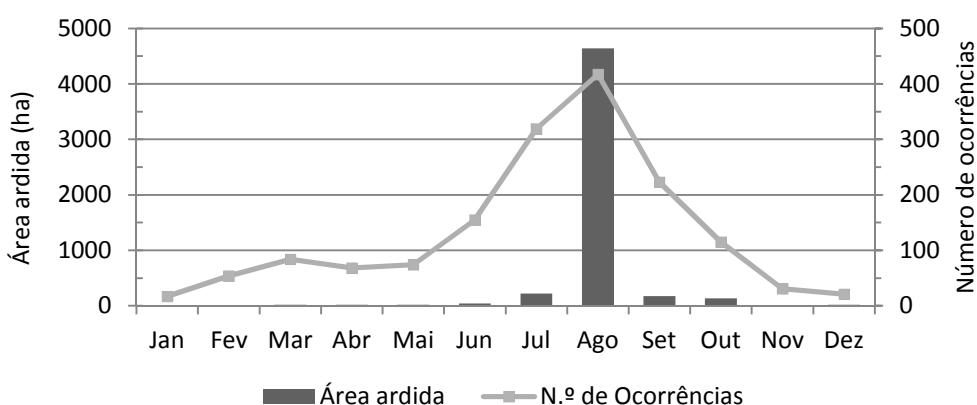


Figura 21. Distribuição mensal da área ardida e do número de ocorrências (1996-2010), no concelho de Leiria.

#### 4.3.2. Distribuição pelos dias da semana

A análise da distribuição da área ardida e do número de ocorrências pelos dias da semana, no período de 1996 a 2010 (Fig. 22), permite-nos verificar que a quarta-feira foi o dia da semana mais crítico que registou maior valor de área ardida. É necessário destacar os cerca de 4112 ha ardidos, para os quais muito contribuiu o elevado valor registado na quarta-feira, dia 3 de agosto de 2005; caso fosse eliminado este dia, que registou valores de área ardida excepcionais, não se destacaria qualquer dia da semana. No que concerne ao número de incêndios não se realça qualquer dia da semana. Não existe uma relação direta entre a área ardida e o número de ocorrências pelos dias da semana.

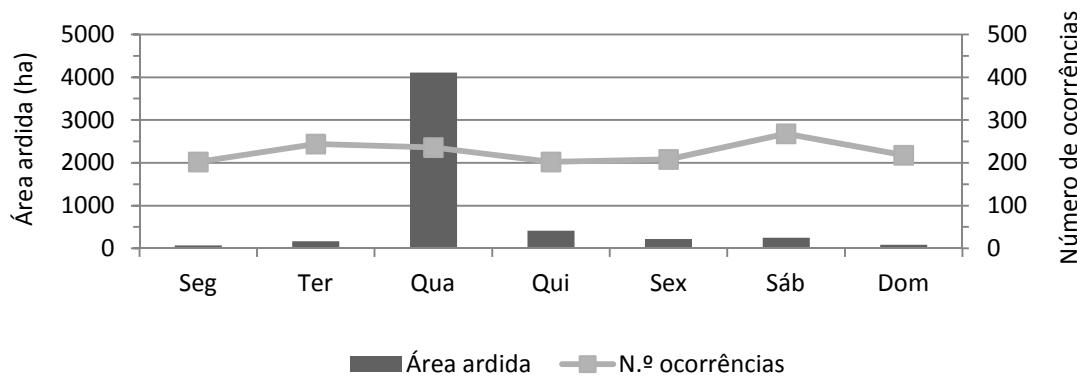


Figura 22. Distribuição da área ardida e do número de ocorrências pelos dias da semana (1996-2010), no concelho de Leiria.

#### 4.3.3. Distribuição diária e horária

A análise da distribuição diária de ocorrências e área ardida ao longo do ano permite encontrar padrões e tendências, numa lógica de prevenção, de forma a se poderem minimizar futuras ocorrências e diminuir tempos de resposta ao nível de 1<sup>a</sup> intervenção.

A distribuição dos valores diáriamente acumulados da área ardida e do nº de ocorrências (1996-2010) identifica um dia crítico, 3 de agosto, representando cerca de 73% da área total ardida. A distribuição do nº de ocorrências, mostra um período crítico entre 15 de Julho e 31 de agosto (Fig. 23).

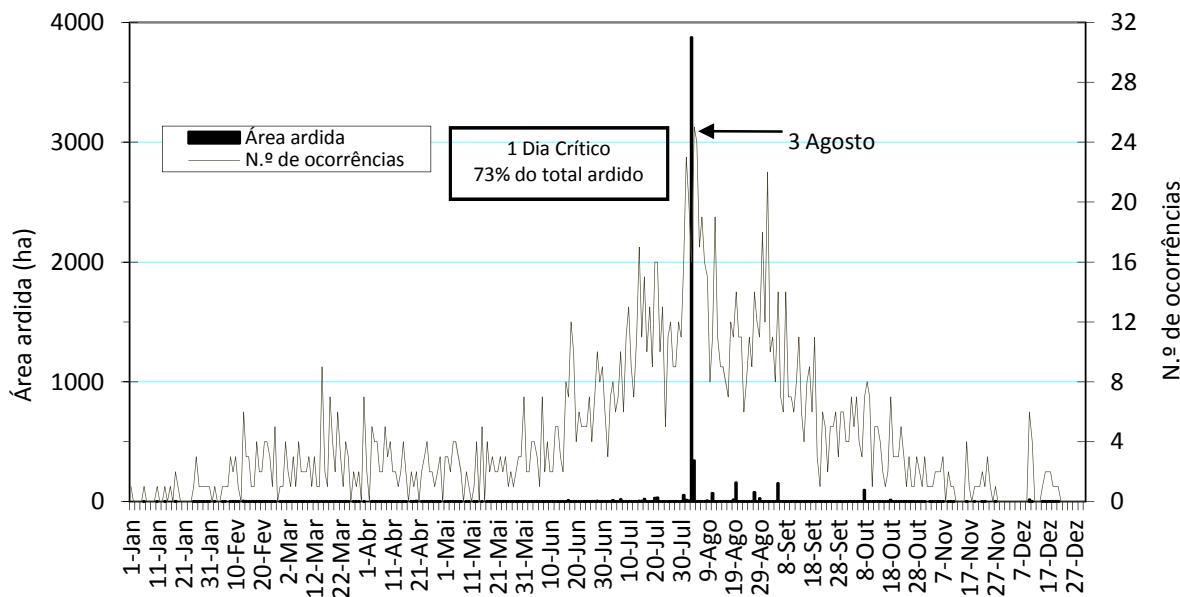


Figura 23. Distribuição diária acumulada da área ardida e do número de ocorrências (1996-2010), no concelho de Leiria.

O conhecimento da distribuição das ocorrências durante o dia permite direcionar os meios de vigilância e 1<sup>a</sup> intervenção para as horas mais críticas. Este conhecimento é fundamental para a minimização da possibilidade de um foco de incêndio se transformar num grande incêndio.

A distribuição horária da área ardida e do número de ocorrências (1996-2010) indica-nos um período crítico de área ardida, 19:00 - 19:59 horas (Fig. 24), representando cerca de 73% da área ardida. Relativamente ao número de ocorrências, no período 11:00 – 18:59 h, registaram-se cerca de 64% das ocorrências, mas corresponde apenas a 17% da área ardida. Estes valores devem-se em grande parte às características meteorológicas que propiciam, durante este período, condições de humidade e temperatura ótimas ao início e deflagração de focos de incêndio. É necessário realçar o dia 3 de agosto de 2005, entre as 19-20 horas, que foi de exceção, onde coincidiu a deflagração dos três maiores incêndios registados no concelho e que condicionam a análise direta dos dados da área ardida. A estatística aconselha ao reforço das ações de vigilância entre as 11h e as 19h, de modo a que os incêndios possam ser detetados na sua fase inicial, minimizando a sua propagação.

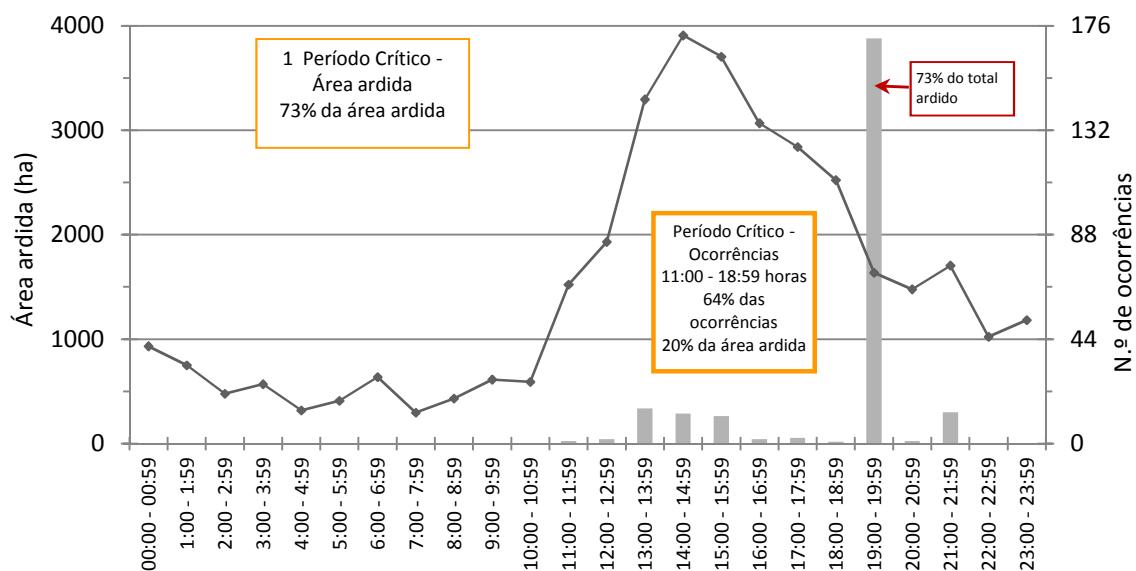


Figura 24. Distribuição horária acumulada da área ardida e do n.º de ocorrências, no concelho de Leiria.

## 5. A cartografia de risco florestal

### 5.1 Noções e conceitos associados ao Risco de Incêndio Florestal

A Teoria do Risco organiza-se em torno da sequência de três conceitos base: risco, perigo e crise (Rebelo, 1994). O limiar que os separa nem sempre é claro. No entanto, o uso de certas palavras-chave pode ajudar a identificá-los. Por exemplo, análise do risco comporta *complexidade, custos e limiares*, do mesmo modo que a avaliação do perigo implica *alerta, alarme e insegurança* e a manifestação da crise corresponde ao *franqueamento dos limiares normais, à incapacidade de agir sobre os processos* (Rebelo, 1994).

Panizza (1990), citado por Bateira (2001), define o Risco Ambiental que resulta da influência dos processos e dinâmica do meio sobre bens, atividades e vidas humanas, como o resultado da conjugação de dois aspectos:

- dinâmica do meio físico que acarreta perigo para a presença humana (perigosidade);
- exposição que uma comunidade tem em relação aos perigos resultantes dessa dinâmica (vulnerabilidade).

Brum Ferreira (1992), citado pelo mesmo autor, confere à noção de Risco Ambiental uma relação direta com a frequência, a magnitude do fenómeno e a vulnerabilidade da sociedade; defende que o grau de risco vai depender da probabilidade de ocorrência de um fenómeno capaz de por em perigo pessoas e bens. Este autor apresenta o Risco Ambiental como conjugação do Risco Natural e Antrópico.

Ainda Leone (1996), também citado por Bateira (2001), indica que o “risco natural surge como sendo a esperança matemática de perdas ou danos provocados por um fenómeno natural potencialmente destruidor”. Esta noção supõe que é possível quantificar a probabilidade de ocorrência de um fenómeno natural e a vulnerabilidade das sociedades, tendo assim o Risco Natural a que esta sujeita essa sociedade.

De acordo com Bateira (2001), a noção de Risco Natural é apresentada com uma graduação que depende diretamente das consequências geradas pela dinâmica do meio físico sobre a presença do Homem na Terra e da sua probabilidade de ocorrência. O nível de Risco está relacionado com a frequência e intensidade dos fenómenos ocorridos (probabilidade) e com os prejuízos potenciais (gravidade).

Risco será então “a probabilidade e severidade expectável do número de vidas perdidas pessoas feridas, danos em propriedades ou interrupção de atividades económicas devido a um fenómeno

particular” (Zêzere, 1997). A noção de Risco resultará assim da conjugação da perigosidade e da vulnerabilidade.

A noção de risco de incêndio é, muitas vezes, confundida com a de perigo de incêndio, sendo usadas como sinónimos, apesar de não significarem exatamente a mesma coisa, pelo que convém clarificar o uso destes termos (Lourenço, 1996).

Para Macedo e Sardinha (1987) o risco de eclosão de fogo deve-se à existência de causas humanas (acidentais ou voluntárias) e naturais (faíscas) que provoquem a ignição e só haverá razão para falar em perigo quando se produzirem danos apreciáveis (Lourenço, 1996).

De acordo com Lourenço (1996) o risco de deflagração está sempre presente, traduzindo um estado de perigo latente. O maior ou menor grau de risco depende da conjugação mais ou menos favorável de uma série de fatores de natureza física e humana.

O modelo da carta de perigosidade de incêndio referido no guia do ICNF (ex-AFN) indica que probabilidade traduz a verosimilhança de ocorrência de um fenómeno num determinado local em determinadas condições. Para cálculo da probabilidade atender-se-á ao histórico dessa mesma célula (local), calculando uma percentagem média anual, para uma dada série de observações, que permitirá avaliar a perigosidade no tempo (AFN, 2012).

A suscetibilidade de um território expressa as condições que esse local apresenta para a ocorrência e potencial de um fenómeno danoso. Variáveis como as que derivam da topografia, e ocupação do solo, entre outras, definem se um território é mais ou menos suscetível ao fenómeno, contribuindo melhor ou pior para que este se verifique e, eventualmente, adquira um potencial destrutivo significativo (AFN, 2012).

A suscetibilidade representa a incidência espacial dos perigos; identifica e classifica as áreas com propensão para serem afetadas por um determinado perigo, em tempo indeterminado (Julião *et al.*, 2009). A avaliação da suscetibilidade de uma área a determinado perigo efetua-se através dos fatores de predisposição para a ocorrência dos processos ou ações perigosos, de forma qualitativa (Julião *et al.*, 2009).

A perigosidade é o produto da probabilidade e da suscetibilidade. A perigosidade é “a probabilidade de ocorrência, num determinado intervalo de tempo e dentro de uma determinada área, de um fenómeno potencialmente danoso” (Varnes, 1984), ou “um evento físico potencialmente danoso ou atividade humana que possa causar perda de vidas ou ferimentos, danos em bens, interferência social e económica ou degradação ambiental (... )” (UN/ISDR, 2004, *in* AFN, 2012).

## **5.2 Conjuntos amostrais para a elaboração dos modelos de suscetibilidade**

Com base numa série estatística de áreas ardidas de 21 anos (1990-2010, ICNF), fizeram-se vários ensaios, procurando estabelecer qual a combinação temporal mais sólida para a criação de modelos de avaliação de suscetibilidade, ficando anos disponíveis para validação independente. Utilizou-se a série 1990 a 2004 para elaboração do mapa de perigosidade, e os anos de 2005 a 2010 para validação independente, ou seja, 15 anos para modelação e 6 anos para validação.

No período 1990 a 2004 foram registados 1593 incêndios, que resultaram numa área ardida de cerca de 1639 ha, com uma forte incidência no sul do concelho, destacando-se os anos de 1995 e 1990 com os maiores valores de área ardida. No que concerne ao número de incêndios destaque para os anos de 1994 e 1995, sendo os únicos anos em que o número de incêndios atingiu valores superiores a duas centenas (Quadro 6).

Quadro 6. Áreas ardidas e número de incêndios, de 1990 a 2004, ocorridos no concelho de Leiria.

Ano	Área ardida (ha)	Nº de Ocorrências
<b>1990</b>	265,8	25
<b>1991</b>	15,9	11
<b>1992</b>	18,5	26
<b>1993</b>	148,8	154
<b>1994</b>	96,5	268
<b>1995</b>	506,9	220
<b>1996</b>	73,9	143
<b>1997</b>	27,1	89
<b>1998</b>	65,4	66
<b>1999</b>	97,9	114
<b>2000</b>	67,6	96
<b>2001</b>	33,8	91
<b>2002</b>	93,8	95
<b>2003</b>	19,5	118
<b>2004</b>	107,7	77
<b>Total</b>	1639,1	1593

Nos anos compreendidos entre 2005 e 2010, arderam cerca de 4720 ha, registando-se 689 ocorrências. Sendo o ano de 2005 excepcional, com cerca de 4429 ha ardidos, torna-se mais complexo a divisão em duas amostras idênticas (área). A opção passou por utilizar o ano de 2005 para validação, sendo necessário que a análise dos modelos finais de validação tenha em consideração este facto.

A Figura 25 mostra as áreas ardidas utilizadas para modelação e as áreas ardidas usadas para validação, onde é possível verificar a sobreposição de algumas áreas.

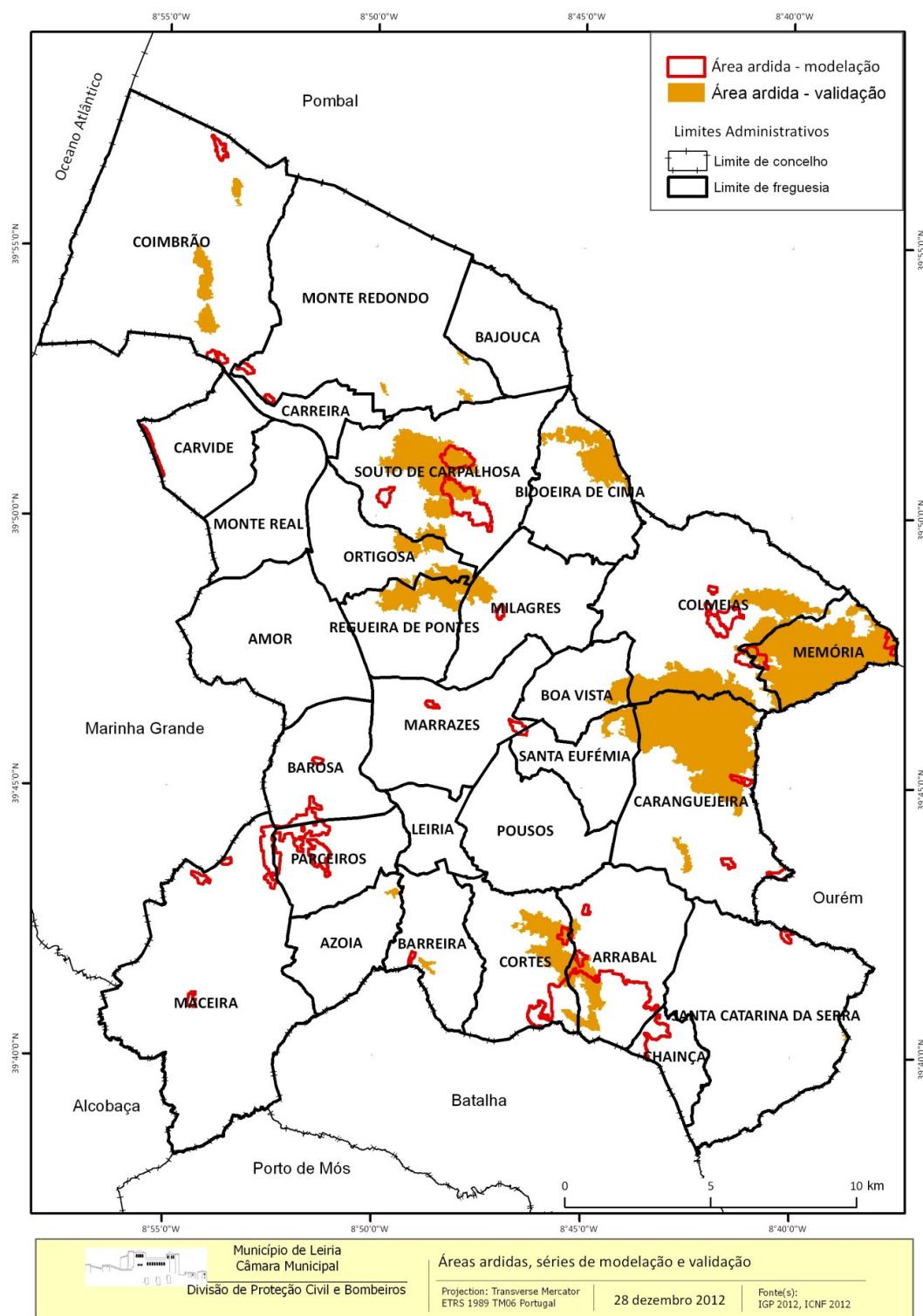


Figura 25. Áreas ardidas no concelho de Leiria, de 1990 a 2010, divididas em dois subconjuntos, um utilizado para modelação (1990-2004) e outro para validação (2005-2010).

### **5.3 Perigosidade de Incêndio Florestal**

A metodologia indicada pelo ICNF (AFN, 2012) advém do facto de cada Município desenvolver cartografia de risco de incêndio, não existindo qualquer tipo de norma ou indicação da metodologia que deveria ser adotada. Sendo o ICNF responsável pela agregação das várias cartas de risco de incêndio, revelou-se fundamental estabelecer parâmetros com vista à uniformização de critérios na elaboração do risco de incêndio de modo a dar continuidade entre os diversos concelhos. O modelo integra conceitos de probabilidade, que tem em conta o histórico de ocorrências e suscetibilidade, onde são utilizadas as variáveis declive e ocupação do solo. A junção destas variáveis origina o modelo de Perigosidade (Fig. 26).

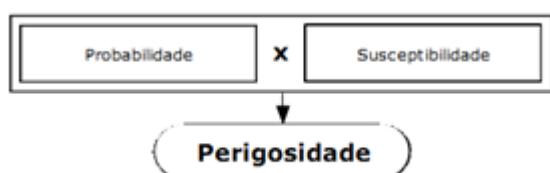


Figura 26. Componentes do Modelo de Risco (AFN, 2012).

A probabilidade expressa a frequência anual média de ocorrência de um incêndio e tem por base o número de incêndios em cada célula para o período considerado (AFN, 2012). A probabilidade foi determinada para cada célula calculando o número de vezes da célula ardida dividindo pelo número de anos da série, 15 anos (AFN, 2012). O valor resultante foi multiplicado por 100, de modo a serem utilizados apenas valores inteiros. As áreas que arderam apenas uma vez foram reclassificadas de modo a ficarem com o mesmo valor que as áreas que nunca arderam, tendo como objetivo isolar fenômenos sem recorrência que podem ser fortuitos (AFN, 2012). Em locais onde os incêndios já deflagraram mais do que uma vez, isso significa que as condições aí presentes são mais propícias à ocorrência de incêndios florestais; pode, assim, ser obtida, uma probabilidade de ocorrência, visto que os incêndios ocorrem com determinada periodicidade (AFN, 2012).

Relativamente ao cálculo da probabilidade, foram consideradas as áreas ardidas (ICNF, 2012) no concelho de Leiria, no período de 1990-2004, bem como o número de vezes que cada área ardeu.

É de salientar que no concelho de Leiria, o máximo de ocorrências na mesma célula é de duas vezes (Fig. 27). Deste modo, a variável em causa não apresenta, para o período considerado, uma tendência significativa que possa definir um período de retorno.

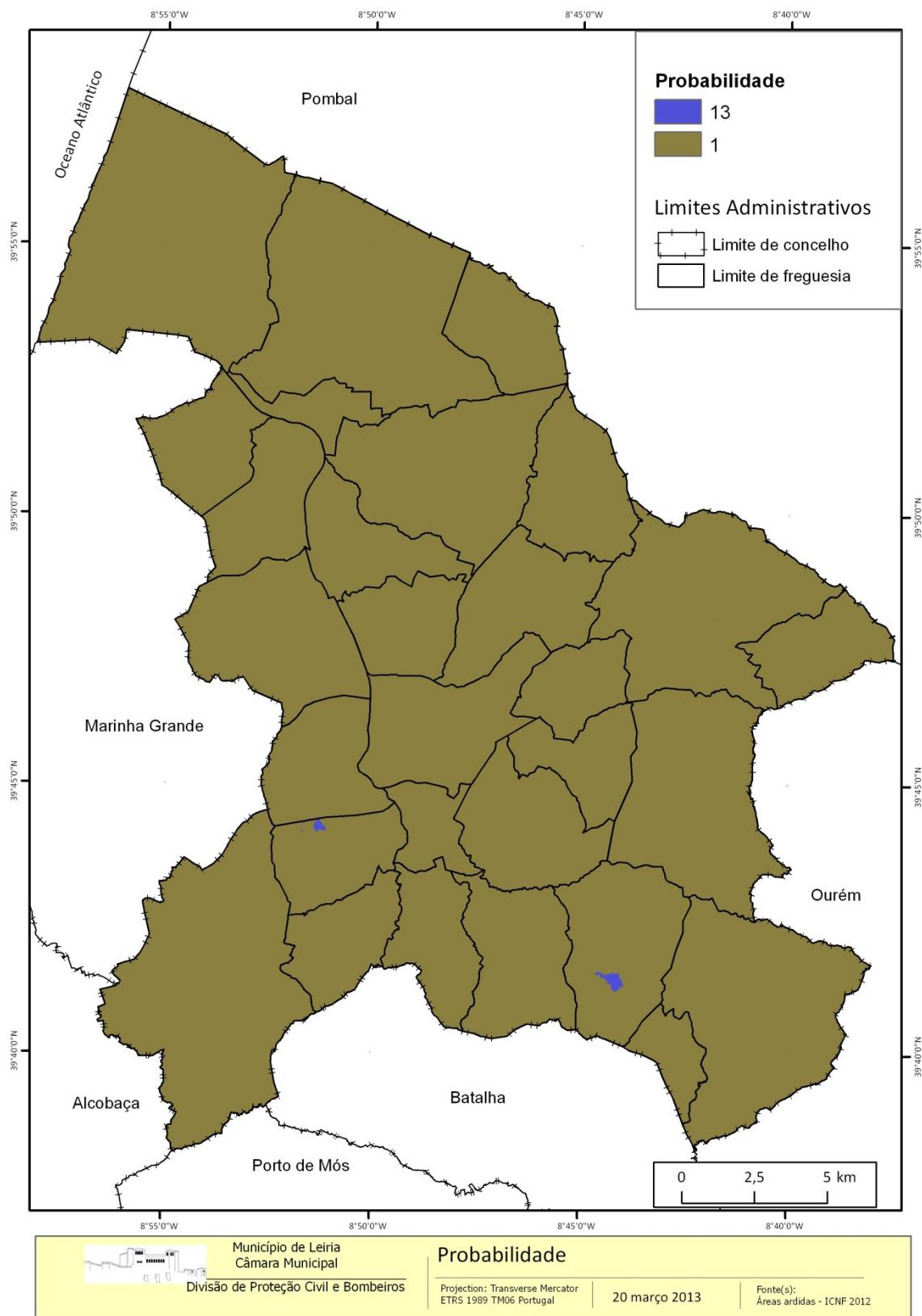


Figura 27. Probabilidade (%) de ocorrência de incêndio florestal, no concelho de Leiria, para o período 1990-2004.

Os atributos de entrada utilizados na determinação da suscetibilidade consistem na informação de declives e de ocupação do solo. O mapa de suscetibilidade resulta do produto destes dois atributos reclassificados.

Os declives foram classificados e as respetivas ponderações atribuídas de acordo com o definido no guia metodológico da AFN (2012) (Quadro 7 e Figura 28).

Quadro 7. Valor de ponderação atribuído a cada célula, de acordo com a classe de declive.

<b>Classe de declives (graus)</b>	<b>Valor de Ponderação</b>
0-5	2
05-10	3
10-15	4
15-20	5
>20	6

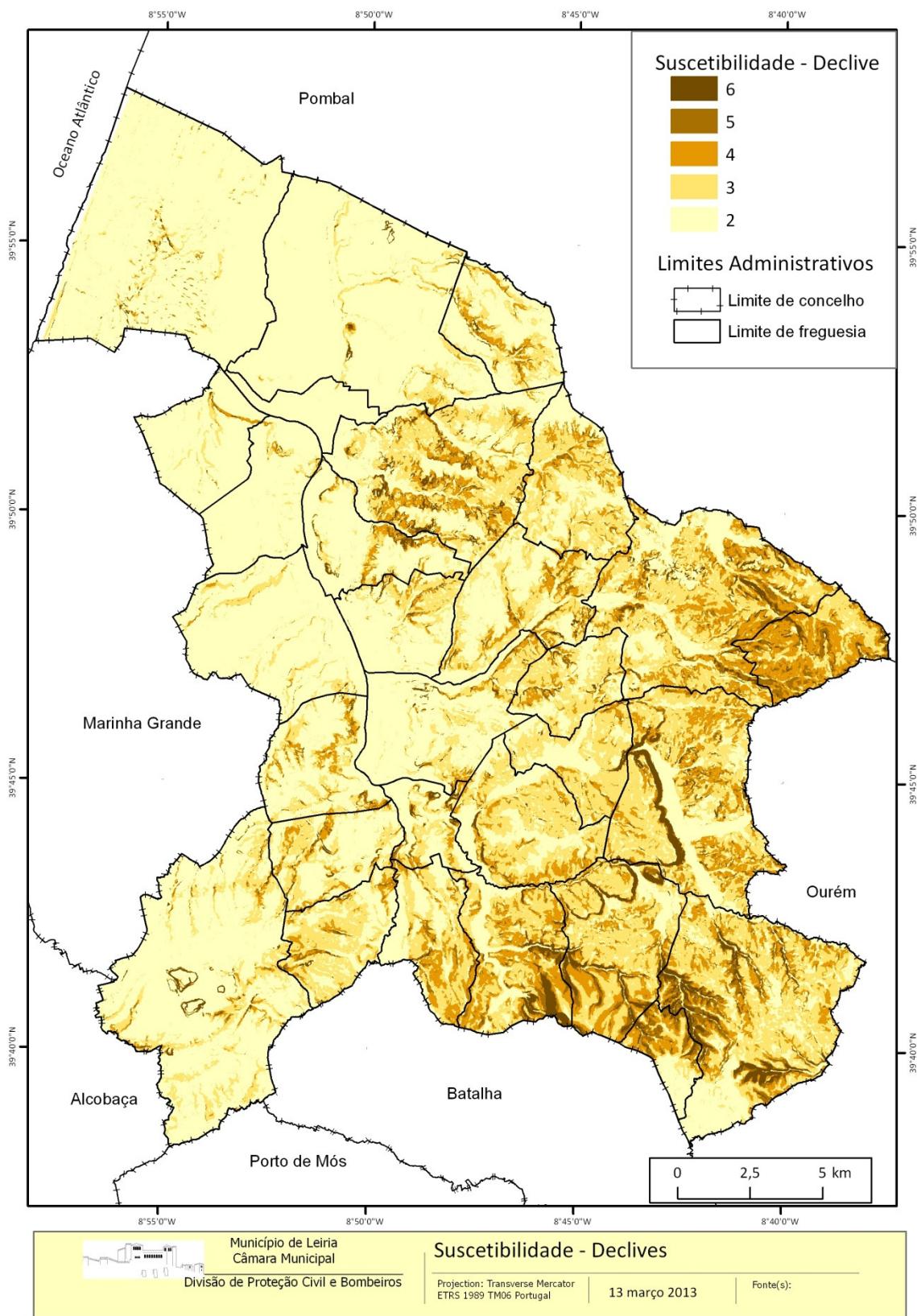


Figura 28. Susceptibilidade à ocorrência de incêndios com base nos declives (modelo ICNF), no concelho de Leiria.

Para classificar a ocupação do solo foram utilizados dados da Carta de Ocupação do Solo, referente ao ano de 1999, realizada pela CML, baseada na Carta Ocupação do Solo do 1990 do IGP. O ano de 1999 foi escolhido, em detrimento do ano de 1990 (COS'90), por possuir uma informação menos desatualizada e, principalmente, por se encontrar a meio da série de áreas ardidas (1990-2004) utilizada para modelação e, portanto, ser mais representativa desse período.

De acordo com o modelo do ICNF, a ocupação do solo (terminologia COS 90) foi classificada em quatro classes de suscetibilidade, distribuída da seguinte forma (Figura 29):

- Suscetibilidade Elevada (valor 4): territórios agro-florestais, floresta, pastagens naturais pobres, vegetação arbustiva baixa- matos, vegetação esclerofítica - carrascal, vegetação arbustiva alta e floresta degradada ou de transição, áreas descobertas sem ou com pouca vegetação, zonas incendiadas recentemente;
- Suscetibilidade Média (valor 3): sequeiro, outros (estufas, viveiros, etc.), olival, olival + cultura anual, olival + vinha, olival + pomar, culturas anuais + vinha, culturas anuais + olival, sistemas culturais e parcelares complexos;
- Suscetibilidade Baixa (valor 2): regadio, culturas permanentes, citrinos, pomoideas, prumoideas (sem a amendoeira), outros pomares, misto de pomares, pomar + cultura anual, pomar + vinha, pomar + olival, culturas anuais + pomar, praia, dunas, areais e solos sem cobertura vegetal;
- Suscetibilidade Muito Baixa (valor 1): áreas artificiais, superfícies com água.

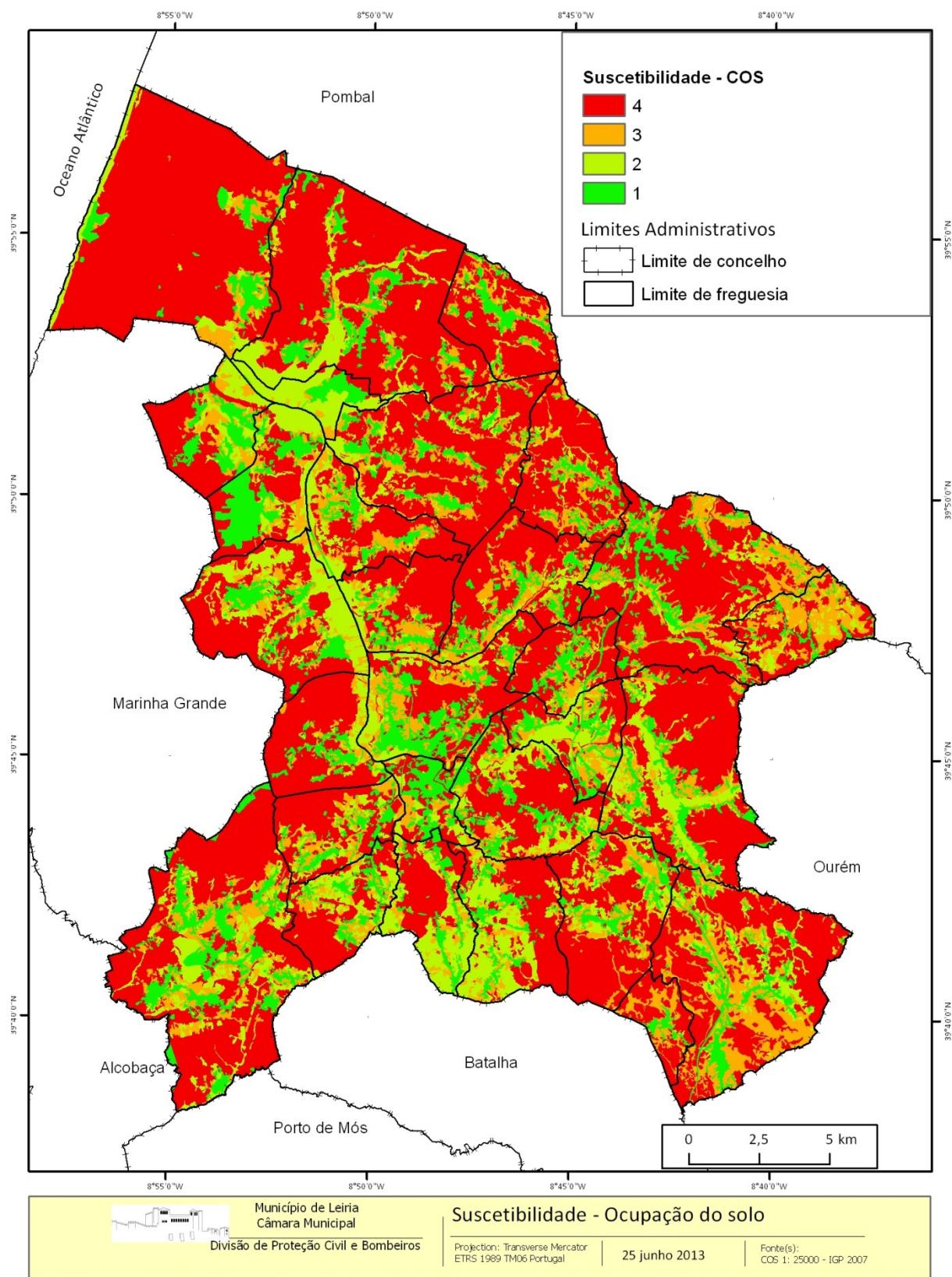


Figura 29. Susceptibilidade à ocorrência de incêndios (modelo ICNF) com base na ocupação do solo (CML, 1999), no concelho de Leiria.

A suscetibilidade resulta do cruzamento (multiplicação) entre os declives ponderados e ocupação do solo ponderada, sendo o produto resultante, o mapa de suscetibilidade (Figura 30).

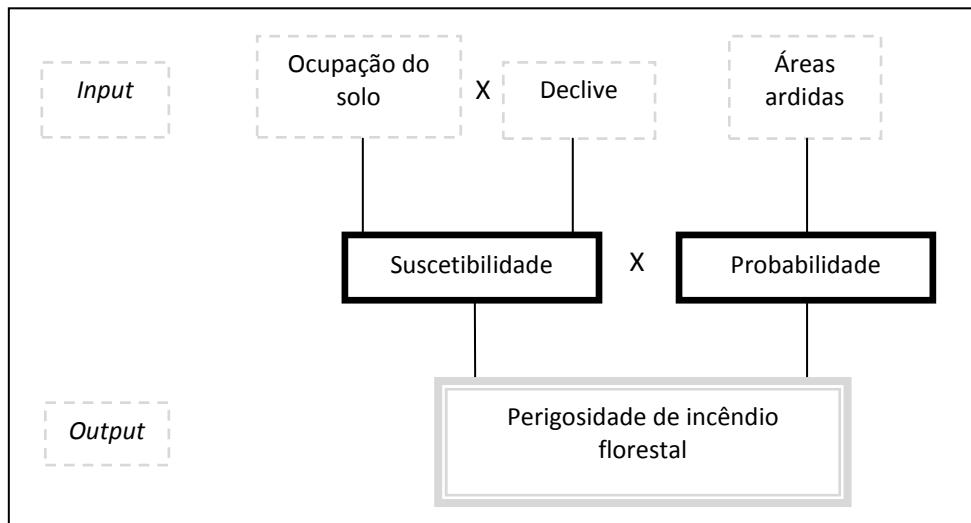


Figura 30. Componentes para cálculo da perigosidade de incêndio florestal (ICNF, 2012).

O mapa de suscetibilidade (Figura 31) permite identificar áreas mais suscetíveis, nomeadamente na parte Sul do concelho, abrangendo as freguesias de Cortes, Arrabal e Chaínça; área Este, nomeadamente a Mata da Caranguejeira e na área Centro-Norte do concelho, destaca-se a freguesia de Souto de Carpalhosa e Bidoeira de Cima.

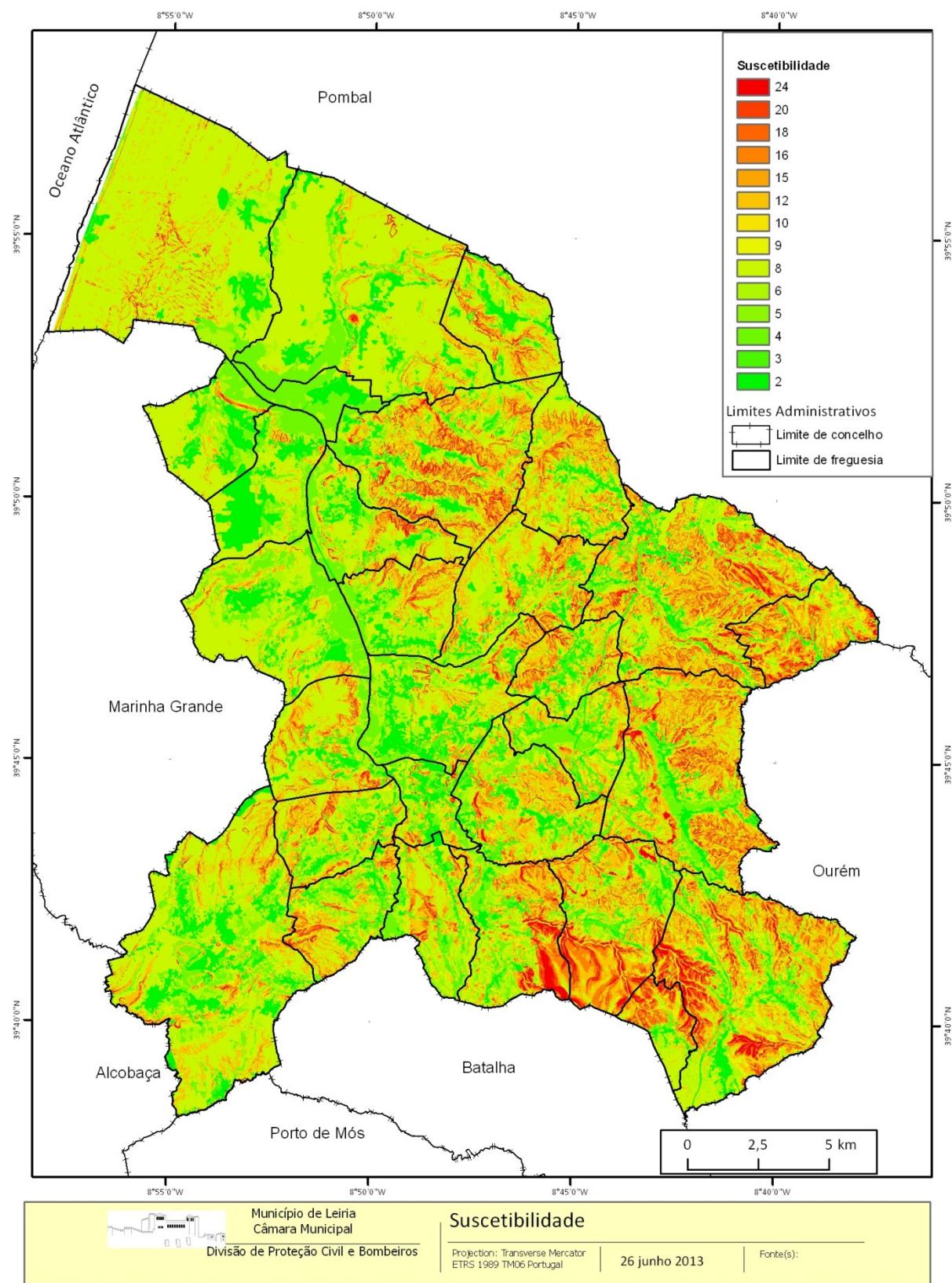


Figura 31. Susceptibilidade à ocorrência de incêndios (modelo ICNF), no concelho de Leiria.

O mapa resultante da multiplicação da suscetibilidade com a probabilidade é o mapa de perigosidade (Fig. 32). O mapa foi classificado tendo por base uma divisão em quintis, conforme referido no Guia do ICNF (2012); no entanto, neste caso, a classificação da perigosidade por quintis deveria colocar 20% das células em cada classe de perigosidade, o que, como se observa no Quadro 8 não acontece. A explicação para este facto está relacionada com o intervalo de dados do mapa de perigosidade não permitir uma divisão exata de 20% para cada classe de perigosidade.

De modo a complementar o mapa de perigosidade de incêndio florestal foram acrescentadas as áreas ardidas utilizadas para validação, de forma a tentar visualizar a que classe de perigosidade corresponde a área ardida.

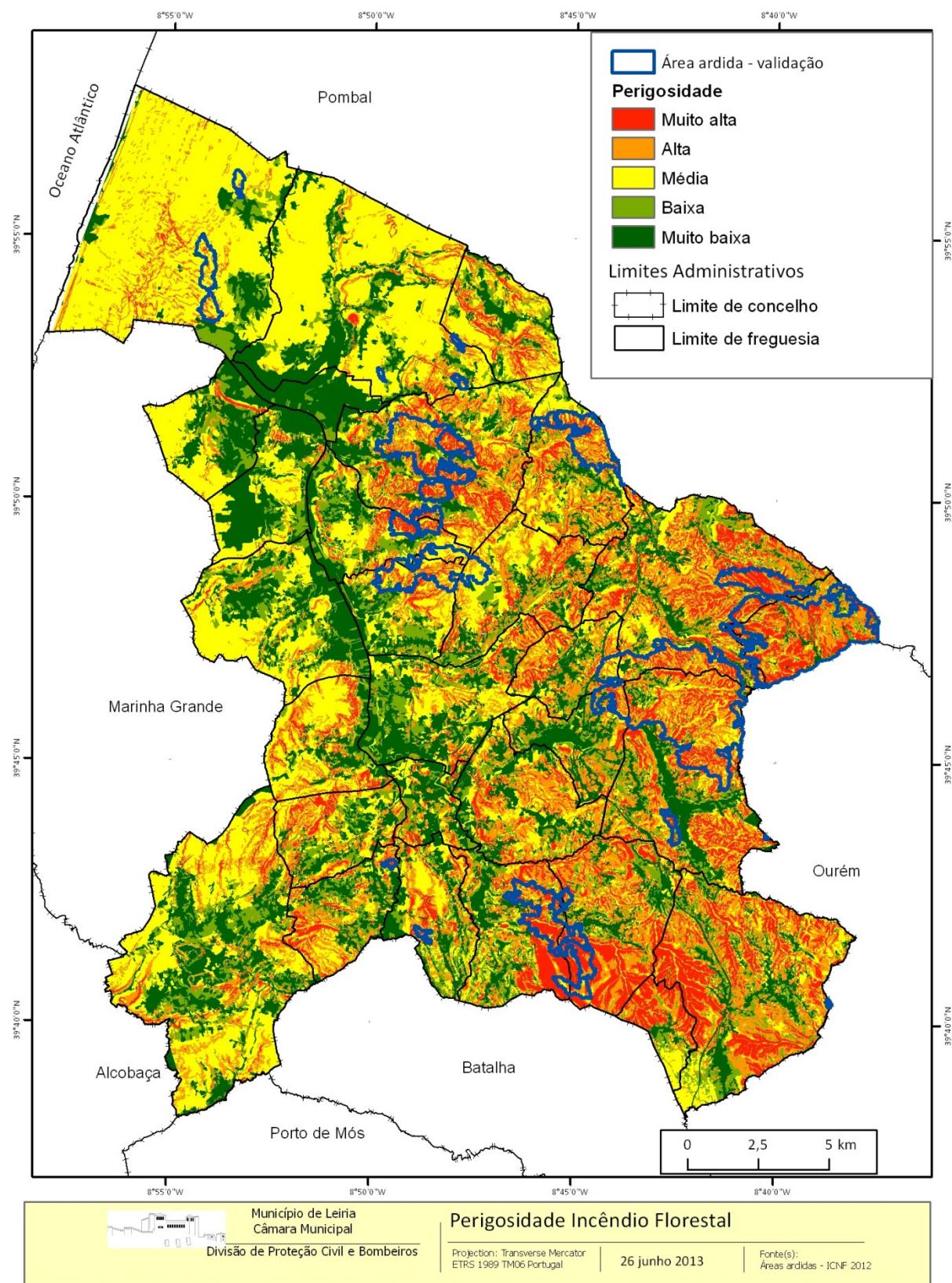


Figura 32. Perigosidade de Incêndio Florestal no concelho de Leiria (modelo ICNF).

Utilizando os dados dos incêndios de 2005 a 2010 para validação, verifica-se que cerca de 68% das áreas ardidas correspondem a 34% da área de maior perigosidade (classes alta e muito alta).

Analizando os dados pela classe de perigosidade ardida, verifica-se que cerca de 36% das classes muito alta e alta ardeu nos últimos 6 anos. As classes de perigosidade muito baixa e baixa registaram valores de área ardida próximo dos 5% (Quadro 8).

Quadro 8. Relação entre as classes de perigosidade, obtidas entre o modelo da ICNF, e as áreas ardidas (2005-2010), no concelho de Leiria.

Classes de perigosidade	Área no concelho		Área ardida (2005-2010)		Classe de perigosidade ardida (%)
	Total (ha)	Frequência (%)	Total (ha)	Frequência (%)	
Muito baixa	11923	21,2	241	5,1	2,0
Baixa	9418	16,7	256	5,4	2,7
Média	16016	28,4	1017	21,3	6,3
Alta	11735	20,8	1616	33,9	13,8
Muito alta	7259	12,9	1639	34,4	22,6
Total	56351	100	4769	100	

A análise dos resultados da distribuição das áreas ardidas com as classes de perigosidade de incêndio florestal permite concluir que o modelo consegue explicar parcialmente a distribuição das áreas ardidas, visto que estas têm muito maior expressão nas classes alta e muito alta e são quase inexistentes nas duas classes de menor perigosidade. Os desfasamentos em relação a resultados mais desejáveis podem estar relacionados com vários fatores, nomeadamente a classificação da ocupação do solo, atribuindo igual valor a todas as áreas florestais e incluindo na mesma classe as áreas ocupadas por mato, generaliza a floresta, não diferenciando as espécies em função do grau de inflamabilidade. Este modelo atribui o mesmo valor de ponderação às duas variáveis de suscetibilidade e probabilidade, fator que poderá ser discutível na medida em que a ocupação do solo poderá ter maior importância que os declives.

#### **5.4 Risco de Incêndio Florestal**

As cartas de Risco de Incêndio Florestal têm por objetivo apoiar o planeamento de medidas de prevenção aos fogos florestais, assim como a otimização dos recursos e infraestruturas disponíveis para a defesa e combate aos fogos florestais. As cartas são produzidas recorrendo a um modelo de variáveis fisiográficas que podem explicar de forma mais relevante a variabilidade espacial do risco de incêndio florestal.

A CRIF utilizada neste trabalho é um extrato (concelho de Leiria) da cartografia de risco de incêndio nacional, executada pelo IGP, que se baseou na metodologia de análise multicritério sugerida por Almeida *et al.* (1995) e por Chuvieco *et al.* (1989), entre outros. De um modo resumido, a realização da Carta de Risco de Incêndio Florestal (CRIF) envolveu os seguintes passos (IGP, 2011):

1. Escolha dos fatores condicionantes do fenómeno de incêndio florestal;
2. Hierarquização dos fatores e ponderação;
3. Geração dos fatores (variáveis espaciais independentes);
4. Integração dos fatores: adição linear dos critérios ponderados.

As variáveis utilizadas no âmbito da metodologia desenvolvida para este projeto são: exposição, declive, densidade populacional, rede viária e ocupação do solo.

De acordo com o referido pelo IGP (2011), os estratos da vegetação foram ordenados em sete classes de risco, de acordo com o historial dos incêndios atribuindo maior valor às espécies ou agrupamentos de espécies com maior área ardida; posteriormente alguns estratos foram reavaliados de forma a ter em conta detalhes particulares, tais como: densidade do coberto, composição florística, etc. Os espaços agrícolas, os espaços urbanos e os locais ocupados por infraestruturas e equipamentos são considerados com risco de incêndio baixo, por isso considerados na classe mais baixa. Quanto às superfícies aquáticas, depois de gerada a Carta de Risco, estas áreas foram convertidas em valores nulos (IGP, 2011).

Para quantificar o efeito da densidade populacional na floresta foi considerado que a classe intermédia é a situação rural típica e portanto a mais favorável para evitar ocorrência de incêndios florestais (IGP, 2011). Para valores de densidade populacional acima ou abaixo desse intervalo, a que correspondem áreas menos povoadas ou para zonas de intensa pressão humana são consideradas condições de maior perigo.

O declive exerce uma influência considerável sobre a velocidade de propagação do fogo, sobretudo durante os primeiros estados de um incêndio. As correntes de vento ascendentes e a inclinação

natural das chamas sobre os combustíveis facilitam a transferência de energia por radiação e convecção na frente do fogo (IGP, 2011).

Na classificação e atribuição de ponderações para a variável exposição, e de acordo com esta metodologia, as vertentes Sul e Sudoeste, apresentam condições climatéricas e um mosaico de vegetação (com abundância de espécies esclerófitas) favorável à rápida inflamação e propagação do fogo, contrariamente as vertentes Norte (umbrias) e Nordeste que ardem mais lentamente e desenvolvem menores temperaturas (IGP, 2011).

A rede viária foi considerada tendo em consideração que a proximidade a uma estrada implica aumento do perigo de ignição, logo o coeficiente de ponderação é maior em função da proximidade da estrada. A densidade de caminhos florestais e agrícolas foi considerada atendendo que existe uma densidade ótima, no que concerne aos incêndios florestais, cerca de 30 m/ha (Quadro 9) que correspondem a uma presença e intervenção moderada do Homem na floresta (IGP, 2011).

Quadro 9. Critérios e ponderações utilizados na metodologia CRIF (IGP, 2011).

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

A análise do cruzamento das classes da CRIF com as áreas utilizadas para validação do modelo (2005-2010), permite verificar que cerca de 80% das áreas ardidas se enquadram nas classes CRIF elevado e muito elevado, (Quadro 10) que representa, 60% do território concelhio (Figura 33).

A Figura 34 representa a CRIF elaborada pelo IGP (2011), aplicada ao concelho de Leiria.

É pertinente indicar que os fatores, critérios e ponderações utilizadas na CRIF são definidos para o território nacional, sendo que deve ser tido em conta a heterogeneidade do território. Este método será mais adequado para utilização ao nível nacional ou regional, visto que possui continuidade do território; no entanto decidiu-se utilizar esta carta (extrato original do IGP) de modo a verificar as diferenças de resultados em relação aos outros métodos utilizados. A utilização da CRIF no concelho de Leiria poderá ter limitações que podem advir da escala de aplicação do mapa original. A CRIF é produzida para o território nacional a uma escala 1:25 000, sendo baseada num modelo de Risco Estrutural, esta cartografia temática constitui-se fundamentalmente como um instrumento de planeamento das ações de prevenção e vigilância para a Proteção Florestal, facilitando a otimização dos recursos e a identificação das zonas estruturalmente classificadas quanto ao risco (IGP,2008).

Quadro 10. Comparação entre as classes de risco de incêndio florestal e as áreas ardidas (2005-10), para efeitos de validação.

CRIF			Área ardida 2005-2010		Proporção área ardida (%)
Classes	Área (ha)	Frequência relativa (%)	Área ardida (ha)	Área ardida (%)	
<b>baixo</b>	2217	3,9	24	0,5	1,1
<b>baixo-moderado</b>	11189	19,8	588	12,3	5,3
<b>moderado</b>	1495	2,6	115	2,4	7,7
<b>elevado</b>	16918	30,0	2154	45,2	12,7
<b>muito elevado</b>	16986	30,1	1648	34,5	9,7
<b>urbano</b>	7478	13,2	241	5,1	3,2
<b>hidrografia</b>	188	0,3	0	0	0
<b>Total</b>	56471	100,0	4770	100	

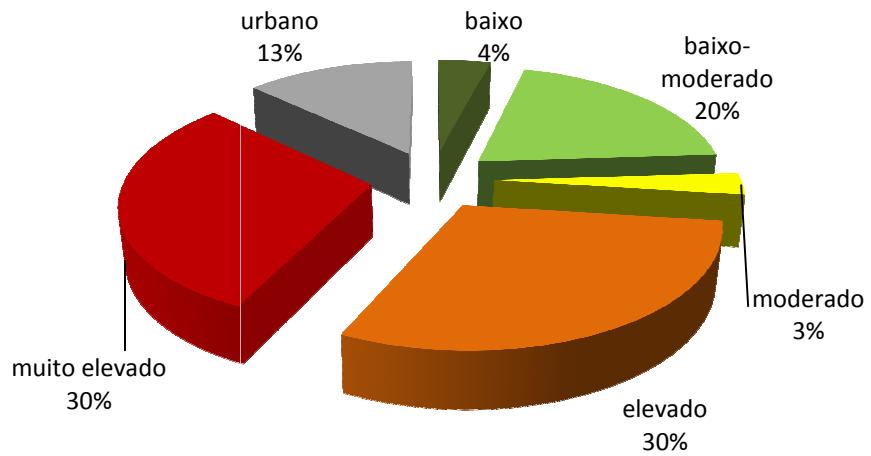


Figura 33. Distribuição (%) das sete classes CRIF no concelho de Leiria.

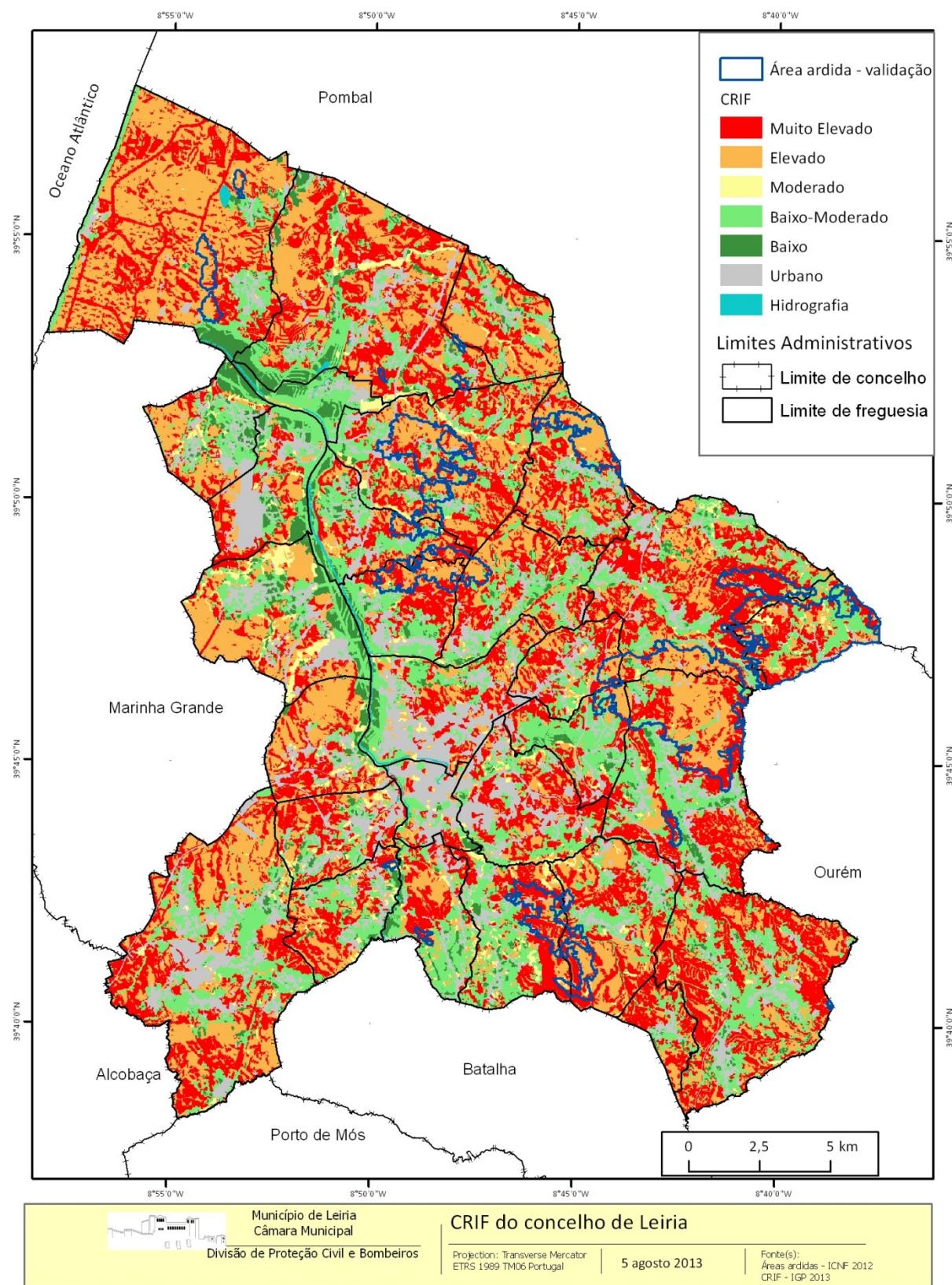


Figura 34. Risco de Incêndio Florestal – CRIF 2011 no concelho de Leiria (IGP).

## **5.5 Suscetibilidade de Incêndio Florestal**

A análise dos resultados obtidos pela carta de perigosidade (modelo ICNF) e CRIF (do IGP) e o seu cruzamento com as áreas ardidas levou à aplicação de outro modelo, numa tentativa de obter valores de validação mais significativos; deste modo procedeu-se ao desenvolvimento de um modelo de suscetibilidade.

Tal como referido anteriormente, suscetibilidade é definida como a incidência espacial do perigo, que representa a propensão para uma área ser afetada por um determinado perigo, em tempo indeterminado, sendo avaliada através dos fatores de predisposição para a ocorrência dos processos ou ações, não contemplando o seu período de retorno ou a probabilidade de ocorrência (Zêzere, 2005; Julião *et al.*, 2009).

A elaboração desta Carta de Suscetibilidade tem por base a Análise Multi-Critério, e assenta num método de ponderação das variáveis proposto por Reis (2008), o qual exige o cruzamento prévio das classes dessas variáveis com as áreas ardidas. De acordo com este método, seguiram-se os passos seguintes:

- cruzamento entre cada uma das variáveis (classificadas) e as áreas ardidas, registadas entre 1990 e 2004, no concelho de Leiria;
- cálculo da fração de cada classe ocupada por área ardida (1990-2004), ou seja, a probabilidade condicionada de encontrar áreas ardidas associadas às classes de cada variável;
- cálculo do desvio-padrão da probabilidade condicionada para cada variável, em que maiores valores deste parâmetro estatístico indicam maiores diferenças entre as classes e, logo, maior importância da variável;
- relação entre os valores da probabilidade condicionada das classes de cada variável, o que permite o escalonamento da sua importância relativa.

A integração dos fatores geográficos no contexto da análise multicritério foi feita através de um cálculo simples aditivo ponderado dos diversos fatores e variáveis (método da combinação linear ponderada). A matriz de ponderação dos fatores e variáveis de suscetibilidade expressa os pressupostos enunciados.

Como ponto de partida foram utilizadas as variáveis seguintes: declive, altitude, exposição, distância à rede hidrográfica, distância à rede viária, densidade de caminhos agrícolas e florestais, densidade populacional e ocupação do solo. As variáveis foram classificadas, procedendo-se ao cruzamento destas com as áreas ardidas de 1990-2004, de modo a verificar a tendência dos incêndios incidirem em determinada classe; os resultados obtidos apresentam-se nos Quadros 11 a 19.

Quadro 11. Relação entre as classes de declive e áreas ardidas (1990-2004) no concelho de Leiria.

Declive			Área ardida (1990-2004) por classe de declive			
Classes (º)	Área (ha)	Frequência relativa (%)	Área ardida (ha)	Área ardida (%)	Proporção área ardida por classe de declive (%)	Proporção em relação ao valor mais baixo
0-2	18698	33,1	183	11,1	1,0	1,0
2-5	12351	21,9	159	9,6	1,3	1,3
5-10	14013	24,8	451	27,3	3,2	3,3
10-15	6828	12,1	443	26,8	6,5	6,6
> 15	4610	8,2	418	25,3	9,1	9,3
<b>Total</b>	56500	100	1654	100		
			<b>Desvio padrão</b>		<b>3,5</b>	

A Figura 35 indica-nos a expressão que cada classe de declive representa no concelho (frequência relativa) associada à tendência que cada classe apresenta quando cruzada com as áreas ardidas entre 1990 e 2004 (proporção de área ardida). Nota-se claramente um aumento da fração de área ardida à medida que aumentam os valores de declive, o que pode ser descrito, de forma muito aproximada, por uma função exponencial positiva ( $R^2 = 0,97$ ), o que significa que a suscetibilidade à ocorrência de áreas ardidas aumenta de forma consistente com o aumento do declive.

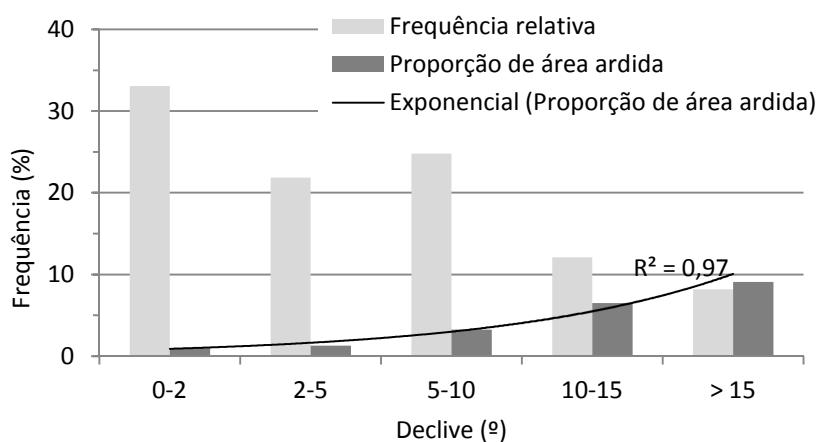


Figura 35. Classes de declive do concelho de Leiria: frequência (%) e fração de área ardida (1990-2004).

A exposição das vertentes foi classificada em quadrantes, de modo a verificar a sua influência e contributo na distribuição das áreas ardidas entre 1990 e 2004. Apesar do cruzamento entre estas duas variáveis (Quadro 12) foi verificado que os resultados não são conclusivos; a fraca variação da fração

da área ardida em cada classe (Fig. 36), que se reflete no valor de desvio padrão de 1,4, demonstra que esta variável pode não ser considerada relevante na explicação da distribuição espacial das áreas ardidas no concelho de Leiria.

Quadro 12. Relação entre as classes de exposição e áreas ardidas (1990-2004) no concelho de Leiria.

Exposição solar			Área ardida 1990-2004 por classe de exposição			
Classes	Área (ha)	Frequência relativa (%)	Área ardida (ha)	Área ardida (%)	Proporção área ardida por classe de exposição solar (%)	Proporção em relação ao valor mais baixo
Plano	7055	12,5	61	3,7	0,9	1,0
Norte	12023	21,3	539	32,7	4,5	5,2
Este	11326	20,0	371	22,5	3,3	3,8
Sul	11796	20,9	236	14,3	2,0	2,3
Oeste	14301	25,3	441	26,8	3,1	3,6
<b>Total</b>	<b>56501</b>	<b>100</b>	<b>1648</b>	<b>100</b>		
						<b>Desvio padrão</b>
						<b>1,4</b>

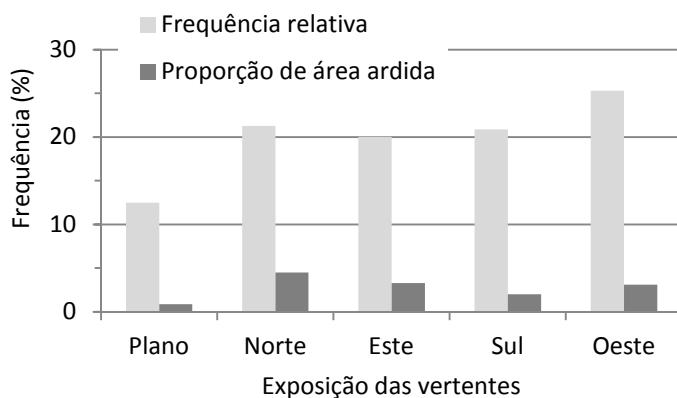


Figura 36. Classes de exposição do concelho de Leiria: frequência (%) e fração de área ardida (1990-2004).

A rede hidrográfica apresenta uma certa estabilidade no espaço e no tempo. Os cursos de água permanentes constituem aspectos físicos da paisagem pouco mutáveis (a médio prazo), cuja presença determina a existência de "corredores verdes", ou seja, faixas de vegetação ripícola, com elevado teor de humidade, que se mantêm devido ao microclima local proporcionado pela presença de água todo o ano (IGP, 2011).

O efeito da rede hidrográfica sobre a suscetibilidade de incêndio é avaliado considerando os cursos de água e superfícies com água como locais incombustíveis, e a vegetação circundante numa faixa de 30 metros (que pelas razões expostas apresenta reduzida inflamabilidade sendo suscetível de barrar

ou reter temporariamente a progressão de um incêndio) como zonas de menor suscetibilidade de incêndio (IGP, 2011).

A influência da rede hidrográfica na distribuição das áreas ardidas foi calculada efetuando uma faixa (*buffer*) de 30 metros em redor das linhas de água, com base na qual se gerou uma variável dicotómica (presença e ausência). A partir do cruzamento das áreas ardidas (1990-2004) com as faixas de 30 m das linhas de água (Quadro 13), verifica-se que 62% da área ardida se encontra fora da referida faixa de 30 m da rede hidrográfica. No entanto, e fazendo uma análise à proporção de área ardida, isto é, tendo em conta a área ocupada por cada classe verificamos que o valor é maior dentro da faixa dos 30m, o que contraria a teoria da tendência para a área ardida ter maior expressão fora da faixa (Fig. 37). De acordo com o valor obtido de desvio padrão (1), que confirma a irrelevância na distribuição das áreas ardidas, foi excluída esta variável na elaboração da matriz de critérios.

Quadro 13. Relação entre as classes de hidrografia e áreas ardidas (1990-2004) no concelho de Leiria.

Hidrografia			Área ardida 1990-2004 por classe de hidrografia			
Classes	Área (ha)	Frequência relativa (%)	Área ardida (ha)	Área ardida (%)	Proporção área ardida por classe de distância à rede hidrográfica (%)	Proporção em relação ao valor mais baixo
Faixa 30m	15927	28,2	625	37,9	<b>3,9</b>	<b>1,6</b>
Fora Faixa 30m	40574	71,8	1023	62,1	<b>2,5</b>	<b>1,0</b>
<b>Total</b>	<b>56501</b>	<b>100</b>	<b>1648</b>	<b>100</b>		
			<b>Desvio padrão</b>		<b>1,0</b>	

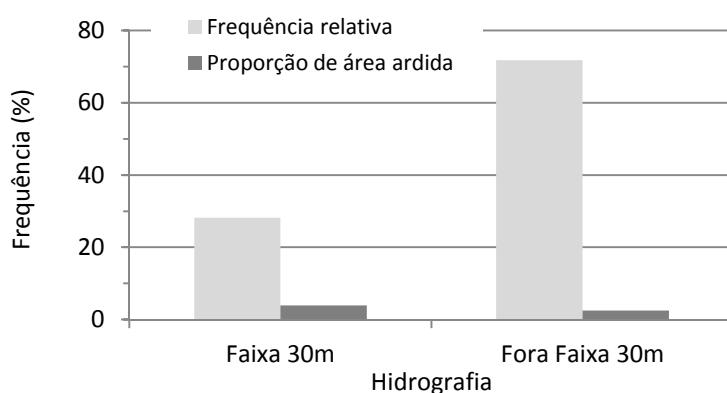


Figura 37. Classes de hidrografia do concelho de Leiria: frequência (%) e fração de área ardida (1990-2004).

A ocupação do solo revela-se como uma das variáveis mais importantes na realização do modelo de suscetibilidade de incêndio, uma vez que, na ausência de combustível, as outras variáveis não têm

efeito. Para a classificação desta variável foram utilizadas as terminologias/códigos da Carta de Ocupação do Solo (Quadro 14), referente ao ano de 1999, elaborada pela CML, constante de uma atualização dos COS 90. Do cruzamento destas classes com as áreas ardidas (1990-2004) resultou a agregação em classes superiores de valores idênticos de proporção de área ardida. Deste modo foram estabelecidas classes de ocupação do solo em função da proporção de área ardida. Dado o valor considerável de proporção de área ardida de florestas de folhosas, foi necessário desagregar esta classe de modo a verificar a proporção de área ardida de floresta de eucalipto e a área ardida de floresta de outro tipo de folhosas. O Eucalipto merece um lugar de destaque nas espécies de folhosas, pela grande expansão que tem tido, e pelas suas características; na sua composição química existem substâncias voláteis muito inflamáveis, que libertam uma grande quantidade de energia ao arder (Viegas, 1989). “Embora nos Eucaliptais a vegetação arbustiva não seja em geral abundante, é fácil um incêndio neste tipo de árvores passar para as copas e propagar-se entre elas, com os riscos e dificuldades próprias neste tipo de incêndios” (Viegas, 1989, p.38). A classe meios semi-naturais engloba a vegetação arbustiva e herbácea; a classe outra floresta é constituída por povoamentos de folhosas (exceto Eucalipto) e resinosas; o Povoamento florestal misto enquadra povoamentos de folhosas com resinosas; a classe área agrícola abrange áreas com predominância agrícola; as áreas artificiais enquadram o tecido urbano e envolvente e as superfícies com água abrangem as lagoas e rios representativos no concelho.

Quadro 14. Códigos de ocupação do solo de 1999, existentes no concelho de Leiria utilizados no modelo (IGP, 1990).

Áreas artificiais	Espaço Urbano	Tecido Urbano contínuo
		Tecido Urbano descontínuo
		Outros espaços fora do tecido urbano consolidado
	Infraestruturas e equipamentos	Zonas industriais e comerciais
		Vias de comunicação (Rodoviárias e ferroviárias)
		Aeroportos
		Outras infraestruturas e equipamentos
		Pedreiras, saibreiras, minas a céu aberto
		Lixeiras, descargas industriais e depósitos de sucata
	Espaços verdes artificiais	Espaços verdes urbanos (florestais)
Áreas agrícolas	Terras aráveis - Culturas anuais	Sequeiro
		Regadio
		Outros (estufas, viveiros, etc)
	Culturas permanentes	Vinha
		Vinha+ Pomar
		Vinha+ Olival
		Vinha+ Cultura anual
	Pomar	Citrinos
		Pomoideas
		Prumoideas (sem a amendoeira)
		Outros pomares
		Mistas de pomares
		Pomar+ Cultura anual
		Pomar+ Vinha
		Pomar+ Olival
		Olival
		Olival+ Cultura anual
		Olival+ Vinha
		Olival+ Pomar
	Áreas agrícolas heterogéneas Culturas anuais associadas a culturas permanentes	Culturas anuais+ Vinha
		Culturas anuais+ Pomar
		Culturas anuais+ Olival
		Sistemas culturais e parcelares complexos
	Territórios agro-florestais	Culturas anuais+ espécie florestal
		Espécie florestal+ culturais anuais
Floresta	Folhosas	Sobreiro
		Carvalho
		Eucalipto
		Outras folhosas
	Resinosa	Pinheiro bravo
		Pinheiro manso
	Povoamento florestal misto	Folhosas+ Resinosa
Meios semi-naturais	Ocupação arbustiva e herbácea	Pastagens naturais pobres
		Vegetação arbustiva baixa- matos
		Vegetação esclerofítica- carrascal
		Vegetação arbustiva alta e floresta degradada ou de transição
		Áreas descobertas sem ou com pouca vegetação
		Praia, dunas, areais e solos sem cobertura vegetal
		Zonas incendiadas recentemente
Superfícies com água	Áreas continentais	Cursos de água
		Lagoas e albufeiras

O Quadro 15 mostra os resultados da reclassificação da ocupação do solo e sua representatividade com as áreas ardidas (1990-2004).

Quadro 15. Relação entre as classes de ocupação do solo e áreas ardidas (1990-2004) no concelho de Leiria.

Ocupação do solo			Área ardida 1990-2004 por classe de ocupação do solo			
Classes de ocupação do solo	Área (ha)	Frequência relativa (%)	Área ardida (ha)	Área ardida (%)	Proporção área ardida por classe de ocupação do solo (%)	Proporção em relação ao valor mais baixo
Eucalipto	2400	4,2	192	11,3	<b>8,0</b>	<b>12,8</b>
Meios semi-naturais	2733	4,8	442	26,1	<b>16,2</b>	<b>25,9</b>
Outra Floresta	19087	33,8	422	24,9	<b>2,2</b>	<b>3,5</b>
Povoamento florestal misto	8408	14,9	430	25,4	<b>5,1</b>	<b>8,2</b>
Áreas agrícolas	16370	29,0	164	9,7	<b>1,0</b>	<b>1,6</b>
Áreas artificiais	7375	13,1	46	2,7	<b>0,6</b>	<b>1,0</b>
Superfícies com água	137	0,2	0	0,0	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>
<b>Total</b>	<b>56510</b>	<b>100</b>	<b>1696</b>	<b>100</b>		
			<b>Desvio padrão</b>		<b>5,8</b>	

O valor registado pelo desvio-padrão (5,8%) revela a importância da variável e a sua influência na distribuição das áreas ardidas. Analisando a proporção de área ardida por classe de ocupação do solo, destacam-se as classes ocupadas por meios semi-naturais e eucalipto, sendo a terceira classe com maior importância constituída por povoamento florestal misto (Fig. 38).

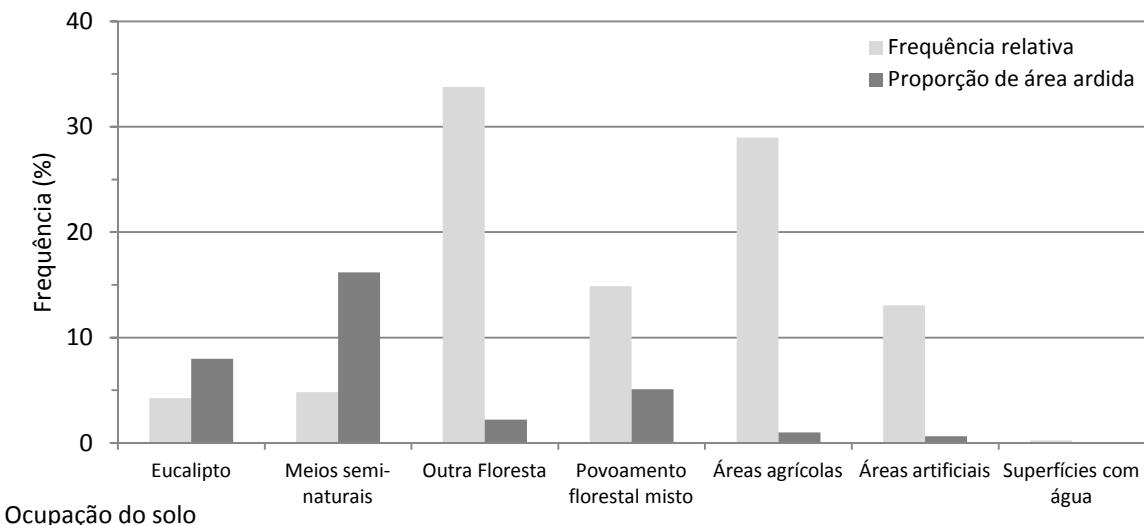


Figura 38. Classes de ocupação do solo no concelho de Leiria: frequência (%) e fração de área ardida (1990-2004).

A altitude foi analisada para verificar a influência na distribuição das áreas ardidas, foram elaboradas seis classes (Quadro 16). Observa-se uma variação considerável entre as classes, daí o valor registado no desvio padrão (7,4%).

Quadro 16. Relação entre as classes de altitude e áreas ardidas (1990-2004) no concelho de Leiria.

Altitude			Área ardida 1990-2004 por classe de altitude			
Classes (m)	Área (ha)	Frequência relativa (%)	Área ardida (ha)	Área ardida (%)	Proporção área ardida por classe de altitude (%)	Proporção em relação ao valor mais baixo
0-50	14238	25,2	51	3,1	0,4	1,0
50-100	12690	22,5	386	23,3	3,0	8,5
100-150	13645	24,2	157	9,5	1,2	3,2
150-200	8513	15,1	174	10,5	2,0	5,7
200-300	5098	9,0	426	25,8	8,4	23,3
300-415	2316	4,1	460	27,8	19,9	55,4
<b>Total</b>	56500	100	1654	100		
			<b>Desvio padrão</b>		<b>7,4</b>	

A Figura 39 indica-nos a expressão que cada classe de altitude representa no concelho (frequência relativa) associada à tendência que cada classe apresenta quando cruzada com as áreas ardidas entre 1990 e 2004 (proporção de área ardida). Verifica-se uma relação exponencial positiva ( $R^2 = 0,79$ ), o que indica aumento da suscetibilidade à ocorrência de incêndios com o aumento da altitude.

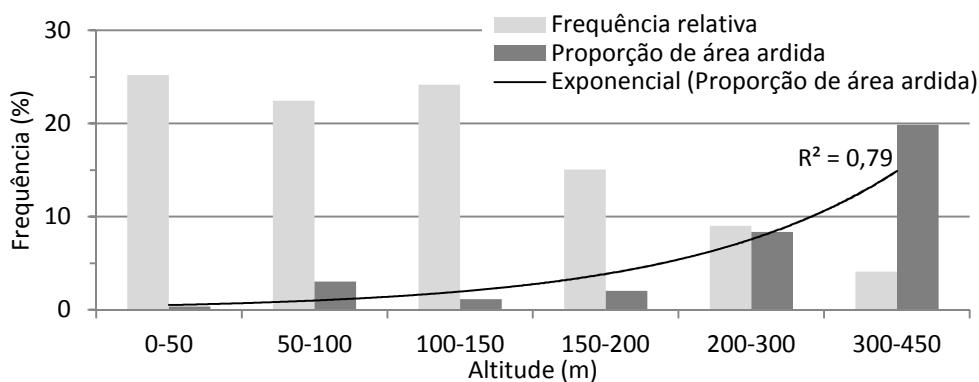


Figura 39. Classes de altitude do concelho de Leiria: frequência (%) e fração de área ardida (1990-2004).

Dado o valor registado de desvio-padrão das classes de altitude, e verificada a sua aparente influência na distribuição das áreas ardidas, tendo em conta que a altitude varia entre 0 m e 415 m, calculou-se a altitude média por classe de ocupação do solo, de modo a tentar perceber a relação entre as duas variáveis (Fig. 40).

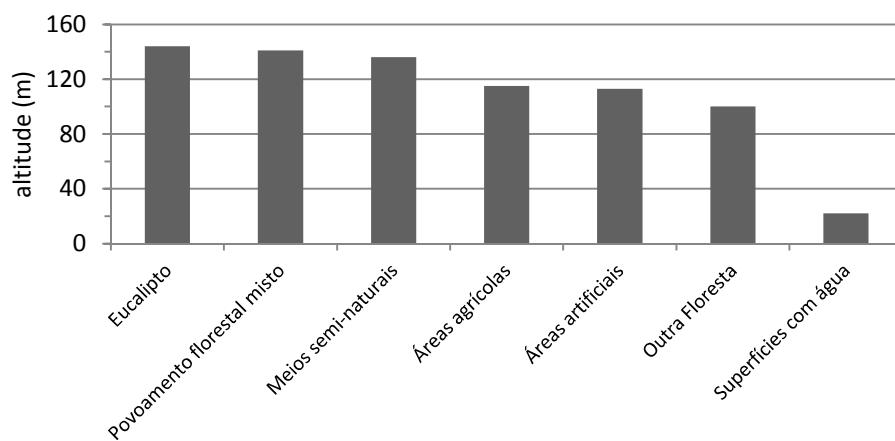


Figura 40. Altitude média (m) por classe de ocupação do solo.

A partir da análise da figura 40, observa-se que as classes Eucalipto e Povoamento florestal misto apresentam maiores valores de altitude média. Estas duas classes registam uma altitude média ligeiramente superior aos meios semi-naturais, sendo que relativamente à proporção de área ardida, os valores são inversos. As classes ocupadas por áreas agrícolas e áreas artificiais registam valores de altitude média superior à classe Outra Floresta. Esta classe ocupa cerca de 34% do concelho de Leiria, existindo algumas variações de altitude consideráveis, com destaque para a distribuição da floresta

de resinosas, essencialmente da espécie de pinheiro bravo, com grandes áreas nas Matas Nacionais, com valor de altitude baixo, e uma distribuição considerável em áreas de maior altitude.

Pela descrição efetuada, a altitude adiciona uma componente explicativa à distribuição espacial das áreas ardidas, não redundante com a ocupação do solo.

A proximidade à rede viária foi analisada com vista a verificar o seu comportamento na distribuição das áreas ardidas (1990-2004). A rede viária pode funcionar como faixa de contenção do fogo ou como fator potenciador do fogo pela presença humana. (Chuvieco e Congalton, 1989). O Quadro 17 identifica a distribuição das classes de proximidade à rede viária e sua interferência na distribuição da área ardida.

Quadro 17. Relação entre as classes de distância à rede viária e áreas ardidas (1990-2004) no concelho de Leiria.

Distância à rede viária (m)			Área ardida 1990-2004 por classe de distância à rede viária			
Classes	Área (ha)	Frequência relativa (%)	Área ardida (ha)	Área ardida (%)	Proporção área ardida por classe de distância à rede viária (%)	Proporção em relação ao valor mais baixo
0-25m	8601	27,2	70	19,4	<b>0,8</b>	<b>1,0</b>
25-50	6780	21,5	65	18,0	<b>1,0</b>	<b>1,2</b>
50-100	9633	30,5	117	32,4	<b>1,2</b>	<b>1,5</b>
100-150	6577	20,8	109	30,2	<b>1,7</b>	<b>2,0</b>
<b>Total</b>	<b>31591</b>	<b>100</b>	<b>361</b>	<b>100</b>		
Desvio padrão					<b>0,4</b>	

A distribuição dos valores de área ardida pelas diversas classes, assim como o valor registado de desvio-padrão não permitem identificar um comportamento definido da área ardida. A proporção da área ardida aumenta com a distância à rede viária; no entanto esse valor não é significativo, de forma a justificar a utilização desta variável no modelo (Fig. 41).

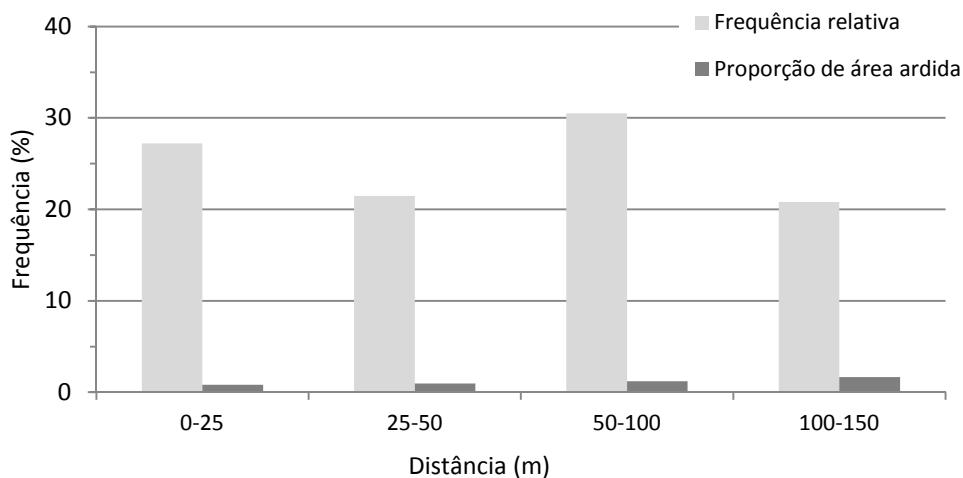


Figura 41. Classes de distância à rede viária no concelho de Leiria: frequência (%) e fração de área ardida (1990-2004).

Verificada a pouca influência da distância à rede viária, foi efetuada a análise com a mesma informação, mas calculando a variável “densidade de caminhos florestais e agrícolas por freguesia” e analisada a sua importância na distribuição das áreas ardidas (Quadro 18).

Quadro 18. Relação entre as classes de densidade de caminhos e áreas ardidas (1990-2004) no concelho de Leiria.

Rede viária – densidade de caminhos (m/ha)			Área ardida 1990-2004 por classe de densidade de caminhos			
Classes	Área (ha)	Frequência relativa (%)	Área ardida (ha)	Área ardida (%)	Proporção área ardida por classe de densidade de caminhos (%)	Proporção em relação ao valor mais baixo
<20	1118	2,0	51	3,0	4,6	14,8
20-30	3577	6,3	11	0,6	0,3	1,0
30-65	8843	15,6	163	9,6	1,8	6,0
65-80	27064	47,9	1033	61,0	3,8	12,4
>80	15926	28,2	436	25,7	2,7	8,9
<b>Total</b>	56528	100	1694	100		
			<b>Desvio padrão</b>		<b>1,7</b>	

O cruzamento da densidade de caminhos agrícolas e florestais com as áreas ardidas do período em análise permite verificar maior valor de proporção de área ardida em densidades inferiores a 20 m/ha. A baixa densidade de caminhos pode potenciar o efeito retardador no combate aos fogos, assim como elevada densidade pode indicar maior acesso às áreas florestais proporcionando valores de área ardida significativos (Fig. 42). No entanto, e analisando o valor alcançado pelo desvio padrão

(1,7%), não foi considerada variável com grande interferência na distribuição de áreas ardidas, não sendo utilizada na modelação.

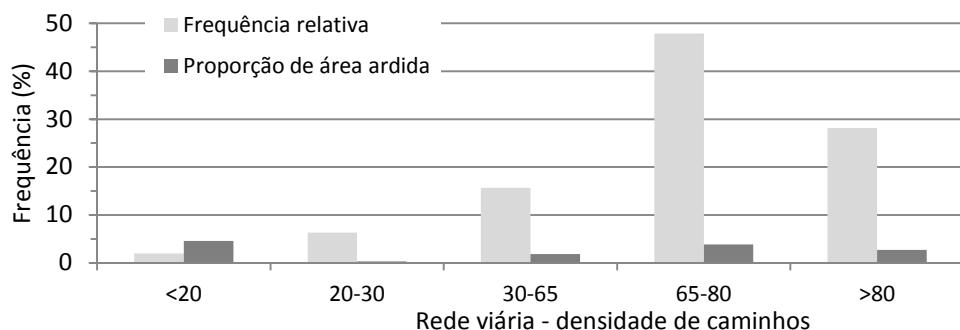


Figura 42. Classes de densidade de caminhos no concelho de Leiria: frequência (%) e fração de área ardida (1990-2004).

A densidade populacional foi analisada tendo como unidade de análise a base geográfica de referenciação de informação (BGRI). Deste modo foram elaboradas três classes, representativas do universo do território concelhio (Quadro 19).

Quadro 19. Relação entre as classes de densidade populacional e áreas ardidas (1990-2004) no concelho de Leiria.

Densidade populacional			Área ardida 1990-2004 por classe de densidade populacional			
Classes (hab/km <sup>2</sup> )	Área (ha)	Frequência relativa (%)	Área ardida (ha)	Área ardida (%)	Proporção área ardida por classe de densidade populacional (%)	Proporção em relação ao valor mais baixo
0-150	39897	70,6	1614	97,6	4,0	31,9
150-500	11084	19,6	33	2,0	0,3	2,4
>500	5526	9,8	7	0,4	0,1	1,0
<b>Total</b>	56507	100	1654	100		
					<b>Desvio padrão</b>	<b>2,2</b>

A análise dos valores identifica maior proporção de área ardida em áreas com menor densidade populacional, que poderá estar relacionado com o facto de maiores densidades estarem associadas a maior presença de áreas urbanas e outros tipos de ocupação menos suscetíveis a incêndios florestais (Fig. 43). No entanto, o valor obtido de desvio-padrão (1,4%) não é significativo, de modo a justificar a utilização desta variável no modelo.

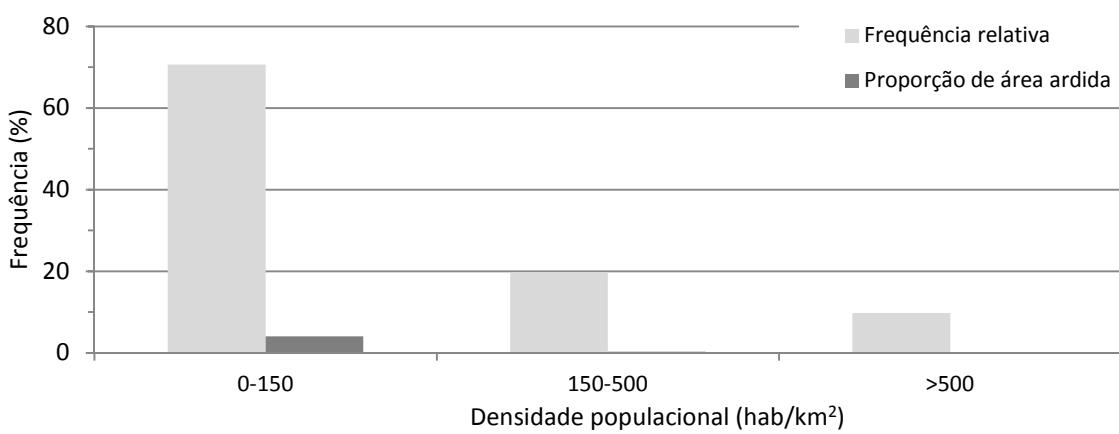


Figura 43. Classes de densidade populacional no concelho de Leiria: frequência (%) e fração de área ardida (1990-2004).

A partir da análise das variáveis e dos respetivos valores alcançados pelo desvio-padrão da fração de áreas ardidas em cada classe, foram identificadas três variáveis que se destacam das restantes pela sua importância nos incêndios florestais no concelho de Leiria (valores de desvio-padrão bastante superiores), tendo sido, por isso, as utilizadas neste modelo: altitude, ocupação do solo e declives. O Quadro 20 mostra o método como foram classificadas as varáveis e atribuídos os valores de ponderação (para uma escala de valores entre 0 e 1); a agregação das variáveis faz-se por soma ponderada, em que o valor de cada variável é multiplicado pelo respetivo peso atribuído a essa variável.

Quadro 20. Síntese das variáveis, classes e respetivas ponderações.

Variáveis espaciais	Classes	Valor	Contribuição de cada classe	Desvio padrão	Contribuição critério
Declives	0-2	1,0	0,11	3,5	0,21
	2-5	1,3	0,14		
	5-10	3,3	0,35		
	10-15	6,6	0,72		
	> 15	9,3	1,00		
Altitude	0-50	1,0	0,02	7,4	0,44
	50-100	8,5	0,15		
	100-150	3,2	0,06		
	150-200	5,7	0,10		
	200-300	23,3	0,42		
	300-415	55,4	1,00		
Carta de Ocupação do solo	Eucalipto	12,8	0,49	5,8	0,35
	Meios semi-naturais	25,9	1,00		
	Outra Floresta	3,5	0,14		
	Povoamento florestal misto	8,2	0,32		
	Áreas agrícolas	1,6	0,06		
	Áreas artificiais	1,0	0,04		
	Superfícies com água	0,0	0,00		
Total				16,7	1

A Figura 44 ilustra o resultado da soma ponderada das variáveis consideradas, obtendo deste modo um novo mapa de suscetibilidade com hierarquização e ponderação baseadas no método do desvio-padrão.

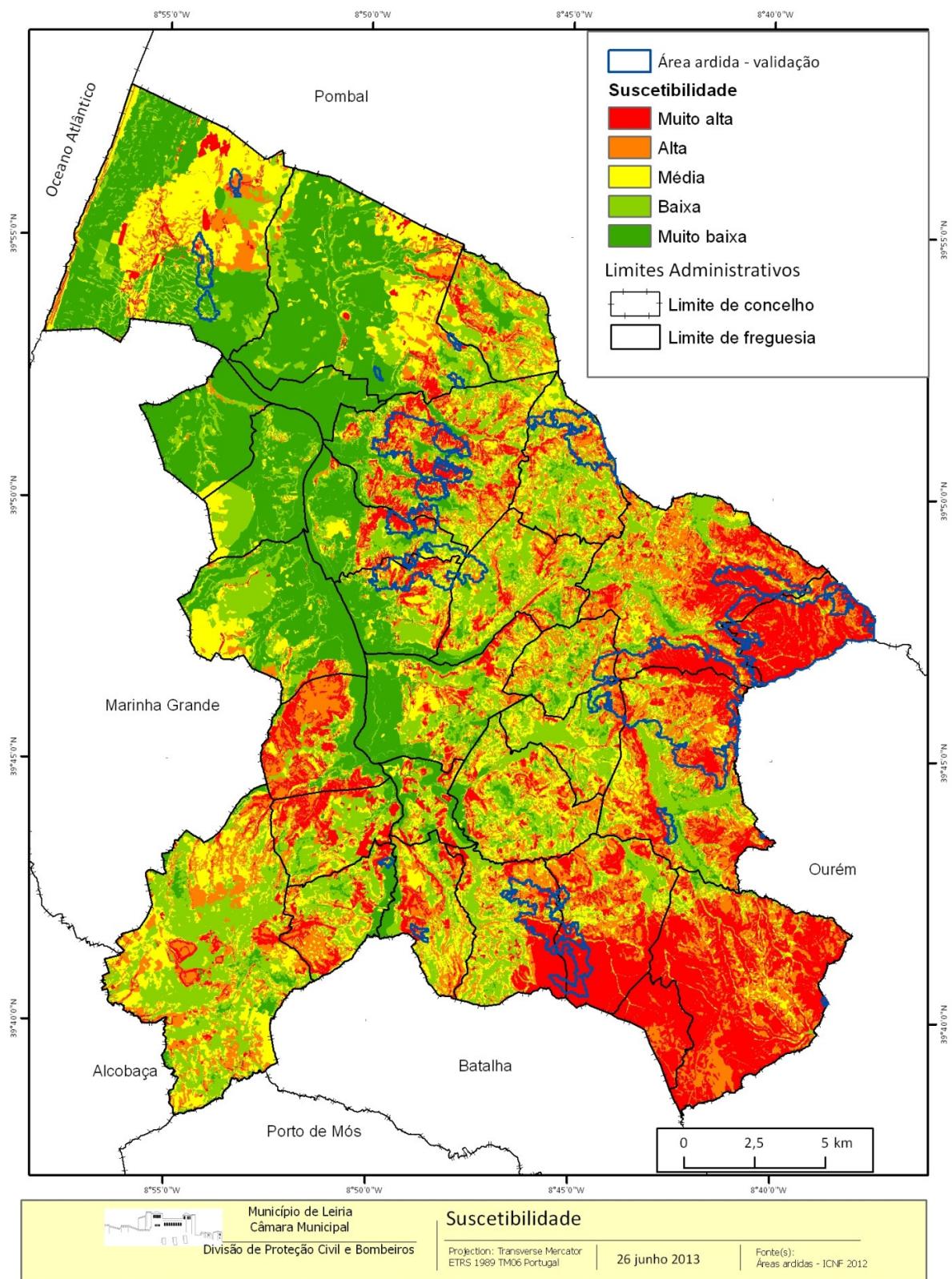


Figura 44. Susceptibilidade a Incêndio Florestal no concelho de Leiria, com base na Análise Multi-Critério com ponderação obtida a partir do método desvio-padrão da probabilidade condicionada.

A análise do cruzamento das classes de suscetibilidade com as áreas utilizadas para validação do modelo (2005-2010), permitem verificar que cerca de 74% das áreas ardidas se enquadram nas classes de suscetibilidade alta e muito alta, que representam 37% da área do concelho (Quadro 21).

Quadro 21. Comparação entre as classes de suscetibilidade de incêndio florestal e as áreas ardidas (2005-10), para efeitos de validação.

Suscetibilidade			Área ardida 2005-2010		Proporção área ardida (%)
Classes – Quintil	Área (ha)	Frequência relativa (%)	Área ardida (ha)	Área ardida (%)	
<b>Muito baixa</b>	12075	21,4	128	2,7	1,1
<b>Baixa</b>	12365	21,9	463	9,7	3,7
<b>Média</b>	11011	19,5	650	13,6	5,9
<b>Alta</b>	10842	19,2	1322	27,7	12,2
<b>Muito alta</b>	10195	18,0	2204	46,2	21,6
<b>Total</b>	56488	100	4767	100	

Destacam-se as classes “alta” e “muito alta”, onde devem ser privilegiadas as ações de prevenção, vigilância e dissuasão, nas quais arderam cerca de 34% das áreas, enquanto nas áreas de muito baixa e baixa suscetibilidade arderam apenas cerca de 5%.

## **6. Análise comparativa dos modelos**

A modelação da perigosidade de incêndio florestal pode ser efetuada utilizando diversas variáveis de entrada (*input's*) que contribuem com maior ou menor ‘peso’ para o mapa final.

Ao efetuar uma análise comparativa dos diversos modelos verifica-se que algumas variáveis em comum, como é o caso do declive e da ocupação do solo, têm intervalos/classes diferentes em função do modelo utilizado. No caso dos modelos do ICNF e IGP os intervalos das classes das variáveis são definidos nos respetivos guias metodológicos; no caso do modelo de suscetibilidade, a classificação resultou de uma análise prévia das características do concelho, que permitiu definir os limites das classes de declive e agrupar tipos de ocupação do solo. Estas diferenças são importantes, pois o critério de classificação pode, por si só, ter influência nos resultados obtidos.

Para além dessas diferenças em variáveis espaciais comuns aos três modelos, a metodologia da Carta de Risco de Incêndio Florestal do IGP (CRIF) utiliza também a proximidade à rede viária principal, a densidade de caminhos florestais, as exposições e a densidade demográfica. Esta Carta tem como objetivo uniformizar o critério de determinação do risco de incêndio ao nível nacional, sendo que deve ser tido em conta as limitações quando aplicada à análise do concelho.

Por outro lado, o modelo de suscetibilidade parte de um conjunto alargado de variáveis espaciais, das quais são selecionadas, através de um método de ponderação das variáveis (assente na probabilidade condicionada), as mais significativas para descrever o fenómeno.

A análise direta dos três modelos e o seu cruzamento com as áreas ardidas utilizadas para validação (Figuras 45, 46 e 47) permitem aferir que utilizando o modelo do ICNF, as classes “alta” e “muito alta” de perigosidade explicam 68% da distribuição das áreas ardidas; no entanto, a expressão espacial destas classes é de 34%. No modelo produzido pelo IGP (chamado de risco de incêndio), as classes de risco “elevado” e “muito elevado” explicam a distribuição de 80% das áreas ardidas, sendo que estas classes representam 60% da área total do concelho. No modelo de suscetibilidade, baseado na análise ponderada, as classes “alta” e “muito alta” explicam a distribuição de 74% das áreas ardidas, sendo que a área ocupada por estas classes é de apenas 37% da área do concelho.

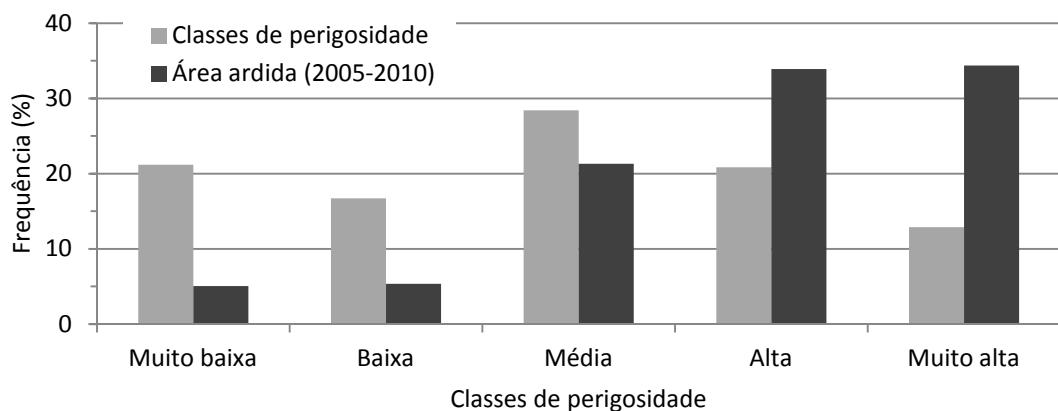


Figura 45. Frequência (%) das classes de perigosidade e distribuição (%) das áreas ardidas (2005-2010) pelas classes de perigosidade no concelho de Leiria, de acordo com o modelo do ICNF.

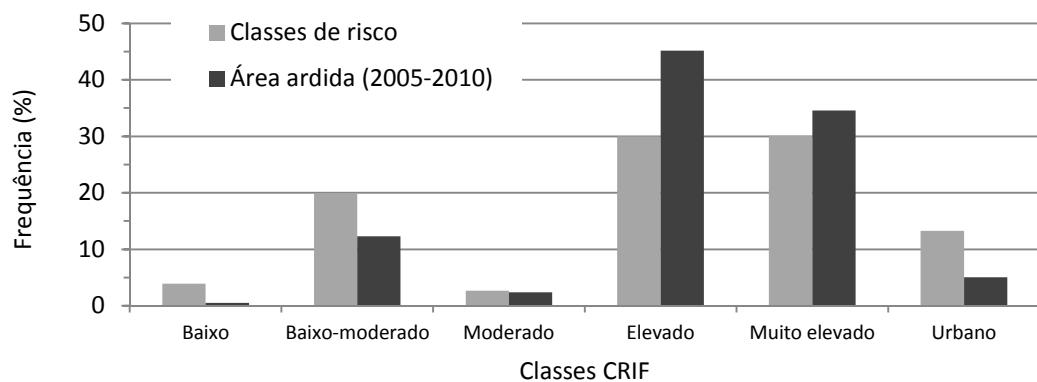


Figura 46. Frequência (%) das classes CRIF e distribuição (%) das áreas ardidas (2005-2010) pelas classes CRIF no concelho de Leiria, de acordo com o modelo do IGP.

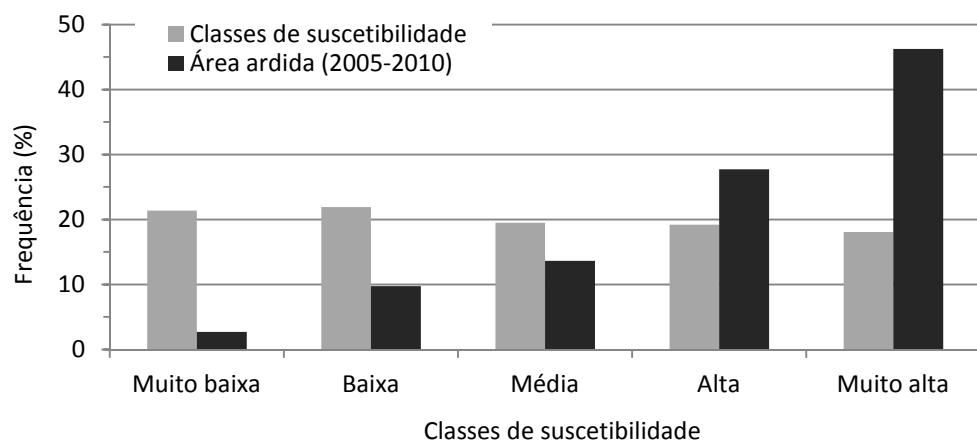


Figura 47. Frequência (%) das classes de suscetibilidade e distribuição (%) das áreas ardidas (2005-2010) pelas classes de suscetibilidade no concelho de Leiria.

De modo a analisar as cinco classes dos três modelos de uma forma direta entre si, foi calculada a proporção de área ardida de cada classe. O modelo de suscetibilidade indica que cerca de 34% das classes “alta” e “muito alta” de suscetibilidade arderam no período 2005-2010. O modelo do ICNF permite aferir que 36% das classes de perigosidade “alta” e “muito alta” arderam. O modelo do IGP regista uma proporção de área ardida das classes de risco de incêndio “elevado” e “muito elevado” na ordem dos 23% (Fig. 48). Estes valores, só por si, sugerem que o modelo de perigosidade apresenta condições ligeiramente melhores de modelação das áreas ardidas no concelho de Leiria.

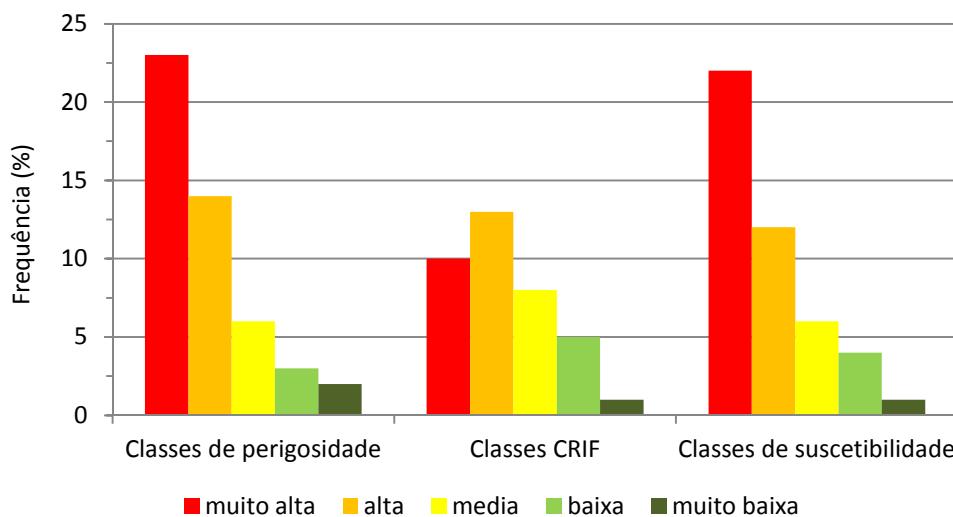


Figura 48. Distribuição (%) da proporção das áreas ardidas (2005-2010) pelas cinco classes dos modelos no concelho de Leiria.

Os modelos de perigosidade (ICNF) e de suscetibilidade apresentam comportamentos similares (Fig. 49), muito mais interessantes que os resultados do modelo CRIF (IGP), o qual modela pior as áreas ardidas do período utilizado para validação (2005-2010).

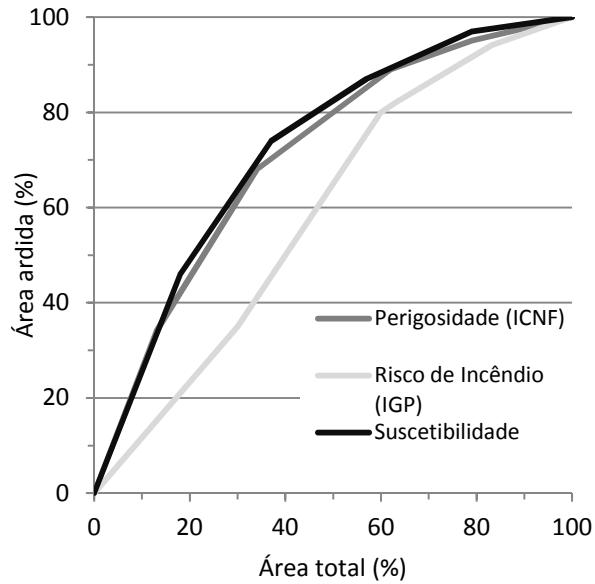


Figura 49. Curvas de predição dos três modelos com base na série das áreas ardidas 2005-2010, no concelho de Leiria.

Pelo que se observa neste capítulo, principalmente nas figuras 48 e 49, os dois métodos que devem ser tidos como referência são os da perigosidade (ICNF) e da suscetibilidade (Reis, 2008). Estes métodos dão resultados semelhantes em termos de validação, mas é importante analisar o seu comportamento espacial conjunto, ou seja, perceber em que medida as classes mais relevantes (as duas mais elevadas) são coincidentes no território para os dois modelos. O resultado do cruzamento das classes alta e muito alta dos dois modelos indica que 44% da área é coincidente. A área coincidente, relativa às outras classes (muito baixa, baixa e média) é de 65%. O cruzamento das classes mais relevantes do modelo de suscetibilidade com as outras classes do modelo de perigosidade indica que a sobreposição é de 18%. As áreas ocupadas pelas outras classes do modelo de suscetibilidade sobrepostas com as classes mais relevantes do modelo de perigosidade revelam coincidência de 14%.

A figura 50 mostra a distribuição da relação espacial das classes mais relevantes e das outras classes do modelo de perigosidade e de suscetibilidade.

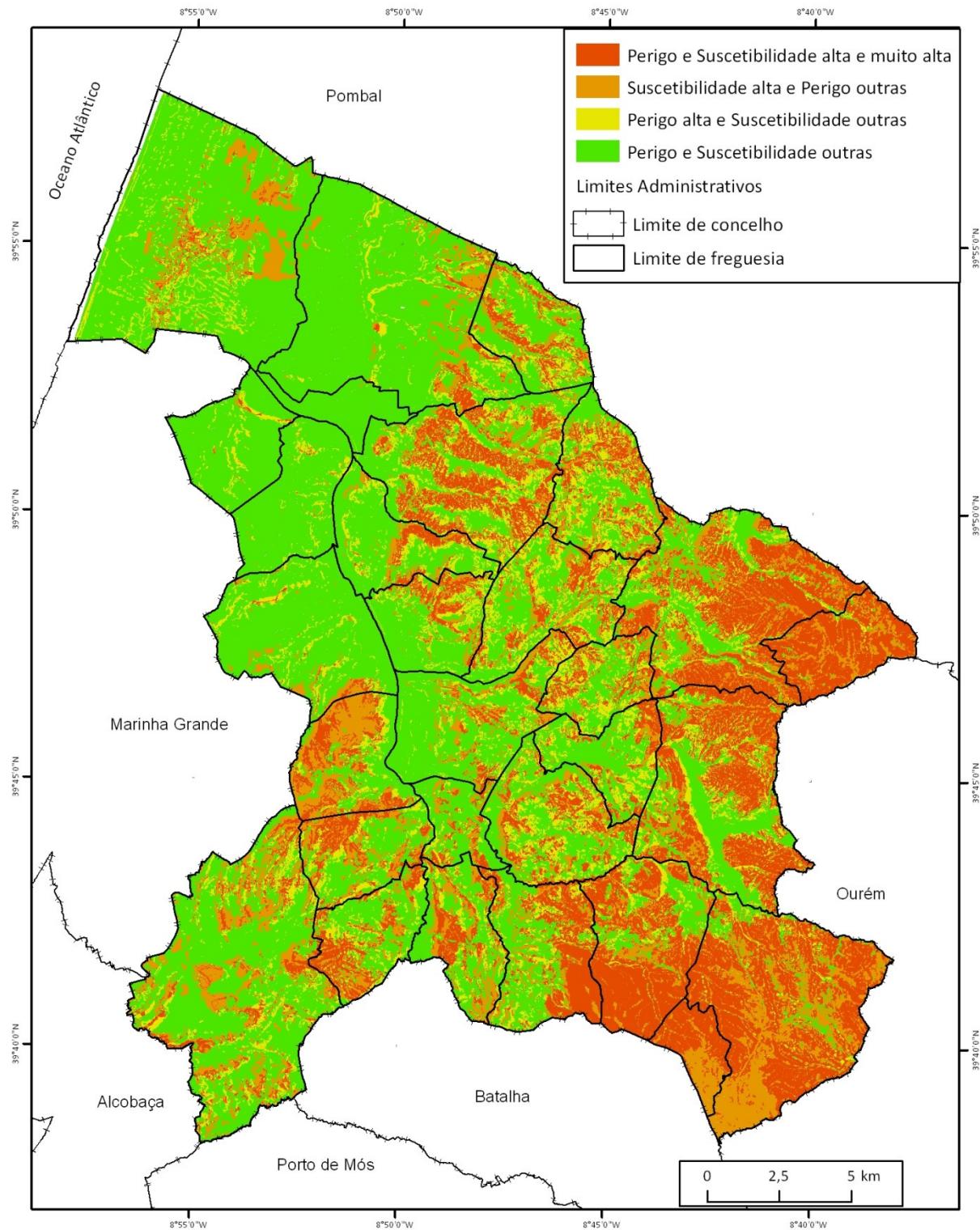


Figura 50. Relação espacial entre as classes “muito alta” e “alta” nos resultados obtidos a partir dos modelos de perigosidade (AFN/ICNF, 2012) e de suscetibilidade (Reis, 2008).

De modo a verificar a relação espacial e a coincidência entre as cinco classes dos dois modelos (perigosidade e suscetibilidade) foi elaborado o quadro 22 que resulta do cruzamento de cada classe e respetiva percentagem na área do concelho. A análise dos resultados permite verificar que a maior percentagem de cada classe é registada, quase sempre, no cruzamento com a mesma classe do outro modelo, tal como é desejável e seria de esperar. De destacar que o maior valor relativo de áreas em comum para a mesma classe observa-se na classe “muito alta” (valor médio de 43,7%) e, de seguida, na classe extrema oposta (valor médio de 44,2%).

Nas restantes 3 classes intermédias, a coincidência entre os dois modelos é menos evidente; todavia, mesmo assim, esta coincidência apresenta quase sempre valores superiores aos dos cruzamentos entre classes diferentes (entre 29 e 33%), constatando-se uma coincidência em cerca de 80% entre classes iguais dos dois modelos e estas e as duas classes adjacentes.

Quadro 22. Coincidência entre as classes nos modelos de perigosidade (AFN/ICNF, 2012) e de suscetibilidade (Reis, 2008): **A** – em % da área do concelho; **B** – em % do total de cada classe (média dos resultados obtidos para cada modelo).

		Perigosidade				
		Muito alta	Alta	Média	Baixa	Muito baixa
Suscetibilidade	Muito alta	<b>6,5</b>	5,8	4,6	0,6	0,4
	Alta	3,4	<b>5,9</b>	6,6	1,7	1,5
	Média	1,7	4,1	<b>7,6</b>	3,4	2,6
	Baixa	0,9	3,9	4,4	<b>5,5</b>	7,2
	Muito baixa	0,2	1,1	5,2	5,5	<b>9,4</b>

		Perigosidade				
		Muito alta	Alta	Média	Baixa	Muito baixa
Suscetibilidade	Muito alta	<b>43,7</b>	30,1	20,9	3,5	2,1
	Alta	22,3	<b>29,6</b>	28,9	9,5	7,5
	Média	11,1	20,4	<b>33,0</b>	18,9	12,9
	Baixa	5,6	18,3	17,8	<b>29,0</b>	33,5
	Muito baixa	1,3	5,2	21,3	29,3	<b>44,2</b>

## **7. Conclusão**

Os três modelos analisados para avaliar a suscetibilidade à ocorrência de incêndios florestais no concelho de Leiria diferem no resultado final, visto que as variáveis utilizadas, assim como a ponderação atribuída a cada variável, são diferentes. Existem dois modelos (perigosidade e suscetibilidade) que se destacam pela positiva, em relação à CRIF do IGP; no entanto, convém ressalvar que a CRIF é elaborada ao nível nacional, com o objetivo de agregar e classificar as variáveis de igual modo para todo o território continental, apesar da diversidade do mesmo.

Os modelos de suscetibilidade e de perigosidade são equivalentes em relação aos resultados apresentados, e de acordo com as áreas ardidas utilizadas para validação, a sobreposição das duas classes mais relevantes (as duas mais elevadas) é cerca de 44%. As diferenças entre estes modelos residem no facto do modelo de perigosidade utilizar áreas ardidas como fator, enquanto o modelo de suscetibilidade as utiliza no cálculo dos valores de ponderação a atribuir a cada fator e a cada classe no contexto da Análise Multi-Critério; além disso, este último introduziu a altitude como variável de modelação. Neste contexto, a variável altitude é a que apresenta maior contribuição na classificação dos critérios. A importância desta variável parece estar ligada ao facto de ser diferenciadora em relação à ocupação do solo, visto que permite estabelecer uma diferenciação dentro do mesmo tipo de ocupação do solo, o que não é possível através da cartografia deste fator. Na verdade, as áreas florestais situadas a maiores altitudes têm maior tendência para ser afetadas por incêndios em relação às mesmas áreas situadas a menores altitudes, onde a ocupação do solo dominante é pinheiro bravo (Matas Nacionais). Assim, a altitude atua, neste caso, como variável espacial que representa, indiretamente, e em alguma medida, diferenças relevantes na gestão do espaço florestal, as quais se traduzem de forma significativa na ocorrências das áreas ardidas.

A ocupação do solo é a variável cuja volatilidade é maior. Os declives perduram ao longo dos anos, mas a ocupação do solo pode sofrer grandes alterações anuais. As ações de arborização, em maioria recorrendo a espécies florestais de rápido crescimento, com alteração do tipo de povoamento florestal pré-existente são um exemplo da constante alteração da suscetibilidade do território aos incêndios florestais. O ritmo de atualização da cartografia de ocupação do solo não acompanha a rapidez potencial dessa mudança. Convém ficar a noção que a carta de suscetibilidade de incêndio florestal deve ser atualizada em função da disponibilização de nova cartografia de ocupação do solo.

O objetivo do mapa de suscetibilidade é auxiliar o processo de decisão e preparar melhor o território para os piores cenários. Deve ser tido em conta numa fase inicial de prevenção, de modo a se ficar com a percepção das áreas mais suscetíveis e com maior probabilidade de ocorrência do fogo.

No concelho de Leiria estão identificadas as áreas de maior suscetibilidade, nomeadamente a área da Senhora do Monte (freguesias de Cortes, Arrabal, Chainça e Santa Catarina da Serra), a área da Serra do Branco (freguesias de Colmeias, Memória e Caranguejeira) e a área das freguesias de Souto da Carpalhosa e Ortigosa, estes locais estão associados a áreas de grande carga combustível com declive considerável e com registo de histórico de incêndios, sendo os locais onde são prioritárias ações de prevenção, vigilância e dissuasão.

De forma empírica, a realidade do Município caracteriza-se, e atendendo à distribuição da ocupação de solo, pela predominância de áreas densamente e continuamente florestadas, sem qualquer tipo de ordenamento onde se torna difícil a presença dos meios de combate e imediatamente contínuo surge o tecido urbano. A caracterização da ocupação do solo faz-se pela ausência de mosaicos de transição, historicamente ocupados por áreas agrícolas ou áreas reservadas às pastagens.

O crescente abandono das terras agrícolas e das práticas relacionadas com a exploração florestal e a opção de plantação, em massa, de espécies pirófitas, sobretudo após a década de 60, ocasionaram, através do aumento do combustível vegetal, um ambiente propício à ocorrência de incêndios florestais de difícil controlo. Tendo em conta a importância económica e ambiental da floresta, urge encontrar mecanismos que visem a sua defesa face ao flagelo dos incêndios florestais (Gouveia, 2005).

A relação que o fogo tem com a ocupação do solo e o declive permite conhecer os locais onde a suscetibilidade é superior, a que se junta o histórico dos incêndios para a melhor definição de padrões e diferenciação de locais onde a recorrência surge como um problema. Este facto é mais relevante quando os incêndios florestais têm uma causalidade maioritariamente relacionada com atos negligentes (Verde, 2008). Em condições equivalentes, territórios com a mesma ocupação do solo e declive têm a mesma suscetibilidade. O padrão de ocorrência, por estar associado à causalidade, vem diferenciar o território suscetível, introduzindo diretamente fatores que de outro modo seriam mais complicados trabalhar: o comportamento humano e aspetos sociais (Verde, 2008).

As vantagens de implementação de um modelo simplificado com recurso a apenas três variáveis passam pela rapidez de atuação periódica e facilidade processual. Apenas o histórico tem alterações anuais.

## Bibliografia

- Administração da Região Hidrográfica do Centro (2002) – *Relatório Ambiental do Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Lis*, ARH Centro, Leiria.
- Alcoforado, M. J.; Almeida, A. F. (1993) – Incêndios no Parque Natural da Arrábida. Dados Estatísticos, *Finisterra*, XXVIII, 55-56, p.229-241, CEG, Lisboa.
- Autoridade Florestal Nacional (2010) – *Manual para tratamento da informação geográfica associada a terrenos percorridos por incêndios*, Direção de Unidade de Defesa da Floresta, Lisboa.
- Autoridade Florestal Nacional (2012) – *Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios – Guia Técnico*, Direção de Unidade de Defesa da Floresta, Lisboa.
- Bateira, C. V. (2001) – *Movimentos de vertente no NW de Portugal, suscetibilidade geomorfológica e sistemas de informação geográfica*. Dissertação de Doutoramento em Geografia Física, Faculdade de Letras da Universidade do Porto.
- Bergonse R. V.; Bidarra, J. M. (2010) – Probabilidade Bayesiana e regressão logística na avaliação da suscetibilidade de ocorrência de incêndios de grande magnitude. *Finisterra*, XLV, 89, pp. 79-104, CEG, Lisboa.
- Câmara Municipal de Leiria (2012) – *Plano Municipal de Defesa da Floresta*, C.M.L., Leiria.
- Carvalho, V. C. M. (2011) – *O Abrigo do Lagar Velho e o Paleolítico Superior em Leiria, Portugal: análise dos dados arqueológicos no atual contexto da evolução humana*. Universidade de Coimbra.
- Chuvieco, E., Congalton, R.G. (1989) – *Application of Remote Sensing and Geographic Information Systems on Forest Fire Hazard Mapping*. New York, Estados Unidos da América.
- Fontes, A. M. F.; Gonçalves, A. J. B. (2005) – Cartografia de Risco de Incêndio no Parque Nacional da Peneda-Gerês e Gestão adequada dos recursos florestais e sistemas naturais, *X Colóquio Ibérico de Geografia*, pdf 080, Évora.
- Freire, S.; Carrão, H.; Caetano, M. R. (2002) – *Produção de Cartografia de Risco de Incêndio Florestal com Recurso a Imagens de Satélite e Dados Auxiliares*, Instituto Geográfico Português, Lisboa.
- Gouveia, M. M. A. L. (2005) – *Perigo de Incêndio Florestal no concelho de Mirandela*. Dissertação de mestrado em Gestão de Riscos Naturais, Faculdade de Letras da Universidade do Porto, Porto.
- Instituto de Conservação da Natureza e Florestas (2012) – *Cartografia de áreas ardidas 1990-2010*. [www.icnf.pt](http://www.icnf.pt). Lisboa.
- Instituto Geográfico Português (2008) – *Cartografia de Incêndio Florestal, Relatório do Distrito de Santarém, versão provisória*. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.
- Instituto Geográfico Português (2010) – *Carta de Uso e Ocupação do Solo de Portugal Continental para 2007 (COS 2007)*. [www.igeo.pt](http://www.igeo.pt) Lisboa.

Instituto Nacional de Estatística – *Censos 2011*. Lisboa. [www.ine.pt](http://www.ine.pt).

Instituto Português do Mar e Atmosfera (2012) – Normais climatológicas de Leiria. Lisboa. [www.ipma.pt](http://www.ipma.pt).

Julião, R. P., Nery, F., Ribeiro, J L., Branco, M. C., Zêzere, J. L. (2009) – *Guia Metodológico para a Produção de Cartografia Municipal de Risco e para a Criação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) de Base Municipal*. Autoridade Nacional de Proteção Civil, Direção-Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano e Instituto Geográfico Português, Lisboa. Disponível em [www.proteccaocivil.pt/Documents/guia\\_metodologico\\_SIG.pdf](http://www.proteccaocivil.pt/Documents/guia_metodologico_SIG.pdf)

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

Ministério da Agricultura, Desenvolvimento Rural e Pescas - *Decreto-Lei n.º 17/2009*, de 14 de janeiro, Diário da República, 1ª série, n.º 9 de 14/01/2009.

Ministério da Agricultura, Pescas e Alimentação - *Decreto-Lei n.º 139/1989*, de 28 de abril, Diário da República, 1ª série, n.º 98 de 28/04/1989.

Neves, N.; Guiomar, N.; Freire, M.; Fernandes, J. P.; Duarte, L. (2011) – *Modelo de Avaliação da Perigosidade de Incêndio Florestal*. Imprensa da Universidade de Coimbra.

Nunes, A. (2001) – *Incêndios Florestais no Parque Natural da Serra da Estrela: Quadro Físico - Geográfico da sua ocorrência*, Tese de mestrado em Geografia Física, FLUC, Universidade de Coimbra.

Oliveira, C. I. P. (2006) - *Susceptibilidade de Incêndio Florestal no concelho de Valongo. Implicitações no Planeamento de Áreas Periurbanas*. Dissertação em Planeamento e Projeto do Ambiente Urbano. Universidade do Porto.

Orozco S. M. J. – *Un Modelo de Riesgo de Incendio en Michoacán*. Tesis de Maestría en Geografía (Orientación Manejo Integrado del Paisaje), Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México. 65pp.+Anexos.

Ramos, C.; Ventura, J. E. (1992) – *Um Índice Climático de Perigo de Incêndio Aplicado aos Fogos Florestais em Portugal*, Finisterra, XXVII, 53-54, p.79-93, Lisboa.

Rebelo, F. (1994) – Risco e Crise. Grandes Incêndios Florestais, *Atas do II Encontro Pedagógico sobre Risco Florestal*, p. 19-32, Coimbra.

Reis, E. (2008) – Análise Multi-Critério: avaliação da suscetibilidade aos incêndios florestais (integração com base na combinação linear ponderada) (Doc. 1); Relação entre variáveis espaciais (probabilidade condicionada) (Doc. 2). *Documentos de apoio à disciplina de Análise Espacial e Sistemas de Informação Geográfica*, no ano letivo 2008/09, IGOT-UL, 10+6 págs., não publicado.

Saturnino H. M. S. (2011) – *Modelação e Mapeamento da Probabilidade de Incêndio Florestal*. Dissertação de mestrado em Sistemas de Informação Geográfica Especialização em Análise de Bio-Sistemas, Instituto Politécnico de Castelo Branco.

Silva, H. (2010) – *Perfil Nacional de Metadados para Informação Geográfica (Perfil MIG)*. Instituto Geográfico Português. Lisboa.

Silva, R.; Carneiro, S.; Rey, J.; Santos S. – *Cartas de Risco de Incêndio – Influência do Método de Caracterização do Combustível*. Escola Superior Agrária de Ponte de Lima, Instituto Politécnico de Viana do Castelo.

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

Verde, J. C. (2008) - *Avaliação da Perigosidade de Incêndio Florestal*. Dissertação de mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa.

Viana, H.; Amaral, N.; Ladeira, R. (2005) – O Risco de Incêndio no Distrito de Viseu. Levantamento e Integração das estruturas florestais do distrito num sistema de informação geográfica, *V Congresso Floresta – A Floresta e as Gentes*, Instituto Politécnico de Viseu.

Viegas, X. (1989) – *Manual sobre Incêndios de Florestas*, Secretaria-Geral do Ministério do Planeamento e da Administração do Território, Lisboa.

Viegas, X. (2005) – *Curso sobre caracterização do Risco de Incêndio Florestal*, Centro de Estudos sobre incêndios florestais da ADAI, Coimbra, não publicado.

Zêzere, J. L. (1997) – *Movimentos de vertente e perigosidade geomorfológica na Região a Norte de Lisboa*. Dissertação de doutoramento em Geografia Física. Universidade de Lisboa.

Zêzere, J. L. (2005) – *Dinâmica de Vertentes e Riscos Geomorfológicos*. Centro de Estudos Geográficos, Relatório n.º 41, Lisboa.