

INFLUÊNCIA DO USO DO SOLO E TOPOGRAFIA NA OCORRÊNCIA DE INCÊNDIOS RURAIS NO NORTE DE PORTUGAL.

Miguel Costa do Carmo

Dissertação de Mestrado em Gestão do Território

Especialização em Ambiente e Recursos Naturais

FEVEREIRO DE 2009

Dissertação apresentada para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Gestão do Território, com especialização em Ambiente e Recursos Naturais, realizada sob a co-orientação científica dos Professores:

Doutor Pedro Casimiro

Departamento de Geografia e Planeamento Regional,
Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Nova de Lisboa

Doutor Francisco Moreira

Centro de Ecologia Aplicada “Prof. Baeta Neves”,
Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa

Apoio do Programa de Fornecimento de Informação Geográfica para Investigação, Ensino e Edição (FIGIEE) do Instituto Geográfico Português.

Apoio do Projecto “Recuperação de áreas ardidas” do Centro de Ecologia Aplicada “Prof. Baeta Neves”, financiado pelo Fundo Florestal Permanente do Instituto de Financiamento da Agricultura e Pescas, I.P. (IFAP).

DECLARAÇÕES

Declaro que esta dissertação é o resultado da minha investigação pessoal e independente. O seu conteúdo é original e todas as fontes consultadas estão devidamente mencionadas no texto, nas notas e na bibliografia.

O candidato,

Lisboa, 25 de Fevereiro de 2009

Declaro que esta Dissertação se encontra em condições de ser apresentada a provas públicas.

O orientador,

Lisboa, 25 de Fevereiro de 2009

Declaro que esta Dissertação se encontra em condições de ser apresentada a provas públicas.

O co-orientador,

Lisboa, 25 de Fevereiro de 2009

AGRADECIMENTOS

Aos meus orientadores, Professor Francisco Moreira e Professor Pedro Casimiro, agradeço o acompanhamento entusiasta do desenrolar do trabalho, e a possibilidade de descobrir a Ecologia da Paisagem e os estudos sobre incêndios rurais.

Agradeço a toda a equipa do Centro de Ecologia Aplicada “Prof. Baeta Neves”, na Tapada da Ajuda, a experiência de um centro de investigação alegre no meio de uma paisagem verdejante, qual casa de campo com vista para o Tejo. Em especial, um obrigado ao Pedro Vaz e ao Filipe Catry, pela ajuda preciosa em diferentes fases do tratamento de dados. E também ao Prof. Francisco Rego, à Joana Abreu, ao Rui Morgado, à Maria João Maia, à Conceição, às Cristinas, ao Miguel Bugalho, à Susana Dias, à Maria do Souto, ao Marco Matos, ao Tito...

Quero agradecer à Professora Maria José Roxo, da Faculdade de Ciências Sociais e Humanas (UNL), com quem discuti, em primeira mão, a linha de orientação para a dissertação, e ao Professor Rui Pedro Julião, também do Mestrado em Gestão do Território.

Quero agradecer ainda a um conjunto de pessoas, que não conheci pessoalmente, mas que disponibilizaram informação útil: Marta Carvalheira, José Ferreira de Castro, João Azevedo, Francisco Bernardes (Instituto Politécnico de Bragança) e Maria do Carmo Nunes (Instituto de Investigação Científica Tropical).

Ao Professor José Delgado Domingos, à Livia Tirone e restante equipa da Lisboa E-Nova,

aos pais, irmãos e avós,

ao Tiago, à Carmo e ao Luhuna,

à Bé,

e a toda a minha gente que, na proximidade, souberam motivar e alegrar, um grande abraço de agradecimento.

RESUMO

INFLUÊNCIA DO USO DO SOLO E TOPOGRAFIA NA OCORRÊNCIA DE INCÊNDIOS RURAIS NO NORTE DE PORTUGAL.

Miguel Costa do Carmo

A ocorrência de incêndios rurais em Portugal tem aumentado de forma persistente durante as últimas décadas. Na génese deste aumento encontram-se, entre outros fenómenos, o progressivo abandono dos campos agrícolas e a subsequente invasão por matos, bem como a florestação de terrenos anteriormente destinados à agricultura. Na restante região Mediterrânica, o aumento do risco de incêndio tem sido associado, igualmente, às transformações no uso do solo verificadas durante a segunda metade do século XX. Neste contexto, o estudo dos padrões de selecção do fogo, a uma escala local, e os padrões de incidência, a uma escala regional, permite estabelecer relações entre os processos referidos e o comportamento do fogo, contribuindo deste modo para a definição de boas práticas para a redução do risco de incêndio à escala da paisagem. Recentemente, vários trabalhos estudaram a influência da topografia e do uso do solo na ocorrência do fogo (*e.g.* Cumming 2000; Moreira *et al.* 2001, 2009; Nunes *et al.* 2005; Mermoz *et al.* 2005; Bajocco *et al.* 2007).

No presente estudo é desenvolvida uma metodologia simples, que permite determinar padrões de preferência do fogo em relação ao uso do solo e a factores topográficos (declive, exposição solar e altitude), requerendo para tal um modelo digital de terreno e cartografia de áreas ardidas e de uso do solo. A área de estudo ocupa cerca de 557 km² no norte de Portugal, compreendendo três regiões naturais da Carta Ecológica de Albuquerque (1985): Noroeste Cismontano, Alto Portugal e Nordeste Transmontano.

Os resultados mostram que o percurso do fogo desenha uma preferência em relação às diferentes classes de uso do solo, declive, exposição solar e altitude. O mosaico de combustível constitui o factor determinante, secundado pelo declive, verificando-se uma preferência persistente do fogo por matos e declives acentuados. Pelo contrário, os espaços agro-florestais são evitados pelo fogo, contribuindo para a redução do risco de incêndio na paisagem. O declive tem uma influência directa na propagação do fogo, que deriva fundamentalmente da geometria que a frente de fogo estabelece com o terreno, mas também pelo facto dos matos ocorrerem sobretudo nos declives acentuados. De modo global, os resultados destacam a gestão da paisagem como ponto chave no controlo do risco de incêndio.

Palavras-chave: incêndios rurais, padrões de selecção, uso do solo, topografia, gestão da paisagem, Mediterrâneo.

ABSTRACT

LAND USE AND TOPOGRAPHY INFLUENCES ON WILDFIRES OCURRENCE IN THE NORTHERN PORTUGAL.

Miguel Costa do Carmo

Wildfire occurrence in Portugal has risen in the last few decades: the progressive agricultural abandonment with the following shrub encroachment and the afforestation promotion are the principal causes for such increase, as both processes cause fuel accumulation in the landscape. In further Mediterranean regions fire-risk increase has also been connected with land use changes that have been taking place since the mid 20th century. Within this hypothesis the evaluation of local fire selection patterns and regional fire occurrence patterns establishes relations between landscape and fire behavior, required to understand processes before mentioned. This knowledge should contribute to the best landscape management options for wildfire hazard reduction. Recent articles present studies on land use and topography influence on wildfires occurrence (e.g. Cumming 2000; Moreira et al. 2001, 2009; Nunes et al. 2005; Mermoz et al. 2005; Bajocco et al. 2007).

In this work, a simple methodology is developed to find patterns of fire preference regarding land use and topography categories (slope, aspect and elevation). This requires a digital terrain model and land use and burned area maps. The study area is located in northern Portugal, 557 km² wide, and covers three natural regions (Carta Ecológica de Albuquerque, 1985): Noroeste Cismontano, Alto Portugal and Nordeste Transmontano.

The results show that the fire spread draws a preference regarding different land use, slope, aspect and elevation types. The vegetation mosaic being the main influence, followed by slope, with a strong fire preference for shrubland and steep slopes. In contrast, fire avoids agro-forestry areas, which contribute to fire risk reduction at landscape level. Slope has a direct influence on fire spread as a consequence of the geometrical relation among fire line and terrain, but also because of the strong overlap between shrubland and steep slopes. Globally the results point landscape management as keynote on fire hazard control.

Keywords: wildfire, selection patterns, land use, topography, landscape management, Mediterranean.

“O fogo não é um recém-chegado à Região Mediterrânica. É-lhe tão familiar e comum que se tornou num componente principal dos ecossistemas mediterrânicos.”

(Velez R. 1982, citado por Monteiro Alves *et al.* 2006)

“Um incêndio na Europa mediterrânica seria como ter um fogo no jardim.”

“(...) o fogo não é exclusivamente uma ferramenta social, mas também um processo ecológico”

(S. J. Pyne, 2006)

ÍNDICE

1. Introdução	1
1.1 Enquadramento do estudo	1
1.2 Área de estudo	5
1.3 Duas escalas de análise	9
1.4 Regiões Ecológicas	11
1.5 Variáveis topográficas	14
2. Metodologia	18
2.1 Modelos Digitais de Terreno	18
2.2 Mapa de coberto vegetal	20
2.3 Mapa de incêndios rurais	23
2.4 Escala local – índice de selecção	24
2.5 Escala regional	26
2.6 Análise estatística	27
3. Resultados	28
3.1 Modelos digitais de terreno	28
3.2 Padrões de fogo	32
3.3 Padrões de incidência e propagação	33
3.3.1 Análise local – índice de selecção	33
3.3.2 Análise regional	41
4. Discussão	47
5. Conclusão	59
6. Referências Bibliográficas	62
7. Anexo I – Cartas topográficas e de uso do solo	i
8. Anexo II – Tabela de equivalência da legenda da Carta de Ocupação do Solo 1990 (COS' 90) e a classificação utilizada no estudo	vi
9. Anexo III – Máximo do índice de selecção	ix
10. Anexo IV – Outros resultados	x

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Mapa da Península Ibérica com localização da área de estudo. Em maior detalhe identificam-se as três regiões ecológicas consideradas, em três tons de cinzento. 5
- Figura 2:** Cartografia climática referente à precipitação, radiação solar e temperatura do ar. É possível observar as principais variações climáticas que caracterizam a região (Atlas do Ambiente). 7
- Figura 3:** Mapa europeu de focos de calor nocturnos detectados no período 1996-2005 pelo Satélite Europeu de Detecção Remota (European Remote Sensing Satellite 1-2, *cit. Pereira et al. 2003, 2006*) 9
- Figura 4:** No lado esquerdo, *Biogeografia de Portugal Continental* (Costa *et al.* 1998) e no lado direito, a carta bioclimática, *Mapa de Termotipos*, de Mesquita (2005). 14
- Figura 5:** Localização da superfície modelada com resolução de 25 metros fornecida pelo Instituto Geográfico Português. 19
- Figura 6:** Distribuição geográfica de 1382 perímetros de fogo na área de estudo. 23
- Figura 7:** Extracto da área de estudo, com representação do perímetro de uma área ardida e área disponível envolvente (*buffer* circular). No cálculo da proporção da classe *i* na área disponível inclui-se a área ardida. 25
- Figura 8:** Áreas ocupadas por cada classe no MDT 90 m (cinzento) e MDT 25 m (negro) nas três cartas topográficas. 28
- Figura 9:** As três cartas obtidas no MDT 90 m (a, c, e) e no MDT 25 m (b, d, f) na superfície de 900 km². 29
- Figura 10:** Distribuição geográfica de 124 perímetros de fogo na superfície de 900 km². 30
- Figura 11:** Índices de selecção médios (com intervalo de confiança a 95%) obtidos sobre as cartas de altitude, declive e exposição solar. No lado esquerdo são apresentados os cálculos referentes ao MDT 90 (a, c, e) e no lado direito aqueles referentes ao MDT 25 (b, d, f). 31
- Figura 12:** Distribuição de dimensão de áreas ardidas no Norte de Portugal no período 1990-1991 através de uma curva de Lorenz (esquerda) e outra distribuição cumulativa (direita), onde se assinala o maior fogo registado. 33

Figura 13: Valores médios dos índices de selecção e intervalos de confiança (95%) para as classes de uso do solo (a), altitude (b), exposição solar (c) e declive (d) no Norte de Portugal. A cada factor está associado o número fogos considerados e *outliers* omitidos do cálculo. Abreviaturas para o uso do solo: CA – culturas anuais, CP – culturas permanentes, AF – sistemas agro-florestais, Ma – matos, Re – florestas de resinosas, Eu – florestas de eucalipto, OF – florestas de folhosas, Re+Eu – floresta mista de eucalipto e resinosas, F+R/E – floresta mista de folhosas e resinosas ou eucalipto. 35

Figura 14: Valores médios dos índices de selecção (IC a 95%) para o uso do solo, altitude, exposição solar e declive nas três regiões ecológicas. No eixo horizontal é indicado o número de fogos que compõem a média. 38

Figura 15: Valores médios dos índices de selecção (IC a 95%) para o uso do solo, altitude, exposição e declive nas três classes de dimensão de área ardida de fogo. No eixo horizontal é indicado o número de fogos que compõem a média. 40

Figura 16: Comparação entre as distribuições proporcionais das áreas ardidas (cinzento claro) e da área de estudo (cinzento escuro), para as quatro variáveis: uso do solo, altitude, declive e exposição solar. 42

Figura 17: Distribuição proporcional das classes topográficas em cada classe de vegetação. Em tons de verde, está representada a distribuição relativa à área ardida e em tons de cinzento a distribuição relativa à região em estudo. Cada gráfico corresponde uma classe de coberto vegetal; em cada grupo de variáveis topográficas as soma das proporções é igual a 100%. 46

Figura 18: Valores médios dos índices de selecção com intervalo de confiança (95%) para as classes de altitude. São apenas considerados do universo de dados os fogos/buffers que apresentam 4 classes de altitude em simultâneo (n=147). As áreas abaixo dos 250 m são evitadas. x

Figura 19: Valores médios dos índices de selecção com intervalo de confiança (95%) para classes de exposição. Muito embora os índices para o norte e sul se aproximem de 1, mostram uma tendência oposta com significado estatístico pois os intervalos de confiança não se sobrepõem. x

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1:** Descrição das classes definidas para a altitude, declive e orientação solar. A direcção norte define o grau zero (0°). 18
- Tabela 2:** Dados descritivos dos fogos, organizados por região ecológica e dimensão de área ardida. 26
- Tabela 3:** Matriz de equivalências entre a legenda da Carta de Ocupação do Solo de 1990 (COS' 90) (IGP 1990) e a classificação utilizada no presente estudo. vi

1. INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento do estudo

É claro para muitos que o fogo é uma perturbação natural na paisagem - após a acumulação de biomassa, sempre na contingência de arder, o fogo constitui-se como um factor de eclosão - e que nas regiões de clima mediterrânico se constitui como um dos principais agentes ecológicos - a alternância entre Verões quentes e secos e Invernos frios e húmidos favorece a ocorrência de incêndios rurais¹ que foram modelando a flora nativa mediterrânica. Desde os primeiros assentamentos humanos na Europa mediterrânica, o uso do fogo transformou profundamente a paisagem num processo secular de modificação da ocupação do solo, onde se distinguem a desflorestação, o pastoreio e a agricultura, enquanto vértices do “Europe’s agricultural fire triangle”, tal como definido por Stephen Pyne (1997, citado por Monteiro Alves et al. 2006). Os artigos de Monteiro Alves *et al.* (2006) e Pyne (2006) descrevem de forma eloquente a relação do fogo com a floresta, na sua dimensão histórica, ecológica e social, de onde sobressaem a prática de uso de fogo nas populações rurais integrada na gestão agrícola e das pastagens, como principal motor da evolução da ocupação do solo, bem como o papel do fogo na distribuição fitogeográfica que caracteriza a paisagem mediterrânica. Na perspectiva historiográfica de Pyne sobre fogo, a Europa viveu três grandes momentos: uma pré-história, antes do Neolítico, onde os ecossistemas naturais, os grupos humanos e o fogo disputavam território durante o recuo do gelo, na mudança climática que levou ao Holoceno; uma segunda época, caracterizada pelo advento e expansão da agricultura, como principal factor de transformação da paisagem nos milénios seguintes; e por fim, a era actual, caracterizada pela substituição, a partir da revolução industrial, do combustível à base de biomassa viva por biomassa fóssil.

Afunilando o olhar até às fronteiras de Portugal, observa-se que o conjunto de condições ambientais torna a paisagem muito propensa ao fogo: o clima mediterrânico e o terreno acidentado em grande parte do território e a vegetação natural tipicamente de folha perene, resistente à seca e pirofílica (Nunes *et al.* 2005). É possível afirmar que nas últimas décadas a ocorrência de incêndios tem aumentado (Moreira *et al.* 2001, Pereira *et al.* 2006).

¹ No seguimento de Pereira *et al.* (2006), é usado o termo *rural* em substituição de *florestal* comumente utilizado, visto que se trata de fogos que percorrem cobertos vegetais diversos – principalmente agrícola, matagal e floresta. De facto, no período 1990-2005 menos de 1/3 da área ardida em Portugal correspondia a floresta.

No período entre 1980 e 2004, a área ardida média anual em Portugal é cerca de 107 000 ha, o que excede ligeiramente 1% da área total do país e é de longe a maior incidência de fogo na Europa (Nunes *et al.* 2005). Muito embora seja o menor dos cinco países do Sul da Europa (Espanha, Itália, França, Grécia), Portugal é dos mais afectados pelos incêndios rurais segundo dados para o mesmo período. O total de área ardida nestes 24 anos mostra que houve um fogo por cada 20 ha de território (que equivale a 30% da área do país) e que os outros países mais afectados, Itália e Espanha, apresentam valores inferiores a 1/3 e 1/5 do de Portugal, respectivamente. A normalização das estatísticas de fogo pela área do país revela que Portugal lidera claramente em termos das densidades, número de fogos/hectare de território e hectares arditos/hectare de território (Pereira *et al.* 2006).

Na génese deste aumento, a evolução socioeconómica e demográfica durante as últimas quatro décadas nas zonas rurais tem um papel importante. Globalmente, são fundamentais neste processo o abandono dos campos agrícolas e a subsequente invasão dos matos, bem como a florestação de terrenos anteriormente destinados à agricultura. Em ambos os casos é gerada uma maior acumulação de combustíveis e portanto um maior risco de incêndio (Silva 1990; Rego 1992; Moreira *et al.* 2001, 2009). Outros factores, como a expansão urbana e rodoviária, e modificações nos regimes climáticos deverão ser igualmente considerados numa perspectiva de entender a maior frequência de incêndios. Note-se contudo, de acordo com Pereira *et al.* (2006), que a elevada variabilidade interanual da série de áreas queimadas no período 1980-2004 não permite afirmar inequivocamente a existência de uma tendência instalada de aumento, podendo tratar-se sobretudo de uma oscilação de maior amplitude localizada nos anos 2003 e 2005. Não obstante, a média anual de área queimada para as décadas de 80, 90 e para os seis anos entre 2000 e 2005 mostram um aumento consistente. No que respeita à relação com a meteorologia, no período 1980-2000, 93% da área ardida está concentrada entre Junho e Setembro, 80% em apenas 10% dos dias de Verão (12 dias/ano) e ocorre sob condições meteorológicas muito específicas e invulgares – os grandes incêndios ocorrem quando o anticiclone dos Açores se estende sobre a Europa Central ligado a outro centro de altas pressões sobre o mediterrâneo, que à superfície origina uma advecção anómala de massas de ar quente e seco que atravessam o centro da península provenientes do Norte de África (Pereira *et al.* 2005, Pereira *et al.* 2006).

Deste modo, a demonstração em Moreira *et al.* (2001) de que o aumento progressivo do risco de incêndio na paisagem, durante a segunda metade do século XX, resulta de alterações no uso do solo, assim como a conclusão em Pereira *et al.* (2005) de que

a variabilidade interanual na área ardida é muito dependente da meteorologia; criam o contexto para o presente estudo. Ambos os trabalhos identificam a necessidade de estudar os padrões espaciais de ocorrência do fogo, como forma de aprofundar a relação entre os diferentes processos referidos e o fogo.

No quadro da ecologia da paisagem, o fogo é encarado como uma perturbação que desempenha um papel fundamental na modelação da estrutura e funcionamento da paisagem (Turner e Dale 1990). Como refere Bajocco & Ricotta (2007), os regimes de perturbação estabelecem interacções fortes com os padrões da paisagem: por um lado, a difusão espacial de perturbações é função da abundância e disposição espacial dos *habitats* susceptíveis à perturbação, e por outro, os padrões da paisagem são determinados pela frequência, intensidade e extensão da perturbação. Considerando que o fogo é uma das principais perturbações que afectam a paisagem mediterrânica, a compreensão do modo como a estrutura da paisagem condiciona a sua difusão é um tópico chave para entender as consequências ecológicas do fogo e o papel que este desempenha nas dinâmicas da paisagem (Moreira *et al.* 2009). O início de um incêndio florestal e a sua propagação resulta da interacção complexa entre fontes de ignição, meteorologia, vegetação e topografia. Este trabalho analisa a relação do fogo com os dois últimos grupos de factores, habitualmente designados por factores estruturais em oposição a factores dinâmicos, como a meteorologia (*e.g.* temperatura do ar ou velocidade do vento). A vegetação desempenha um papel chave pois constitui o material combustível, cuja distribuição, carga e teor em humidade está associada ao tipo e estrutura da vegetação. A topografia afecta directamente o comportamento do fogo por favorecer a transferência de energia radiativa da frente de fogo no sentido dos maiores declives, o que se traduz no facto dos incêndios subirem geralmente as encostas e, indirectamente, por delimitar microclimas que controlam o teor de humidade dos combustíveis antes do fogo, a temperatura do ar, assim como a distribuição biogeográfica² das espécies vegetais (Mermoz *et al.* 2005, Heyerdahl *et al.* 2001).

A determinação de padrões de incidência e propagação dos incêndios rurais é importante para a definição de práticas de redução do risco de incêndio à escala da

² A Biogeografia é um ramo da Geografia que tem por objecto o estudo da distribuição dos seres vivos na Terra (a Fitogeografia restringe o domínio às plantas), estabelecendo relações entre o meio físico e biológico, e servindo-se de informação gerada por ciências afins como a Corologia vegetal, a Geologia, a Bioclimatologia e a Fitossociologia (Costa *et al.* 1998).

paisagem. Este trabalho deverá contribuir para um maior conhecimento na área da gestão de combustíveis, no que se refere ao uso do solo e às características fisiográficas do terreno. O fenómeno em estudo pode definir-se pela interacção do fogo, enquanto processo físico-químico que se desenvolve a escalas temporais e espaciais diversas (Ventura *et al.* 2006), com a paisagem, vista como complexo geográfico onde tomam lugar as esferas inorgânica, biológica e social (Bastian 2001). Perante a complexidade desta interacção vários autores procuram isolar relações simples, supostamente preponderantes na explicação do comportamento do fogo. A presente dissertação tem por base um conjunto de trabalhos sobre padrões espaciais de selecção do fogo na paisagem portuguesa, levados a cabo por Moreira *et al.* (2001, 2009) e Nunes *et al.* (2004, 2005). No âmbito internacional, vários artigos que apresentam linhas de investigação similares, a saber: Cumming (2001), Heyerdahl *et al.* (2001), Díaz-Delgado *et al.* (2001, 2004), Mermoz *et al.* (2005), González *et al.* (2005, 2006, 2007), Bajocco & Ricotta (2007). Tanto Nunes *et al.* (2005) como Moreira *et al.* (2009) estudam os padrões de selecção do fogo em relação ao coberto vegetal em Portugal continental, no primeiro com dados da época de incêndios de 1991 e no segundo para o período 1990-1994, e determinam a existência de uma forte preferência do fogo pelo mato, classe de coberto vegetal que corresponde grosso modo à ocupação arbustiva. O estudo da selectividade do fogo, que aqui se desenvolve, é alargado aos factores abióticos declive, exposição solar e altitude, e aplicado à área de estudo. Deste modo, factores de ordem topográfica são adicionados ao estudo da influência do mosaico de vegetação na incidência e propagação de fogos, mediante uma metodologia centrada em métodos quantitativos. Pretende-se que este trabalho responda às seguintes questões: a) Quais os tipos de vegetação preferidos na propagação do fogo?; b) A topografia é importante na propagação do fogo?; c) Que relações se estabelecem entre a topografia e o uso do solo na influência do comportamento do fogo; d) Os padrões de selecção do fogo são semelhantes em diferentes regiões ecológicas?; e) Os fogos maiores são menos selectivos?; f) Na área de estudo, quais os tipos de vegetação e classes topográficas com maior incidência do fogo?; g) Qual a relação dos padrões regionais com os padrões de selecção determinados na escala local?; h) De que modo a gestão da paisagem contra o fogo pode beneficiar do conhecimento de padrões de selecção?

1.2 Área de estudo

A área de estudo é composta pelas três regiões naturais da Carta Ecológica de Albuquerque (1985) que ocupam o norte português: Noroeste Cismontano, Alto Portugal e Nordeste Transmontano, referidas no conjunto como Norte de Portugal. A região tem uma superfície total de 557 km² e está confinada pelas latitudes 40° 38'-42° 09' N e longitudes 6° 11'-8° 53' W. Engloba a totalidade dos distritos de Viana do Castelo, Braga, Porto, Vila Real e Bragança e parte dos distritos de Aveiro e Guarda, correspondendo grosso modo à região arrumada a norte do leito do Douro, a que se adicionam duas faixas que se estendem para sul no extremo oeste até à Ria de Aveiro e no extremo este até à Guarda. A população residente é superior a 3.2 milhões. A bacia hidrográfica do Douro ocupa grande parte da área de estudo, cerca de 70%, que abrange para além da referida, as bacias dos Rios Minho, Lima, Cávado, Ave, Neiva, uma pequena porção do Vouga e várias ribeiras atlânticas. É uma região bastante montanhosa, onde a altitude varia entre o nível do mar no litoral e atinge o máximo na Serra do Gerês (1548 m) com um valor médio a rondar os 507 m. Abarca a Serra da Peneda (máximo nos 1416 m), Serra do Larouco (1525 m), Serra do Marão (1415 m), Serra de Montesinho (1486 m), Serra da Nogueira (1318 m) e Serra da Coroa (1274 m). Inclui o Parque Nacional da Peneda-Gerês, o Parque Natural de Montesinho, o Parque Natural do Douro Internacional e o Parque Natural do Alvão.

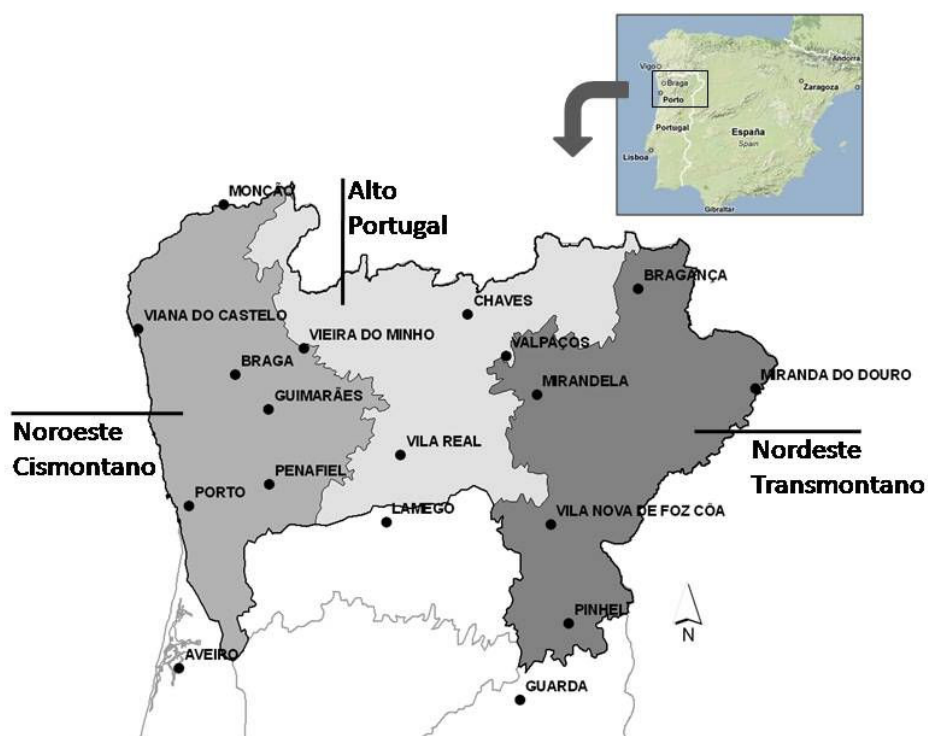


Figura 1: Mapa da Península Ibérica com localização da área de estudo. Em maior detalhe identificam-se as três regiões ecológicas consideradas, em tons de cinzento.

A precipitação média anual³ varia entre valores inferiores a 400 mm nas terras quentes transmontanas, abaixo dos 400 m de altitude, e valores superiores a 2800 mm nas cumeadas que separam as bacias hidrográficas do Rio Minho, Rio Lima e o Rio Cávado. O número médio de dias no ano com chuva (>1 mm/dia) revela um gradiente decrescente entre mais de 100 dias até menos de 50 dias, no sentido NO-SE. A distribuição espacial da radiação solar (valores médios anuais, 1938-1970) mostra uma progressão no mesmo sentido, com os valores mais baixos no Alto Minho (< 140 Kcal/cm²) e mais altos no Douro Internacional (entre 150-155 Kcal/cm²). A consulta da cartografia climática apresentada na figura seguinte permite uma melhor compreensão dos gradientes assinalados. A temperatura média anual oscila entre 7.5° C, nas cumes mais altos, e os 16° C; a temperatura máxima média encontra-se no intervalo 22°-32° C (Junho, Julho e Agosto); a temperatura mínima média no intervalo 0°-8° C (Dezembro, Janeiro e Fevereiro).

Em termos bioclimáticos, a maioria do território é mesomediterrânico e supramediterrânico, e em menor proporção temperado (termo, meso e supra) (Rivas-Martínez *et al.* 1987, 2002; Mesquita 2005). Em termos fitogeográficos, a área de estudo é repartida pela Região Eurosiberiana, Sector Galaico-Português, na metade oeste, que apresenta como espécies características, entre outras: o *Quercus robur* (carvalho-roble), *Acer pseudoplatanus* (plátano-bastardo), *Pyrus cordata* (escalheiro), *Ilex aquifolium* (azevinho), *Juniperus communis* ssp. *alpina* (zimbros) na Serra do Gerês, *Fagus sylvatica* (faia) naturalizada nas montanhas do Noroeste de Portugal. A paisagem é dominada por tojais e urzais que resultam da degradação dos carvalhais de *Quercus robur*. Nas palavras de Costa *et al.* (1998):

“A sua fronteira no nosso país inicia-se a leste da Serra do Larouco na vizinhança da Veiga de Chaves; atravessa o vale do Tâmega próximo de Boticas; prolonga-se inicialmente pela cumeada da Serra do Alvão mas progressivamente desce pela falda leste da mesma serra até à proximidade de Vila Real; continua pela falda leste da Serra do Marão e inflecte para Oeste na proximidade do rio Douro. A sul do rio Douro passa pela vertente norte da Serra de Montemuro; prolonga-se pelas Serras de Leomil e Lapa, engloba ainda a Serra da Arada, Caramulo e atinge o ponto mais a sul junto à Serra do Buçaco. Finalmente dirige-se para Norte ao longo do vale do rio Águeda até atingir a Ria de Aveiro.”

³ Os valores numéricos climáticos foram obtidos do Atlas do Ambiente, referentes ao período 1931-1960 quando não indicado, ou alternativamente do projecto SIAM (2002), referentes ao período 1961-1990. A caracterização litológica foi obtida igualmente do Atlas do Ambiente.

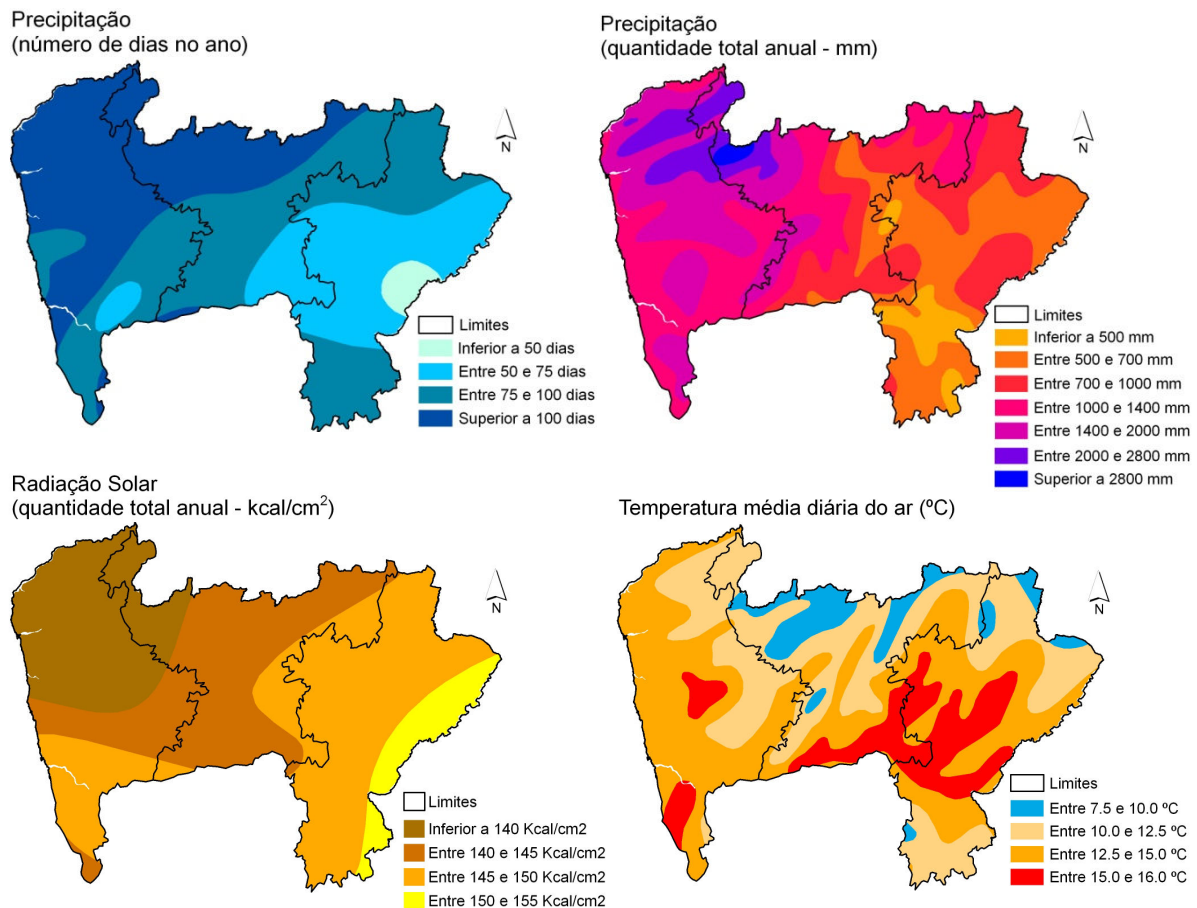


Figura 2: Cartografia climática referente à precipitação, radiação solar e temperatura do ar. É possível observar as principais variações climáticas que caracterizam a região (Atlas do Ambiente).

A metade este da região em estudo é ocupada pela Região Mediterrânea, Província Carpetano-Ibérico-Leonesa, dominada pela bacia hidrográfica do rio Douro e inclui a maior parte de Trás-os-Montes e uma parte significativa da Beira Alta. Predominam os solos siliciosos e sobressaem os xistos e os granitos hercínicos. Existem áreas significativas de rochas básicas e ultrabásicas e ainda pequenos afloramentos de calcários cristalinos. *Castanea sativa* (castanheiro), *Betula pubescens* subsp. *Celtibérica* (vidoeiro), *Juniperus* ssp. (zimbros), *Quercus faginea* subsp. *Faginea* (carvalho-cerquinho), *Quercus pyrenaica* (carvalho-negral), *Quercus suber* (sobreiro), *Quercus ilex* (azinheira) são algumas das espécies características (Costa *et al.* 1998).

Em termos litológicos, destacam-se os granitos e rochas afins (rochas eruptivas plutónicas) e os xistos e grauvaques (rochas sedimentares e metamórficas) presentes na maior parte da região, os primeiros predominantes na metade oeste e os segundos na metade este, bem como alguns afloramentos de rochas básicas (principalmente anfíbolitos) e ultra-básicas na zona este. Os solos dominantes na região são os cambissolos e litossolos,

e em menor área luvisolos e rankers. Os litossolos são solos incipientes, pouco espessos e com rocha consolidada a menos de 15/20 cm de profundidade, mais incidentes em zonas de declive acentuado, quentes e secas. Os cambissolos húmicos de origem granítica são os mais abundantes na área em estudo, ocorrendo normalmente em zonas de relevo mais suave, húmidas e de altitude. São solos mais espessos, mais evoluídos, com um horizonte rico em matéria orgânica e apresentam boa aptidão agrícola: adequados à produção cerealífera e a culturas perenes como o castanheiro. Os luvisolos têm cor castanha avermelhada e confinam aos declives mais suaves onde constituem solos férteis. Os rankers são solos litólicos úmbricos, em regra de espessura inferior a 50 cm.

A região de estudo foi seleccionada no contexto português por apresentar uma elevada incidência de fogos, o que torna mais premente a sua análise. Em Portugal (período 1990-2004), a larga maioria dos fogos e da área queimada encontra-se a norte do Rio Tejo. A norte do Douro, os incêndios rurais incidiram principalmente nos distritos de Viana do Castelo e Vila Real, nas zonas interiores de Braga e Porto e no sul do distrito de Bragança (Pereira *et al.* 2006). No contexto europeu, o mapa de fogos nocturnos, detectados por satélite entre 1996 e 2005, faz sobressair nitidamente o noroeste da Península Ibérica, onde se inclui a área de estudo, como uma zona de grande incidência (figura 3). Por outro lado, no período em análise, 1990-1991, o Norte de Portugal apresentou o maior número de fogos em comparação com as outras regiões do país, factor determinante para a qualidade da análise estatística. O facto da região constituir uma zona de transição climática onde a influência atlântica encontra o mediterrâneo, determinando gradientes acentuados na temperatura e precipitação, é ainda uma razão de escolha, pois fornece uma paisagem de estudo heterogénea e a possibilidade de testar a existência de variações regionais nos padrões de selecção do fogo. Por fim, em Moreira *et al.* (2001) é testada a hipótese de que o aumento do risco de fogo na paisagem do Minho deriva das transformações na paisagem aí ocorridas durante a segunda metade do século XX, que por sua vez podem ser antevistas com base na história socioeconómica da região e do país. Este estudo, sobre uma região incluída na área de estudo, disponibiliza uma análise abrangente e útil para o trabalho.

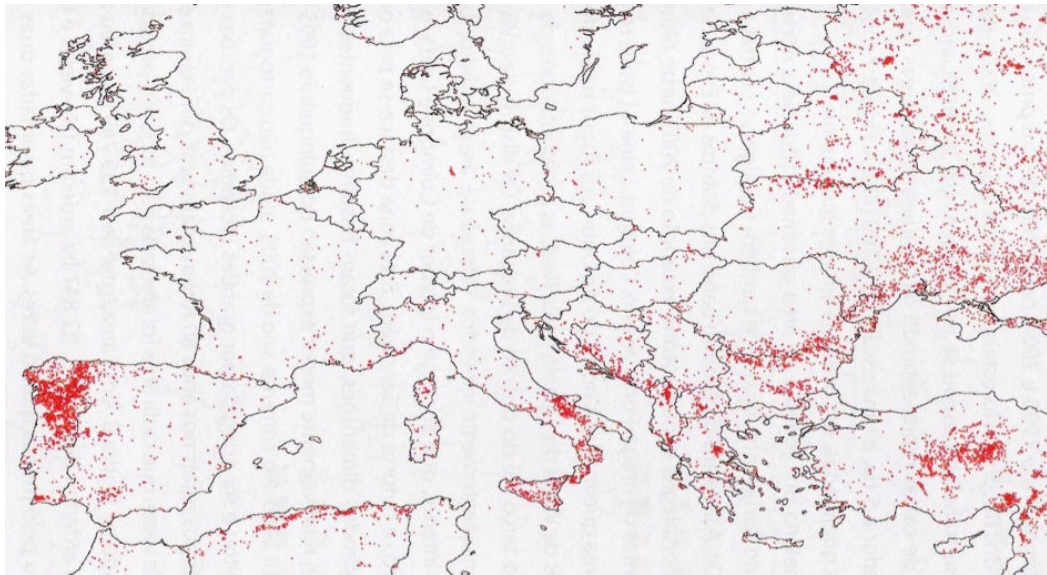


Figura 3: Mapa europeu de focos de calor nocturnos, detectados no período 1996-2005 pelo Satélite Europeu de Detecção Remota (European Remote Sensing Satellite 1-2, *cit. Pereira et al. 2003, 2006*).

1.3 Duas escalas de análise

A metodologia seguida resulta da revisão de trabalhos publicados recentemente, que procuram perceber de que modo a incidência e propagação é influenciada pela composição da vegetação e por factores abióticos, como a topografia, recorrendo para tal a métodos quantitativos. São levadas a cabo duas abordagens distintas, designadas por análise à escala *local* e análise à escala *regional*, como formas complementares de olhar para o fenómeno e que concorrem para uma visão mais global do mesmo.

A abordagem local, consubstanciada no índice ou coeficiente de selecção, deriva de uma metodologia originalmente proposta para o estudo da selecção de recursos por animais (Manly *et al.* 1993), onde se faz equivaler a propagação do fogo à selectividade de um herbívoro (Moreira *et al.* 2001). A escala local, definida pela extensão do perímetro de fogo mais a envolvente, é fulcral para o estudo da preferência ou selectividade, pois analisa a propagação na escala que lhe é própria, onde, por exemplo, o efeito dos padrões de ignição e dos gradientes climáticos (precipitação e temperatura) é limitado. Em contraste, a heterogeneidade do uso do solo e declive do terreno a esta escala, torna estes factores objecto da selectividade na propagação do fogo. No estudo da selectividade do fogo têm sido usados recentemente diversos métodos, que procuram demonstrar a existência de regimes de preferência na propagação dos incêndios rurais sobre o mosaico da paisagem.

Estes trabalhos atentam principalmente à influência da estrutura da paisagem (características dos combustíveis e fisiográficas) no comportamento do fogo. A propagação é concebida de acordo com um modelo teórico simples: o fogo difunde-se a partir de um epicentro inicial com uma taxa controlada pela heterogeneidade da paisagem, onde intervém especialmente a distribuição da carga combustível (Turner e Dale 1990). A configuração final dos perímetros de fogo proporciona portanto informação sobre o consumo diferenciado do mosaico da paisagem. A hipótese de trabalho testada em vários estudos pode exprimir-se do seguinte modo: uma igual propensão para arder dos diferentes tipos vegetação, em termos de combustibilidade e de probabilidade de ignição, implica a difusão aleatória do fogo na paisagem, donde resulta uma distribuição proporcional dos tipos de vegetação igual nas áreas ardidas e nas áreas disponíveis para arder. A não verificação da igualdade entre proporções implica assim a existência de uma propensão para arder diferenciada dos tipos de coberto vegetal. De facto, vários trabalhos comprovam que alguns cobertos (*e.g.* matos e florestas de resinosas) são mais susceptíveis ao fogo que outros (*e.g.* áreas agrícolas e zonas húmidas) (*e.g.* Cumming 2000; Moreira *et al.* 2001, 2009; Nunes *et al.* 2005; Mermoz *et al.* 2005; Bajocco *et al.* 2007). Como referido, o estudo de padrões de selecção do fogo abrange também os factores abióticos declive, exposição solar e altitude.

Na abordagem regional, cuja escala é definida pela extensão da área de estudo, o enfoque está colocado na incidência do fogo. Esta análise complementa a anterior ao fornecer a distribuição proporcional da área ardida em relação às diferentes classes topográficas e de vegetação. O efeito dos padrões de ignição e dos gradientes climáticos (precipitação e temperatura) terá maior importância nesta escala que na anterior. Como se verá mais adiante, a utilidade de trabalhar a duas escalas é reforçada pela revisão bibliográfica das variáveis topográficas usadas em estudos sobre incêndios rurais, pois aponta para a necessidade metodológica de separação do comportamento do fogo em incidência e propagação. Como refere Mermoz *et al.* (2005), as pesquisas multiescala que examinam tanto os padrões de incidência do fogo à escala regional, como os padrões de selecção à escala local, são aparentemente raras. Ao admitir vantagens numa análise multiescala é contudo necessário reconhecer que a interacção do fogo com a paisagem não permite uma separação acabada das componentes incidência e propagação. Ou seja, por exemplo, os padrões de ignição, determinados à escala regional, influenciam, ainda que residualmente, a análise local da selectividade, uma vez que a tendência para atear fogo aos matos ou realizar queimadas em zonas agrícolas influenciará certamente os índices de

selecção obtidos. Inversamente, os padrões de selecção do fogo influenciam a distribuição proporcional dos tipos de vegetação na área ardida.

1.4 Regiões Ecológicas

De acordo com Pereira *et al.* (2006) a existência de padrões espaciais de fogo muito distintos (em relação ao tamanho médio e número dos fogos) não é favorável a “construção de raciocínios baseados em valores médios nacionais, que mascaram a heterogeneidade” regional. Nos artigos de Nunes *et al.* (2005) e Moreira *et al.* (2009), a variação regional dos padrões de selecção do fogo é testada positivamente – a susceptibilidade ao fogo de determinado tipo de vegetação varia de região para região. Em ambos é utilizada a Carta Ecológica de Albuquerque (1965) na delimitação de regiões naturais. Moreira *et al.* (2009) estuda a variação regional em Portugal continental dos padrões de selecção do fogo por tipo de coberto vegetal, produzindo informação detalhada ao nível regional relevante para a gestão do fogo à escala da paisagem. Por outro lado, as diferenças regionais permitem discutir a selectividade do fogo tendo em conta variações no clima, na composição em espécies dos tipos de coberto considerados e na disponibilidade dos tipos de coberto por região, contribuindo para uma leitura ecológica do fogo. A regionalização do comportamento do fogo, com base em cartografia biogeográfica, avalia a importância das formações vegetais (inflamabilidade, estrutura, carga e teor em humidade do material combustível), do clima (gradientes de precipitação e temperatura, duração do período seco, temperaturas máximas, etc.) e da interacção entres estes factores, na configuração do regime de fogo.

A Carta Ecológica de Albuquerque - publicada inicialmente em 1954 e sucessivamente corrigida em vários trabalhos do autor incorporados finalmente na edição do Atlas do Ambiente de 1985 - é composta por dois mapas: o primeiro, utilizado neste trabalho, de caracterização ecofisionómica com 12 *Regiões Naturais*: Noroeste Cismontano, Alto Portugal, Nordeste Transmontano, Beira Douro, Beira Litoral, Beira Alta, Beira Serra, Beira Baixa, Estremadura, Ribatejo e Sado, Alentejo, Algarve. As Regiões Naturais são subdivididas em Sub-regiões e estas por sua vez em Sectores. O segundo mapa é a Carta Ecológica Fito-Edafo-Climática (1982), onde são definidas *Zonas Ecológicas*, através da classificação de Andares, Zonas Fitoclimáticas e Zonas Edafo-Climáticas (Costa *et al.* 1998). Albuquerque desenvolve um sistema próprio que procura traduzir as especificidades climáticas de Portugal pela aplicação do conceito de “silva climática”, que corresponde a

uma noção alargada de vegetação natural potencial⁴, pois inclui algumas espécies alóctones como o castanheiro e a amendoeira. O autor considera que o clima em Portugal é caracterizado no essencial pela localização numa zona de transição entre os grandes domínios Atlântico e Mediterrâneo, facto que constitui a grande originalidade do clima português (Albuquerque 1954, *cit.* Mesquita 2005). Sumariamente, à medida que se caminha de norte para sul ao longo da costa, observa-se uma diminuição da precipitação e um aumento das temperaturas anuais; e de modo transversal, a aridez aumenta quando se caminha do litoral para o interior. Por exemplo, nas cotas mais baixas das vertentes do Douro, Albuquerque descreve a transição entre um clima húmido com chuvas repartidas ao longo de todo o ano (Porto), que se vai “mediterranzando” à medida que a distância ao mar aumenta, divergindo depois para um clima semi-árido com características algo continentais (Barca d’Alva) (Mesquita, 2005).

No presente trabalho seguiu-se também esta regionalização, de natureza ecológica e fisionómica, muito embora a revisão bibliográfica permita identificar como tão ou mais válidas as aplicações da *Classificação Bioclimática da Terra* a Portugal, pelas mãos de Costa *et al.* (1998) e Mesquita (2005). A biogeografia pretende estabelecer uma distribuição natural potencial dos seres vivos na Terra, recorrendo a uma análise sistémica das relações entre a biosfera, geoesfera e tropoesfera. Esta perspectiva transversal poderá designar-se por ecológica ou holística (Bastian, 2001). Os dois trabalhos referidos descrevem a evolução da cartografia biogeográfica de Portugal, desde o século XIX até ao presente. Os primeiros contributos no país propõem regiões de distribuição de espécies vegetais em associação com a orografia, mas onde a climatologia e edafologia têm um papel marginal. Em 1878, Barros Gomes publica a primeira distribuição fitogeográfica das espécies florestais no território português (*Carta Xilográfica*); em 1896, Willkomm publica os *Distritos Botânicos da Península Ibérica*. A partir da década de 30 do século XX, surgem vários trabalhos que tendem a integrar progressivamente as características do clima e do solo na definição de regiões biogeográficas. Em 1932, Lautensach faz a primeira divisão do país em *Províncias Climáticas* a partir do trabalho de Daveau (1897, 1902, 1905), que dividiu Portugal continental em quatro *Zonas Florais*; em 1940, Gaussen utiliza as regiões de Barros Gomes, o clima e as séries pedológicas para criar oito *Regiões Edafo-Climáticas Naturais*; Albuquerque

⁴ Vegetação natural potencial é um conceito teórico que identifica a vegetação que surgiria em determinado território, sob o clima actual, se toda a acção humana cessasse e, instantaneamente, fosse atingido o topo da sucessão ecológica.

(1943, 1954, 1961, 1965) desenvolve a *Carta Ecológica* tendo em conta factores fisionómicos, fitológicos, climáticos e edáficos; em 1986, Ribeiro apresenta uma proposta de divisão geográfica que tem em conta factores climáticos, litológicos, orográficos e que reflecte o coberto de alguns arvoredos; Franco (1971, 1984, 1996) publica a carta da *Zonas Fitogeográficas*, com base na distribuição de *Quercus* e outras plantas, na pluviosidade e formações geológicas; em 1982, Alcoforado *et al.* elaboram um esboço da representação dos *Domínios Bioclimáticos em Portugal*.

Nesta evolução transparece o desenvolvimento de duas abordagens complementares no zonamento biogeográfico: uma que privilegia a perspectiva botânica para criar uma tipologia hierárquica tendo por unidade de base a associação, e que se fundamenta no levantamento fitossociológico da paisagem; outra que privilegia a modelação bioclimática na delimitação de unidades geográficas, tendo por base relações entre valores numéricos da precipitação e temperatura, e áreas de distribuição de espécies de plantas e comunidades vegetais. Neste contexto, Rivas-Martínez e outros iniciam na década de 1980 a elaboração da *Classificação Bioclimática da Terra*, uma tipologia bioclimática quantificável que procura traduzir uma relação estreita e recíproca entre formações vegetais e variáveis climáticas. De acordo com os autores, à medida que as fronteiras das séries de vegetação vão sendo conhecidas e cartografadas, os valores limite dos elementos climáticos que os determinam podem ser estatisticamente calculados, com a vantagem de que o modelo resultante poderá ser aplicado de forma universal a zonas onde o conhecimento detalhado da vegetação é inexistente (WBCS 2002; Mesquita 2005). Desde 1987, esta classificação tem sido sucessivamente aplicada a Portugal, de onde se destacam a cartografia produzida por Costa *et al.* (1998) - *Biogeografia de Portugal Continental* - centrada na segregação fitossociológica (figura 4-a), e por Mesquita (2005) que produz três cartas bioclimáticas: Macrobioclimas, Ombrotipos e Termotipos, partindo da interpolação espacial de dados bioclimáticos (figura 4-b).

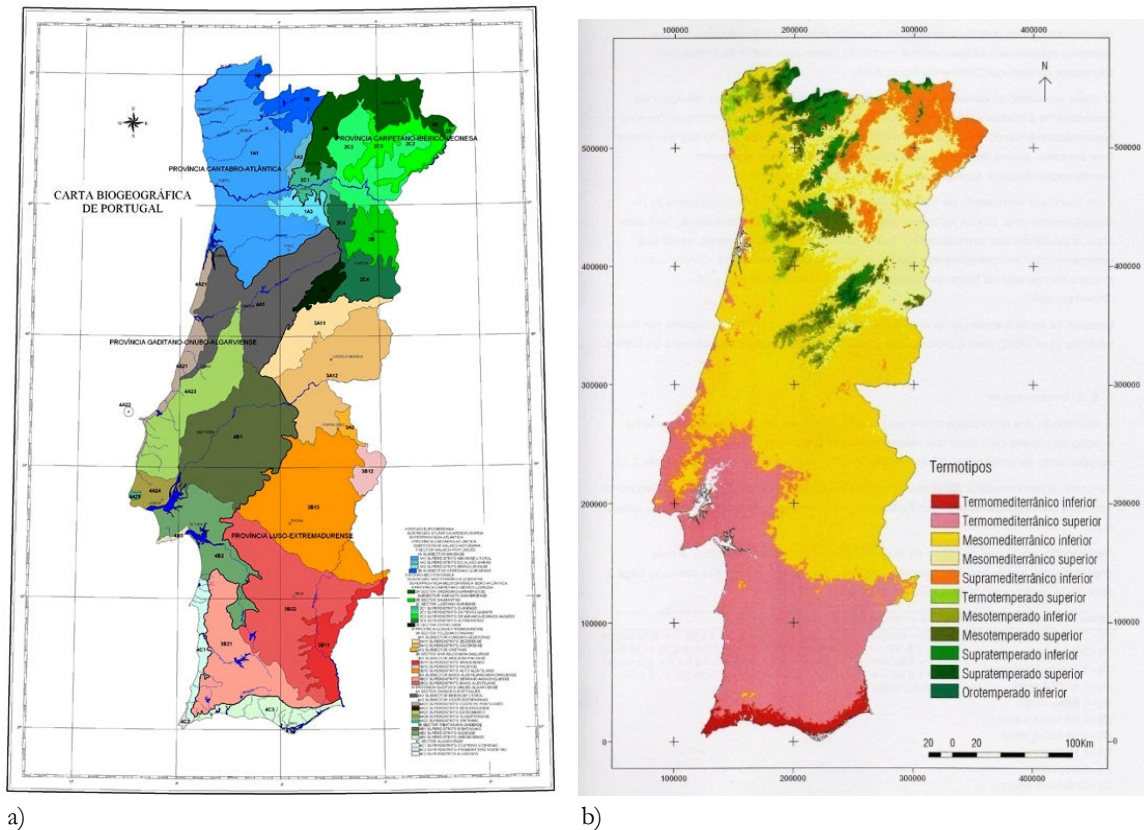


Figura 4: No lado esquerdo, *Biogeografia de Portugal Continental* (Costa *et al.* 1998) e no lado direito, a carta bioclimática, *Mapa de Termotipos*, de Mesquita (2005).

1.5 Variáveis topográficas

A revisão bibliográfica permite identificar no âmbito da topografia três tipos de variáveis que influenciam a incidência e propagação do fogo. Elas são a altitude, a exposição solar e o declive das vertentes.

Mermoz *et al.* (2005) consideram que a composição da vegetação se altera ao longo de gradientes climáticos – compostos sobretudo pelos gradientes de precipitação e temperatura – associados ao aumento da altitude. Esta variável surge pois como factor indirecto na propagação e incidência do fogo ao condicionar a vegetação, as condições meteorológicas médias de cada local e os padrões de ignição. Estes autores estudam uma zona montanhosa com 7 800 km² no norte da Patagónia (Argentina) e estabelecem cinco classes de altitude delimitadas entre os 500 m e 2000 m⁵, o que permite detectar uma maior extensão do fogo nas altitudes intermédias. Esta relação é interpretada recorrendo

⁵ As cinco classes são (em metros): [500; 900], [900;1100], [1100; 1300], [1300, 1500]; [>1500]

sobretudo à influência de factores climáticos (temperatura e precipitação) na estrutura e humidade dos combustíveis, mas sem deixar de lado a distribuição das ignições antropogénicas e dos tipos de vegetação, bem como a ocorrência de acidentes topográficos nas altitudes elevadas. Em Gonzalez *et al.* (2005) é desenvolvido um modelo que valida a altitude como variável preditiva da resistência ao fogo de parcelas florestais, por se correlacionar com a humidade dos combustíveis, temperatura, precipitação e densidade populacional, ou seja, a altitude representa até certo nível as influências meteorológicas e antropogénicas no risco de fogo. Num trabalho posterior, Gonzalez *et al.* (2007) trabalham sobre a paisagem da Catalunha (período 1942-2002) numa superfície de 32 000 km² com relevo entre o nível do mar e os 3000 m. São definidas quatro classes seguindo as séries altitudinais de vegetação do inventário florestal espanhol (IFN3)⁶. De entre as variáveis analisadas (declive, orientação e tipo de vegetação) a altitude tem o maior peso na determinação da probabilidade do fogo, verificando-se uma maior proporção de áreas áridas a baixas e médias altitudes. Este resultado é explicado através de variações em altitude da humidade e continuidade dos combustíveis, e através de uma correlação negativa com a densidade populacional, que conjectura a redução dos fogos de origem humana com o aumento da altitude. No que se refere a esta suposição, Catry *et al.* (2007, submetido) verificam que em Portugal continental no período 2001-2005 cerca de 80% das ignições ocorreram abaixo dos 500 metros, e estabelecem uma relação positiva entre a frequência de ignições e maiores densidades populacionais, distâncias a estradas inferiores a 500 m e altitudes inferiores a 500 metros. Para referir um último trabalho que se debruça sobre esta variável, Heyerdahl *et al.* (2001) asseveram que a altitude afecta directamente a frequência de fogo ao actuar sobre o teor de humidade nos combustíveis e indirectamente ao condicionar o tipo de combustíveis.

Na revisão efectuada sobressai a influência da altitude nos padrões de incidência do fogo a uma escala regional em contraste com uma menor influência desta variável na propagação, ou seja, numa escala menor. Neste trabalho, a utilização da altitude como variável explicativa do comportamento do fogo testa a possibilidade de uma relação entre patamares de altitude e padrões de incidência e propagação do fogo, que possa ser interpretada no norte português.

Um terreno inclinado é caracterizado pelo seu ângulo de inclinação e pela direcção para que está voltado. A conjugação destes dois factores, aqui designados por declive e

⁶ As quatro classes são (em metros): [0; 400], [401;1600], [1601; 2300], [>2300]

orientação ou exposição solar, juntamente com a latitude e declinação do sol⁷, determina a quantidade de radiação solar que atinge idealmente cada local na paisagem. Na conformação do microclima das encostas é necessário acrescentar a interacção de outras variáveis atmosféricas como a deslocação das massas de ar (ventos dominantes e brisas de encosta) e a precipitação. A exposição solar tem contudo um papel predominante na determinação do clima das encostas, que torna as vertentes norte, em geral, mais frias que as sul. Em relação às exposições nascente e poente, embora a intensidade radiativa seja em rigor equivalente, o calor radiado nas primeiras horas do dia é utilizado na evaporação do orvalho e no aquecimento das massas de ar. Daqui se concluiu que a exposição mais quente não é a sul mas sim a sudoeste, desde que no hemisfério Norte (Geiger 1961). Heyerdahl *et al.* (2001) estudam a influência das exposições na frequência dos incêndios rurais, através da reconstrução do histórico de fogo multissecular em quatro bacias hidrográficas do interior oeste dos EUA. Em determinadas condições, as exposições têm um papel importante na frequência ao diferenciarem microclimas que afectam a distribuição da vegetação e a humidade durante a época de incêndios. Mermoz *et al.* (2005) verificam uma maior importância da orientação na incidência do fogo à escala regional, do que no comportamento de propagação. Há uma associação positiva entre as vertentes xéricas (viradas a norte no hemisfério Sul) e o fogo, porém, na escala local, as proporções das diferentes classes⁸ nas áreas ardidas e não ardidas contíguas não apresentam diferenças significativas. Gonzalez *et al.* (2007) mostram uma relação negativa entre a probabilidade do fogo e as vertentes norte (mésicas). Por fim, o trabalho de Nunes (2004) comprova também o comportamento selectivo do fogo em relação às diferentes orientações sem contudo discernir um padrão claro.

No que se refere ao declive é essencial considerar a sua influência directa na propagação do fogo, para além da relação com os gradientes de clima referida atrás. Numa frente de fogo em plano inclinado, as chamas desenham um ângulo reduzido com a superfície no sentido ascendente, pelo que aumenta a radiação incidente sobre os combustíveis e por conseguinte a taxa de aquecimento destes (Ventura *et al.* 2006). A este fenómeno deve acrescentar-se a possibilidade de ocorrência do efeito “chaminé” em

⁷ A declinação do sol é o ângulo entre os raios da luz solar e o plano do equador. Varia regularmente com um período de um ano, dando origem as estações.

⁸ Este autor classifica a orientação solar em oito intervalos que representam os pontos cardeais e colaterais: N, NE, E, SE, S, SW, W e NW.

ravinas declivosas, que resulta da deslocação de ar no sentido ascendente por acção do gradiente de calor gerado pelo fogo e que aumenta a velocidade de propagação deste. Os resultados de Mermoz *et al.* (2005) mostram que o declive tem importância à escala da propagação do fogo mas uma influência pouco significativa à escala regional, situação que mostra uma certa inversão relativamente aos seus resultados para a orientação. A inclinação das encostas não parece importante para explicar a variação espacial da frequência de fogo. O declive afecta sobretudo as taxas de propagação e a intensidade da frente de fogo, na medida em que os fogos são mais intensos e de propagação mais rápida em declives mais acentuados (Heyerdahl *et al.* 2001, Díaz-Delgado *et al.* 2004).

É importante notar que o padrão de selecção do fogo, determinado para cada um dos factores abióticos em estudo, quando analisados isoladamente, pode estar a reflectir os efeitos da co-variação do padrão em relação ao conjunto dos factores. A complexidade do problema obriga assim a algum cuidado na discussão dos resultados. Como se pode ver em Gonzalez *et al.* (2007), a razão pela qual os declives acentuados (> 20%) apresentam frequências de fogo mais baixas explica-se por estes ocorrerem sobretudo em altitudes elevadas onde a humidade reduz a frequência do fogo.

2. METODOLOGIA

2.1 Modelos Digitais de Terreno

Os mapas de declives, orientação solar e altitude são obtidos a partir do modelo digital de terreno (MDT), recorrendo a operações simples de análise espacial numa plataforma de Sistemas de Informação Geográfica. A carta de altitudes obtém-se através da reclassificação directa do MDT e as restantes mediante cálculo sobre a matriz de altitudes. Em cada ponto altimétrico é definido um plano tangente à superfície que compreende duas componentes: o *gradiente* ou declive, que corresponde à máxima taxa de variação de altitude, e a *orientação*, que corresponde à direcção⁹ em que ela ocorre (Matos 2001). É utilizado um MDT com uma resolução espacial de 90 metros (MDT 90) disponível na Internet (NASA, 2004): a melhor resolução que se pode obter gratuitamente para a área de estudo. O mapa original foi submetido a um conjunto de operações de correcção e recortado para o limite de fronteira português (Catry *et al.* 2007, submetido).

As cartas de declive e de orientação solar foram classificadas em cinco classes, e a carta de altitude em quatro classes, como descrito na tabela 1. O terreno plano identifica as células que não têm orientação solar preferencial. No anexo I são apresentadas as três cartas topográficas do Norte de Portugal.

Tabela 1: Descrição das classes definidas para a altitude, declive e orientação solar. A direcção norte define o grau zero (0°).

Classe	Altitude	Declive	Orientação solar
1	0-250m	0-5%	Terreno plano
2	250-500m	5-10%	Norte (315°-45°)
3	500-750m	10-15%	Este (45°-135°)
4	> 750m	15-25%	Sul (135°-225°)
5		>25%	Oeste (225°-315°)

A modelação geográfica resulta sempre de um compromisso, em larga medida dependente da evolução tecnológica, entre sintetizar conhecimento de representação da realidade e simultaneamente providenciar informação com conteúdo necessário e adequado à análise prevista (Matos 2001). A resolução espacial define a menor dimensão cartografada, que no formato matricial assume a dimensão lateral da célula, pelo que,

⁹ A direcção ou azimute do plano é definida pelo ângulo entre o Norte (0°) e projecção na horizontal da normal ao plano.

quanto maior a resolução do MDT, mais detalhada se encontra a realidade topográfica. Deste modo, é necessário avaliar a adequação do MDT 90 à metodologia desenvolvida. A resolução tem um efeito não negligenciável na qualidade da carta de relevo e sobretudo nas cartas de declive e orientação, afectando em consequência todos os cálculos que sobre elas se efectuam. Os vários trabalhos revistos utilizam resoluções muito distintas, que variam entre os 10 metros e os 150 metros, sem nunca avaliarem as consequências da resolução sobre os resultados. Para colmatar este facto e poder validar a utilização do MDT 90 no Norte Português é levada a cabo uma comparação com um MDT com resolução de 25 metros, numa superfície reduzida (30x30 km) incluída na área de estudo (figura 5). Este modelo foi obtido ao abrigo do Programa FIGIEE do Instituto Geográfico Português¹⁰.

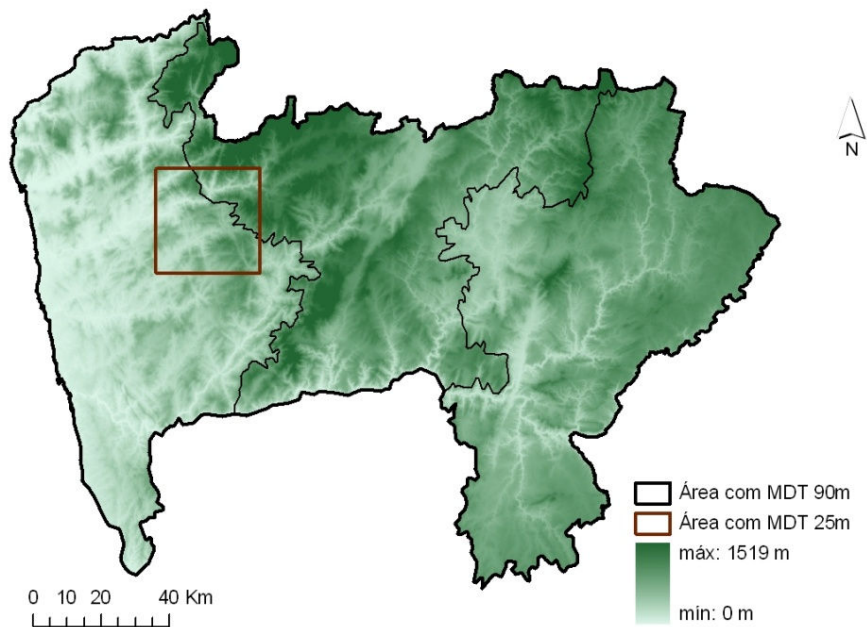


Figura 5: Localização da superfície modelada com resolução de 25 metros fornecida pelo Instituto Geográfico Português.

¹⁰ O Programa de Fornecimento de Informação Geográfica para Investigação, Ensino e Edição (FIGIEE) estabelece uma verba para cedência gratuita do direito de utilização de Informação Geográfica produzida pelo IGP, que no caso de investigação para mestrado tem o valor de 1 250 €.

2.2 Mapa de coberto vegetal

A cartografia de uso do solo foi obtida de trabalhos anteriores desenvolvidos no Centro de Ecologia Aplicada “Prof. Baeta Neves”(CEABN) (e.g. Moreira *et al.* 2009). A Carta de Ocupação do Solo de 1990 - COS’ 90, escala 1:25 000 (IGP 1990), constitui a informação de base na área de estudo e tem origem em fotografia aérea obtida no período 1990-1991. As áreas sem informação deste mapa foram colmatadas pela Carta *Corine Land Cover*, escala 1:100 000 (IGP 1988) produzida a partir de imagem do satélite *Landsat 1986* no período 1986-1988. A carta resultante é, de momento, a melhor cartografia disponível para a ocupação do solo em Portugal e tem sido usada em diversos trabalhos sobre fogos rurais. Na área de estudo, o contributo da Carta *Corine Land Cover* é residual. A legenda das duas cartas foi reduzida a um conjunto unificado de dez classes, com o objectivo de contrastar diferentes tipos de coberto vegetal e práticas agro-florestais associadas, num contexto de estudo sobre incêndios rurais. Em termos gerais, procura-se agrupar os vários tipos de coberto vegetal, de acordo com semelhanças na estrutura e tipo de vegetação, com enfoque nas propriedades combustíveis dos mesmos. Por outro lado, é feito um esforço para que o número total de classe não seja demasiado grande. A classificação deverá apresentar uma tipologia aplicável a toda a área de estudo: a título ilustrativo, a definição de culturas anuais é mais universal do que culturas irrigadas, porque as últimas têm uma presença diminuta nalguns regiões. A utilização das classes *eucalipto* e *resinosas* resulta do interesse em desagregar as duas principais espécies da floresta de produção portuguesa, na perspectiva de estudar diferenças na interacção com o fogo. A classe *outras folhosas*, permite agrupar as espécies florestais autóctones numa só classe. Outros trabalhos, na área dos incêndios rurais, adaptam igualmente o COS’ 90 de acordo com as necessidades específicas aos objectivos do estudo, produzindo classificações distintas (e.g. Nunes *et al.* 2005)

No anexo II é apresentada matriz de equivalências entre a legenda do COS’ 90 e a legenda da classificação aqui utilizada. De seguida é feita uma breve notícia explicativa da legenda, que inclui uma descrição genérica da classe, as respectivas proporções em área no Norte de Portugal e a distribuição por região ecológica dos tipos de coberto predominantes em cada classe.

1. **Áreas não combustíveis** (5.3% da área de estudo), compostas por áreas urbanas, dunas e planos de água. Não foram incluídas na análise;
2. **Culturas anuais** (25.4% da área de estudo), compostas sobretudo por culturas de sequeiro e regadio, e mosaico agrícola diverso dominado por culturas anuais e pastagens.

Noroeste Cismontano: culturas regadas (34%), mosaico agrícola diverso dominado por culturas anuais (25%), culturas regadas e vinha (19%), culturas de sequeiro (16%). *Alto Portugal*: culturas de sequeiro (61%), mosaico agrícola diverso dominado por culturas anuais (14%), culturas regadas (12%). *Nordeste Transmontano*: culturas de sequeiro (77%), pastagens naturais pobres (13%), mosaico agrícola diverso dominado por culturas anuais (5%);

3. **Culturas permanentes** (8.4% da área de estudo), compostas sobretudo por olivais, vinhas e pomares. *Noroeste Cismontano*: vinhas (45%), pomares (35%), pomares e culturas anuais (9%), vinhas e pomares (9%). *Alto Portugal*: vinhas (53%), vinhas e olivais (24%), olivais (14%). *Nordeste Transmontano*: olivais (49%), vinhas (25%), vinhas e olivais (12%), pomares (5%);

4. **Sistemas agro-florestais** (5.2% da área de estudo), que combinam culturas anuais e arvoredo, principalmente azinheira (*Quercus ilex*,) e sobreiro (*Quercus suber*), mas também oliveira (*Olea europaea*) ou outras folhosas. *Noroeste Cismontano*: mistura de culturas anuais com outras folhosas não especificadas (56%), com carvalhos (*Quercus* spp., 9%), e mistura de culturas regadas com outras folhosas (6%). *Alto Portugal*: mistura de culturas anuais com outras folhosas não especificadas (54%), com castanheiro (*Castanea Sativa*, 11%), e mistura de culturas regadas com outras folhosas (9%). *Nordeste Transmontano*: mistura de outras folhosas não especificadas com culturas anuais (37%) e com culturas de sequeiro (17%), mistura de culturas anuais e sobreiro (13%), mistura de culturas de sequeiro e pomares (5%);

5. **Matos** (28.5% da área de estudo), sobretudo mato baixo mas também mato alto, floresta degradada ou de transição, áreas ardidadas recentemente ou com corte raso e vegetação esclerófila. *Noroeste Cismontano*: mato baixo (54%), áreas ardidadas recentemente ou com corte raso (22%), mato alto e floresta degradada ou de transição (16%). *Alto Portugal*: mato baixo (61%), áreas rochosas com pouca vegetação (14%), mato alto e floresta degradada ou de transição (13%). *Nordeste Transmontano*: mato baixo (69%), mato alto e floresta degradada ou de transição (21%);

6. **Floresta de resinosas** (10.1% da área de estudo), na grande maioria composta por pinheiro bravo (*Pinus pinaster*) e residualmente pela mistura deste com pinheiro manso (*Pinus pinea*), apenas pinheiro manso ou outras resinosas. *Noroeste Cismontano*: pinheiro bravo (95%). *Alto Portugal*: pinheiro bravo (82%) e outras resinosas não especificadas (14%). *Nordeste Transmontano*: pinheiro bravo (69%) e outras resinosas não especificadas (24%);

7. **Floresta de eucaliptos** (1.9% da área de estudo), principalmente *Eucalyptus globulus*;

8. **Floresta de folhosas** (6.0% da área de estudo), principalmente sobreiro e azinheira, mas também mistura sobreiro/azinheira, outros carvalhos (sobretudo *Quercus robur* e *Q. pyrenaica*) e outras folhosas não especificadas. *Noroeste Cismontano*: – outras folhosas não especificadas (38%), carvalhos (30%), mistura de outros carvalhos (principalmente *Q. faginea*, *Q. robur*, *Q. pyrenaica*)/outras folhosas não especificadas (29%). *Alto Portugal*: carvalhos (45%), castanheiro (19%), outras folhosas não especificadas (12%), mistura de outros carvalhos/outras folhosas não especificadas 8%. *Nordeste Transmontano*: sobreiro (34%), outros carvalhos (22%), castanheiro (11%), mistura de sobreiro/outras carvalhos (10%);

9. **Floresta mista de resinosas e eucalipto** (4.8% da área de estudo), compostas na quase totalidade por misturas de pinheiro bravo e eucalipto, onde a predominância pertence em geral ao pinheiro. Nas regiões ecológicas a distribuição é praticamente idêntica: mistura com pinheiro bravo predominante sobre o eucalipto (~70%) e mistura com eucalipto predominante sobre pinheiro bravo (~30%);

10. **Floresta mista de folhosas e resinosas (ou eucaliptos)** (4.4% da área de estudo), sobretudo mistura folhosas/resinosas e residualmente mistura folhosas/eucaliptos. As principais combinações são pinheiro bravo/sobreiro, pinheiro bravo/outras carvalhos, pinheiro bravo/outras folhosas não especificadas e pinheiro manso/sobreiro. *Noroeste Cismontano*: mistura pinheiro bravo/outras carvalhos (87%), mistura pinheiro bravo/outras folhosas (55%), mistura eucalipto/outras folhosas (7%). *Alto Portugal*: mistura pinheiro bravo/outras carvalhos (42%), mistura pinheiro bravo/outras folhosas (26%), mistura pinheiro bravo/castanheiro (12%), mistura pinheiro bravo/sobreiro (10%). *Nordeste Transmontano*: mistura pinheiro bravo/sobreiro (49%), mistura pinheiro bravo/outras carvalhos (40%).

2.3 Mapa de incêndios rurais

A cartografia de áreas ardidas foi obtida de trabalhos anteriores desenvolvidos no CEABN (*e.g.* Moreira *et al.* 2009), com base no levantamento de Pereira & Santos 2003. A localização e os perímetros das áreas ardidas no período 1990-1991 foram estimados através de um processamento semi-automático de imagens de satélite do *Landsat 5 Thematic Mapper*, considerando uma unidade mínima de mapeamento de 5 hectares. O método usado faz equivaler a cada perímetro ardido um único incêndio, muito embora o perímetro possa resultar, em rigor, da fusão de áreas queimadas por diferentes fogos (Pereira & Santos 2003). Tendo em conta que o mapa de ocupação do solo se refere ao ano 1990, no cálculo dos índices de selecção para o ano 1991 este mapa foi actualizado com os perímetros de fogo de 1990, reclassificados como parcelas de mato. O pressuposto de que as áreas ardidas evoluem naturalmente para uma situação, em termos de propagação de fogo, semelhante à que se verifica nos matos baixos, permite adicionar mais um ano de eventos à amostra em estudo, importante para o significado estatístico. Todavia, este pressuposto pode implicar a subestimação dos coeficientes de selecção para matos, uma vez que o fogo tende a evitar áreas recentemente ardidas (Moreira *et al.* 2009). No total, resultam para análise 1382 fogos, cujos perímetros estão totalmente incluídos na área de estudo (figura 6). Cada incêndio florestal está associado a uma das três regiões ecológicas de Albuquerque (1985). Nos casos em que a parcela ardida atravessa a fronteira entre regiões estipulou-se que aquela deveria estar associada à região onde se encontra a maior parte da sua área (Moreira *et al.* 2009).

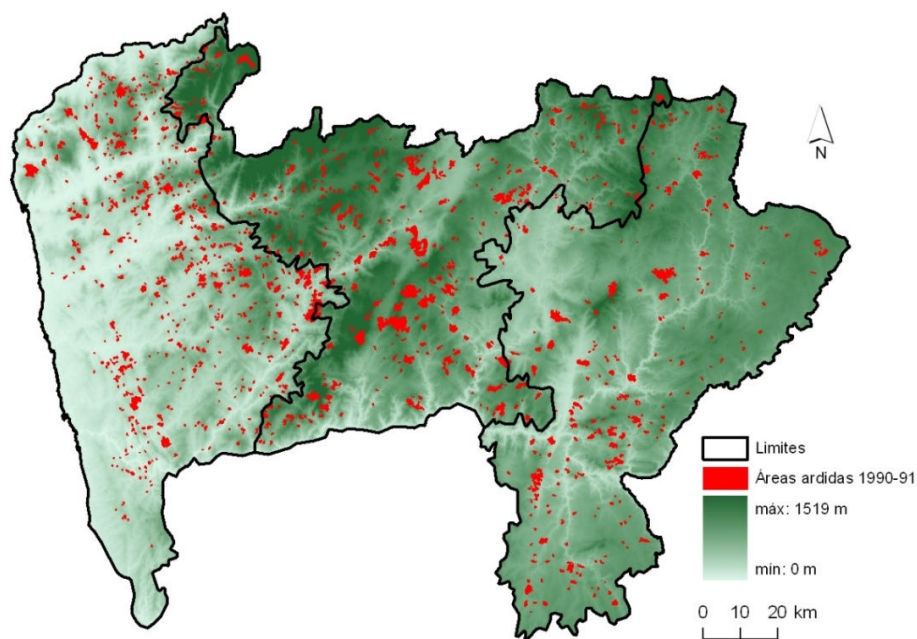


Figura 6: Distribuição geográfica de 1382 perímetros de fogo na área de estudo.

2.4 Escala local – índice de selecção

O indicador numérico utilizado para quantificar a selectividade deriva da proposta inicial de Manly *et al.* (1993), adaptado na maioria dos trabalhos supracitados e aqui seguida na forma utilizada por Moreira *et al.* (2009) - para cada área ardida é comparada a composição, antes de arder, no interior do seu perímetro com a composição numa área circular envolvente que inclui a área ardida. A análise é feita para os quatro factores em estudo (uso do solo, altitude, declive e exposição) mediante a criação de quatro superfícies de polígonos para toda a região. A semelhança entre a composição na parcela ardida e na área envolvente indica que o incêndio se propagou indiferentemente ao factor em estudo. Pelo contrário, a diferença entre a composição do ardido e do disponível indica que o fogo se comportou de forma selectiva, preferindo determinadas classes do mosaico em detrimento de outras. Este método é formalizado através do índice de selecção (w_i) calculado para cada classe i em cada fogo, do seguinte modo:

$$w_i = \frac{O_i}{\pi_i} \quad (\text{Manly } et al. 1993)$$

onde O_i é a proporção da classe i na parcela ardida e π_i é a proporção da classe i na área disponível. Se $w_i = 1$, a classe i ardeu na proporção da sua disponibilidade; se $w_i > 1$, a classe i ardeu numa proporção maior à proporção disponível - *preferida*; se $w_i < 1$, a classe i ardeu numa proporção menor à proporção disponível - *evitada*. Refiram-se algumas propriedades desta função: varia entre 0, quando a classe i está disponível mas não ardeu, e um *máximo* dado pela razão entre a área disponível (circular) e a área ardida, quando a classe i disponível ardeu totalmente sem que tivesse ardido qualquer outra (consultar dedução no anexo III); não retorna qualquer valor quando a classe i não está disponível para arder; é expressa sem unidades, uma vez que resulta do quociente entre áreas.

De acordo com Moreira *et al.* (2009), a área envolvente que determina a disponibilidade foi definida através de um *buffer* circular com centro nas coordenadas do centróide de cada perímetro e com área igual à do maior fogo na respectiva região natural. Os círculos têm diâmetros entre 4 a 11 km. Assume-se que esta área constitui um bom indicador da dimensão máxima que um fogo pode atingir em cada região. Noutros trabalhos (*e.g.* Nunes *et al.* 2005, Mermoz *et al.* 2005), a disponibilidade é obtida através de uma geometria definida pela expansão da forma do perímetro de modo a obter uma faixa envolvente equidistante ao perímetro. A forma circular aqui utilizada pressupõe uma propagação ideal do fogo na ausência de constrangimentos relativos ao combustível, tempo

meteorológico e topografia e constitui portanto a melhor geometria para testar a hipótese nula de inexistência de padrões de selecção.

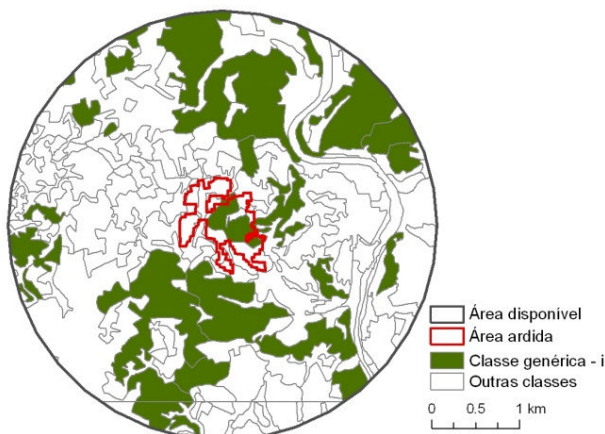


Figura 7: Extracto da área de estudo, com representação do perímetro de uma área ardida e área disponível envolvente (*buffer* circular). No cálculo da proporção da classe *i* na área disponível inclui-se a área ardida.

Os índices de selecção de cada fogo foram calculados para as nove classes do uso do solo e para as classes de declive, altitude e exposição, com estimativa dos respectivos valores médios com intervalo de confiança a 95%¹¹. A dimensão do fogo não pondera os resultados, pelo que cada evento-fogo tem o mesmo peso estatístico. Em seguida, de modo a poder identificar diferenças regionais na influência do uso do solo e topografia na propagação do fogo, foram determinados os coeficientes médios para cada região natural. Foram também estimados os valores médios referentes a três classes de dimensão de área ardida, tendo em vista contribuir para o debate sobre o papel da estrutura da paisagem *versus* condições meteorológicas extremas, no controlo do comportamento e regime de fogo. A classificação por dimensão da área ardida deve estabelecer preferencialmente classes que se distanciem em várias ordens de grandeza (*e.g.* fogos >5 ha, >50 ha e >500 ha), de modo a poder avaliar a relação entre diferentes intensidades de frente fogo e selectividade. Não obstante, tendo em conta que a distribuição de dimensão dos fogos é, em geral, assimétrica (muitos fogos pequenos e poucos grandes) torna-se difícil analisar com significado estatístico as maiores dimensões. Optou-se por utilizar uma classificação

¹¹ O intervalo de confiança a 95% da média (de uma amostra) indica que com uma probabilidade de 95% a média real da população está incluída no intervalo. Tecnicamente, 95% de todas as médias amostrais (*eg.* outros anos de fogo) cairão dentro do intervalo definido. O *SPSS 11.5* utiliza a distribuição *t* de *Student* na determinação dos intervalos.

que estabelece um compromisso entre a necessidade de uma distribuição equitativa do número de fogo por classe de dimensão e a necessidade de dispor de uma classe para fogos de grandes dimensões. A tabela 2 apresenta uma breve caracterização estatística das regiões naturais e das classes de dimensão de fogo.

Tabela 2: Dados descritivos dos fogos, organizados por região ecológica e dimensão de área ardida.

REGIÃO	Número de fogos	Área ardida (ha)	Média (ha)	Mediana (ha)
NO Cismontano	590 (42.7%)	21 363	36.2	16.8
Alto Portugal	513 (37.1%)	22 288	43.4	18.7
NE Transmontano	279 (20.2%)	12 087	43.3	20.0
DIMENSÃO				
5 - 15 ha	589 (42.6%)	5 581	9.5	9.1
15 – 35 ha	435 (31.5%)	9 901	22.8	21.5
> 35 ha	358 (25.9%)	40 257	112.4	69.7

2.5 Escala regional

A análise regional desenvolve-se em duas etapas. Primeiro, determinou-se a distribuição proporcional da área ardida total e da área da região Norte de Portugal nas variáveis em estudo. Nesta etapa, as proporções obtêm-se directamente das cartas produzidas para a Região Norte – carta de altitude, declive, orientação e do uso do solo – e da cartografia dos perímetros das áreas ardidas sobreposta com as cartas referidas. Na segunda etapa, numa perspectiva de estudar o efeito da co-variação dos factores topográficos e uso do solo na propagação do fogo, apresenta-se a distribuição proporcional das classes topográficas para cada coberto vegetal, tanto na área ardida total como no Norte de Portugal. Procedeu-se à sobreposição da carta de uso do solo com cada carta topográfica, obtendo a delimitação de polígonos referentes à topografia no interior dos polígonos referentes ao uso do solo.

2.6 Análise estatística

De acordo com Nunes (2004), o formalismo utilizado nalguns métodos estatísticos de selecção de recursos têm sido objecto de discussão, por ignorar o constrangimento que resulta dos dados serem trabalhados como proporções e conseqüentemente o seu somatório ser igual a um. Tal implica que as proporções não são independentes entre elas, todavia não existe ainda um consenso sobre as implicações deste constrangimento. No índice de selecção os dados estão na forma de proporções, sendo que a interdependência resultante é perceptível pela evidência de que a preferência por uma ou mais classes, dada pelo índice, implica necessariamente que outras classes sejam evitadas. Ou seja, este método fornece um padrão médio da resposta relativa das diferentes classes ao fogo. De facto, esta circunstância torna os índices de selecção dependentes, contudo, note-se que é proveitoso para este estudo poder verificar que a preferência por um tipo de vegetação, por exemplo, está dependente da resposta dos outros tipos de vegetação ao fogo. No limite, uma classe preferida numa determinada paisagem deixa de o ser quando, noutra tipo de paisagem, predominam outras classes mais susceptíveis ao fogo.

O índice de selecção foi calculado para as 23 classes que se distribuem pelas quatro variáveis em estudo (uso do solo, altitude, declive, exposição), em cada um dos 1382 fogos. Os resultados apresentam a média do índice para cada classe com o respectivo intervalo de confiança. Mediante inspecção por caixa de bigodes (*box-plot*) dos índices de selecção em cada variável, detectaram-se alguns valores extremos (*outliers*) que correspondem a situações atípicas em que os índices assumem valores muito elevados. Nas análises procedentes, estes fogos foram excluídos. Na análise dos resultados considera-se que a diferença entre índices de selecção médios é estatisticamente válida quando não existe sobreposição entre os respectivos intervalos de confiança. Da mesma maneira, quando o intervalo de confiança não inclui $m_i=1$, considera-se que a classe analisada foi significativamente preferida ou evitada.

O processamento dos dados geográficos foi realizado na plataforma de sistemas de informação geográfica, *ArcGIS Desktop 9.1*, e o tratamento estatístico e produção de resultados no *SPSS for Windows 11.5* e *Microsoft Office Excel 2007*.

3. RESULTADOS

3.1 Modelos digitais de terreno

Nesta secção procede-se à análise de qualidade das cartas topográficas produzidas com base nos MDT com resoluções distintas. A figura 8 compara a distribuição proporcional das áreas ocupadas por cada classe, e a figura 9 mostra as três cartas obtidas com os dois MDT para a superfície de 900 km². Estes resultados mostram uma semelhança razoável entre as cartas de altitude, que contrasta com diferenças significativas nas cartas de declive e exposição solar, sobretudo no que se refere às classes *plano* e *declives inferiores a 5%*. Note-se que estas duas classes se equivalem aproximadamente, isto é, ambas identificam zonas com declives diminutos. Em rigor, a classe plano que identifica células com declive 0% é englobada pela classe 0-5%. No MDT 90 a classe plano está praticamente ausente (1.3 km²) e a diferença registada (mais de 100 km²) corresponde à acumulação nas restantes classes de diferenças de sinal contrário, uma vez que as áreas totais se igualam. Pelo que se pôde verificar, por inspecção visual dos mapas e recorrendo a informação de contexto diversa (linhas de água, relevo, imagem de satélite, etc.), as zonas planas detectadas no MDT 25 correspondem na maioria, efectivamente, a planos de água e a zonas adjacentes a linhas de águas com baixo declive. Em termos globais, as cartas de exposição solar diferem na classificação de aproximadamente 224 km², o que corresponde a 24% da superfície total. Nas cartas de declives, o MDT 90 difere por defeito nas classes 0-5% e >25%, cerca de 100 e 70 km², respectivamente, e globalmente em 348 km² (38% da superfície). Como já referido, uma maior resolução do modelo implica um maior detalhe na representação do terreno e portanto uma maior qualidade. Porém, para uma avaliação global do modelo digital de terreno, deverá considerar-se também o modo de produção da informação geográfica, nomeadamente, a forma de obtenção da informação altimétrica, que não é aqui discutida.

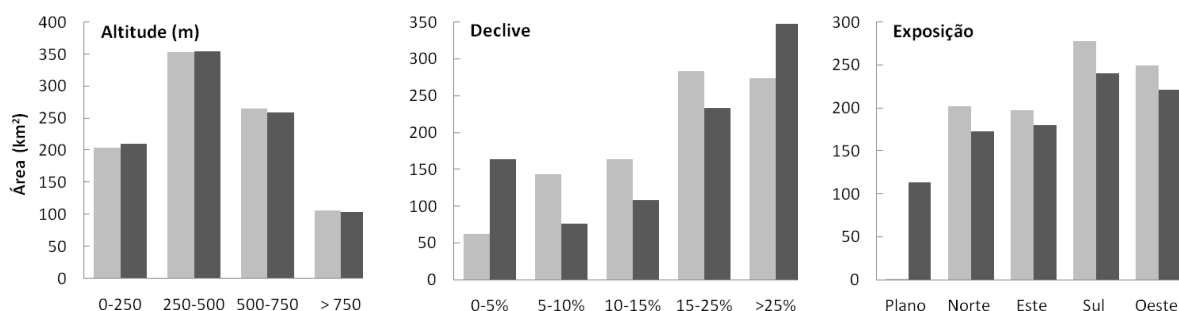


Figura 8: Áreas ocupadas por cada classe no MDT 90 m (cinzento) e MDT 25 m (negro) nas três cartas topográficas.

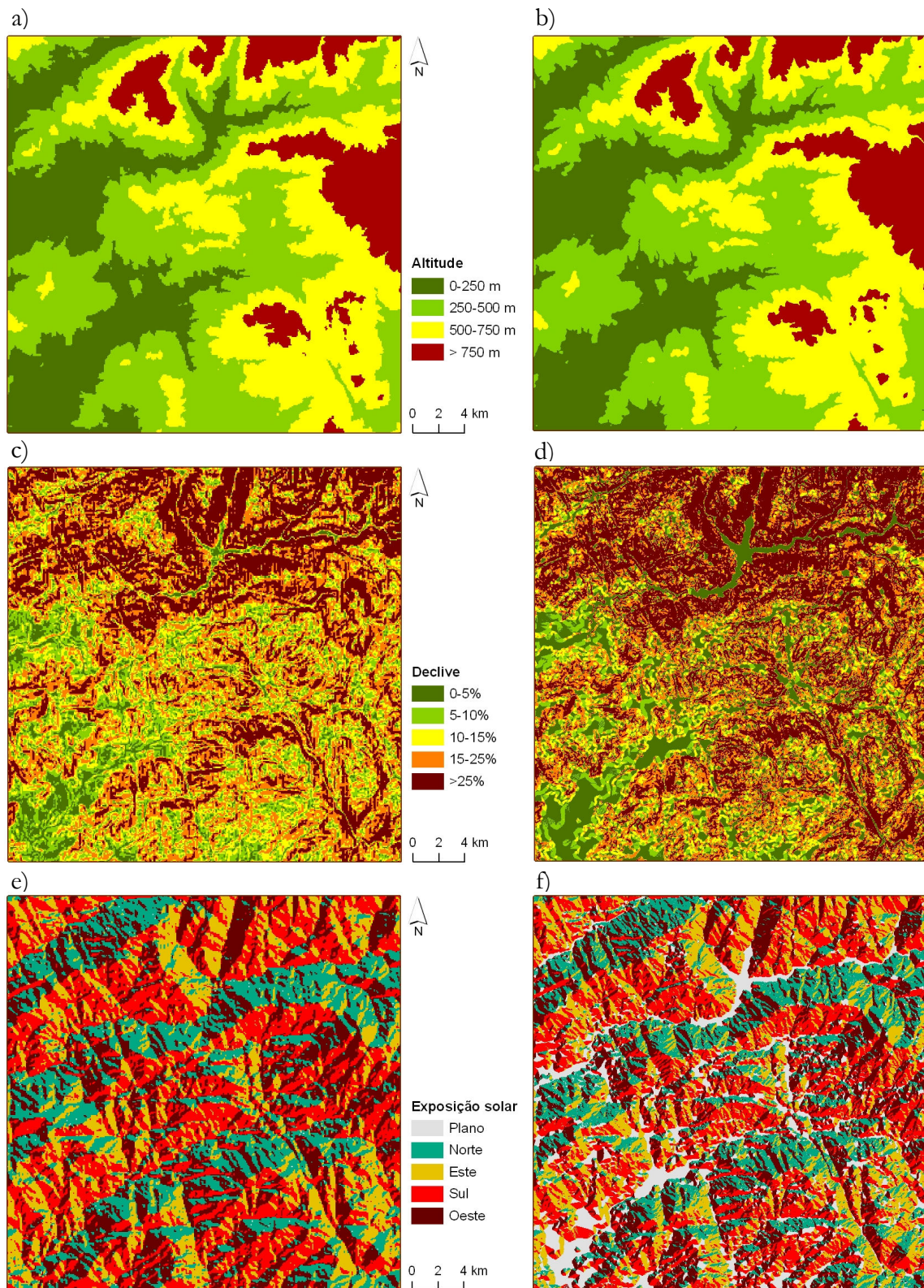


Figura 9: As três cartas obtidas no MDT 90 m (a, c, e) e no MDT 25 m (b, d, f) na superfície de 900 km².

Para além da análise da qualidade das cartas em si, convém perceber de que maneira a resolução afecta o cálculo de padrões de selecção do fogo, objecto do trabalho. Ou colocando a questão ao contrário, qual a sensibilidade dos índices de selecção usados a variações na resolução dos modelos geográficos. A figura 10 mostra a representação geográfica dos perímetros de fogo considerados, num total de 124 eventos, e a figura 11, os índices de selecção médios obtidos com os dois MDT para cada uma das variáveis topográficas. A comparação ilustrada na figura 11, permite observar que no essencial as médias dos índices de selecção apresentam valores semelhantes e que o padrão relativo entre classes para a altitude, declive e exposição solar se mantém. Note-se contudo, que no cálculo para a exposição se obtiveram diferenças significativas nas classes norte e este. No MDT 90 estas surgem como classes ligeiramente evitadas pelo fogo, enquanto no MDT 25 o valor médio do índice é próximo de um (não são preferidas nem evitadas). Nos declives, a classe 15-25% é ligeiramente preferida no cálculo com o MDT 90, enquanto no MDT 25 não há preferência por esta classe.

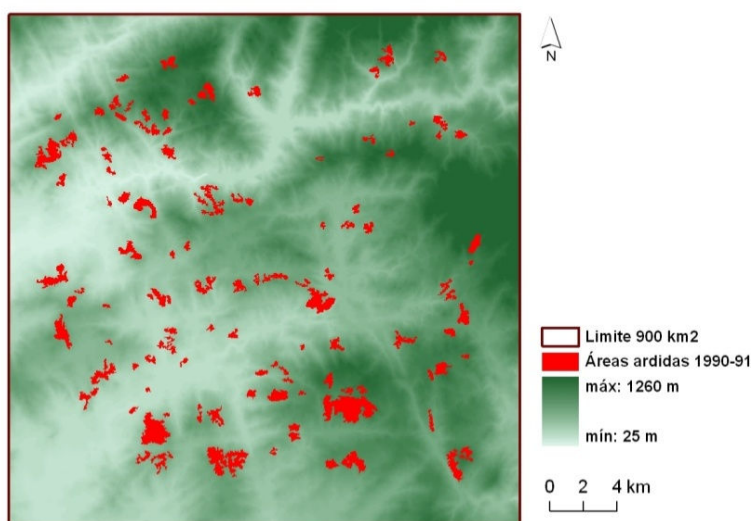


Figura 10: Distribuição geográfica de 124 perímetros de fogo na superfície de 900 km².

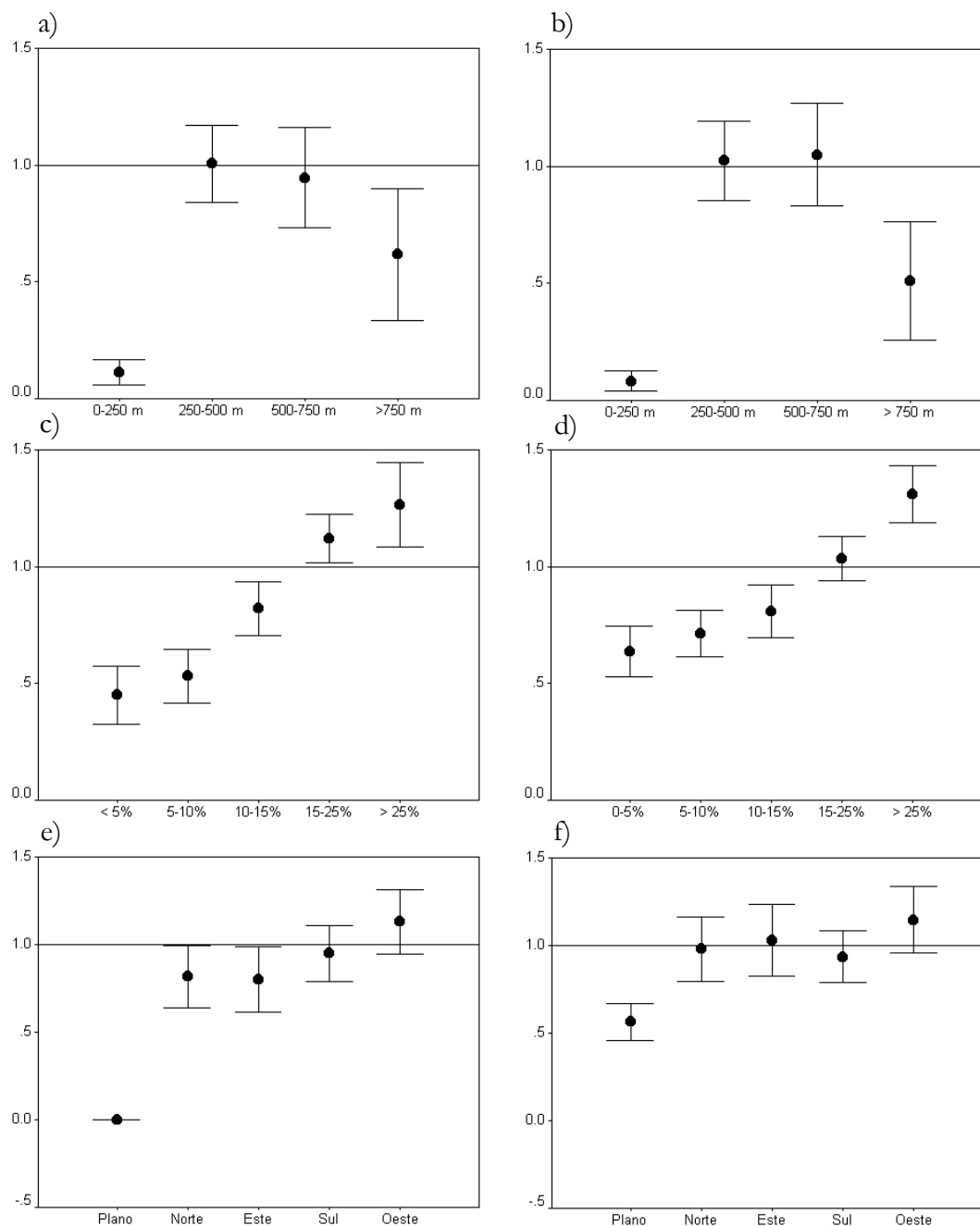


Figura 11: Índices de selecção médios (com intervalo de confiança a 95%) obtidos sobre as cartas de altitude, declive e exposição solar. No lado esquerdo são apresentados os cálculos referentes ao MDT 90 (a, c, e) e no lado direito aqueles referentes ao MDT 25 (b, d, f).

3.2 Padrões de fogo

Na série cronológica, para o período 1980-2005, das áreas queimadas anualmente em Portugal continental, disposta por ordem decrescente, os anos 1990 e 1991, ocupam a 8ª e 3ª posição, respectivamente (Pereira *et al.* 2006). No período em estudo, 1382 fogos queimaram cerca de 55 739 ha ($\sim 557 \text{ km}^2$) no Norte de Portugal, que equivale a 2,7% da área total (excluindo áreas não combustíveis). No ano 1990 ocorreram 891 fogos e no ano seguinte, 491. O maior fogo registado queimou 1351 ha. A média de dimensão de fogo é cerca de 40 ha e a mediana, inferior, cerca de 18 ha, pelo que a distribuição estatística da amostra é assimétrica com uma maior concentração de fogos de pequenas dimensões, como se pode observar na figura 12. As distribuições de dimensão de incêndios rurais apresentam, tipicamente, um número elevado de fogos pequenos, cuja soma das áreas é relativamente insignificante para o total, e um número reduzido de fogos grandes, responsável pela maior parte da área ardida (Pereira & Santos 2003). O gráfico da esquerda na figura é uma distribuição cumulativa de tamanhos através de uma curva de Lorenz, que permite demonstrar o grau de concentração, ou a assimetria da distribuição, da dimensão da área ardida, por comparação com a linha equitativa também representada (Díaz-Delgado & Pons 2001). Quanto maior a área confinada entre as duas curvas, menos equitativa é a distribuição, ou seja, no caso do fogo, maior a importância de uma pequena porção de fogos grandes para a área ardida total. Este método permite comparar o regime de fogo de diferentes regiões ou estudar a sua evolução temporal numa determinada região, em relação à importância dos grandes fogos. Neste estudo observa-se que os 20% maiores fogos (acima dos 300 ha) são responsáveis por mais de 60% da área ardida. O gráfico da direita mostra uma curva também cumulativa, mas com representação no eixo horizontal dos tamanhos por ordem crescente. Aqui observa-se que 40% da área ardida é percorrida por fogos inferiores a 60 ha.

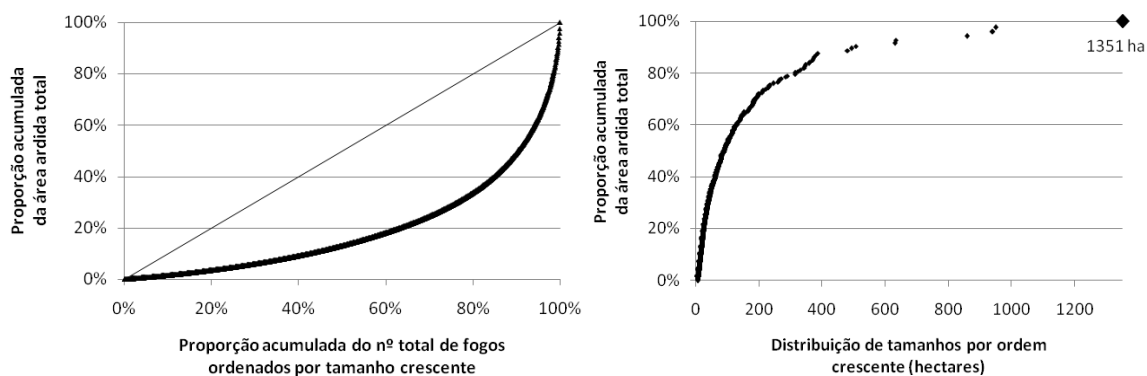


Figura 12: Distribuição de dimensão de áreas ardidas no Norte de Portugal no período 1990-1991 através de uma curva de Lorenz (esquerda) e outra distribuição cumulativa (direita), onde se assinala o maior fogo registado.

3.3 Padrões de incidência e propagação

3.3.1 Análise local – índice de selecção

Norte de Portugal

Na figura 13 são apresentados os índices de selecção médios para as quatro variáveis em estudo, numa análise global à área de estudo. Os resultados para o uso do solo estão de acordo com os resultados de Moreira *et al.* (2009). O mato é a única classe preferida pelo fogo, apresentando um coeficiente de selecção médio superior à unidade ($w_i=2.5$), o que indica que este coberto ardeu em média numa proporção 2.5 vezes superior à proporção disponível. Os restantes tipos de vegetação foram em geral evitados pelo fogo, embora de forma diferenciada. As culturas agrícolas, anuais e permanentes, são as mais evitadas pelo fogo, exibindo coeficientes de selecção inferiores a 0.4 (a proporção ardida é 2.5 vezes inferiores à proporção disponível). Embora sem um significado estatístico que permita conclusões inequívocas, os sistemas agro-florestais, florestas de eucalipto e florestas mistas de eucalipto e resinosa mostram coeficientes médios inferiores às florestas de resinosa, de folhosas e mistas de folhosas com resinosa ou eucalipto, com os índices oscilando no intervalo 0.4-0.8. Quando a análise é restringida apenas aos pares fogo/*buffer* que abrangeram todas as classes de uso do solo (301 fogos num total de 1375), o padrão de selecção obtido é semelhante, mas registam-se algumas diferenças importantes: o índice de selecção para os matos é muito mais elevado, aproximando-se do valor 4, e as classes florestais, outras folhosas e mistura de folhosas com as espécies de produção, são mais

evitadas que as restantes classes florestais, em oposição aos resultados para a análise com todos os fogos.

Em relação à altitude, o patamar 0-250 m é evitado pelo fogo com significado, mostrando um valor médio na ordem de 0.4, e as restantes classes apresentam índices muito perto da unidade, pelo que arderam em média em proporção ao disponível. Repare-se que o cálculo de padrões de selecção se depara aqui com um problema, pois a classificação da paisagem em patamares de altitude não fornece uma distribuição de classes heterogénea na escala local. Repare-se que no conjunto dos dados, somente 147 pares fogo/*buffer* (de um total 1379) dispõem simultaneamente das 4 classes de altitude, em contraste com 1223 pares na exposição solar (que tem 5 classes), 1345 pares no declive (5 classes) e 301 pares no uso do solo (9 classes). Este constrangimento torna a aplicação do índice de selecção ao factor altitude, numa escala local, pouco fiável. Não obstante, o facto de a classe 0-250 m expor um coeficiente médio inferior à unidade na análise restrita aos 147 pares/*buffers* referidos ($w_i \approx 0.1$; figura 18 no anexo IV), bem como na análise por regiões e classes de dimensão de fogo apresentadas de seguida, confirma que o fogo evita estas altitudes.

Na análise da exposição solar, as 4 orientações cardinais das vertentes (norte, sul, este e oeste) apresentam valores médios próximos da unidade, o que aponta para a inexistência de padrões de selecção diferenciados em relação à exposição. As classes sul e oeste (mais quentes) apresentam índices médios ligeiramente inferiores à unidade (evitadas), e o norte e este ligeiramente superiores (preferidas). Com o objectivo de polarizar diferenças entre vertentes frias e quentes, refez-se a análise classificando a paisagem em apenas 3 classes - norte, sul e terreno plano (figura 19 no anexo IV) - que confirmou uma ténue propensão do fogo pelo norte em detrimento do sul. O terreno plano (inclinação nula) é evitado em ambas as análises, mas tem uma presença na área de estudo muito reduzida (0.3%) fruto das limitações do MDT 90. No estudo do declive, os índices de selecção fornecem um padrão claro: a preferência do fogo aumenta progressivamente dos declives menores (<5%, $w_i \approx 0.5$) para os maiores (>25%, $w_i \approx 1.3$) como se observa na figura 13-d, demonstrando a importância deste factor na propagação. Note-se que não existe sobreposição dos intervalos de confiança nas primeiras 4 classes. O resultado pode ser lido em termos da divisão, delineada pelo declive igual a 15%, entre classes preferidas e evitadas, mas sobretudo em termos da resposta relativa das classes à progressão do fogo.

Na análise restrita aos fogos que contém todas as classes, tanto na exposição solar (1223 fogos num total de 1378), como no declive (1345 fogos num total de 1374) os resultados são praticamente idênticos.

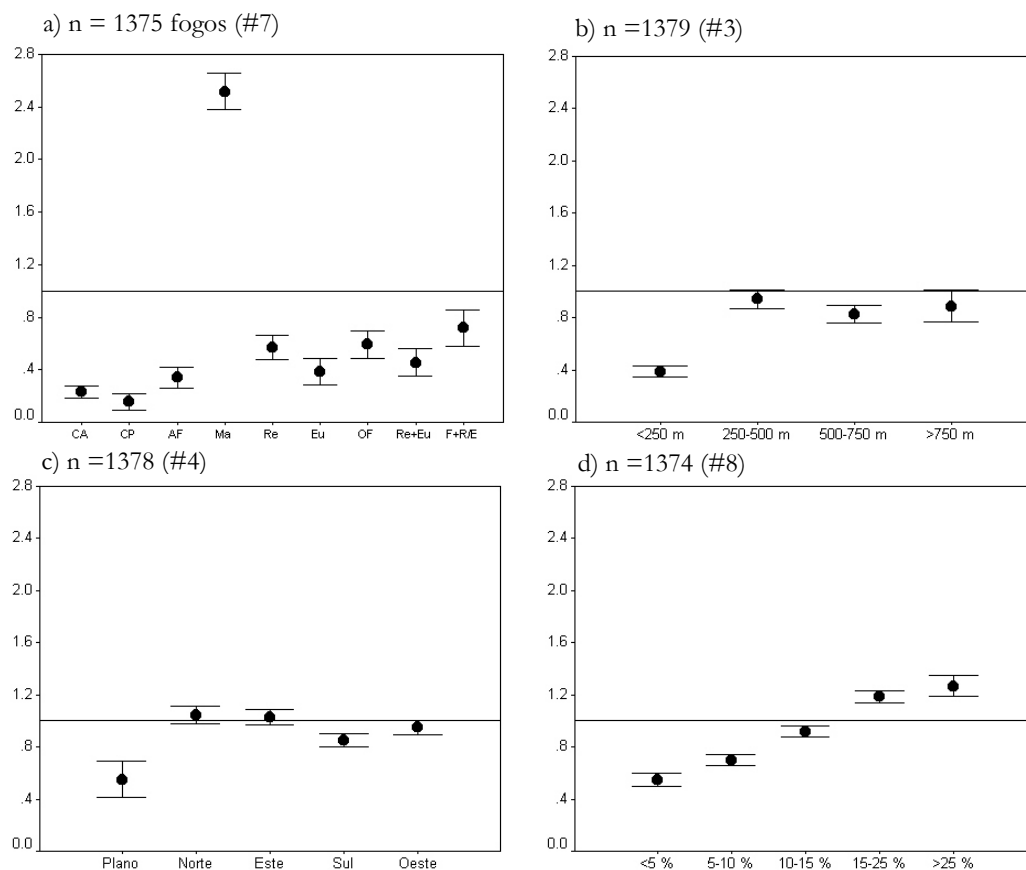


Figura 13: Valores médios dos índices de selecção e intervalos de confiança (95%) para as classes de uso do solo (a), altitude (b), exposição solar (c) e declive (d) no Norte de Portugal. A cada factor está associado o número fogos considerados e *outliers* omitidos do cálculo. Abreviaturas para o uso do solo: CA – culturas anuais, CP – culturas permanentes, AF – sistemas agro-florestais, Ma – matos, Re – florestas de resinosas, Eu – florestas de eucalipto, OF – florestas de folhosas, Re+Eu – floresta mista de eucalipto e resinosas, F+R/E – floresta mista de folhosas e resinosas ou eucalipto.

Regiões ecológicas

A desagregação do cálculo por regiões ecológicas predefinidas é apresentada na figura 14. No exame dos resultados, os coeficientes médios, cuja dimensão da amostra é diminuta (valores no eixo horizontal dos gráficos), deverão ser analisados cautelosamente. De modo geral, as principais características de selectividade detectadas na análise global, mantêm-se nas três regiões.

No uso do solo, o mato é a única classe preferida nas três regiões com significado estatístico. O coeficiente médio deste coberto no Norte Cismontano praticamente duplica os valores no Alto Portugal e Norte Transmontano. As zonas cultivadas (anuais e permanentes) e os sistemas agro-florestais mantêm-se como os cobertos vegetais mais evitados e detecta-se um ligeiro aumento dos respectivos coeficientes médios na seguinte ordem: N. Cismontano > A. Portugal > N. Transmontano. Os coeficientes para os cobertos florestais (Re, Eu, OF, Re+Eu, F+R/E) são muito semelhantes entre si no N. Cismontano ($w_i \approx 0.4$), pelo que as diferenças detectadas na análise global ao Norte de Portugal, ainda que com significado diminuto, advêm sobretudo de valores mais elevados no A. Portugal e N. Transmontano para as florestas de resinosas, de folhosas e mistas de folhosas com eucalipto ou resinosas. No A. Portugal, as resinosas e combinação de folhosas com resinosas ou eucalipto são mais propensas ao fogo que os restantes cobertos, com excepção dos matos. No N. Transmontano, a floresta de folhosas e mista de folhosas com resinosas ou eucalipto são preferidas com significado em relação às restantes classes, com excepção dos matos, e mostram mesmo coeficientes médios superior à unidade, muito embora sem significado estatístico. Deste modo, a forte propensão do fogo pelo mato no N. Cismontano contrasta com uma certa uniformidade na resposta dos restantes tipos de vegetação ao fogo, caracterizada por uma fraca propensão, enquanto no A. Portugal e N. Transmontano, a menor susceptibilidade dos matos é acompanhada por uma maior diversidade nos padrões de selecção do fogo das restantes classes.

Os resultados para a altitude mostram, como já se referiu anteriormente, que a classe 0-250 m é evitada pelo fogo em todas as regiões, com um valor médio sempre abaixo de 0.5. As restantes classes apresentam valores que variam regionalmente em torno do valor 1. Note-se que, aparentemente, o patamar acima dos 750 m é evitado no N. Cismontano ($w_i \approx 0.6$), sem preferência no A. Portugal ($w_i \approx 0.9$) e preferido no N. Transmontano ($w_i \approx 1.3$). Na exposição, o exame das figuras mostra a repetição do padrão global em cada região: ausência de padrões de preferência marcados, onde as

vertentes mais expostas ao sol tendem a mostrar coeficientes abaixo da unidade, com destaque para as vertentes sul. No A. Portugal e N. Transmontano observa-se uma maior diferenciação entre os índices de selecção, por comparação com o N. Cismontano. O terreno plano é evitado em todas as regiões. Os resultados para o declive mostram também repetição do padrão nas várias regiões, com a diferença de que as classes de maior declive (15-25% e > 25%) diferenciam-se pouco entre si no A. Portugal e N. Transmontano.

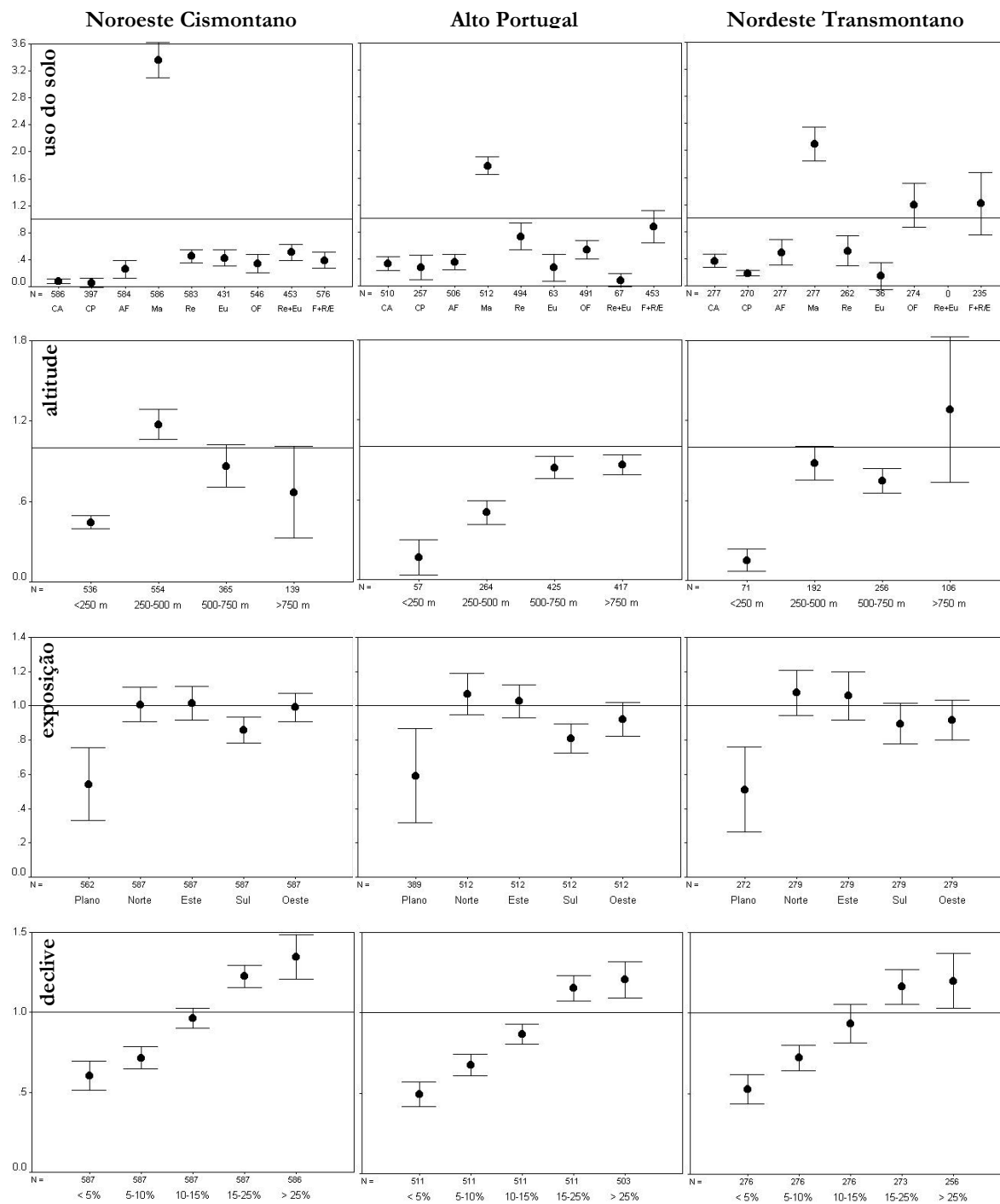


Figura 14: Valores médios dos índices de selecção (IC a 95%) para o uso do solo, altitude, exposição solar e declive nas três regiões ecológicas. No eixo horizontal é indicado o número de fogos que compõem a média.

Dimensão da área ardida

Os resultados da análise por classes de tamanho de fogo são apresentados na figura 15. No uso do solo o padrão geral mantém-se nas três classes de tamanho, porém observa-se a redução progressiva do índice médio de selecção para os matos com o aumento da dimensão da área ardida. Outros resultados omissos na figura, mostram que o índice médio dos matos para fogos maiores que 100 ha ($w_i \approx 1.7$, 115 fogos, 8% da amostra), para fogos maiores que 200 ha ($w_i \approx 1.4$, 39 fogos, 3% da amostra) e para fogos maiores que 500 ha ($w_i \approx 1.2$, apenas 7 fogos) confirmam a tendência. No que se refere aos restantes cobertos não é possível delinear tendências precisas na evolução do padrão de selecção com o aumento da dimensão. Em relação à altitude, mais uma vez se confirma a fraca propensão do fogo para altitudes inferiores a 250 m, mesmo quando analisadas as áreas ardidas superiores a 100 ha e 200 ha. Os padrões de selecção relativos à exposição solar e ao declive são pouco influenciados pela dimensão da área ardida, como se pode constatar pelos resultados. Tanto a posição relativa entre classes na escala de preferência, como os valores absolutos dos coeficientes médios, mantêm-se praticamente invariáveis. Na exposição, o sul e oeste apresentam valores sempre inferiores à unidade, incluindo o cálculo para fogos superiores a 100, 200 e 300 ha. No declive, a relação de preferência crescente com o aumento do declive conserva-se em toda a distribuição de tamanhos: nas três classes de dimensão apresentadas na figura 15, para dimensões acima dos 100, 200 e 300 ha, e até quando se considera somente os nove maiores fogos da amostra, com área ardida superior a 400 ha.

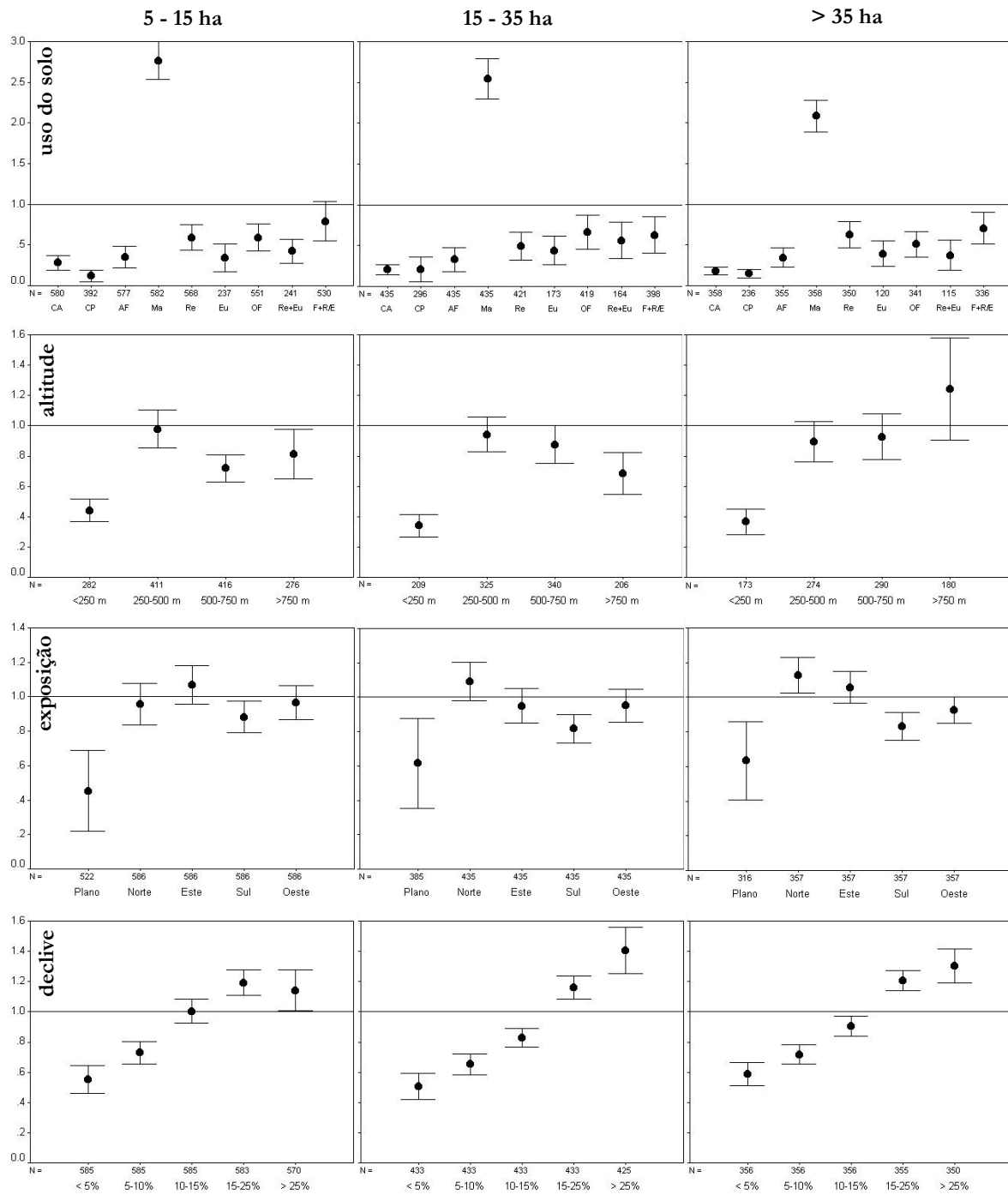


Figura 15: Valores médios dos índices de selecção (IC a 95%) para o uso do solo, altitude, exposição e declive nas três classes de dimensão de área ardida de fogo. No eixo horizontal é indicado o número de fogos que compõem a média.

3.3.2 Análise regional

A distribuição proporcional das variáveis em estudo na área ardida total e na região em estudo (disponível) é apresentada na figura 16 (sem as áreas não combustíveis). Os resultados são expostos de modo a se poder comparar a distribuição das classes na área ardida e em toda a região. Na composição do mosaico de vegetação no Norte de Portugal, o mato e as culturas anuais ocupam mais de metade da área total, sendo o primeiro predominante (30.1%). Seguem-se a floresta de resinosas e as culturas permanentes, cada uma numa proporção de 10%. Os sistemas agro-florestais ocupam perto de 6%, e os remanescentes 18% correspondem aos outros quatro cobertos florestais. Na área ardida total, os matos ocupam cerca de 72% do total, numa proporção que dobra a proporção disponível na região. As resinosas ocupam a segunda posição do tipo de vegetação que mais ardeu, mas muito distante dos matos (9.4%), seguida pela floresta mista de outras folhosas com resinosas ou eucalipto (4.5%). Na casa dos 3% estão as culturas anuais, a floresta de folhosas e mista de resinosas e eucalipto, e perto de 1%, as culturas permanentes, os sistemas agro-florestais e o eucalipto. Com exceção do mato, todos os cobertos vegetais arderam em proporção inferior ao disponível na região, com destaque para as percentagens comparativamente baixas das culturas anuais e permanentes e dos espaços agro-florestais.

A distribuição proporcional da hipsometria mostra que aproximadamente metade da superfície da região está abaixo dos 500 m e a outra metade acima. O patamar dos 500-750 m é predominante e o patamar acima dos 750 m é o menos presente. A maior proporção de área ardida cabe à classe 500-750 m (36%), sendo que acima dos 500 m ardeu 60% do total, numa proporção superior à presença destas altitudes na região (52.6%). A ocorrência de fogo abaixo dos 250 m queimou apenas 10% do total, numa proporção inferior ao disponível (23%). O mosaico de classes de declive tem uma distribuição relativamente equitativa na região que varia entre os 16% (declive abaixo dos 15%) e os 24% (declive entre 5-10%). As duas classes de maior declive representam 62% da área ardida, mas apenas 41% da superfície da região. Em contraste, as duas classes de menor declive representam 21% da área ardida e 40% da superfície total. A proporção de área ardida aumenta progressivamente com o aumento do declive. Em relação à exposição solar, que mostra igualmente uma distribuição equitativa na região, repare-se que as vertentes sul e oeste estão ligeiramente mais presentes na região do que as norte e este. As primeiras arderam numa proporção superior ao disponível na região, enquanto as segundas arderam numa proporção inferior.

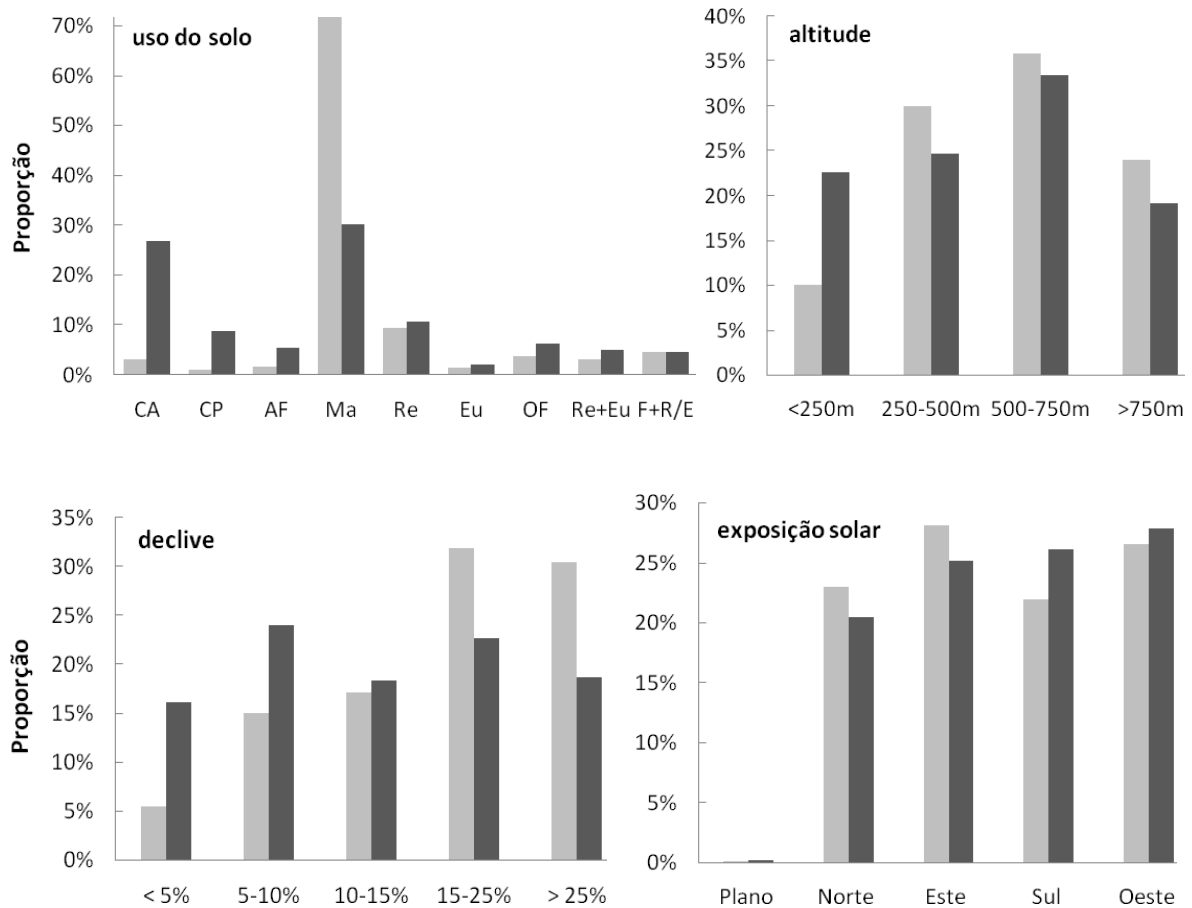


Figura 16: Comparação entre as distribuições proporcionais das áreas ardidas (cinzento claro) e da área de estudo (cinzento escuro), para as quatro variáveis: uso do solo, altitude, declive e exposição solar.

A análise regional permite ainda determinar qual a distribuição proporcional das classes topográficas em cada classe de vegetação, tanto na área ardida total como no Norte de Portugal. Os resultados estão organizados em nove gráficos, um para cada coberto vegetal, com a distribuição de proporções relativas aos três grupos de classes topográficas (figura 17). Na análise, é importante ter em conta que esta distribuição proporcional está dependente da distribuição das classes topográficas na região apresentada na figura 16, ou seja, por exemplo, se um patamar de altitude estiver menos presente na região, tenderá a estar menos presente também na distribuição para cada coberto vegetal. O exame dos resultados deverá privilegiar a distribuição proporcional nas áreas ardidas e o contraste desta com a distribuição na região, tendo por objectivo estabelecer relações com os padrões de selecção determinados na análise local.

Culturas anuais. Ocupam sobretudo os patamares de altitude 500-750 m e <250 m, os declives baixos (< 10%) e distribuem-se pelas diferentes exposições solares das encostas com a seguinte ordem de predominância: sul, oeste, este e norte. Estes espaços agrícolas arderam principalmente no patamar 500-750 m (acima da proporção disponível) e muito pouco abaixo dos 250 m (7%, abaixo do disponível). As proporções do ardido na exposição são praticamente iguais, mas no sul e oeste são inferiores ao disponível na região e no norte e este superiores. No declive há a notar que nas encostas mais íngremes (>10%) arderam em proporções maiores do que o disponível, enquanto nas restantes se verificou o contrário.

Culturas permanentes. Entre os 250 m e os 750 m encontra-se 82% deste coberto e apenas 1% acima dos 750 m. Em concordância, grande parte deste coberto ardeu entre 250-750 m. Na exposição e declive a distribuição na região é homogénea. As vertentes norte constituem a maior proporção ardida e é a única classe de exposição que exhibe uma proporção no ardido maior do que na região. Nos declives, apesar da distribuição homogénea, a proporção de área ardida cresce progressivamente com o declive.

Sistemas agro-florestais. Este tipo de coberto está sobretudo no patamar 500-750 m (36%) e nas vertentes sul (32%) e a distribuição nos declives é homogénea. Na altitude a distribuição nas áreas ardidas acompanha a distribuição na região e no declive constata-se o crescimento da proporção ardida com o aumento da inclinação.

Matos. Estão sobretudo acima dos 500 m (68%) com apenas 8% da sua área total abaixo dos 250 m. A distribuição das exposições é relativamente homogénea. Na distribuição do declive verifica-se que cerca de 60% deste coberto encontra-se em terrenos com mais de 15% de declive e somente uma pequena porção (7%) em zonas pouco íngremes (<5%). Constata-se que a distribuição proporcional do declive nos matos cresce progressivamente dos declives menores para os maiores. Em todos os factores topográficos, a distribuição nas áreas ardidas acompanha a distribuição na região, muito embora seja visível a influência dos padrões de propagação, nomeadamente do declive e exposição. O mato, juntamente com o eucalipto, são os únicos tipos de vegetação que arderam numa proporção superior à proporção disponível na classe 0-250m.

Floresta de resinosas. As resinosas ocorrem em todo o espectro de classes topográficas consideradas, mas privilegiam as altitudes 500-750 m (35%) e os declives maiores que 15% (53%). Estão menos presentes nas encostas sul, acima dos 750 m e

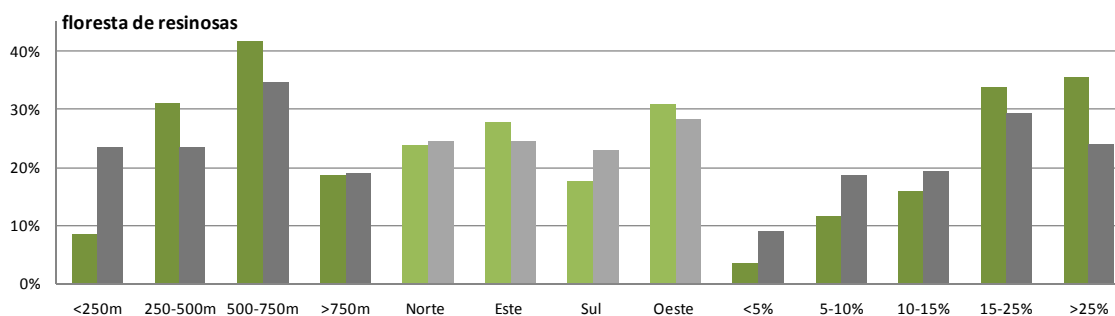
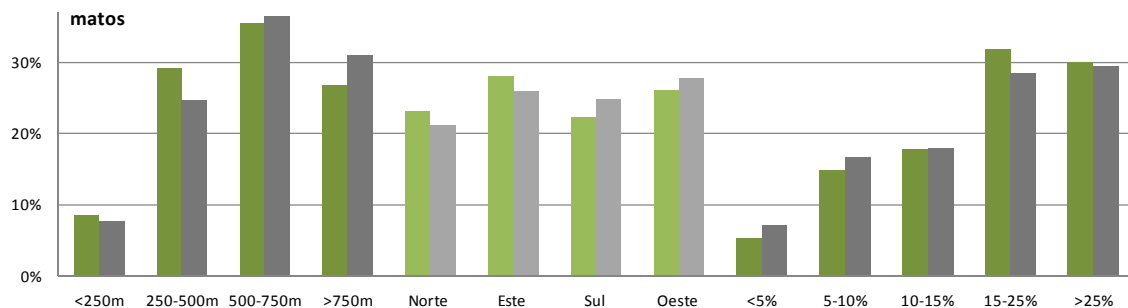
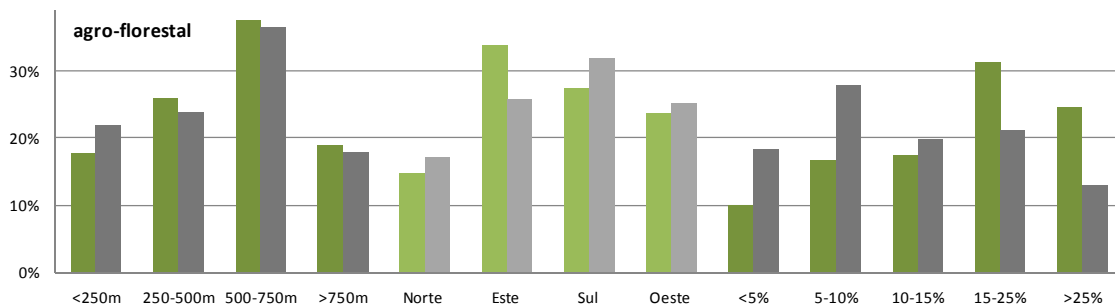
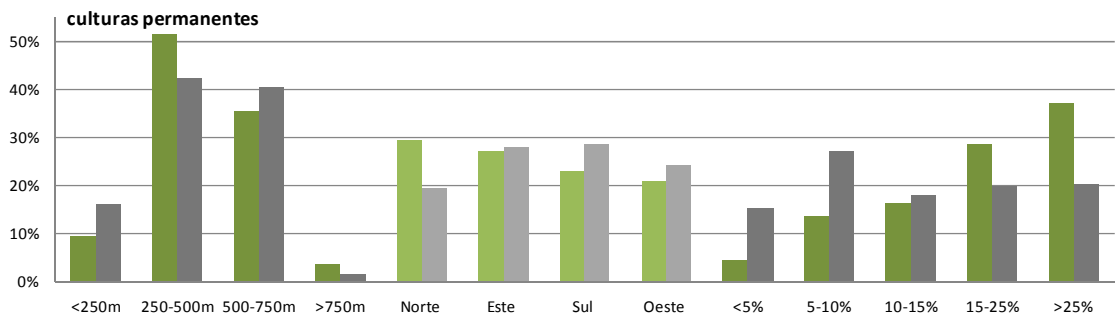
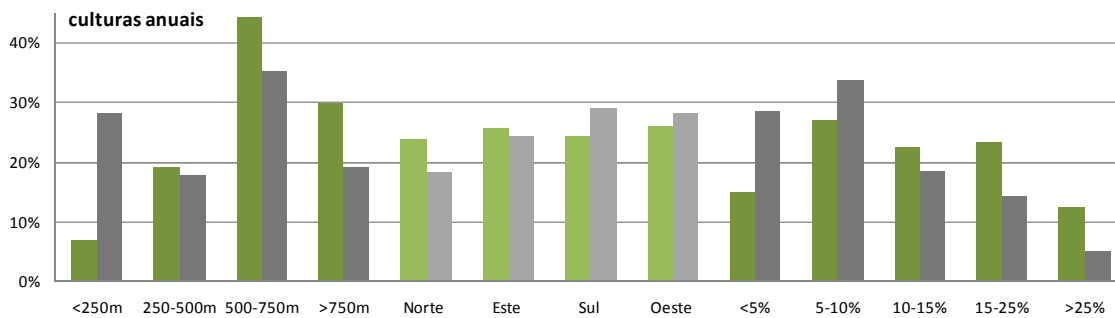
apenas 9% está em terrenos pouco inclinados (<15%). Nas áreas ardidas, ardeu sobretudo entre os 250 e 750 m (73%), acima da proporção disponível, e apenas 9% no patamar 0-250 m, muito abaixo do disponível (23%). O sul corresponde à menor proporção ardida. No declive, 69% do ardido está acima dos 15% de declive e desenha-se mais uma vez o padrão de crescimento da proporção ardida com o acentuar da inclinação.

Floresta de eucalipto. Este coberto está quase todo concentrado abaixo dos 500 m de altitude (89%) e é praticamente inexistente acima dos 750 m (1%). A classe de declive 15-25% predomina na distribuição e a exposição norte é a menos presente. Em consequência grande parte da área ardida ocorre também baixo dos 500 m (92%). Em termos gerais, a distribuição do ardido parece acompanhar a distribuição proporcional na região, e não é notório o efeito do incremento do declive no aumento da área ardida.

Floresta de outras folhosas. Está presente sobretudo acima dos 500 m (72%), com destaque para o patamar 500-750 m, e tem uma presença residual no patamar mais baixo (6%). Na exposição apresenta uma distribuição homogénea, mas no declive a proporção aumenta para declives maiores (53% está em terrenos com inclinação superior a 15%). Nos declives maiores esta floresta ardeu numa proporção superior ao disponível na região.

Floresta mista de resinosas e eucalipto. 95% da área ocupada por este coberto florestal está abaixo dos 500 m (onde se encontra 91% do ardido) e é inexistente acima dos 750 m (0.6%). Ocupa principalmente as vertentes oeste (32%) e as classes de declive menos presentes são abaixo dos 5% e acima de 25%.

Floresta mista de folhosas e resinosas/eucalipto. Está sobretudo entre os 250 e os 750 m (73%), onde ardeu 81% do total. No patamar 500-750 m ardeu 51% do total e baixo dos 250 m apenas 4%. A exposição oeste é predominante na distribuição regional, mas à exposição este corresponde a maior proporção de área ardida. As distribuições proporcionais do declive, na região e na área ardida, são praticamente iguais e aumenta com o aumento do declive.



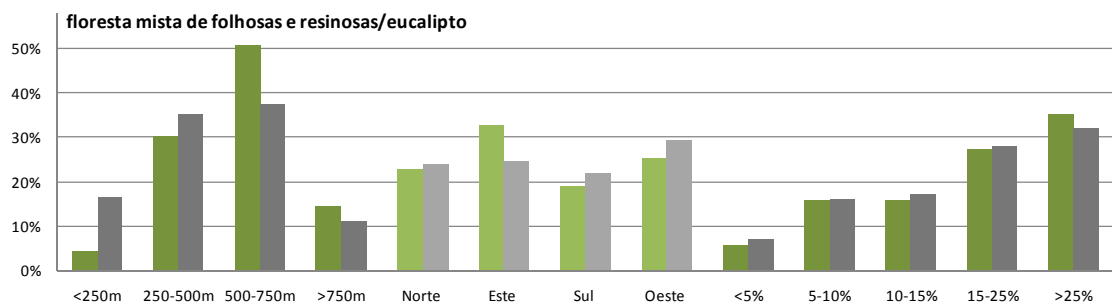
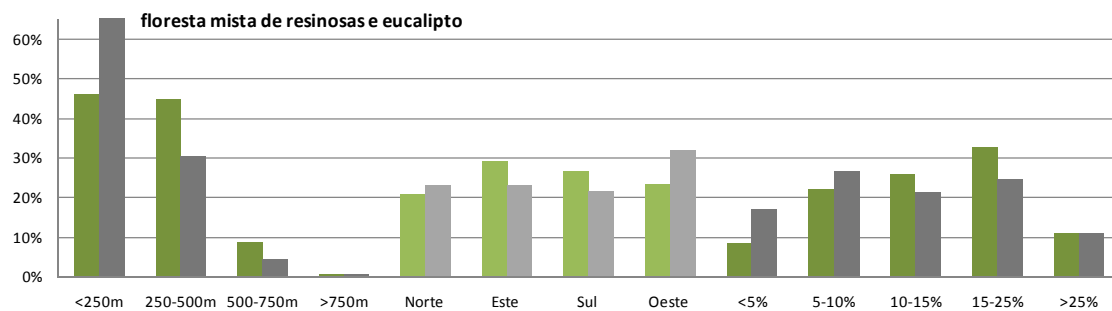
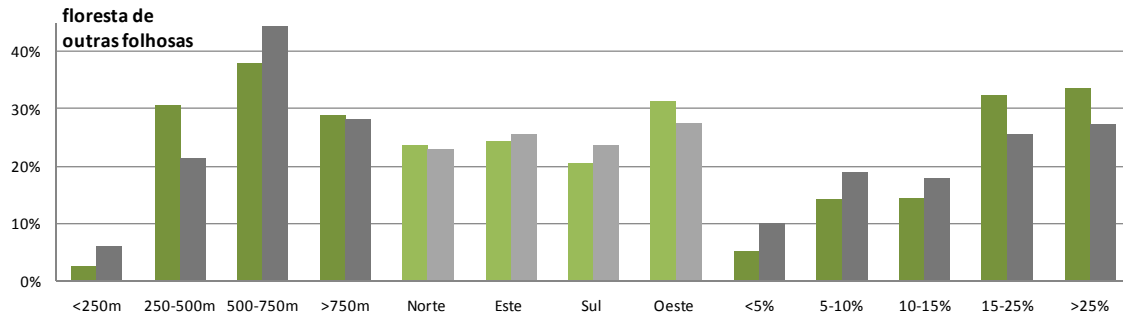
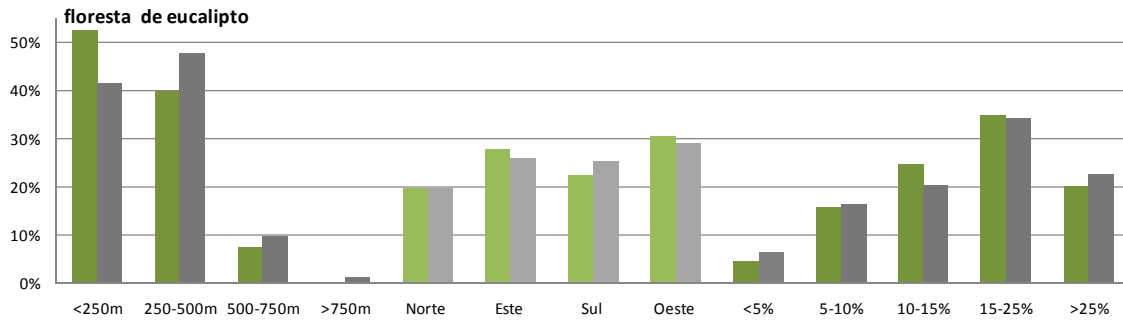


Figura 17: Distribuição proporcional das classes topográficas em cada classe de vegetação. Em tons de verde, está representada a distribuição na área árida e em tons de cinzento a distribuição na região em estudo. A cada gráfico corresponde uma classe de coberto vegetal; em cada grupo de variáveis topográficas a soma das proporções é igual a 100%.

4. DISCUSSÃO

Modelo digital de terreno

A avaliação do modelo digital de terreno utilizado na produção das cartas topográficas indica que a resolução de 90 metros não satisfaz plenamente os requisitos da metodologia seguida. No que respeita à análise local, o índice de selecção não é muito afectado pela resolução do MDT, como se pôde observar na figura 11, pelo que a utilização do MDT 90 é assim validada para a abordagem local. Porém, no cálculo para a exposição solar detectam-se diferenças que obrigam a alguma cautela na discussão dos resultados para esta variável. Na análise regional, as diferenças nas cartas de declive e exposição solar obtidas para as duas resoluções, afectam, sem dúvida, a distribuição proporcional destas variáveis, nomeadamente pela subestimação das classes plano (praticamente inexistente no MDT 90) e declive inferior a 5%. Compreende-se assim, que as metodologias que privilegiam a comparação entre a área ardida e a área disponível diminuem a importância das diferenças entre resoluções, pois tanto uma como outra transportam o mesmo erro. É o que acontece no caso do índice de selecção e o que deverá acontecer na interpretação dos resultados da análise regional. Não obstante, note-se que não é possível retirar conclusões sobre o comportamento da classe plano, em qualquer das abordagens, pois a resolução do MDT 90 faz desaparecer esta classe.

A avaliação da resolução usada permite validar a utilização do MDT 90 para os objectivos definidos e consolidar a metodologia proposta, muito embora se confirme a importância de trabalhar com resoluções mais finas, para corroborar os resultados obtidos, cujo custo de aquisição para a extensão da Região Norte não é de todo suportável no quadro de uma dissertação de mestrado.

Padrões de selecção do fogo

É importante neste ponto, antes de entrar propriamente na discussão dos resultados, fazer uma breve reflexão metodológica sobre a utilização do índice de selecção. Como se viu, os coeficientes que derivam da aplicação do índice a determinado fogo são dependentes, e portanto, a preferência do fogo por determinada classe é dependente da resposta das restantes classes ao fogo. Daqui resulta, que a aplicação do índice apenas aos pares fogo/*buffer* que englobam todas as classes, avalia a selectividade quando o fogo tem à sua disposição, idealmente, todas as classes. Todavia, o emprego deste constrangimento

reduz significativamente a dimensão da amostra, sobretudo no uso do solo e altitude, como se observou nos resultados. Assim sendo, optou-se por aplicar o índice a todos os fogos, e fazer uso dos resultados produzidos por esta metodologia paralela para corroborar os principais padrões de selecção detectados ou impor a dúvida sobre alguns resultados menos claros.

A análise à escala local, mediante o cálculo dos índices de selecção, confirma o carácter selectivo do fogo em relação ao uso do solo, em acordo com os resultados dos vários trabalhos referidos na secção 2.3. Na Região Norte, os matos surgem como a única classe preferida e os espaços agrícolas (culturas anuais e permanentes), juntamente com os sistemas agro-florestais, são os cobertos vegetais mais evitados. Resultados semelhantes são obtidos em Nunes *et al.* (2004, 2005) para Portugal continental através de uma metodologia distinta – o fogo prefere os matos e evita as culturas anuais, o mosaico agrícola diverso e as classes vinhas-pomares-olivais e agroflorestal-sobreiro-azinheira.

O coeficiente de selecção médio dos matos é bastante superior aos coeficientes estimados para as restantes classes. Este resultado indica que, na progressão sobre o mosaico de vegetação, o fogo percorre preferencialmente as áreas com mato. Vários factores poderão concorrer para este fenómeno: a ocorrência de velocidades de propagação da frente de fogo maiores neste tipo de coberto, por comparação com os restantes tipos estudados, produto da inflamabilidade, da estrutura, carga e humidade dos combustíveis; a existência de grandes parcelas contínuas de mato, de carácter matricial, na paisagem da Região Norte; a definição de estratégias de combate ao fogo que dão prioridade à intervenção sobre usos do solo considerados de maior valor («deixa arder que é mato»); a maior ocorrência dos matos nos declives acentuados, onde se verifica uma maior susceptibilidade à propagação do fogo: a proporção deste coberto na região é cerca de 30%, mas acima dos 25% de declive é 45%, acima dos 15% de declive, 40% e acima dos 10% de declive é 36%; e a menor propensão para arder dos restantes tipos de coberto (sobretudo os espaços agrícolas e agro-florestais).

Nos anos 1990 e 1991, 7% da superfície de matos foi percorrida por incêndios (39 870 ha). Esta área corresponde a 72% da área total ardida nesses anos, numa proporção superior ao dobro da sua proporção na região. A ocorrência do fogo está portanto fortemente associada a este tipo de vegetação. De acordo com Pereira *et al.* (2006), entre 1990 e 2005, 56% da área total queimada em Portugal é mato, cabendo o restante às classes floresta, agricultura e improdutivo. Segundo estes autores, a elevada incidência sobre os

matos deve-se ao uso do fogo na renovação de pastagens, sobretudo nos distritos da Guarda (parte incluído na área de estudo), Vila Real (totalmente incluído) e na zona norte do distrito de Viseu – “a queima do mato, a intervalos relativamente curtos, destina-se a favorecer o crescimento de vegetação herbácea e a estimular a produção de rebentos tenros nos arbustos, os quais são mais palatáveis para o gado ovino e caprino. (...) Estes fogos não constituem necessariamente uma perda económica nem um dano ambiental, mas é preciso que a sua realização respeite critérios técnicos adequados (...) para impedir que as queimadas se descontrolem.” A reforçar esta leitura, os resultados de Nunes (2004) indicam que no Alto Portugal (ocupado em grande parte pelo distrito de Vila Real) a preferência pela classe *ocupação arbustiva*, verificada no NO Cismontano e NE Transmontano, é substituída pela preferência pela classe *áreas com pouca vegetação*.

O facto de áreas agrícolas e dos sistemas agro-florestais serem muito evitados pelo fogo deve-se à sua baixa combustibilidade, consequência de cargas combustíveis baixas e teores em humidades elevados, principalmente nas culturas regadas. Além disso, uma parte importante das colheitas anuais ocorre entre Maio e Agosto (corte de feno, dos cereais de sequeiro - trigo, centeio, aveia; apanha da batata, etc.) reduzindo substancialmente as cargas combustíveis nos campos durante a época de fogos. Outras culturas colhidas só após o Verão, como o milho, o sorgo e a beterraba, apresentam teores em humidade elevados devido à rega. Por outro lado, os espaços agrícolas estão geralmente inseridos em zonas, onde a proximidade de populações e disponibilidade de acessos, facilita a detecção e o combate ao fogo. Os sistemas agro-florestais apresentam uma fraca continuidade horizontal dos combustíveis, resultado da dispersão das árvores.

Os cobertos florestais apresentam globalmente índices de selecção intermédios entre os espaços agrícolas e os matos, verificando-se que as parcelas de eucalipto puras são as mais evitadas no conjunto destes usos. Segundo a hipótese trabalhada em Moreira *et al.* (2009), a menor propensão do fogo pelo eucalipto deve-se essencialmente a diferenças na gestão florestal. As grandes parcelas de eucalipto são geridas intensivamente por empresas privadas, onde se procede habitualmente a tratamentos de redução de combustíveis, como podas e limpeza de matos, e onde são utilizados meios próprios de prevenção, detecção e supressão do fogo, que se somam aos meios públicos. Além do mais, o menor tempo de rotação da produção de eucalipto origina uma maior proporção de áreas cortadas e de plantações recentes, que reduz a carga combustível média deste coberto.

No que respeita à topografia, o índice de selecção revela uma selectividade marcada em relação às classes de declive, com uma clara propensão do fogo pelos declives maiores, de acordo com a hipótese apresentada na metodologia: a frente de fogo tende a propagar-se no sentido do maior declive, onde a maior radiação incidente promove a ignição do combustível. Os resultados de Mermoz *et al.* (2005) apontam igualmente para a importância do declive à escala da propagação do fogo. O padrão de selecção para a altitude resume-se ao facto do patamar 0-250 m ser evitado de forma significativa pelo fogo, com os restantes a arderem proporcionalmente ao disponível. Os trabalhos revistos mostram que a altitude se relaciona com o comportamento do fogo de forma indirecta, ao co-variarem com os gradientes climáticos e os padrões de ignição à escala regional, e procuram estabelecer padrões de incidência e não padrões de propagação à escala local, pelas razões expostas nas secções 1.5 e 3.2.1. No entanto, o padrão de selecção aqui detectado poderá indicar que as altitudes abaixo dos 250 m restringem de facto a propagação do fogo. Por inspecção visual às cartas produzidas observa-se que estas altitudes surgem no fundo dos principais vales que atravessam a região - muito preenchidos pelas culturas anuais e permanentes - e ocupam toda a faixa litoral densamente povoada e urbanizada - os fogos nesta faixa ocorrem sobretudo nalgumas ilhas hipsométricas, onde a altitude ultrapassa os 250 m, preenchidas sobretudo por matos e floresta de eucalipto e/ou resinosa. Por outro lado, a análise regional mostra que o patamar 0-250 m tem uma proporção de área não combustível elevada (16%). Na faixa litoral, estes espaços organizam-se de forma matricial na paisagem, fragmentando o uso do solo. Mais de 40% deste patamar é ocupado por espaços agrícolas e sistemas agro-florestais (31% corresponde a culturas anuais) e somente 10% por matos, quando na região a presença deste coberto ultrapassa os 30%. Daqui se conclui que o padrão de selecção registado indica, provavelmente, que a baixa propensão do fogo para as altitudes baixas, provém do padrão de ocupação do solo que caracteriza esse patamar.

O padrão de selecção obtido para a exposição solar não mostra uma selectividade marcada. As vertentes sul e oeste são evitadas e as norte e este preferidas, mas apenas com significado para o sul, onde o intervalo de confiança não sobrepõe o valor unitário ($w_i = 1$). Como se viu, na análise restrita às classes norte e sul, o padrão é igualmente pouco marcado, mas mais significativo estatisticamente. O padrão para a classe plano não é considerado na análise dos resultados pelas razões já expostas. Considerando contudo que os resultados de Nunes (2004) mostram que a propagação do fogo é selectiva à exposição das encostas, designadamente nas regiões NO Cismontano e NE Transmontano, embora

sem um padrão explícito comum aos diversos métodos aí utilizados - de forma não conclusiva o norte é igualmente mais preferido que o sul - importa perscrutar o significado do padrão de selecção registado.

É particularmente curioso verificar que na região de estudo as vertentes mais quentes e secas (xéricas) são as menos propensas a arder, em contraste aparente com os resultados de vários autores (Mermoz *et al.* 2005, Heyerdahl *et al.* 2001 e Gonzalez *et al.* 2007), que determinam uma relação inversa. É possível, no entanto, esboçar uma explicação. A distribuição proporcional do uso do solo em cada classe de exposição demonstra que a exposição sul apresenta a maior proporção de espaços agrícolas e agro-florestais, 44% da superfície (contra 38% no oeste, 35% no norte e 39% no este), bem como a menor proporção de matos, 27% da superfície (contra 28% no oeste, 30% no norte e 29% no este) e de floresta de resinosas, 9% da superfície (contra 10% no oeste, 12% no norte e 10% no este). As paisagens estudadas nos trabalhos de Mermoz *et al.* 2005 e Heyerdahl *et al.* 2001 são fundamentalmente paisagens naturais, pouco cultivadas, onde predominam a floresta e formações arbustivas. Deste modo, presume-se que a menor propensão do fogo para o sul na Região Norte se deve à diferente ocupação do solo, cujo efeito se torna preponderante sobre o efeito microclimático de sentido contrário produzido pela exposição solar. Algumas conclusões provenientes de Heyerdahl *et al.* (2001) ajudam a compreender melhor o papel da exposição no comportamento do fogo. Estes autores observam que o efeito da exposição só se revelou importante nas bacias hidrográficas de relevo acentuado e com áreas amplas de exposição diferenciada (setentrional vs meridional) separadas por barreiras de fogo (*e.g.* rios ou acidentes topográficos). Nas bacias onde as vertentes com orientações distintas se entrelaçam a uma escala fina e são inexistentes barreiras norte-sul, o fogo atravessa facilmente as várias exposições; e onde os declives são suaves não existe uma demarcação microclimática relevante entre vertentes.

A exposição solar e a altitude são utilizadas como variáveis explicativas do comportamento do fogo, por participarem na definição de zonamentos microclimáticos, na distribuição da vegetação e variação das práticas de gestão agro-florestal. Deste modo, em estudos consequentes poderão utilizar-se, em alternativa, variáveis bioclimáticas mais complexas, que representem com maior acuidade a variação espacial das características principais da ocorrência de incêndios rurais: a existência de períodos longos, de vários meses, sem precipitação e a elevada produtividade de biomassa associada aos níveis de precipitação no Inverno.

Os padrões de selecção de fogo variam com a região ecológica?

As principais características de selectividade detectadas na análise global conservam-se nas três regiões estudadas. Contudo, as diferenças registadas nos padrões de selecção revelam a influência da diferenciação regional de diversos factores, a saber: padrões de ignição, clima, gestão agro-florestal, estratégia e eficácia no combate ao fogo, e disponibilidade das classes em estudo. As diferenças regionais nos padrões de selecção do coberto vegetal são discutidas prolongadamente em Moreira *et al.* (2009), para Portugal continental, com o enfoque colocado nas práticas de gestão e nas espécies cultivadas. Os principais pontos de diferenciação entre as três regiões, no estudo do uso do solo, são discutidos de seguida:

1. Observa-se um ligeiro aumento dos coeficientes de selecção das zonas cultivadas e sistemas agro-florestais na ordem: N. Cismontano > A. Portugal > N. Transmontano. Como se pode ver na distribuição, por região ecológica, dos tipos de coberto predominantes em cada classe de uso do solo (secção 2.2), nas culturais anuais no N. Cismontano predominam as culturas regadas, enquanto nas restantes regiões predominam as culturas de sequeiro. Nas culturas permanentes, o padrão é semelhante: as vinhas e pomares predominam no N. Cismontano (regadas) em contraste com uma maior presença de Olivais (não regados) nas outras regiões. Os sistemas agro-florestais reproduzem provavelmente as diferenças nas culturas anuais e permanentes, a que se deve acrescentar a diferente distribuição das espécies folhosas. No noroeste são mais comuns as espécies de folha caduca (*e.g. Quercus robur* e *Q. pyrenaica*) e no nordeste são mais comuns as de folha perene (*Quercus rotundifolia* e *Q. suber*). As últimas são provavelmente mais propensas ao fogo porque o apresentam teores em humidade menores em comparação com as espécies folhosas caducas (Moreira *et al.* 2009). Estas diferenças, nas práticas agrícolas e na ocupação solo, reflectem necessariamente diferenças nas condições climáticas de cada região, ilustradas na introdução.

2. O coeficiente de selecção dos matos no N. Cismontano dobra os coeficientes obtidos para o A. Portugal e N. Transmontano. Não são óbvias as causas desta relação. A distribuição regional dos diferentes tipos de coberto vegetal na classe matos não esclarece a diferença. Segundo Moreira *et al.* (2009), a precipitação mais elevada no N. Cismontano, aumenta a produtividade e pode gerar eventualmente maiores carga de combustível nos matos. A diferença registada entre regiões pode ser também interpretada em termos da susceptibilidade relativa das diferentes classes de uso do solo ao fogo. Ou seja, uma menor

propensão para arder de todas as classes que não os matos – como parece ser o caso do N. Cismontano – resulta em coeficientes elevados para esta classe, uma vez que o fogo tende a propagar-se apenas nestas áreas.

3. Não é fácil estabelecer a variação dos padrões de selecção para os cobertos florestais. Apenas as folhosas, com excepção do eucalipto, parecem mostrar uma maior susceptibilidade à medida que se caminha do litoral para o interior, revelada pelos padrões de selecção da classe outras folhosas e mistura de folhosas com resinosas ou eucalipto. A explicação é apresentada atrás no ponto 1.

Na análise das variáveis topográficas, as diferenças entre padrões de selecção deve explicar-se sobretudo em termos de diferenças no uso do solo e nas condições climáticas. Na altitude, é de destacar a menor susceptibilidade ao fogo do patamar 0-250 m, no A. Portugal e N. Transmontano, por comparação com N. Cismontano; e o aumento gradual da susceptibilidade da classe >750 m, de oeste para este. No N. Cismontano, as altitudes abaixo dos 250 m ocorrem numa vasta faixa litoral aplanada, enquanto nas regiões interiores ocorrem somente no fundo dos principais vales. A variação no patamar acima dos 750 m, deve-se possivelmente a uma acentuada progressão da aridez nestas altitudes, do litoral para o interior, que condiciona diferenças importantes no uso do solo. A variação regional obtida na exposição pode derivar de diferenças no relevo e no uso do solo. De acordo com a leitura Heyerdahl *et al.* (2001), o facto da região A. Portugal ter um relevo menos acentuado poderá contribuir para uma menor diferenciação microclimática das encostas, e conseqüentemente dos índices de selecção. Estas hipóteses precisam de ser confirmadas com trabalho posterior, designadamente através da distribuição proporcional, nas três regiões, do uso do solo nas classes de atitude, e de uma análise climática mais detalhada.

O efeito da disponibilidade regional e dos padrões de ignição, na variação regional do índice de selecção, tem sido discutido em diferentes trabalhos nos seguintes termos: em que medida a maior disponibilidade de um tipo de vegetação ou a maior incidência de ignições sobre determinado tipo eleva os coeficientes médios de selecção. A primeira influência é examinada por Moreira *et al.* 2009, que identifica correlações positivas entre a variação dos coeficientes e a disponibilidade regional nalguns tipos de cobertos: floresta de eucalipto, de resinosas, mista de resinosas e eucalipto, e floresta de folhosas. Este resultado indica que a susceptibilidade ao fogo destes cobertos aumenta com o aumento da superfície

por eles ocupada. Repare-se, por outro lado, que a elevada proporção das culturas anuais na área de estudo, semelhante à dos matos, coabita com o facto deste coberto ser dos mais evitados pelo fogo. No que respeita aos padrões de ignição, note-se que a utilização de áreas ardidas superiores a 5 ha dilui o efeito destes padrões, pois quanto maior a área ardida, menos importância tem a origem da ignição. Catry *et al.* (2007, submetido) estudou os padrões de ignição em Portugal continental, a partir de uma amostra de 127 490 ignições ocorridas no período 2000-2005, e mostra que cerca de 60% ocorre em áreas agrícolas e cerca de 7 % nos matos (classes ocupação arbustiva e vegetação dispersa), o que sugere a inexistência de uma correlação forte entre estes padrões e os padrões de propagação e incidência do fogo.

Por último, na espacialização da relação entre fogo e paisagem participam também, para além dos factores naturais tidos em conta na regionalização ecológica, factores culturais, como as práticas agro-florestais, a organização da propriedade rural, os padrões de ignição e as estratégias de combate ao fogo, que não se confinam necessariamente às fronteiras de regiões ecológicas. Neste sentido seria proveitoso, em alternativa à utilização de regiões ecológicas, testar uma metodologia inversa que permitisse definir regiões com base na espacialização de padrões de fogo.

Efeito da dimensão da área ardida na selectividade

As diferentes classes definidas para o tamanho de fogo, não correspondem necessariamente a diferentes intensidades da frente de fogo, factor apontado como determinante na perda de selectividade da propagação do fogo. Não é possível afirmar que um fogo que percorre 35 ha tenha uma frente de fogo mais intensa que um fogo que percorre 10 ha. Neste estudo, o espectro de dimensões da amostra não permitiu trabalhar com classes mais afastadas, que garantam diferenças significativas na intensidade. A classificação de fogos por intensidade, não disponível de momento, constituiria uma ferramenta mais poderosa no estudo da influência da intensidade do fogo sobre a selectividade. Não obstante, o estudo da evolução dos padrões de selecção com o tamanho do fogo permite concluir que as principais características detectadas na análise global - o fogo evita o patamar 0-250 m e a exposição sul, prefere os declives maiores e marcadamente os matos, e evita os espaços agrícolas e agro-florestais - persistem em todas as classes de dimensão de fogo. A preferência por matos reduz-se progressivamente com o aumento do tamanho do fogo, mas sem nunca deixar de constituir o único coberto vegetal

preferido. Os espaços agrícolas e agro-florestais são os mais evitados pela propagação do fogo, mesmo para áreas ardidas superiores a 500 ha. Em relação aos cobertos florestais, observa-se que a posição relativa dos índices de selecção conserva-se com o aumento da área ardida. Os resultados de Nunes (2004) mostram que nas classes de fogos de maiores dimensões (superior a 1000 ha e a 1500 ha) a preferência pela classe ocupação arbustiva reduz-se e é substituída pela classe pinheiro bravo/manso/outras resinosas. A suplantação dos matos por resinosas não se verifica neste trabalho, mas note-se que tal ocorre para tamanhos de fogo superiores aos disponíveis na amostra deste trabalho. No que se refere às variáveis topográficas, o facto dos índices de selecção serem pouco influenciados pelas variações na dimensão da área ardida patenteia que a propagação do fogo em relação a estas variáveis é pouco dependente da intensidade do fogo.

Recorrendo aos resultados de trabalhos que se debruçam sobre a relação das condições meteorológicas e a ocorrência de fogos em Portugal, percebe-se que grande parte da área ardida é consequência de um pequeno número de grandes fogos, concentrados em apenas alguns dias por ano com condições meteorológicas excepcionais. Pereira *et al.* (2005, 2006) demonstram que no período 1980-2000, 80% da área ardida em Portugal resulta de fogos que ocorrem no Verão, reunidos em apenas cerca de 12 dias por ano com condições meteorológicas extremas muito específicas. Trigo *et al.* (2006) estudam o ano 2003 e a respectiva época de fogos devastadora, obtendo o mesmo tipo de relação.

Deste modo, considerando que os padrões de selecção obtidos demonstram que a estrutura da paisagem - o mosaico de tipos de vegetação associado à topografia – mantém a sua influência sobre a propagação dos fogos de grandes dimensões e que poderá, eventualmente, contribuir para retardar a propagação de grandes fogos; e considerando também, como refere Pereira *et al.* (2006), que a extrema concentração da área ardida, tanto no espaço como no tempo, torna extremamente caro e complexo instalar uma estrutura de combate ao fogo capaz de concentrar a sua actividade em apenas alguns dias por ano; conclui-se que na gestão do fogo à escala da paisagem é mais eficaz dar prioridade às vertentes do planeamento e prevenção. As conclusões de Nunes (2004) salientam precisamente estas duas dimensões: a tendência para o combustível constituir o factor determinante no percurso do fogo e o facto dos fogos grandes ocorrerem sob condições atmosféricas extremas.

A relação entre o tamanho de fogo e a estrutura da paisagem necessita de desenvolvimentos futuros, através, por exemplo, da aplicação de métricas da paisagem que

permitam estabelecer relações entre padrões de composição e fragmentação da paisagem e a dimensão de incêndios rurais.

Análise regional

A análise à escala regional permite, por um lado, olhar para os padrões de selecção no contexto da incidência do fogo na região em estudo, e por outro, avaliar o co-variância dos efeitos do uso do solo, altitude, declive e exposição solar na propagação do fogo. Desde logo, salta à vista a relação entre os padrões de selecção obtidos e a distribuição proporcional apresentada na figura 16. A relação entre a proporção ardida e disponível expressa na figura é, em praticamente todas as classes, idêntica à relação dada pelos coeficientes de selecção. Isto é, um coeficiente de selecção positivo indica que a proporção da classe na área ardida é superior à proporção na área disponível. Tal demonstra o papel decisivo da selectividade do fogo na configuração dos padrões de incidência à escala regional.

Em relação à variável altitude, seria de esperar de acordo com os trabalhos revistos, que a distribuição regional fornecesse um padrão de incidência, que se pudesse relacionar indirectamente com a densidade populacional, padrões de ignição, ocupação do solo e gradientes climáticos de precipitação e temperatura do ar. Porém, os resultados não permitem estabelecer relações claras. Os resultados mostram, sem avaliação do significado estatístico, que a maior extensão ardida ocorre no patamar 500-750 m e que as altitudes acima dos 250 m arderam numa proporção superior ao disponível, verificando-se o inverso abaixo dos 250 m. Este padrão é contrário ao padrão de ignição determinado por Catry *et al.* (2007, submetido) que mostra que a grande maioria das ignições ocorrem abaixo dos 500 metros. A oposição sugere que a propagação do fogo, em acordo com o padrão de selecção obtido, encontra mais obstáculos e é mais retardada nas altitudes baixas, por acção provavelmente de um conjunto factores: maior eficácia na detecção e combate ao fogo, maior fragmentação do uso do solo e maior presença de usos não combustíveis (*e.g.* meio urbano) ou pouco propensos a arder (*e.g.* espaços agrícolas). Como se viu, as altitudes inferiores a 250 m ocorrem sobretudo na faixa litoral, densamente povoada, o que origina simultaneamente numerosas ignições, mas uma rápida detecção dos focos de incêndio (*e.g.* Pereira *et al.* 2006). Segundo estes autores, a forte concentração de ignições em zonas com elevada densidade populacional tem “um potencial muito reduzido para dar origem a

grandes incêndios e, como tal, não devem constituir o principal foco de preocupação das políticas de defesa da floresta contra os incêndios”.

Relação entre o coberto vegetal e as variáveis topográficas

A distribuição proporcional das classes topográficas nas classe de uso do solo, expressa na figura 17, permite retirar algumas conclusões sobre o efeito acumulado das variáveis topográficas e do uso do solo na ocorrência dos incêndios rurais.

1. Todos os tipos de vegetação, com excepção das florestas mistas de resinosas e eucaliptos, arderam na exposição sul de acordo com o padrões globais de propagação e incidência determinados. Tal sugere que a redução do risco de incêndio nestas vertentes, produzido pelas diferenças no uso do solo já descritas, tem efeito sobre os vários tipos de vegetação, incluindo até os matos. A maior presença do mosaico agro-florestal reduz, globalmente, o risco de incêndio sobre a paisagem.

2. O padrão de selecção global do declive é visível em praticamente todos os cobertos vegetais, donde se conclui, que, independentemente da susceptibilidade de cada coberto ao fogo, o declive desempenha um papel fundamental no aumento do risco de incêndio. O efeito do declive acumula com o efeito do uso do solo.

3. Observa-se uma correlação forte, entre a preferência do fogo por matos e por declives acentuados, que não permite isolar os dois efeitos: os padrões de selecção determinam uma preferência clara por ambas as classes, 58% da área de mato na região encontra-se em declives superiores a 15%, e 40% da área ocupada por estes declives corresponde a matos. Existe portanto uma sobreposição importante entre as áreas de matos e de declives acentuados, onde se acumulam os efeitos de susceptibilidade ao fogo. Deste modo, não é possível isolar a preferência detectada por matos do efeito do declive e vice-versa. Esta relação promove, provavelmente, a manutenção (ou mesmo expansão) da área de matos nos declives maiores, através da interrupção persistente da sucessão ecológica. A análise da recorrência do fogo nestes declives, em associação com o coberto vegetal, poderá explicitar melhor esta hipótese.

4. Quando as distribuições proporcionais na área ardida e na região, expressas na figura 17, se assemelham, pode concluir-se que o tipo de vegetação em causa é insensível ao efeito topográfico. Por exemplo, a floresta de eucalipto, pouco propensa ao fogo, não parece sensível ao efeito da exposição e declive, assim como os matos, muito propensos a

arder. No primeiro caso, poderá apontar-se a melhor gestão e protecção da floresta como factor minimizador dos efeitos topográficos, enquanto no segundo, a elevada propensão para arder dilui a importância daqueles efeitos.

5. CONCLUSÃO

A ocorrência de incêndios rurais não é indiferente à estrutura da paisagem. Os resultados deste estudo mostram que o percurso do fogo desenha uma preferência em relação às diferentes classes de uso do solo, altitude, declive e exposição solar. Durante a propagação, o uso do solo constitui o factor determinante, predominando sobre os efeitos do relevo. Há uma preferência significativa e persistente por matos e por declives acentuados. No mosaico agro-florestal encontram-se os cobertos vegetais mais evitados pelo fogo, que contribuem deste modo para reduzir o risco de incêndio nas baixas altitudes e vertentes expostas a sul, de acordo com os resultados obtidos à escala regional. Os cobertos florestais são igualmente evitados, mas mais propensos a arder que os últimos, todavia não é possível distinguir claramente a variação na susceptibilidade entre os diferentes tipos de floresta. A floresta de eucalipto é aparentemente a mais evitada dentro destes devido ao tipo de gestão que caracteriza estas parcelas (Moreira *et al.* 2009). Os resultados relativos às restantes espécies folhosas autóctones são contraditórios, não permitindo esclarecer o papel destas no comportamento do fogo.

O declive tem uma influência relevante e directa na propagação do fogo, secundando a importância do uso do solo, que deriva fundamentalmente da geometria entre a frente de fogo e o terreno e da co-variação do tipo de combustível com o declive. A frente de fogo tende a propagar-se no sentido do maior declive, onde o menor ângulo com o terreno implica uma maior radiação incidente sobre os combustíveis. Este fenómeno traduz-se no facto dos incêndios subirem geralmente as encostas. Por outro lado, a abordagem regional mostra que o mato ocorre sobretudo nos declives acentuados, pelo que a preferência do fogo por ambas as classes se acumula em vastas áreas. Na análise dos padrões de selecção não se pode portanto isolar os dois efeitos. A escala regional permite confirmar também a influência do declive no aumento do risco de incêndio, uma vez que o padrão de selecção do declive é visível em praticamente todos os tipos de vegetação. A forte relação entre matos e declive promove, provavelmente, a manutenção (ou mesmo expansão) da área de matos nos maiores declives, mediante a interrupção persistente da sucessão ecológica, resultado de um elevado risco de incêndio. A cartografia de recorrência do fogo poderá validar esta hipótese.

É possível afirmar assim que o declive tem sobretudo um efeito de amplificação e atracção na propagação do fogo sobre a vegetação. Em geral, estes resultados são

consistentes com outros estudos, que realçam igualmente a influência predominante dos combustíveis e do declive na propagação (*e.g.* Mermoz *et al.* 2005, Gonzalez *et al.* 2007)

Os padrões de selecção da altitude e exposição solar podem ser explicados em parte pela relação destas variáveis com o uso do solo. As baixas altitudes são evitadas pelo fogo e, regionalmente, arderam em proporções inferiores ao disponível, distinguindo-se dos restantes patamares de altitude, por apresentarem proporções superiores de áreas não combustíveis e espaços agrícolas, e proporções inferiores de matos. São igualmente as zonas com maior densidade populacional. Para além deste resultado, a altitude não tem uma influência significativa na propagação do fogo. Na escala regional, a relação da altitude com a incidência do fogo necessita de clarificação, mediante, por exemplo, a aplicação de modelos probabilísticos de risco de incêndio. As vertentes sul são ligeiramente evitadas pelo fogo, em oposição aparente com os resultados de vários autores (Mermoz *et al.* 2005, Heyerdahl *et al.* 2001 e Gonzalez *et al.* 2007), que determinam uma relação inversa. Repare-se que as vertentes mais quentes e secas (xéricas) são aqui as menos propensas a arder. Este resultado pode explicar-se, tendo em conta a ocupação do solo na área de estudo - as vertentes sul apresentam a maior proporção de espaços agrícolas e agro-florestais - que produz um efeito que domina sobre o efeito microclimático de sentido contrário. Em estudos sobre incêndios rurais, os dois factores topográficos em causa são utilizados, em geral, para representar de forma indirecta o efeito dos gradientes climáticos e da distribuição da vegetação, e por acção destes, a variação nas práticas de gestão agro-florestal. Trabalhos futuros deverão testar a utilização, em alternativa, de variáveis bioclimáticas definidas com base nas características principais da ocorrência de fogos: nível de produtividade de biomassa vegetal e duração do período seco estival.

Considerando os resultados deste trabalho, assim como algumas conclusões relevantes de outros estudos sobre incêndios rurais em Portugal, compreende-se a importância da prevenção, nomeadamente o desenvolvimento de estratégias de gestão da paisagem contra o fogo, na redução do risco de incêndio. De seguida enumeram-se os principais resultados que fazem sobressair a gestão da paisagem como o ponto chave no controlo do risco de incêndio:

- O padrão global de selecção do fogo, na área de estudo, reforça a relação causal entre abandono agrícola e aumento da área florestal, verificada na segunda metade do século XX, e o aumento do risco de incêndio na região Mediterrânea, como sugerida, entre

outros, por Moreira *et al.* (2001, 2009), uma vez que os cobertos mais evitados pelo fogo (culturas anuais e permanentes) são substituídos por cobertos mais propensos a arder (matos e floresta).

- O padrão de incidência do fogo, determinado na escala regional, revela uma influência marcada dos padrões de selecção determinados na propagação do fogo, consolidando a importância da estrutura da paisagem no controlo do risco de incêndio.

- Os resultados indicam que a selectividade do fogo se mantém nos fogos de grandes dimensões, muito embora este resultado necessite de validação futura.

- A área ardida anual em Portugal deriva sobretudo de alguns incêndios muito grandes, associados a condições meteorológicas extremas, como ondas de calor (Pereira *et al.* 2003, 2005, 2006; Trigo *et al.* 2006). Perante este regime de fogo, os primeiros autores concluem que é extremamente caro, complexo e pouco eficaz manter uma estrutura de combate ao fogo capaz de concentrar a sua actividade em apenas alguns dias por ano.

- De acordo com Pereira *et al.* (2006), citando resultados de vários trabalhos, cerca de 2/3 da variabilidade inter-anual da área ardida é explicada pela variabilidade inter-anual das condições meteorológicas. Daqui concluem sobre a ineficácia do sistema nacional de prevenção, detecção e combate aos incêndios.

A metodologia desenvolvida neste trabalho é de aplicação simples, exigindo apenas a disponibilidade de um modelo digital de terreno, de preferência com resolução inferior a 90 metros, e uma classificação do uso do solo. Os resultados produzidos fornecem um conhecimento detalhado sobre os padrões de propagação e incidência dos incêndios rurais útil para a definição de estratégias de redução do risco de incêndio à escala da paisagem.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albuquerque, J. P. M. 1965.** Regiões Naturais, Sub-regiões e Agrotipos de Portugal. escala 1/500 000. Direcção Geral dos Serviços Agrícolas. Lisboa; Atlas do Ambiente (1985).
- Atlas do Ambiente Digital.** Agência Portuguesa do Ambiente, Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Disponível em <http://www2.apambiente.pt/atlas/est/index.jsp> [verificado a 9 de Fevereiro de 2009]
- Albuquerque, J. P. M. (1982)** - Carta Ecológica Fito-Edafo-Climática. Escala 1/1 000 000. Atlas do Ambiente. Comissão Nacional do Ambiente. Lisboa.
- Bajocco S., Ricotta C. 2007.** Evidence of selective burning in Sardinia (Italy): which land-cover classes do wildfires prefer? *Landscape Ecology*.
- Bastian O. 2001.** Landscape Ecology – towards a unified discipline? *Landscape Ecology* 16: 757–766.
- Catry F. X., Damasceno P., Silva J. S., Galante M. e Moreira F. 2007.** Spatial distribution patterns of wildfire ignitions in Portugal. Proceedings of the 4th International Wildland Fire Conference. CD Rom (10 pp.). Seville, Spain.
- Catry F. X., Rego F. C., Bação F. L. e Moreira F. (submetido).** Modelling and mapping the occurrence of wildfire ignitions in Portugal. *International Journal of Wildland Fire*.
- Catry F. X., Rego F. C., Moreira F. e Bação F. 2008.** Characterizing and modelling the spatial patterns of wildfire ignitions in Portugal: fire initiation and resulting burned area. In: de las Heras J, Brebbia CA, Viegas D, Leone V (Eds.) *International Conference on Modelling, Monitoring and Management of Forest Fires*. WIT Press, vol. 119, pp: 213-221, Espanha.
- CNIG 1990.** COS'90, Carta de Ocupação do Solo de Portugal continental. <http://www.igeo.pt/produtos/CEGIG/COS.htm>.
- Costa, J. C., Aguiar, C., Capelo, J. H., Lousã, M. e Neto, C. 1998.** Biogeografia de Portugal continental. *Quercetea* 1: 5–56.
- Cumming S. G. 2001.** Forest type and wildfire in the Alberta boreal mixedwood: what do fires burn? *Ecological Applications*, 11: 97-110.
- Díaz-Delgado R., Lloret F., Pons X. 2004.** Spatial patterns of fire occurrence in Catalonia, NE, Spain, *Landscape Ecology* 19: 731–745.
- Díaz-Delgado R., Pons X. 2001.** Spatial patterns of forest fires in Catalonia (NE of Spain) along the period 1975-1995. Analysis of vegetation recovery after fire. *Forest Ecology and Management* 147: 67-74.
- Fernandes P. 2007.** Entender porque arde tanto a floresta em Portugal. In: Silva J. S. (Ed.). *Proteger a Floresta - Incêndios, pragas e doenças*. p. 69-91. Vol. VIII de Silva J. S. (Ed.), 2007, *Colecção Árvores e Florestas de Portugal*, Jornal Público/Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento/Liga para a Protecção da Natureza, Lisboa, 9 vol.
- Freire S., Carrão H. e Caetano, M. R. 2002.** Produção de Cartografia de Risco de Incêndio Florestal com Recurso a Imagens de Satélite e Dados Auxiliares. In *ESIG 2002*, Lisboa. <http://www.igeo.pt/gdr/pdf/Freire2002.pdf> [verificado a 10 de Fevereiro de 2009]

- Geiger R. 1961.** Manual de microclimatologia, o clima da camada de ar junto ao solo. Fundação Calouste Gulbenkian, 2ª edição, Lisboa, 556 pp.
- González J. R., Palahí M. e Pukkala T. 2005.** Integrating fire risk considerations in forest management planning in Spain – a landscape level perspective. *Landscape Ecology* 20: 957–970.
- González J. R., Kolehmainen O. e Pukkala T. 2006.** Using expert knowledge to model forest stand vulnerability to fire. *Computers and Electronics in Agriculture* 55: 107–114
- González J. R. e Pukkala T. 2007.** Characterization of forest fires in Catalonia (north-east Spain). *Eur J Forest Res* 126: 421–429.
- Heyerdahl E. K., Brubaker L. B. e Agee J. K. 2001.** Spatial controls of historical fire regimes: a multiscale example from the interior west, USA. *Ecology*, 82: 660–678
- IGP. 1990.** Carta de Ocupação do Solo - COS' 90 (1: 25 000). Instituto Geográfico Português, 1990. Disponível em www.igp.pt [verificado a 13 de Outubro de 2008]
- IGP. 1988.** Carta CORINE Land Cover (1985-1987). 1ª edição. Instituto Geográfico Português. Disponível em www.igp.pt [verificado a 13 de Outubro de 2008]
- Lloret F., Calvo E., Pons X. e Díaz-Delgado R. 2002.** Wildfires and landscape patterns in the Eastern Iberian Peninsula. *Landscape Ecology* 17: 745–759.
- Magalhães M. R. 2001.** A Arquitectura paisagista, morfologia e complexidade. Editorial Estampa, Lisboa, 525 pp.
- Manly B., McDonald L. L. e Thomas D. L. 1993.** Resource selection by animals: statistical design and analysis for field studies. Chapman and Hall, London.
- Matos J. L. 2001.** Fundamentos de Informação Geográfica. 2ª Edição, Lidel, Lisboa.
- Mermoz M., Kitzberger T. e Veblen T. T. 2005.** Landscape influences on occurrence and spread of wildfires in Patagonian forests and shrublands. *Ecology* 86: 2705-2715.
- Mesquita S. 2005.** Modelação bioclimática de Portugal Continental. Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre em Sistemas de Informação Geográfica, Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Monteiro Alves A., Devy-Vareta N., Oliveira A. e Pereira J. S. 2006.** A floresta e o fogo através dos tempos. *In* Incêndios florestais em Portugal - caracterização, impactes e prevenção. Ed. Pereira J.S. *et al.*, ISAPress, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, pp. 15-40.
- Moreira F., Rego F. e Ferreira P. 2001.** Temporal (1958-1995) pattern of change in a cultural landscape of northwestern Portugal: implications for fire occurrence. *Landscape Ecology* 16: 557-567.
- Moreira F., Vaz P.J.G., Catry F.X. e Silva J.S. 2009.** (submetido) Regional variations in wildfire preference for land cover types in Portugal: implications for landscape management to minimize fire hazard. *International Journal of Wildland Fire*.
- Moritz M. A. 2003.** Spatiotemporal analysis of controls on shrubland fire regimes: age dependency and fire hazard. *Ecology*, 84, pp. 351–361.
- NASA, NIMA, DLR, ASI. 2004.** Digital elevation model. National Aeronautics and Space Administration (NASA); National Imagery and Mapping Agency (NIMA); German space agency (DLR); Italian space agency (ASI). Disponível em <ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm> [verificado a 13 de Outubro de 2008]

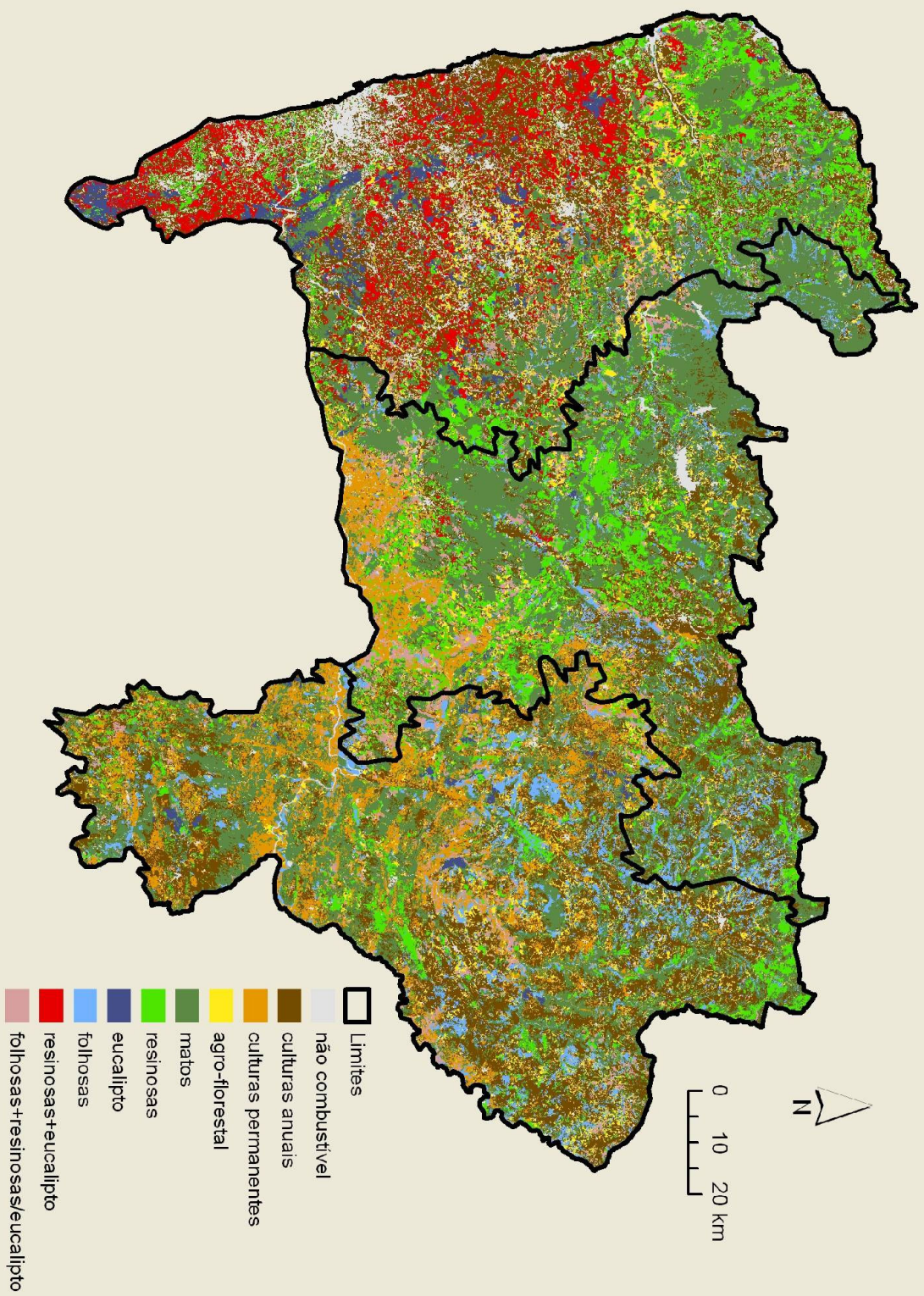
- Nunes, M. C. 2004.** A selectividade do fogo face ao coberto do solo e à topografia. Tese de Doutoramento, Centro de Cartografia, Instituto de Investigação Científica e Tropical, Lisboa, 139 pp.
- Nunes, M. C., Vasconcelos, M. J., Pereira, J. M., Dasgupta, N., Alldredge, R. J. e Rego, F. C. 2005.** Land cover types and fire in Portugal: do fires burn land cover selectively? *Landscape Ecology* 20: 661-673.
- Pereira, J. M. e Santos, T. N. 2003.** Fire risk and burned area mapping in Portugal. *Direção Geral das Florestas, Lisboa, Portugal.*
- Pereira J. M., Carreiras J. M., Silva J. M. e Vasconcelos M. J. 2006.** Alguns conceitos básicos sobre os fogos rurais em Portugal. *In* Incêndios florestais em Portugal - caracterização, impactes e prevenção. Ed. Pereira J.S. *et al.*, ISAPress, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, pp. 133-161.
- Pereira M. G., Trigo R. M., Da Camara C. C., J. M. Pereira e Leite S. M. 2005.** Synoptic patterns associated with large summer forest fires in Portugal. *Agricultural and Forest Meteorology* 129: 11–25.
- Pyne, S. J. 2006.** Fogo no jardim: compreensão do contexto de incêndios em Portugal. *In* Incêndios florestais em Portugal - caracterização, impactes e prevenção. Ed. Pereira J.S. *et al.*, ISAPress, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, pp. 115-132.
- Rego F. 1992.** Land use changes and wildfires. In: Teller, A., Mathy, P. and Jeffers, J.N.R. (eds) *Responses of Forest Ecosystems to Environmental Changes.* Elsevier Applied Science. London, UK, pp. 367–373.
- Rivas-Martínez S. 1987.** Memoria del Mapa de Series de Vegetación de España 1:400000. ICONA. Madrid. 268 pp.
- Rivas-Martínez S., Díaz T. E., Fernández-González F., Izco J., Lousã M. e Penas. 2002.** Vascular Plant Communities of Spain and Portugal. Addenda to the Syntaxonomical checklist of 2001. *Itinera Geobotanica* 15(1): 5-432.
- Silva J. M. 1990.** La gestion forestière et la silviculture de prevention des espaces forestiers menacés par les incendies au Portugal. *Rev. Forest. Française* 40 (nº spécial): 337–345.
- Silva J. S. e Rego F. C. 2007.** O fogo enquanto factor natural. *In:* Silva J. S. (Ed.). *Proteger a Floresta - Incêndios, pragas e doenças.* p. 15-39. Vol. VIII de Silva J. S. (Ed.), 2007, Coleção Árvores e Florestas de Portugal, Jornal Público/Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento/Liga para a Protecção da Natureza, Lisboa, 9 vol.
- SIAM. 2002.** Climate Change in Portugal. Scenarios, Impacts and Adaptation Measures. F. D. Santos, K. Forbes, R. Moita (editores), Gradiva, Lisboa.
- Trigo R. M., Pereira J. M., Pereira M. G., Mota B., Calado T. J., Da Camara C. C. e Santo F. E. 2006.** Atmospheric conditions associated with the exceptional fire season of 2003 in Portugal. *Int. J. Climatol.* 26: 1741–1757.
- Turner, M. G. e Dale, V. H. 1990.** Modeling landscape disturbance. In: Turner, M.G. and Gardner, R.H. (eds), *Quantitative methods in landscape ecology. The analysis and interpretation of landscape heterogeneity.* Springer Verlag, New York, pp. 323-351.
- Ventura J. e Vasconcelos M. J. 2006.** O fogo como processo físico-químico e ecológico. *In* Incêndios florestais em Portugal - caracterização, impactes e prevenção. Ed. Pereira J.S. *et al.*, ISAPress, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, pp. 93-114.

Verde J., Zêzere J. L. 2007. Avaliação da perigosidade de incêndio florestal, Actas do VI Congresso da Geografia Portuguesa, 17-20 de Outubro de 2008, UNL, Lisboa (em publicação)

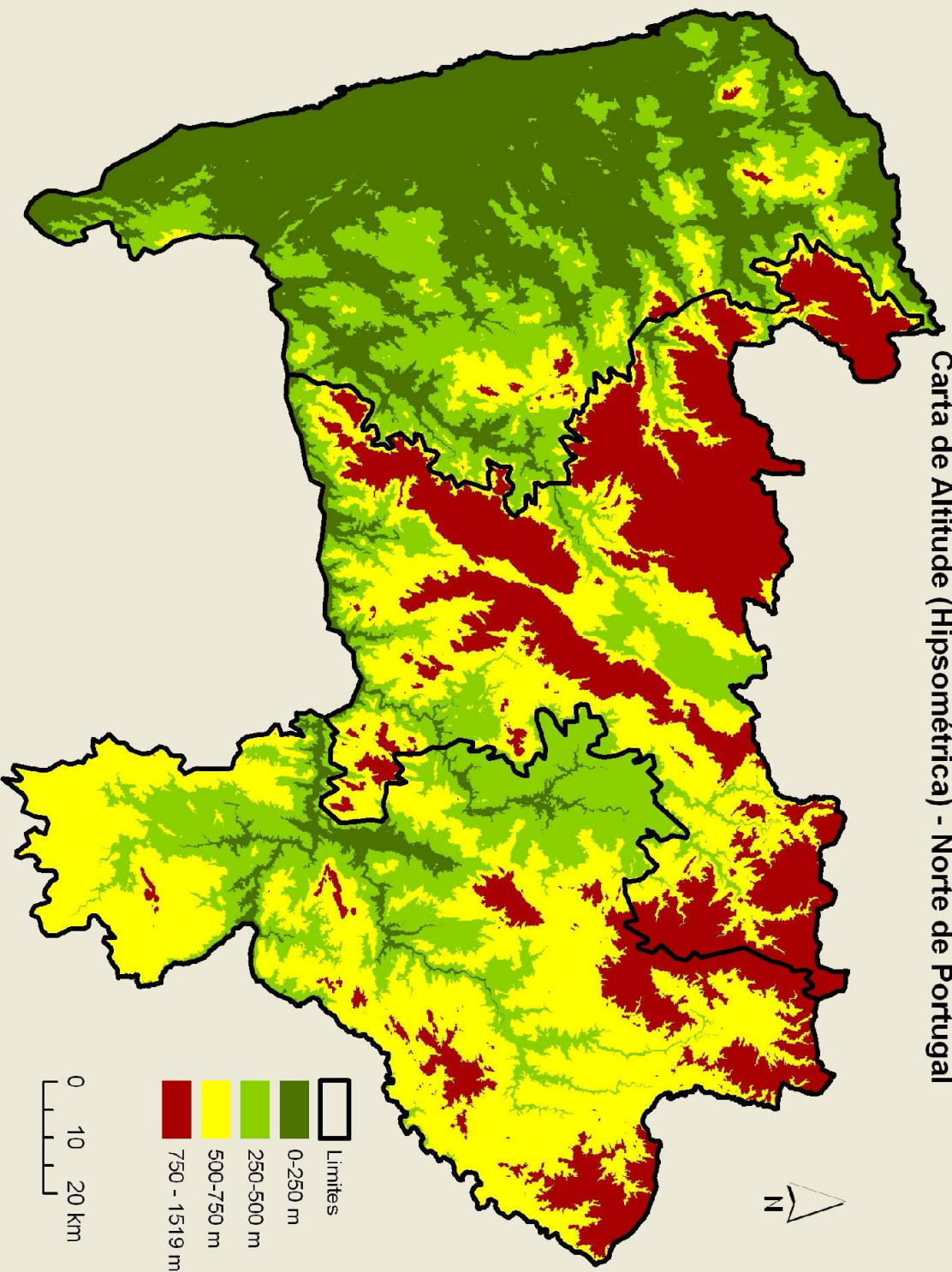
WBCS. 2002. Review of definitions: Phytosociologic, bioclimatic and biogeographic terms, notions and units. Worldwide Bioclimatic Classification System (WBCS), Phytosociological Research Center e Universidad Complutense de Madrid. Disponível em www.globalbioclimatics.org [verificado a 24 de Fevereiro de 2009].

7. ANEXO I – CARTAS TOPOGRÁFICAS E DE USO DO SOLO

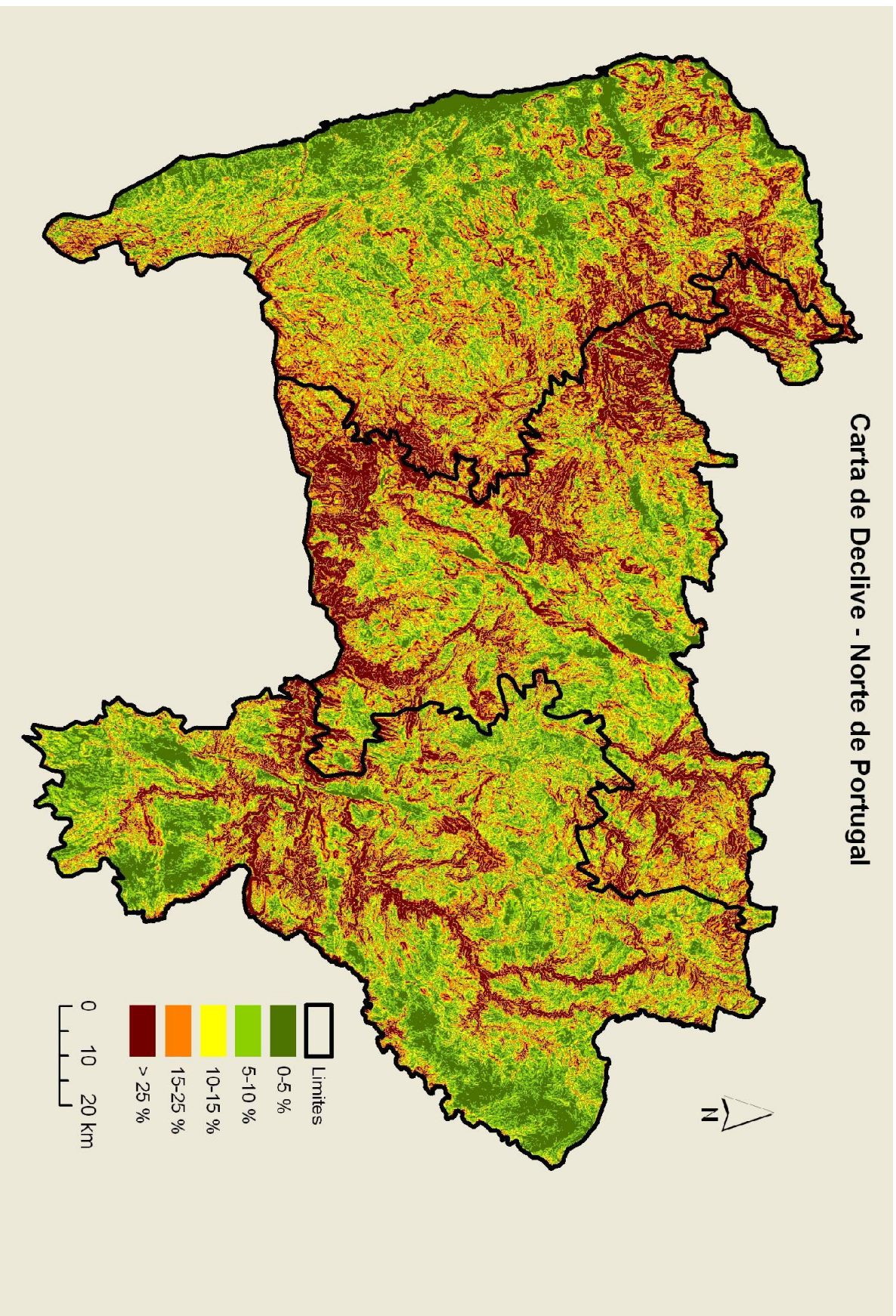
Carta de Ocupação do Solo - Norte de Portugal



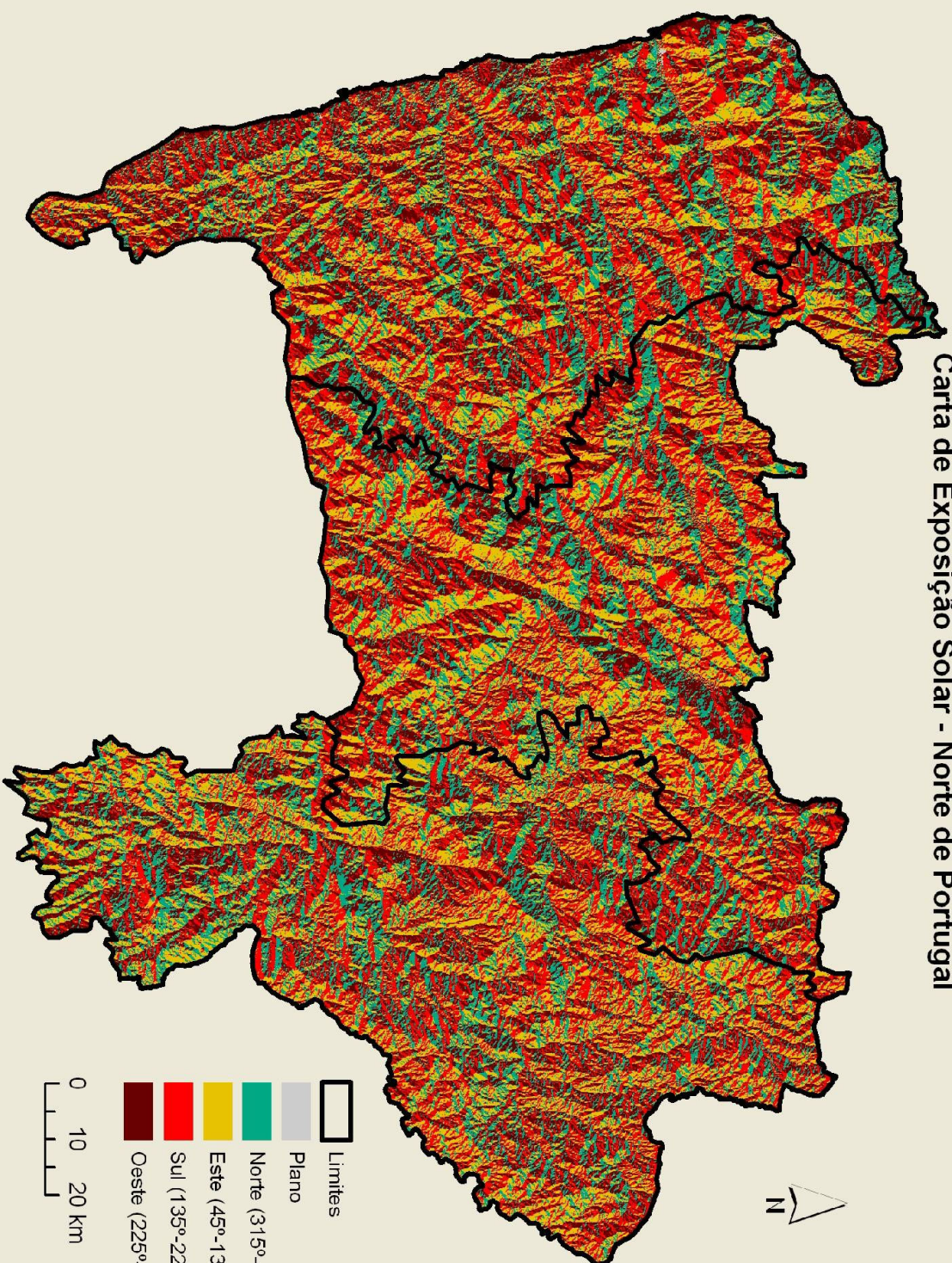
Carta de Altitude (Hipsométrica) - Norte de Portugal



Carta de Declive - Norte de Portugal



Carta de Exposição Solar - Norte de Portugal



8. ANEXO II – TABELA DE EQUIVALÊNCIA DA LEGENDA DA CARTA DE OCUPAÇÃO DO SOLO 1990 (COS' 90) E A CLASSIFICAÇÃO UTILIZADA NO ESTUDO

Tabela 3: Matriz de equivalências entre a legenda da Carta de Ocupação do Solo de 1990 (COS' 90) (IGP 1990) e a classificação utilizada no presente estudo .

Carta de Ocupação do Solo de 1990 - COS' 90		Nova classificação
1 - ÁREAS ARTIFICIAIS		
Espaço Urbano		
UU1	Tecido Urbano contínuo	Não Combustível
UU2	Tecido Urbano descontínuo	Não Combustível
UU9	Outros espaços fora do tecido urbano consolidado	Não Combustível
Infraestruturas e Equipamentos		
SW1	Zonas industriais e comerciais	Não Combustível
SW2	Vias de comunicação (Rodoviárias e ferroviárias)	Não Combustível
SW3	Zonas portuárias	Não Combustível
SW4	Aeroportos	Não Combustível
SL1	Equipamentos para desporto e lazer	Não Combustível
SW9	Outras infraestruturas e equipamentos	Não Combustível
Improdutivos		
JJ1	Pedreiras, saibreiras, minas a céu aberto	Não Combustível
JJ2	Lixeiros, descargas industriais e depósitos de sucata	Não Combustível
JJ3	Estaleiros de construção civil	Não Combustível
JJ9	Outras áreas degradadas	Não Combustível
Espaços verdes artificiais		
SL1	Espaços verdes urbanos (florestais)	Não Combustível
SL2	Espaços verdes (não florestais) para as actividades desportivas e de lazer	Não Combustível
2 - ÁREAS AGRÍCOLAS		
Terras aráveis - Culturas anuais		
CC1	Sequeiro	Culturas Anuais
CC2	Regadio	Culturas Anuais
CC3	Arrozais	Culturas Anuais
CC9	Outros (estufas, viveiros, etc)	Culturas Anuais
Vinha		
VV1	Vinha	Culturas Permanentes
VA1	Vinha + Pomar	Culturas Permanentes
VO1	Vinha + Olival	Culturas Permanentes
VC1	Vinha+ Cultura anual	Culturas Permanentes
Pomar		
AA1	Citrinos	Culturas Permanentes
AA2	Pomoideas	Culturas Permanentes
AA3	Prumoideas (sem a amendoeira)	Culturas Permanentes

AA4	Amendoeiras	Culturas Permanentes
AA5	Figueiras	Culturas Permanentes
AA6	Alfarrobeiras	Culturas Permanentes
AA9	Outros pomares	Culturas Permanentes
AAx	Mistos de pomares	Culturas Permanentes
AC(1-x)	Pomar + Cultura anual	Culturas Permanentes
AV(1-x)	Pomar + Vinha	Culturas Permanentes
AO(1-X)	Pomar + Olival	Culturas Permanentes
Olival		
OO1	Olival	Culturas Permanentes
OC1	Olival + Cultura anual	Culturas Permanentes
OV1	Olival + Vinha	Culturas Permanentes
OA1	Olival + Pomar	Culturas Permanentes
Outras arbustivas		
DD1	Medronheiro	Matos
DD9	Outras arbustivas	Matos
Prados permanentes		
GG1	Prados e lameiros	Culturas Anuais
Áreas agrícolas heterogéneas		
Culturas anuais associadas a culturas permanentes		
CV(1-x)	Culturas anuais + Vinha	Culturas Anuais
CA(1-2)	Culturas anuais + Pomar	Agro-Florestal
CO(1-2)	Culturas anuais + Olival	Agro-Florestal
CX1	Sistemas culturais e parcelares complexos	Culturas Anuais
CI(1-2)	Áreas principalmente agrícolas com espaços naturais importantes	Culturas Anuais
Territórios agro-florestais		
C+_0	Culturas anuais + espécie florestal	Agro-Florestal
_+C(1-2)	Espécie florestal + culturas anuais	Agro-Florestal
3 - FLORESTA		
Código para o coberto florestal		
0	grau de coberto inferior a 10%	Agro-Florestal
1	grau de coberto de 10% a 30 %	Floresta
2	grau de coberto de 30% a 50 %	Floresta
3	grau de coberto superior a 50%	Floresta
4	corte raso ou fogo	Matos
5	zona verde urbana ou de protecção	Em função do código
6	espécie espontânea	Em função do código
Folhosas		
BB+_	Sobreiro	Outras Folhosas
ZZ+_	Azinhreira	Outras Folhosas
TT+_	Castanheiro bravo	Outras Folhosas
NN+_	Castanheiro manso	Outras Folhosas
QQ+_	Carvalho	Outras Folhosas
EE+_	Eucalipto	Eucalipto
FF+_	Outras Folhosas	Outras Folhosas
Resinosas		

PP+_	Pinheiro bravo	Resinosas
MM+_	Pinheiro manso	Resinosas
RR+_	Outras resinosas	Resinosas
Povoamento florestal misto (Folhosas + Resinosas)		
Combinação das letras indicadas para cada espécie (máximo de duas) em que a primeira é a dominante ocupando as duas até 75% da superfície, seguida da indicação do grau de coberto (de 0 a 3)		Misto de Resinosas e Eucalipto / Misto de Folhosas e Resinosas ou Eucalipto
4 - MEIOS SEMI-NATURAIS		
Ocupação arbustiva e herbácea		
II1	Pastagens naturais pobres	Culturas Anuais
II2	Vegetação arbustiva baixa- matos	Matos
QQ6/FF6/ZZ6/BB6	Vegetação esclerofítica- carrascal	Matos
I_+0	Vegetação arbustiva alta e floresta degradada ou de transição	Matos
J_+0	Áreas descobertas sem ou com pouca vegetação	Matos
Espaços sem ou com pouca vegetação		
JY1	Praia, dunas, areais e solos sem cobertura vegetal	Não Combustível
JY2	Rocha nua	Matos
__+4	Zonas incendiadas recentemente	Matos
5 - MEIOS AQUÁTICOS		
Zonas húmidas continentais		
HY1	Zonas pantanosas interiores e paúls	Não Combustível
Zonas húmidas marítimas		
HY2	Sapais	Não Combustível
HY3	Salinas	Não Combustível
HY4	Zonas intertidais	Não Combustível
6 - SUPERFÍCIES COM ÁGUA		
Áreas continentais		
HH1	Cursos de água	Não Combustível
HH2	Lagoas e albufeiras	Não Combustível
Águas marítimas		
HH3	Lagoas e cordões litorais	Não Combustível
HH4	Estuários	Não Combustível
HH5	Mar e Oceano	Não Combustível

9. ANEXO III – MÁXIMO DO ÍNDICE DE SELECÇÃO

O índice de selecção (w_i) é calculado para cada classe i em cada fogo através da formalização seguinte, onde o_i é a proporção da classe i na parcela ardida e π_i é a proporção da classe i na área disponível.

$$[1] w_i = \frac{o_i}{\pi_i} = \frac{A_{iF}/A_F}{A_{iB}/A_B} \quad (\text{Manly } et al. 1993),$$

A_F e A_B representam as áreas da parcela e área disponível envolvente, respectivamente, e A_{iF} e A_{iB} representam as áreas ocupadas pela classe i na parcela ardida e na área disponível, respectivamente. O máximo de w_i corresponde à situação em que o numerador (A_{iF}/A_F) tem o valor máximo e o denominador o valor mínimo (A_{iB}/A_B) - que se verifica quando a proporção da classe i na área disponível arde totalmente sem que arda qualquer outra classe - é dado pela seguinte igualdade:

$$[2] A_{iF} = A_F = A_{iB} ,$$

donde

$$[3] w_{i(\max)} = \frac{o_{i(\max)}}{\pi_{i(\min)}} = \frac{A_F/A_F}{A_F/A_B} = \frac{1}{A_F/A_B} = \frac{A_B}{A_F}$$

O máximo da função índice de selecção é igual à razão entre a área disponível envolvente (A_B) e a área da parcela ardida (A_F)

10. ANEXO IV – OUTROS RESULTADOS

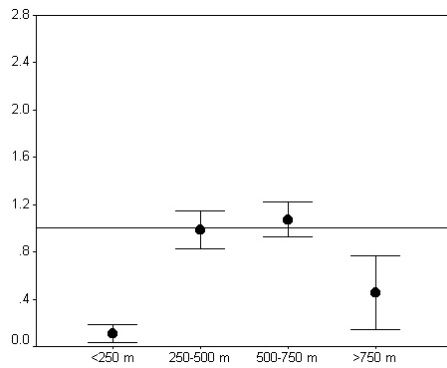


Figura 18: Valores médios dos índices de selecção com intervalo de confiança (95%) para as classes de altitude. São apenas considerados do universo de dados os fogos/buffers que apresentam 4 classes de altitude em simultâneo (n=147). As áreas abaixo dos 250 m são evitadas.

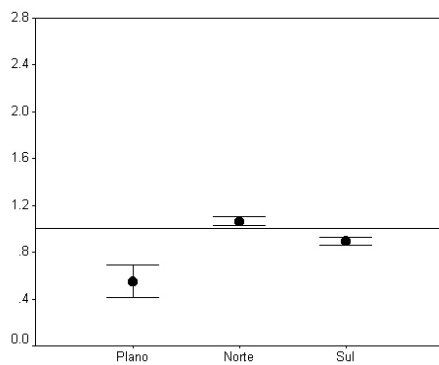


Figura 19: Valores médios dos índices de selecção com intervalo de confiança (95%) para classes de exposição. Muito embora os índices para o norte e sul se aproximem de 1, mostram uma tendência oposta com significado estatístico pois os intervalos de confiança não se sobrepõem.