

Universidade de Lisboa
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território



**Alterações de ocupação do solo e suscetibilidade a incêndios rurais:
o caso do Pinhal Interior**

Ana Rita dos Santos Rodrigues

Dissertação de Mestrado orientada pelo Prof. Doutor Eusébio Joaquim
Marques dos Reis

Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Modelação Territorial
aplicados ao Ordenamento

2021

Universidade de Lisboa
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território



**Alterações de ocupação do solo e suscetibilidade a incêndios rurais:
o caso do Pinhal Interior**

Ana Rita dos Santos Rodrigues

Dissertação de Mestrado orientada pelo Prof. Doutor Eusébio Joaquim
Marques dos Reis

Júri:

Presidente: Professor Doutor Fernando Jorge Pedro da Silva Pinto da Rocha do
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa

Vogais:

- Professor Doutor Paulo Pacheco de Castro Flores Ribeiro do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa
- Doutora Sandra Isabel Santos de Oliveira do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa
- Professor Doutor Eusébio Joaquim Marques dos Reis do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa

Esta dissertação de mestrado está enquadrada no projeto “As Pessoas e o Fogo” - Reduzir o risco, conviver com o risco (*People&Fire - Reducing risk, living with risk*; PCIF/AGT/0136/2017)

Agradecimentos

Com a conclusão desta dissertação quero agradecer ao meu orientador, o Prof. Doutor Eusébio Reis, pela orientação que me deu ao longo destes quase dois anos, mostrando sempre disponibilidade para me ajudar e por todo o apoio que me foi dado em cada obstáculo encontrado. Agradeço ainda ao projeto FCT “As Pessoas e o Fogo” (PCIF/AGT/0136/2017), a cedência de alguma informação geográfica para realização do trabalho.

Aos meus avós, por todo o apoio incondicional que me deram quando decidi voltar a estudar, sem eles não seria possível concretizar este objetivo.

Por fim e, não menos importante, agradecer ao meu namorado pela paciência que teve durante o período em que me dediquei a este mestrado, mostrando-se sempre disponível para ajudar e motivar nos momentos menos bons.

Resumo

Os incêndios rurais em Portugal têm assumido nas últimas décadas proporções cada vez mais catastróficas. Sabendo que a ocupação do solo é uma variável espacial determinante para os incêndios rurais, esta dissertação tem como objetivo entender de que modo a disponibilidade de cartografia anual de ocupação do solo pode influenciar os resultados da avaliação de suscetibilidade de um território à ocorrência de incêndios. A metodologia decorrente deste trabalho é aplicada ao Pinhal Interior, região que é afetada frequentemente por incêndios rurais, sendo escolhida para análise a série de anos de 2007 a 2015.

De modo a concretizar o objetivo proposto, foi utilizada a cartografia de ocupação do solo (COS) para os anos de 2007, 2010 e 2015 disponibilizada pela Direção Geral do Território, tendo sido feita, quando possível, a cartografia para os anos intermédios através da classificação supervisionada de imagens de satélite do sistema *Landsat*. Para o cálculo da suscetibilidade foi utilizado o histórico de incêndios através dos polígonos das áreas ardidas, disponibilizado pelo Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas e, ainda, a cartografia de declives.

Após a recolha e tratamento da informação geográfica, para cada ano de áreas ardidas, foi calculado o valor informativo associado às classes de ocupação do solo do ano anterior, percebendo-se assim, a importância que cada classe tem na relação com os incêndios e a sua variação ao longo da série de anos. Com base nos resultados alcançados é efetuada a média do valor informativo para cada classe de ocupação do solo, que em conjunto com valor informativo do declive vai integrar o modelo de suscetibilidade final. Adicionalmente, foi calculado o valor informativo para as classes de ocupação do solo de 2010, utilizado como ano de referência, mas contemplando o total das áreas ardidas dos anos estudados, para de seguida se cruzar com os valores informativos resultantes da carta de declives. De forma a compreender melhor os resultados alcançados nos modelos de suscetibilidade referidos anteriormente, serão, também, analisados os modelos resultantes do cálculo efetuado para cada ano em estudo, isto é, cada ano de ocupação do solo será relacionado com as áreas ardidas do ano seguinte.

Por fim, através do cruzamento entre os mapas de suscetibilidade e a distribuição das áreas ardidas, é efetuada a validação dos modelos; a respetiva taxa de sucesso, permite constatar que a área abaixo da curva obtida em ambos os modelos é bastante semelhante.

Palavras-chave: incêndios rurais, suscetibilidade, ocupação do solo, valor informativo, Pinhal Interior.

Abstract

Rural fires in Portugal have increasingly assumed catastrophic proportions in recent decades. Since land cover is a determinant spatial variable for rural fires, this dissertation aims to understand how the availability of annual land cover cartography can influence the results of assessing the susceptibility of a territory to the occurrence of forest fires. The methodology resulting from this work is applied to Pinhal Interior, a region that is frequently affected by rural fires, and the series of years from 2007 to 2015 was chosen for analysis.

In order to achieve the proposed goal, the land cover cartography has been used for the years of 2007, 2010 and 2015, allowed by the General Directorate of the Territory (DGT), having been made, when possible, the cartography for the intermediate years through the supervised classification of satellite images from the Landsat system. For the calculation of susceptibility, the history of fires was used through polygons of the burnt areas, provided by the Institute of the Conservation of Nature and Forests (ICNF) as well as the slope cartography.

After collecting and treating geographic information, for each year of burnt areas, the information value associated with the previous year's land occupation classes was calculated, realizing thought the importance that each class has in relation to fires and its variation over the series of years. Based on the results achieved, it has been done the average informative value for each class of land cover, which together with the slope' informative value will integrate the model of final susceptibility. Additionally, the information value for 2010' land cover classes was calculated, used as a reference year,

in consideration with the total burnt areas of the years studied, and then cross-checked with the information values resulting from the slope chart. In order to better understand the results achieved in the susceptibility models mentioned above, the result of each year under study' model will be also analyzed, i.e., each year of land occupation will be related to the burnt areas of the following year.

Finally, through the crossing information between the susceptibility maps and the distribution of the burnt areas, the models are validated; the success rate shows that the area under the curve obtained in both models is quite similar.

Keywords: rural fires, susceptibility, land use, information value, Pinhal Interior.

Índice

Resumo	ii
Abstract	iii
Índice de figuras	vi
Índice de quadros	viii
1. Introdução	1
2. Enquadramento geográfico do Pinhal Interior	3
2.1. População.....	4
2.2. Clima	7
2.3. Relevo	9
2.4. Ocupação do solo.....	12
3. Os incêndios rurais	16
3.1. O caso do Pinhal Interior	19
3.1.1. Fatores que condicionam os incêndios rurais.....	20
3.1.2. Os incêndios no Pinhal Interior	22
4. Conceitos, metodologia e métodos	27
5. Resultados e discussão.....	42
5.1. Fatores de predisposição e a sua relação com as áreas ardidas	42
5.2. Avaliação da suscetibilidade	52
5.3. Validação da cartografia de suscetibilidade: curvas de sucesso	62
Conclusão.....	65
Bibliografia.....	68

Índice de figuras

Figura 1. Enquadramento geográfico do Pinhal Interior (CAOP, 2019).	3
Figura 2. Densidade populacional (hab/km ²) dos municípios do Pinhal Interior (INE, 2011).	5
Figura 3. Evolução da população residente nos concelhos do Pinhal Interior (INE, 2001; 2011).	6
Figura 4. Regimes termopluviométricos (médias mensais) nas estações de Coimbra (Bencanta) e de Castelo Branco (IPMA, 2019; Normais climatológicas, 1971-2000).	8
Figura 5. Distribuição da altitude (m) no Pinhal Interior (obtida a partir da altimetria da Carta Militar de Portugal, IGeoE, 1/25000).	10
Figura 6. Distribuição dos declives (em graus) no Pinhal Interior (derivados do MDT obtido a partir da altimetria da Carta Militar de Portugal, IGeoE, 1/25000).	11
Figura 7. Distribuição da ocupação do solo (COS 2015) no Pinhal Interior.	14
Figura 8. Frequência relativa (%) das classes de ocupação do solo (COS, 2015) no Pinhal Interior (exceto classes com frequência inferior a 2 %).	15
Figura 9. Variação anual das áreas ardidas (1990-2018) no Pinhal Interior (ICNF).	22
Figura 10. Número de vezes ardido no período 1990 a 2018, no Pinhal Interior (Fonte: ICNF).	25
Figura 11. Distribuição anual da área ardida em relação ao número de ocorrências (1990-2015) no Pinhal Interior (ICNF).	26
Figura 12. Esquema adotado para a classificação das imagens de satélite.	32
Figura 13. Exemplo do resultado da atribuição de áreas de treino para o ano de 2014.	34
Figura 14. Distribuição espacial das áreas ardidas no Pinhal Interior, utilizadas na construção dos modelos de suscetibilidade (2008 – 2016).	45
Figura 15. Modelo de suscetibilidade a incêndios rurais no Pinhal Interior para o ano de 2007.	57
Figura 16. Modelo de suscetibilidade a incêndios rurais no Pinhal Interior para o ano de 2008.	57
Figura 17. Modelo de suscetibilidade a incêndios rurais no Pinhal Interior para o ano de 2009.	58

Figura 18. Modelo de suscetibilidade a incêndios rurais no Pinhal Interior para o ano de 2010.	58
Figura 19. Modelo de suscetibilidade a incêndios rurais no Pinhal Interior para o ano de 2011.	58
Figura 20. Modelo de suscetibilidade a incêndios rurais no Pinhal Interior para o ano de 2012.	58
Figura 21. Modelo de suscetibilidade a incêndios rurais no Pinhal Interior para o ano de 2013.	59
Figura 22. Modelo de suscetibilidade a incêndios rurais no Pinhal Interior para o ano de 2014.	59
Figura 23. Modelo de suscetibilidade a incêndios rurais no Pinhal Interior para o ano de 2015.	59
Figura 24. Modelo de suscetibilidade a incêndios rurais no Pinhal Interior, obtido com base na média do VI para 9 anos.	60
Figura 25. Modelo de suscetibilidade a incêndios rurais no Pinhal Interior, obtido com base no ano de referência (2010).	61
Figura 26. Curvas de sucesso para os modelos de suscetibilidade a incêndios rurais no Pinhal Interior referentes a cada ano.	62
Figura 27. Curvas de sucesso para os dois modelos de suscetibilidade a incêndios rurais no Pinhal Interior.	64

Índice de quadros

Quadro 1. Frequência das classes de ocupação do solo (COS) no Pinhal Interior em 2007, 2010 e 2015.	12
Quadro 2. Variáveis e fontes utilizadas.	29
Quadro 3. Classes de ocupação do solo alteradas no período 2010-2015.	31
Quadro 4. Agrupamento de classes de ocupação do solo (COS, 2010).	36
Quadro 5. Valores de rigor da matriz de erro da classificação supervisionada para os anos de 2011, 2013 e 2014.	37
Quadro 6. Frequências relativas (%) das classes de ocupação do solo, nos anos 2011, 2013 e 2014, no Pinhal Interior.	38
Quadro 7. Relação entre os anos das áreas ardidadas e da ocupação do solo, para cálculo do VI de cada classe, no Pinhal Interior.	42
Quadro 8. Classes de declive para modelação da suscetibilidade à ocorrência de incêndios rurais no Pinhal Interior.	43
Quadro 9. Fração do Pinhal Interior com áreas ardidadas em cada ano (2008 a 2016).	44
Quadro 10. Valor informativo das classes de ocupação do solo de 2007 a 2015.	46
Quadro 11. Parâmetros estatísticos do valor informativo para cada classe de ocupação do solo.	49
Quadro 12. Classes de declive e respetivo valor informativo.	50
Quadro 13. Valores informativos para o ano de referência (2010).	51
Quadro 14. Classificação da suscetibilidade, obtida para a média dos 9 anos, através da divisão por quintis.	52
Quadro 15. Classificação da suscetibilidade, obtida para o ano de referência (2010), através da divisão por quintis.	53
Quadro 16. Classificação da suscetibilidade para os 9 anos, através da divisão por quintis.	54

1. Introdução

Todos os anos, com especial incidência no verão, Portugal é assolado por incêndios rurais, provocando grandes perdas ambientais, económicas e sociais. O clima mediterrâneo que se faz sentir em Portugal é marcado pela escassez de água, principalmente no verão, o que, associado aos espaços florestais desordenados, contribui para que os incêndios sejam um flagelo todos os anos. Também as tendências demográficas registadas nas últimas décadas têm contribuído, em larga escala, para o aumento da suscetibilidade¹ do território nacional aos incêndios rurais. Em Portugal continental os grandes incêndios rurais (> 100 ha) são controlados maioritariamente por um período seco e prolongado no verão e, pela ocorrência de dias extremamente quentes e secos, denominados por ondas de calor ²(Pereira *et al.* 2005). Estes fatores podem ser acentuados pelas alterações climáticas, que, associadas ao abandono rural, podem aumentar o risco de incêndio.

A área de estudo corresponde ao Pinhal Interior; esta região do País é frequentemente afetada por grandes incêndios, sendo o mais recente e catastrófico no verão de 2017 com grandes prejuízos materiais e uma grande perda de vidas humanas (Beighley & Hyde, 2018; PRPI, 2017).

Em termos físicos, o território em estudo é dominado por matos e florestas e por grandes declives. Por outro lado, possui reduzida propriedade florestal e apresenta uma baixa densidade demográfica com núcleos urbanos dispersos. Tal como acontece em outros territórios do Interior de Portugal, esta área tem vindo a registar um decréscimo da população residente, refletindo-se no abandono dos terrenos de cultivo, na redução do número e dimensão de rebanhos, tendo como consequência a diminuição no consumo de matos e produtos lenhosos (Dimuccio *et al.*, 2008). Assim sendo, esta área ficou marcada pelo crescimento florestal desordenado, aumentando a suscetibilidade aos incêndios rurais. A descrição da área de estudo será efetuada no capítulo 2.

Para uma avaliação eficaz dos problemas dos incêndios rurais há que definir as áreas mais sensíveis, com vista a estabelecer melhores práticas de gestão florestal e criar

¹ O conceito de suscetibilidade é descrito na página 27.

² Segundo o Instituto Português do Mar e da Atmosfera “considera-se que ocorre uma onda de calor quando num intervalo de pelo menos 6 dias consecutivos, a temperatura máxima diária é superior em 5°C ao valor médio diário”.

estratégias de intervenção rápida no combate. Esta avaliação deve ter por base uma cartografia de suscetibilidade rigorosa e credível; no entanto, a inexistência de cartografia de ocupação do solo para todos os anos leva a que os modelos de avaliação utilizem, frequentemente, informação desatualizada para o coberto vegetal aquando do estabelecimento de relações estatísticas com as áreas ardidadas. Teoricamente, esta situação pode gerar um enviesamento dos resultados obtidos, os quais se poderão traduzir em avaliações deficientes da suscetibilidade à ocorrência de incêndios rurais. Deste modo, a verdadeira influência de cada classe de ocupação do solo deve ser calculada sempre para as áreas ardidadas no ano seguinte, o mesmo é dizer que, para cada cartografia anual de áreas ardidadas deveria existir a cartografia de ocupação do solo do ano anterior. Neste contexto, outros fatores condicionantes das áreas ardidadas, tais como o declive, são considerados constantes ao longo do tempo.

A situação anterior leva ao principal objetivo desta dissertação e à identificação da questão: em que medida a utilização de cartografia anual de ocupação do solo, em complemento da cartografia de ocupação do solo publicada, se manifesta nos resultados da avaliação de suscetibilidade à ocorrência de áreas ardidadas? Pretende-se, assim, quantificar a importância das alterações na ocupação do solo nos resultados da suscetibilidade aos incêndios florestais e rurais.

Para isso, será utilizada como referência a cartografia de ocupação do solo (COS), para os anos 2007, 2010 e 2015 (disponibilizada pela Direção-Geral do Território), procedendo-se à criação da cartografia dos anos intermédios, a fim de fazer uma comparação com as áreas ardidadas. Para obter a cartografia dos anos em falta, procedeu-se à aquisição de imagens de satélite do sistema *Landsat* para o período em estudo, com o objetivo de realizar a classificação supervisionada da ocupação do solo com recurso a *software* de Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

A avaliação da suscetibilidade aos incêndios rurais vai basear-se no cálculo do Valor Informativo (VI), partindo do pressuposto que este fenómeno tem maior probabilidade de ocorrer em determinadas condições de ocupação do solo e de morfologia do terreno (declive). Depois de uma breve descrição do fenómeno dos incêndios rurais (capítulo 3), todo o processo metodológico será desenvolvido no capítulo 4. Por último, no capítulo 5 serão apresentados os resultados e efetuada a sua análise e discussão.

2. Enquadramento geográfico do Pinhal Interior

Localizado na região Centro de Portugal, o Pinhal Interior incorpora 19 municípios divididos entre o Pinhal Interior Norte – Alvaiázere, Ansião, Arganil, Castanheira de Pera, Figueiró dos Vinhos, Góis, Lousã, Miranda do Corvo, Oliveira do Hospital, Pampilhosa da Serra, Pedrógão Grande, Penela, Tábua e Vila Nova de Poiares – e Pinhal Interior Sul – Oleiros, Mação, Proença-a-Nova, Sertã e Vila de Rei (figura 1).



Figura 1. Enquadramento geográfico do Pinhal Interior (CAOP, 2019).

O Pinhal Interior integra municípios de quatro distritos – Castelo Branco, Coimbra, Leiria e Santarém – e abrange cerca de 452 mil ha, o que corresponde a cerca de 16 % da região Centro (PRPI, 2017). Dessa área, cerca de 262 mil ha correspondem ao Pinhal Interior Norte e 190 mil ha ao Pinhal Interior Sul.

A área do Pinhal Interior assume a sua designação devido à grande extensão de pinheiro-bravo existente no seu território que, embora nos últimos anos esteja a ser substituído rapidamente pelo eucalipto, ainda detém extensas áreas (Santos *et al.*, 2002).

2.1. População

No Pinhal Interior, de acordo com os censos de 2011, a população residente era 172 173 habitantes correspondendo a uma densidade populacional de 38 hab/km², o que indica um claro afastamento da realidade observada na região Centro, em que a densidade populacional é 82 hab/km². Contudo, estes dados revelam que o Pinhal Interior reflete as tendências demográficas registadas no Interior de Portugal nas últimas décadas, tanto a nível do número de habitantes como no aumento da população idosa, que representa cerca de 28 % da população residente em 2011 (PRPI, 2017).

Os municípios de Oliveira do Hospital, Lousã e Sertã são os que apresentam maior número de habitantes e também maior densidade populacional. Ao analisar a figura 2 constata-se que, dos municípios da área de estudo, 5 apresentam valores de densidade populacional abaixo de 20 hab/km². Segundo o *Programa de Revitalização do Pinhal Interior* (PRPI, 2017), na área de estudo existem cerca de 2 300 aglomerados populacionais e mais de 70 % da população vive em aldeias dispersas e isoladas com menos de 500 habitantes (Coelho, 2016).

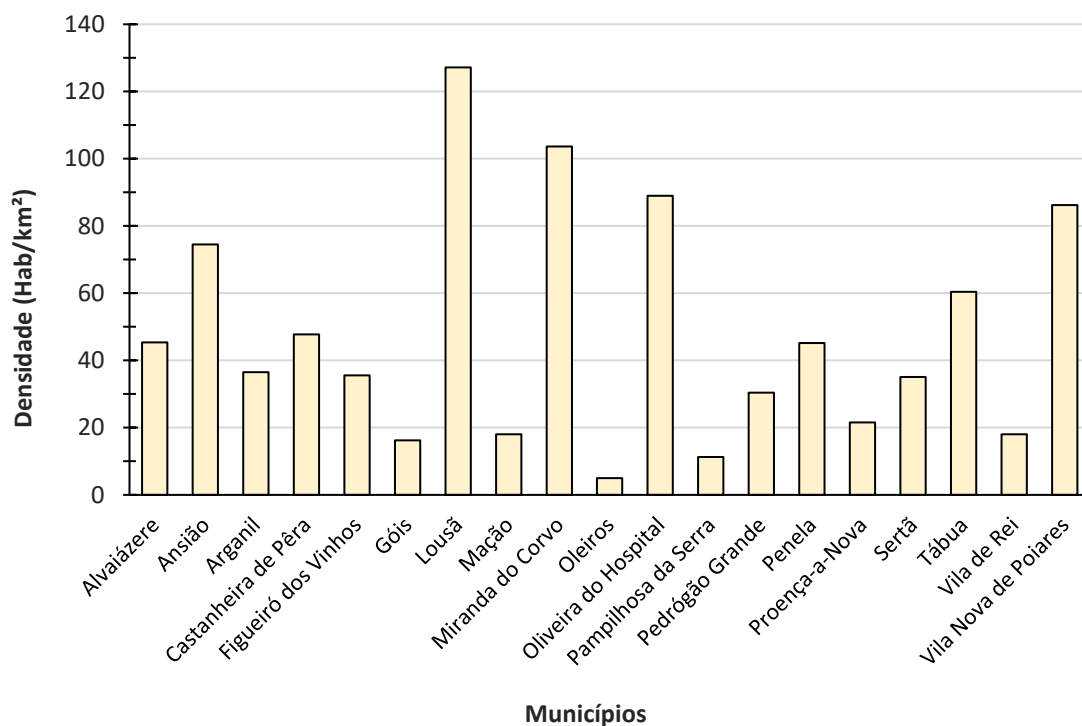


Figura 2. Densidade populacional (hab/km²) dos municípios do Pinhal Interior (INE, 2011).

Analisando as diferenças populacionais registadas nos últimos dois censos (figura 3), a Lousã, Miranda do Corvo e Vila Nova de Poiares foram os únicos municípios que tiveram um crescimento populacional, enquanto que os restantes 16 têm uma tendência demográfica inversa. Apesar deste aumento de população, só na Lousã é que este foi superior a 10 %, enquanto que em Miranda do Corvo e Vila Nova de Poiares foi apenas 2 % e 1 %, respetivamente. Em contrapartida, Alvaiázere, Góis, Oleiros e Pampilhosa da Serra perderam de 14 a 16 % da população e a maioria dos restantes municípios, perdeu mais de 10 %.

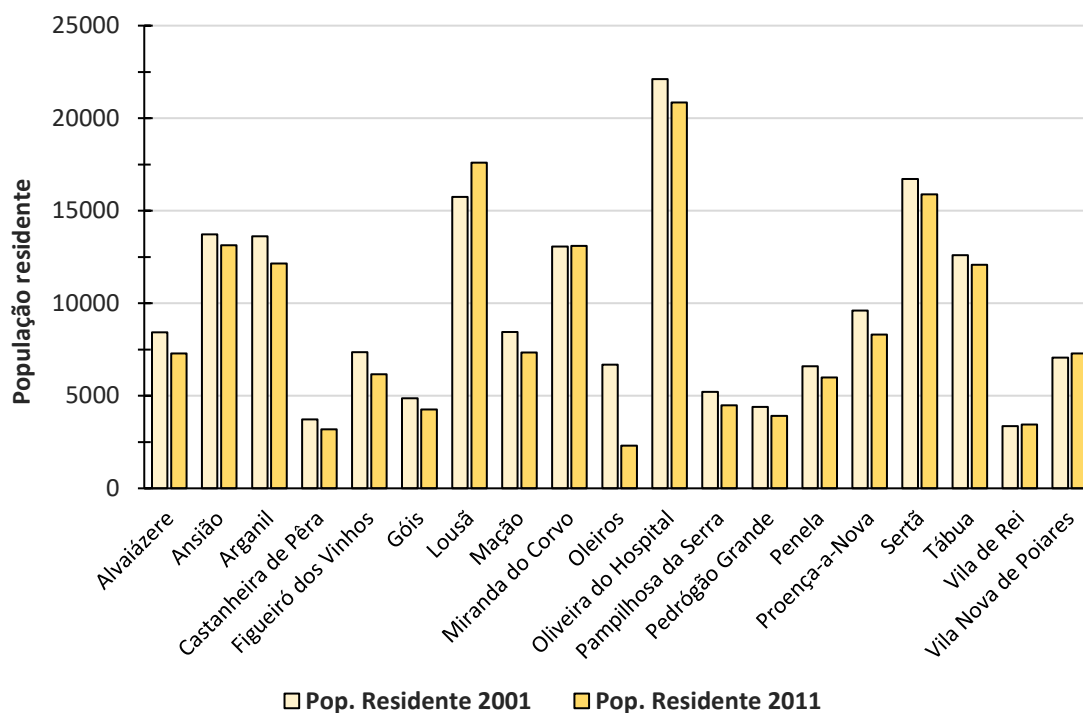


Figura 3. Evolução da população residente nos concelhos do Pinhal Interior (INE, 2001; 2011).

Tal como acontece no interior do País, o Pinhal Interior enfrenta graves problemas demográficos, com uma acentuada perda de população e um aumento do número de idosos. O índice de dependência de idosos ³é 44 %, superior ao registado na região Centro (36,2 %), sendo o município de Pampilhosa da Serra o que tem maior dependência de idosos (77,8 %). Já o índice de envelhecimento ⁴registado é bastante superior ao verificado na região Centro (240 para 180 %) e Oleiros é o que regista um maior envelhecimento, com 580 %. Em relação ao índice de dependência de jovens, o Pinhal Interior uma vez mais apresenta valores que não correspondem aos registados na região Centro, cerca de 18 comparativamente aos 20 % da média da região.

Os índices populacionais descritos anteriormente expõem a forte expressão da população não ativa, que por sua vez reflete o tecido económico da região. Uma vez que a floresta ocupa uma parte significativa do território, esta tem um papel marcante no rendimento da população, no entanto apresenta baixos níveis de produtividade (Coelho, 2016). O turismo é uma atividade em expansão no Pinhal Interior, mas tal como a

³ Número de pessoas com 65 e mais anos por cada 100 pessoas em idade ativa (15 a 64).

⁴ Número de pessoas com 65 e mais anos por cada 100 pessoas menores de 15 anos.

maioria dos setores económicos aqui localizados, apresentam um baixo valor acrescentado (PRPI, 2017).

A baixa densidade populacional e a população maioritariamente idosa, as atividades económicas pouco diversificadas e competitivas fazem do Pinhal Interior um território com fraca capacidade para fixar a população, diminuindo a sua aptidão para alcançar um desenvolvimento sustentado.

Estas tendências socioeconómicas conduzem a uma destruturação das áreas rurais, levando ao abandono das práticas agro-silvo-pastoris e consequentemente à acumulação de combustível vegetal. Além destas consequências, a falta de população reduz a vigilância florestal, que associadas aos fatores descritos anteriormente sustentam o aumento da suscetibilidade do Pinhal Interior aos incêndios rurais.

2.2. Clima

Para uma melhor caracterização da área de estudo no que respeita ao clima, foram consultadas as normais climatológicas para o período de 1971-2000 disponibilizadas pelo Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA). Visto não haver disponibilidade de informação para o território do Pinhal Interior, as estações climatológicas escolhidas para analisar a temperatura e a precipitação foram as de Coimbra (Bencanta) e Castelo Branco, que enquadram a área de estudo. Por um lado, Coimbra encontra-se mais próxima do Pinhal Interior Norte e também dos sistemas montanhosos da Lousã e do Açor. Por sua vez, Castelo Branco tem maior proximidade em relação à área do Pinhal Interior Sul.

Os valores médios mensais de temperatura mais elevados registam-se nos meses de julho e agosto com 25 °C para Castelo Branco e 22 °C para Coimbra e, o valor médio anual é cerca de 16 °C para ambas as estações. Em Coimbra o valor médio das temperaturas máximas é 28,5 °C no mês de agosto, já o valor médio das temperaturas mínimas é registado em janeiro, onde rondam 4,6 °C. Em Castelo Branco o valor médio das temperaturas máximas é 32 °C em julho e o valor médio das temperaturas mínimas é 3,9 °C.

A frequência de ondas de calor é também um fator importante de analisar, uma vez que quanto maior o número de dias com temperaturas muito elevadas, maior é a

possibilidade de arderem grandes áreas do território (Pereira *et al.*, 2006, Beighley & Hyde, 2018). Em Castelo Branco ocorrem em média 22 dias com temperaturas acima de 30 °C, já em Coimbra em média são apenas registados 8 dias.

De acordo com o índice de *Gausсен*, os meses secos verificam-se quando a respetiva precipitação média (P, em mm) registada é igual ou inferior ao dobro da temperatura média (T, em °C), ou seja $P \leq 2 T$; como podemos observar nos gráficos termopluiométricos (figura 4) para a estação de Castelo Branco verificam-se quatro meses secos – junho a setembro – e para Coimbra apenas dois – julho e agosto.

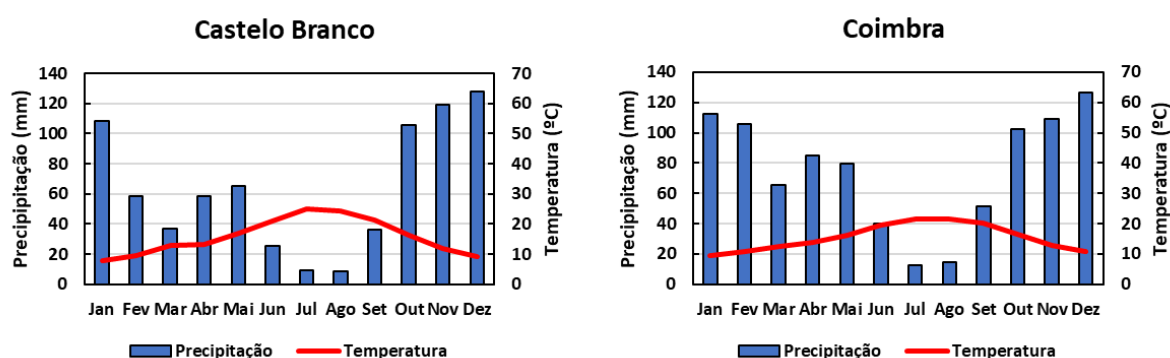


Figura 4. Regimes termopluiométricos (médias mensais) nas estações de Coimbra (Bencanta) e de Castelo Branco (IPMA, 2019; Normais climatológicas, 1971-2000).

As chuvas que se fazem sentir no inverno potenciam o crescimento de vegetação, que sem gestão de combustível aumenta a cobertura vegetal disponível para arder no verão. A precipitação anual média é 905,1 mm para Coimbra e 758,3 mm para Castelo Branco. O mês mais chuvoso é, em ambas estações, dezembro, com 126,8 e 128,2 mm, respetivamente.

Outro fator a ter em conta é a altitude pois a temperatura desce gradualmente à medida que esta aumenta, sendo nas Serras da Lousã e do Açor que se registam as temperaturas mais baixas. A altitude também influencia a precipitação e por isso mesmo é nas áreas serranas assinaladas anteriormente que são registados os valores de pluviosidade mais elevados (PROF PIN, 2006).

Para além destas características do clima do Pinhal Interior há ainda que ter em conta a influência das alterações climáticas. Portugal é um dos países da União Europeia onde se estima que as alterações climáticas se vão fazer sentir com maior intensidade,

nomeadamente no aumento de fenómenos meteorológicos extremos que potenciam os incêndios, tais como as ondas de calor e as secas severas, prolongando, assim, a época de incêndios. De acordo com o *Fire Weather Index*, estima-se que na região Centro de Portugal o número de dias com risco muito elevado ou extremo para a ocorrência de incêndios possa aumentar 3 a 5 vezes até 2080-2100 (PROF PIN, 2006).

2.3. Relevo

O relevo do Pinhal Interior é marcado pela presença das Serras da Lousã, Açor, Alvelos e Moradal e, mais a sul, pelo Planalto da Beira Alta. É na Serra do Açor que se verifica o valor máximo de altitude, cerca de 1410 m, seguindo-se a Serra da Lousã com 1200 m. A maior parte do território situa-se a cotas entre 200 e 400 m e tanto as altitudes mais baixas, entre 30 e 100 m, como as mais elevadas, entre 1000 e 1410 m, ocupam uma fração bastante reduzida do território (figura 5).

No Pinhal Interior é nas Serras da Lousã e do Açor que os declives mais acentuados têm maior frequência, apresentando valores acima de 35°. A maior parte da região tem declives entre 15 e 25° (figura 6).

O fator declive tem uma importância acrescida na propagação dos incêndios na medida em que, ao subir as encostas, as chamas têm uma ligeira inclinação para a frente, aquecendo *a priori* a vegetação, fazendo com que esta arda mais rapidamente, potenciando o avanço das chamas. Para além de dificultar as ações de combate, os declives acentuados podem proporcionar a ocorrência de ventos locais que intensificam o avanço da frente de fogo (Vasconcelos, 2013).

Uma outra particularidade do declive prende-se com o pós-incêndio, quando ocorrem chuvas intensas os declives médios e elevados facilitam a escorrência da água, que por sua vez aumenta a erosão do solo, contaminação e assoreamento das linhas de água. A escorrência da água das chuvas nas vertentes de declive mais acentuado tem capacidade para transportar grandes quantidades de sedimentos e pedaços de madeira queimada que entopem os perímetros dos rios e ribeiras gerando cheias rápidas e bastante perigosas para a população envolvente.

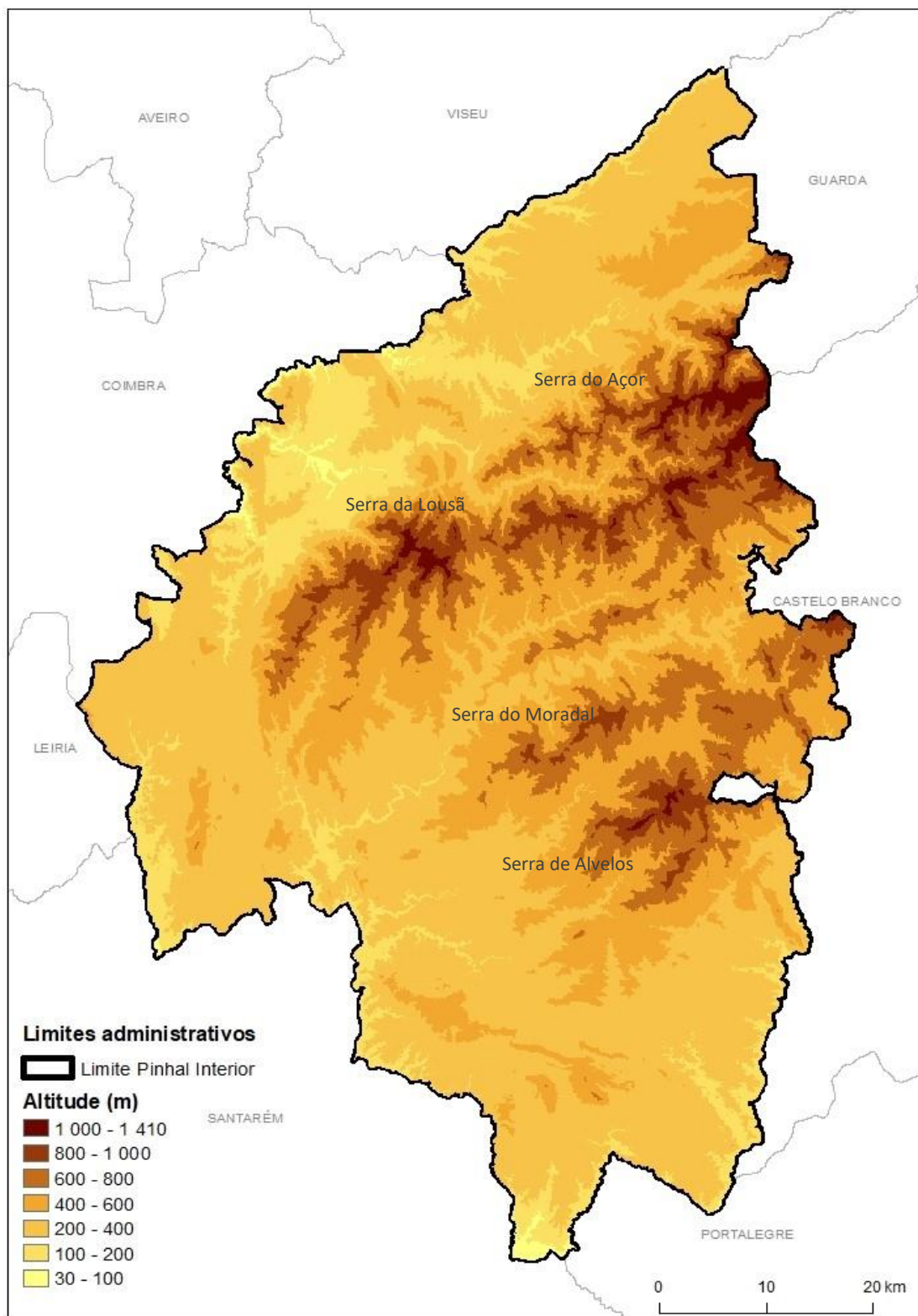


Figura 5. Distribuição da altitude (m) no Pinhal Interior (obtida a partir da altimetria da Carta Militar de Portugal, IGeoE, 1/25000).

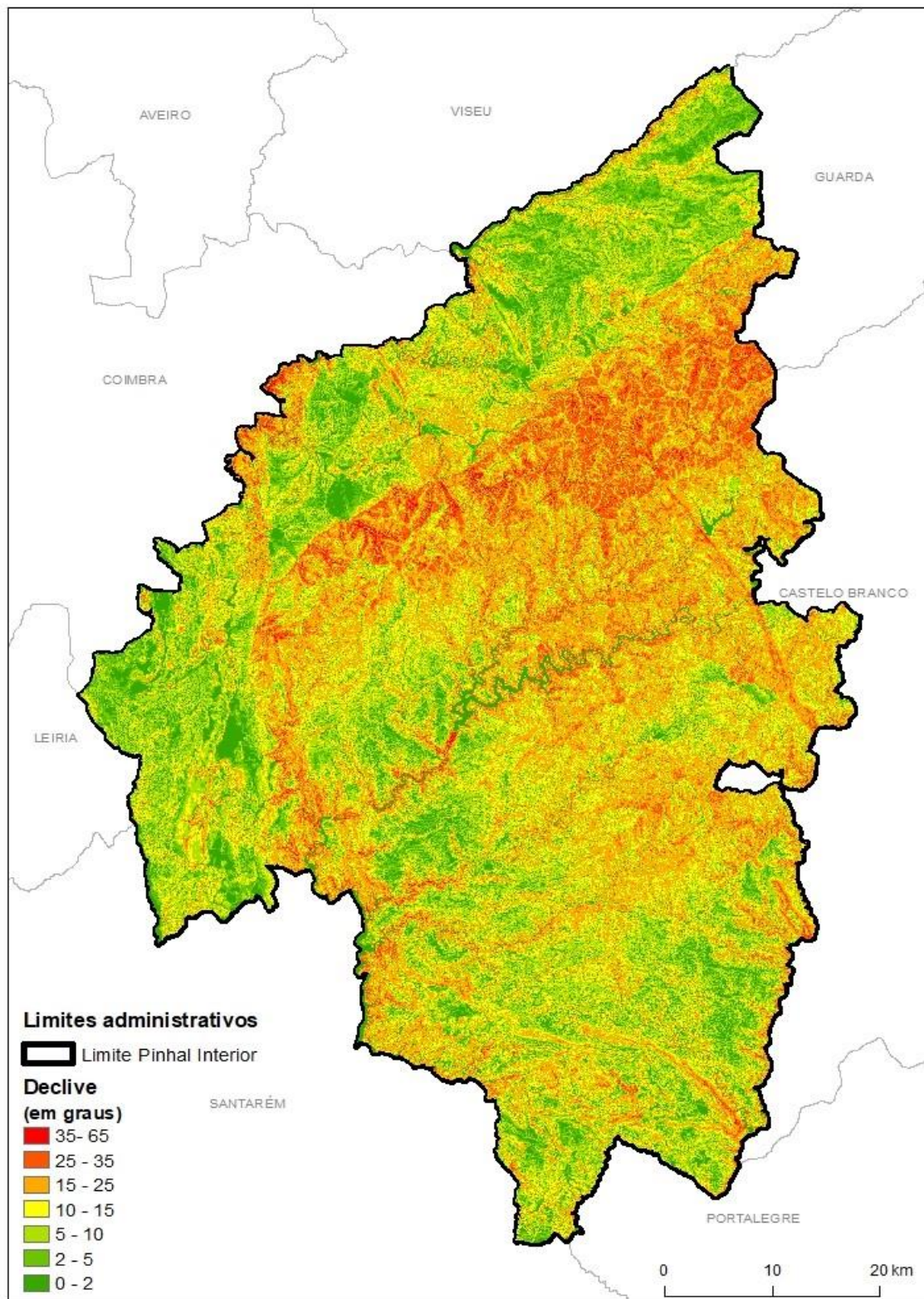


Figura 6. Distribuição dos declives (em graus) no Pinhal Interior (derivados do MDT obtido a partir da altimetria da Carta Militar de Portugal, IGeoE, 1/25000).

2.4. Ocupação do solo

A ocupação do solo é um fator determinante na análise da suscetibilidade de um território aos incêndios, onde os elementos que caracterizam o território vão influenciar o comportamento do fogo. A caracterização da distribuição espacial da ocupação do solo no Pinhal Interior na presente dissertação é feita com base na Cartografia de Uso e Ocupação do Solo disponibilizada pela Direção Geral do Território, de nível 5, para os anos de 2007, 2010 e 2015. De modo a permitir uma melhor interpretação do território e facilitar a avaliação da suscetibilidade, as classes de ocupação do solo foram agrupadas e adaptadas (quadro 1).

Quadro 1. Frequência das classes de ocupação do solo (COS) no Pinhal Interior em 2007, 2010 e 2015.

Classes de ocupação do solo	Área (hectares)		
	2007	2010	2015
Aeroportos e aeródromos	59	59	59
Áreas de deposição de resíduos	18	18	18
Áreas de extração de inertes	300	328	350
Áreas urbanas	12209	12414	12473
Áreas aquáticas	5055	5053	4955
Espaços agrícolas	58141	58171	56071
Espaços descobertos ou com pouca vegetação	946	1028	2284
Florestas de castanheiro	1694	1688	1626
Florestas de espécies invasoras	2408	2403	2323
Florestas de espécies <i>Quercus</i>	5609	5594	5929
Florestas de espécies resinosas	196100	190325	184773
Florestas de eucalipto	92574	98913	102473
Florestas de outras folhosas	16823	16731	16376
Matos	59569	58486	61098
Redes viárias e ferroviárias e espaços associados	514	807	1250
SAF de espécies <i>Quercus</i>	65	65	64
SAF de outras espécies	2	2	2
SAF de outras misturas	69	69	32
Total	452154	452154	452154

De acordo com o quadro 1, as florestas de espécies resinosas, onde o pinheiro-bravo é a espécie dominante, são as que têm área maior, com 196 100 ha em 2007 (representando 43 % da área total), 190 325 ha em 2010 (42 % da área total) e 184 773

ha em 2015 (41 % da área total). Também o eucaliptal assume uma importância acrescida em termos de área, notando-se uma evolução ao longo dos anos observados, passando de uma área de 92 574 ha em 2007 (21 % da área total) para 102 473 ha em 2015 (23 % da área total).

No ano 2015 verifica-se um ligeiro decréscimo da área de florestas de espécies resinosas, estas espécies de crescimento relativamente longo estão a perder território, verificando-se um aumento de investimento nas espécies de crescimento rápido, como é o caso do eucalipto (Ricardo, 2010). O pinheiro-bravo tem um período de corte mais prolongado em relação ao eucalipto e por isso tem uma maior probabilidade de ser atingido pelo fogo antes da idade de corte (Pereira *et al.*, 2006). No entanto, esta substituição de espécies também se deve ao facto de nos últimos anos o pinheiro ser cada vez mais afetado por pragas, como o nemátodo do pinheiro.

A classe matos tem uma ligeira diminuição no território do Pinhal Interior de 2007 para 2010, havendo uma regressão de 59 569 ha em 2007 para 58 486 ha em 2010, e em 2015 sofre um ligeiro aumento (61 098), no entanto em termos de percentagem em ambos os anos esta classe ocupa cerca de 13% do território. Outro aspeto importante é a diminuição dos espaços agrícolas, de 58 141 ha em 2007 para 56 071 ha em 2015, o que reflete a tendência do abandono de práticas agrícolas e o possível crescimento de matos nos terrenos abandonados.

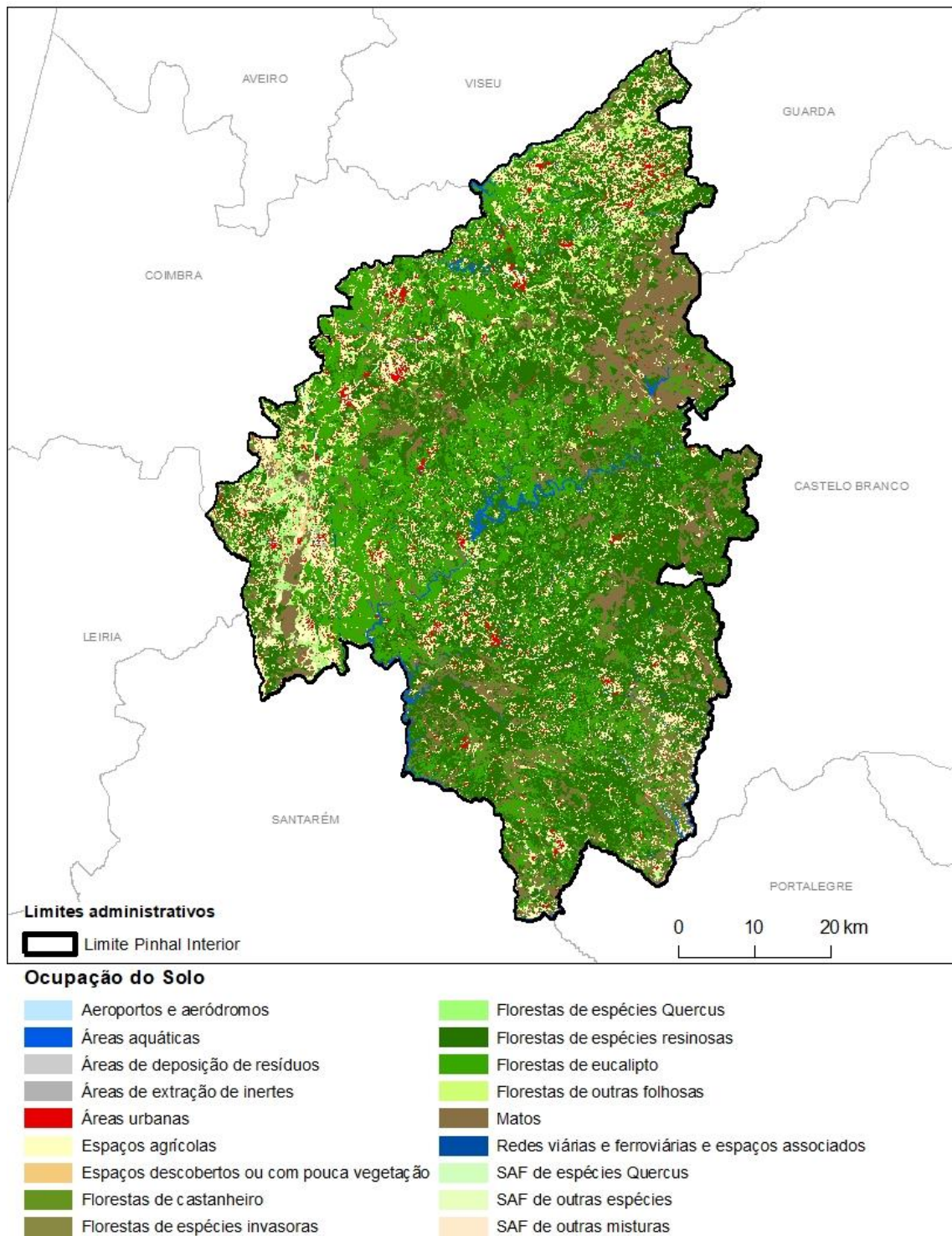


Figura 7. Distribuição da ocupação do solo (COS 2015) no Pinhal Interior.

As florestas e os matos são os elementos da ocupação do solo que mais influenciam o comportamento dos incêndios rurais, servindo de matéria-prima na “indústria” do fogo, determinando fatores como a ignição, combustão e propagação, mas influenciam também a intensidade e severidade dos incêndios rurais (Vasconcelos, 2013).

Os espaços florestais representam um papel fundamental na economia de Portugal e em particular na do Pinhal Interior, onde o setor florestal ocupa cerca de 36 % do território (Coelho, 2016). É nos municípios da Lousã, Tábua, Góis e Pampilhosa da Serra que a índice de produtividade do pinheiro-bravo assume uma maior importância, já em Oleiros, Mação e Sertã essa importância é diminuta (Santos *et al.*, 2002).

A figura 8 mostra a frequência da ocupação do solo para 2015, onde foram tidas em conta apenas as classes com representação acima de 2 % no território. São os espaços florestais que têm maior expressividade, representando mais de 50 % da área do Pinhal Interior, onde claramente há uma predominância de florestas de espécies resinosas (40,9 %) e de florestas de eucalipto (22,7 %). Estas espécies dominantes, devido às suas propriedades intrínsecas são mais suscetíveis à ocorrência de incêndios.

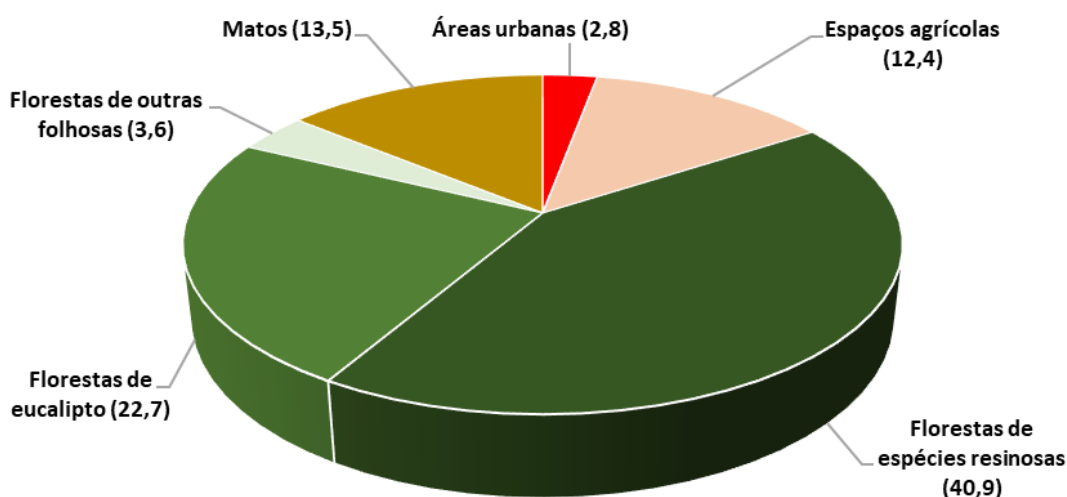


Figura 8. Frequência relativa (%) das classes de ocupação do solo (COS, 2015) no Pinhal Interior (exceto classes com frequência inferior a 2 %).

Nos 19 municípios que integram o Pinhal Interior, a área de floresta e matos é sempre superior a 70 %, sendo que em Oleiros e Pampilhosa da Serra essa área é superior a 90 % (PRPI, 2017).

3. Os incêndios rurais

Os incêndios rurais têm assumido uma especial importância em Portugal nos últimos anos, quer pela frequência com que ocorrem quer pelas elevadas áreas ardidas, provocando, em muitos casos, elevados prejuízos a nível ambiental e económico. Os incêndios rurais são entendidos como um risco natural pelo facto de se desenvolverem na natureza e por as características desta influenciarem tanto a possibilidade de ocorrência, como a sua propagação (Millington, *sd*, in Antunes *et al.*, 2011). No entanto, devido ao elevado número de ignições causadas pelas atividades humanas, os incêndios rurais têm uma forte componente antropogénica (CNADS, 2006) e, nesse sentido são considerados por alguns investigadores como um risco misto (Julião *et al.*, 2009).

A designação de incêndio rural é aplicada quando o fogo, resultante da conjugação de diversos fatores (nomeadamente climáticos, biogeográficos e geomorfológicos), tem uma incidência no meio rural e atinge áreas florestais, agrícolas ou de incultos (Carvalho *et al.*, 2001).

Embora os conceitos de fogo e incêndio sejam muitas vezes utilizados como sinónimos, na verdade têm um significado diferente; o fogo é caracterizado por ser uma combustão controlada no espaço e no tempo, ou seja, “é um fenómeno natural que faz parte da estratégia de desenvolvimento de algumas espécies e da renovação da paisagem, que modela as florestas” (Verde e Zêzere, 2007, p. 1). O fogo passa a ser considerado incêndio quando deixa de ser controlado no espaço e no tempo. Apesar de estar normalmente associado a algo catastrófico, o fogo é um elemento fundamental para a evolução da natureza e do Homem.

Comparativamente aos países do sul da Europa, a incidência dos incêndios rurais em Portugal é muito elevada, registando-se grandes áreas ardidas no Interior do País, num curto espaço de tempo e com um número reduzido de ocorrências. Nas décadas mais recentes os incêndios têm consumido áreas de florestas e matos cada vez mais extensas, onde os anos 2003, 2005 e 2017 ficam na memória como sendo os mais catastróficos. Entre 1981 e 2010 os grandes incêndios (> 100 ha) (Ferreira-Leite *et al.*, 2011/12) representavam 73 % da área ardida em Portugal anualmente, verificando-se uma clara tendência para o aumento de incêndios com mais de 100 000 ha de área ardida (Ferreira-Leite *et al.*, 2013). Fatores como a uniformidade da paisagem florestal e a

elevada carga combustível, assim como as características demográficas destas áreas, favorecem a ocorrência de incêndios com milhares de hectares ardidos. Também o clima merece lugar de destaque nestas ocorrências, pois é nos dias em que as temperaturas máximas são mais elevadas (habitualmente associadas a ondas de calor) que o Interior do País é assolado por fogos rurais de grandes dimensões (Pereira *et al.*, 2006; Beighley & Hyde, 2018 *et al.*, 2018).

A influência do clima mediterrânico presente em Portugal e nos países do sul da Europa com verões quentes e períodos de seca prolongados, estabelece condições que potenciam os incêndios rurais (Bergonse e Bidarra, 2010). No entanto, estes países localizados mais a sul, com exceção de Portugal, e apesar de terem características mediterrânicas mais vinculadas, mostram-se mais resilientes aos incêndios, diminuindo bastante as áreas ardidas nas últimas décadas através da aplicação de medidas de prevenção e mitigação adequadas.

Tal como foi referido anteriormente, os estudos sobre as alterações climáticas apontam para um aumento significativo da temperatura e para a diminuição da precipitação por períodos mais prolongados na Europa, mas com especial incidência na Península Ibérica, situação que vai agravar a problemática dos incêndios em Portugal caso não sejam tomadas medidas de adaptação adequadas (Beighley & Hyde, 2018 *et al.*, 2018).

Segundo Pereira *et al.* (2006) os grandes incêndios rurais em Portugal devem-se essencialmente a 2 fatores: por um lado, um período relativamente longo sem precipitação e ocorrência de ondas de calor durante o verão; por outro, a quantidade de combustível vegetal no terreno constitui um parâmetro muito importante na propagação dos incêndios, pois é a quantidade de combustível disponível e o seu nível de humidade que vai determinar a energia libertada durante o incêndio, condicionando a propagação da frente de chamas e dificultando a ação dos meios de combate (Viegas, 1989, *in* Oliveira, 2006).

O Interior de Portugal está a sofrer alterações profundas no que respeita à ocupação do solo, quer pelo abandono de práticas agro-silvo-pastoris resultante do abandono rural, quer pela frequente ocorrência de incêndios de grandes dimensões. Os incêndios rurais são o fenómeno que mais impulsiona as alterações do uso do solo em Portugal, facilitando a introdução de novas espécies (como o eucalipto) ou pelo crescimento

descontrolado de matos resultante da falta de medidas de reabilitação no pós-incêndio (Ricardo, 2010). Cerca de 80 % dos espaços florestais em Portugal não são geridos, “existe uma quantidade fenomenal de biomassa a crescer no País que, se não for permanentemente removida e eliminada, irá alimentar a próxima época de incêndios catastróficos” (Beighley & Hyde, 2018 e Hyde, 2018, p. 34-35). Em Portugal prevalecem práticas silvícolas inadequadas com a introdução de extensas áreas de monoculturas de pinheiro-bravo ou eucalipto, o grande crescimento de espécies arbustivas em terrenos agrícolas abandonados ou em áreas que foram ardidadas em anos anteriores e, ainda a falta de investimento e incentivos para a limpeza dos terrenos contribuem para aumentar a suscetibilidade destes espaços.

O facto de a floresta portuguesa ser em grande parte propriedade privada de reduzida dimensão constitui um grande entrave à implementação de medidas de proteção. A falta de registos de propriedade, bem como o facto de os terrenos serem heranças de várias gerações, fomentam uma maior divisão das parcelas florestais, bem como o conflito de interesses, e dificultam a identificação dos proprietários. Deste modo, a tarefa de fiscalizar e implementar coimas aos proprietários que não fazem a limpeza dos seus terrenos torna-se praticamente impossível. Para além disso, os terrenos com um ordenamento desadequado põem em risco os terrenos vizinhos.

Sendo propositada ou não, a maioria dos incêndios rurais advêm da ação humana e, por isso, controlar o número de ignições constitui uma tarefa difícil, portanto o melhor caminho será apostar em ações de planeamento e ordenamento florestal que permitam reduzir a dimensão das áreas ardidadas (Antunes *et al.*, 2011). Os inventários florestais são também uma ferramenta importante na prevenção e mitigação dos incêndios rurais, pois através destes é possível obter um conhecimento integrado do território de modo a consolidar políticas de ordenamento das florestas que servem de apoio na tomada de decisão (Ribeiro *et al.*, 2004).

Tornar as populações e territórios mais resilientes aos incêndios é outro aspeto importante, e é neste sentido que o *Plano Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios* (PNDFCI, 2006) pretende atuar, através de um conjunto de medidas que reduzam o número de ignições e, principalmente, que reduzam a extensão das áreas ardidadas. Para este efeito são delineados cinco eixos de atuação: aumento da resiliência do território aos incêndios, redução da ocorrência de incêndios, melhorar a eficácia no

combate e na gestão da crise, recuperar e reabilitar os ecossistemas e adotar uma estrutura orgânica eficaz (PNDFCI, 2006).

De um modo geral, todos os investigadores concordam que o êxodo rural, as alterações do uso do solo, o abandono das práticas agrícolas e florestais e a fragmentação das propriedades, são os principais fatores para a falta de investimento na gestão florestal e na prevenção dos incêndios (Beighley & Hyde, 2018 e Hyde, 2018). Ter um conhecimento aprofundado do território é um dos passos mais importantes para prevenir a ocorrência de grandes incêndios no mundo rural. É neste contexto que a avaliação da suscetibilidade aos incêndios rurais assume uma especial importância, servindo de auxílio às autoridades competentes através da identificação das áreas mais sensíveis de modo a implementar medidas de prevenção adequadas bem como medidas de combate e de proteção de pessoas e bens durante e após as ocorrências.

3.1. O caso do Pinhal Interior

Nos últimos anos, os incêndios rurais em Portugal têm assumido uma proporção catastrófica, sendo que no Pinhal Interior a frequência de incêndios de grandes dimensões assume um lugar de destaque a nível nacional (Pereira *et al.*, 2006; PRPI, 2017). Apesar do número reduzido de ocorrências, as grandes áreas ardidas são um problema a resolver com urgência no Pinhal Interior, provocando danos gravíssimos nos ecossistemas e no ambiente, mas também avultadas perdas socioeconómicas. Cada vez mais os incêndios rurais e as suas extensas áreas ardidas põem em risco a vida das pessoas e dos seus bens, contribuindo também para o aumento do êxodo rural (Dimuccio *et al.*, 2008).

As extensas manchas de floresta de pinheiro-bravo e de eucalipto, bem como o acréscimo da área de matos, associados às condições meteorológicas que se fazem sentir no verão, têm conduzido para o aumento de incêndios com milhares de hectares ardidos no Pinhal Interior.

Os incêndios rurais têm contribuído em larga escala para as alterações de espécies florestais; no entanto, também constituem uma ameaça para a produtividade do setor florestal. Nos últimos anos tem-se verificado uma diminuição da área de pinheiro-bravo, quer pela ocorrência de incêndios, quer pela introdução do eucalipto em extensas áreas

da região. A introdução do eucalipto deve-se ao facto de esta espécie ter um crescimento mais rápido e por isso um maior retorno económico para os proprietários do setor florestal, contudo tanto o eucalipto como o pinheiro-bravo são espécies altamente inflamáveis que favorecem a propagação dos incêndios (Santos *et al.*, 2002; Ricardo, 2010).

É a partir da década de 70 do século XX que os incêndios rurais começaram a constituir um problema no Pinhal Interior, em grande parte devido ao abandono dos espaços rurais bem como das práticas a eles associados, que conduziram a um aumento da carga combustível (Oliveira, 2006). Em Portugal, na década de 80 do século passado começam-se a registar incêndios com mais de 10 000 ha de área ardida, sendo no Pinhal Interior que se registam os primeiros. O primeiro grande incêndio ocorreu em 1986 em Vila de Rei, seguindo-se Arganil, Oliveira do Hospital e Pampilhosa da Serra em 1987 (Lourenço 1986 e 1988, *in* Ferreira-Leite *et al.*, 2013).

Os grandes incêndios rurais representam uma pequena parcela do número total de ocorrências, porém são responsáveis por uma grande parte da área ardida total. É no Interior do País que se regista uma maior área ardida por ocorrência (Verde e Zêzere, 2007); só entre 2001 e 2010, comparativamente com o número de ocorrências, registou-se a maior área ardida, indicando que “cada ocorrência observada nesta década, queimou mais do que os registos anteriores” (Ferreira-Leite *et al.*, 2013, p. 136).

3.1.1. Fatores que condicionam os incêndios rurais

É no Pinhal Interior que se inserem os municípios mais afetados pelos grandes incêndios rurais que acontecem em Portugal (PRPI, 2017) e, é por isso importante perceber quais as razões que influenciam a ocorrência de incêndios com extensas áreas ardidas.

De um modo geral, existem quatro fatores que se distinguem na ocorrência de grandes incêndios rurais: antropogénicos, climáticos, de morfologia do terreno e de ocupação do solo. Por um lado, o êxodo rural e o conseqüente abandono das práticas de pastorícia potenciam a acumulação de combustível vegetal. Por outro, as temperaturas elevadas e o período seco que se faz sentir no verão aumentam o *stress* hídrico da vegetação e, por isso facilitam a propagação dos incêndios. Também as

condições de relevo podem acentuar o avanço das chamas, bem como dificultar as ações de combate. E ainda, a ocupação do solo como sendo um dos principais agentes que influenciam tanto a ocorrência de incêndios como a dimensão das áreas ardidas (Oliveira, 2006). São os recursos florestais existentes no território que vão servir de matéria-prima para a ignição, combustão, propagação, intensidade e severidade dos incêndios rurais (Burgan e Rothermel, 1984, *in* Neves *et al.*, 2011).

Muitas das alterações da ocupação do solo verificadas no Pinhal Interior devem-se essencialmente à ocorrência de incêndios que assolam o território todos os anos. Estas alterações verificam-se particularmente na substituição de espécies autóctones por extensas áreas de pinheiro-bravo e de eucalipto (Gaspar, 2005; Lourenço, 2006). Para além destas alterações de espécies de forma intencional, há ainda o caso de áreas ardidas que não foram reabilitadas e são invadidas por espécies arbustivas.

Com as mudanças demográficas verificadas no Pinhal Interior, muitos dos espaços agrícolas foram arborizados criando grandes manchas contínuas de resinosas e, outras foram invadidas por matagais. Estas modificações na ocupação do solo aumentam a carga combustível e tornam a paisagem mais uniforme, criando condições para uma rápida propagação dos incêndios (Beighley & Hyde, 2018 2018; Ricardo, 2010).

A quantidade de biomassa existente no terreno e as suas características vão influenciar amplamente o comportamento do fogo, a estrutura, o tipo e a humidade das formações vegetais vão determinar a energia libertada durante o incêndio e assim condicionar o combate e sua rápida supressão (Dias *et al.*, 2013; Viegas 1989 *in* Oliveira, 2006).

Os principais povoamentos florestais no Pinhal Interior são essencialmente constituídos por florestas de pinheiro-bravo e de eucalipto, que pelas suas características químicas são altamente inflamáveis e por isso mais suscetíveis à passagem do fogo. As áreas de matos no Pinhal Interior têm aumentado nos últimos anos e isto também constitui um problema, uma vez que tal como o pinheiro-bravo e o eucalipto, são altamente inflamáveis e favorecem o rápido avanço das chamas e dificultam o combate. Por outro lado, existem pequenas áreas com espécies autóctones (por exemplo, sobreiro e outros carvalhos) que estão adaptadas às condições climáticas portuguesas e, por isso mais resistentes à passagem do fogo. Em determinadas áreas da

floresta é aconselhada a plantação destas espécies, criando mosaicos florestais, de modo a criar barreiras à propagação dos incêndios.

3.1.2. Os incêndios no Pinhal Interior

Para a análise das áreas ardidas e do número de ocorrências no Pinhal Interior, recorreu-se aos dados disponibilizados pelo Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF) e, também, à análise elaborada dos grandes incêndios de 2017 pelo Centro de Estudos sobre Incêndios Florestais (CEIF). Esta análise corresponde ao período de 1990 a 2018 (figura 9), sendo que, pela carência de dados, a análise ao nível do município incide apenas no período 1990 a 2015.

Na década de 1990, os maiores incêndios ocorreram nos anos 1990 a 1992, sendo em 1991 que atinge o valor máximo, com quase 60 000 ha ardidos e em 1990 e 1992 registou-se cerca de 25 000 ha por ano. Os anos de 1993, 1994, 1996 e 1999 foram os menos preocupantes, pois para cada ano a área ardida não excedeu 4 000 ha. O total de área ardida para esta década foi cerca de 150 000 ha.

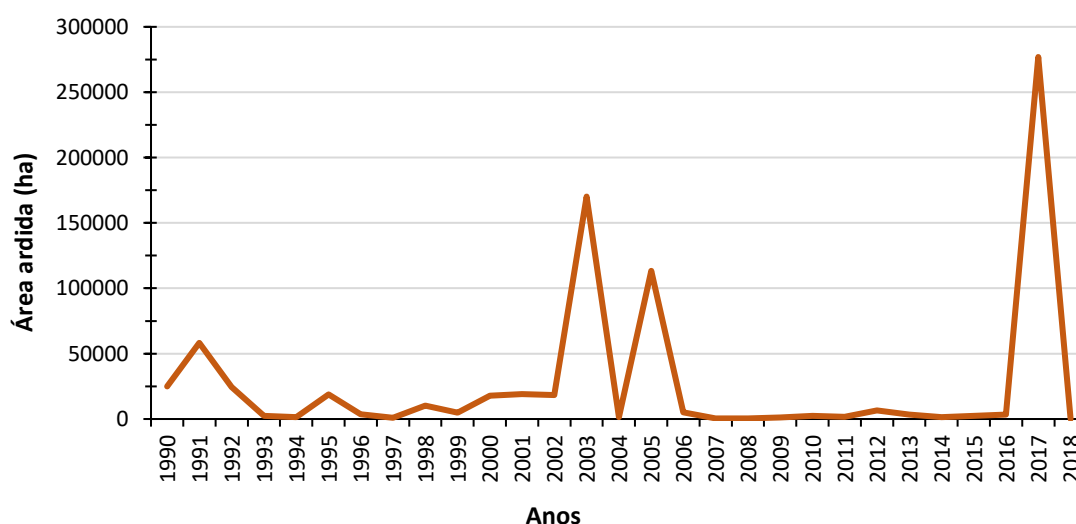


Figura 9. Variação anual das áreas ardidas (1990-2018) no Pinhal Interior (ICNF).

Foi no início do século XXI que a área ardida no Pinhal Interior atingiu o seu auge: apenas em dois anos, 2003 e 2005, arderam cerca de 284 000 ha, mais do que na década anterior (figura 9). Em 2000 e 2002 a área ardida foi aproximadamente de 20 000 ha por

ano e, os restantes anos, com clara exceção dos anos 2003 e 2005, nunca obtiveram uma área ardida superior a 6 000 ha. Nesta década, arderam aproximadamente 350 000 ha, mais 200 000 que na década anterior.

Nos anos 2011 a 2016 os incêndios no Pinhal Interior tiveram uma expressão muito reduzida, nunca excedendo 10 000 ha/ano. Porém, após anos em que a área ardida foi reduzida, a falta de gestão florestal, a acumulação excessiva de biomassa e a seca que se fez sentir com particular intensidade no país, bem como a ocorrência de condições meteorológicas específicas, resultaram num ano de incêndios catastróficos como foi o ano de 2017. Neste ano arderam 276 953 ha, o que corresponde a mais de metade do território do Pinhal Interior (452 000 ha).

Desde que há registos, o ano 2017 foi o mais catastrófico de sempre, em que, para além dos prejuízos ambientais elevadíssimos, os económicos e demográficos atingiram proporções nunca vistas, com um total de 117 mortes e centenas de feridos (Haynes *et al.*, 2020). Grande parte da área ardida neste ano aconteceu em apenas dois grandes incêndios. O primeiro teve início no dia 17 de junho, mais conhecido como o incêndio do Pedrógão Grande, onde arderam 45 328 ha e morreram 65 pessoas. O segundo grande incêndio teve início no dia 15 de outubro, morreram 40 pessoas e a área ardida foi de 136 813 ha (CEIF, 2017).

A ocorrência de áreas ardidadas é um fenómeno recorrente que, frequentemente, afeta áreas já ardidadas em anos anteriores. Tendo como base o período 2000 a 2017 para o Pinhal Interior, verifica-se que as áreas com frequência superior a 4 ocorrências são reduzidas e encontram-se dispersas no território (figura 10), sendo que as frequências 6 e 7 ocorreram maioritariamente no extremo norte do Pinhal Interior, em áreas de matos e de florestas de espécies resinosas. Por sua vez, as manchas onde não se verificou qualquer ocorrência (25,8 %) correspondem essencialmente a áreas urbanas e espaços agrícolas; contudo, é possível verificar que a maioria do território ardeu pelo menos uma vez. De acordo com os mesmos dados, no período de 1990 a 2004 ardeu um total de 376 730 ha e no de 2004 a 2017 ardeu 137 863 ha.

Para os anos em que é efetuada a análise da suscetibilidade aos incêndios rurais no Pinhal Interior (2008 a 2016) arderam cerca de 19 000 ha, o que corresponde a 4,2 % do território.

Os factos evidenciados anteriormente indicam uma tendência para o aumento dos incêndios com mais de 100 000 ha; no período 1990 a 2018 arderam cerca de 795 000 ha no Pinhal Interior; contudo, em apenas três grandes incêndios (2003, 2005 e 2017) arderam 560 000 ha, o que equivale a 71 % da área ardida para aquele período.

Pela importância do fenómeno no Pinhal Interior, é igualmente importante perceber quais os municípios onde a incidência das áreas ardidas é maior. Dos 19 municípios que integram o Pinhal Interior, de 1990 a 2015, apenas Ansião, Castanheira de Pera e Tábua têm uma área ardida inferior a 10 000 ha. Por sua vez, os municípios de Arganil, Figueiró dos Vinhos, Góis, Oleiros, Mação, Pampilhosa da Serra, Proença-a-Nova e Vila de Rei têm uma ardida superior a 20 000 ha. Se analisarmos os primeiros 15 anos do século XXI a maioria dos municípios tem uma área ardida acumulada inferior a 50 % do seu território; contudo, os restantes têm uma área superior a 50 %, onde Figueiró dos Vinhos, Mação, Miranda do Corvo, Oleiros, Pampilhosa da Serra, Sertã e Vila de Rei acumulam uma área ardida superior a 100 % do seu território, o que indica uma tendência para a recorrência de incêndios nas mesmas áreas.

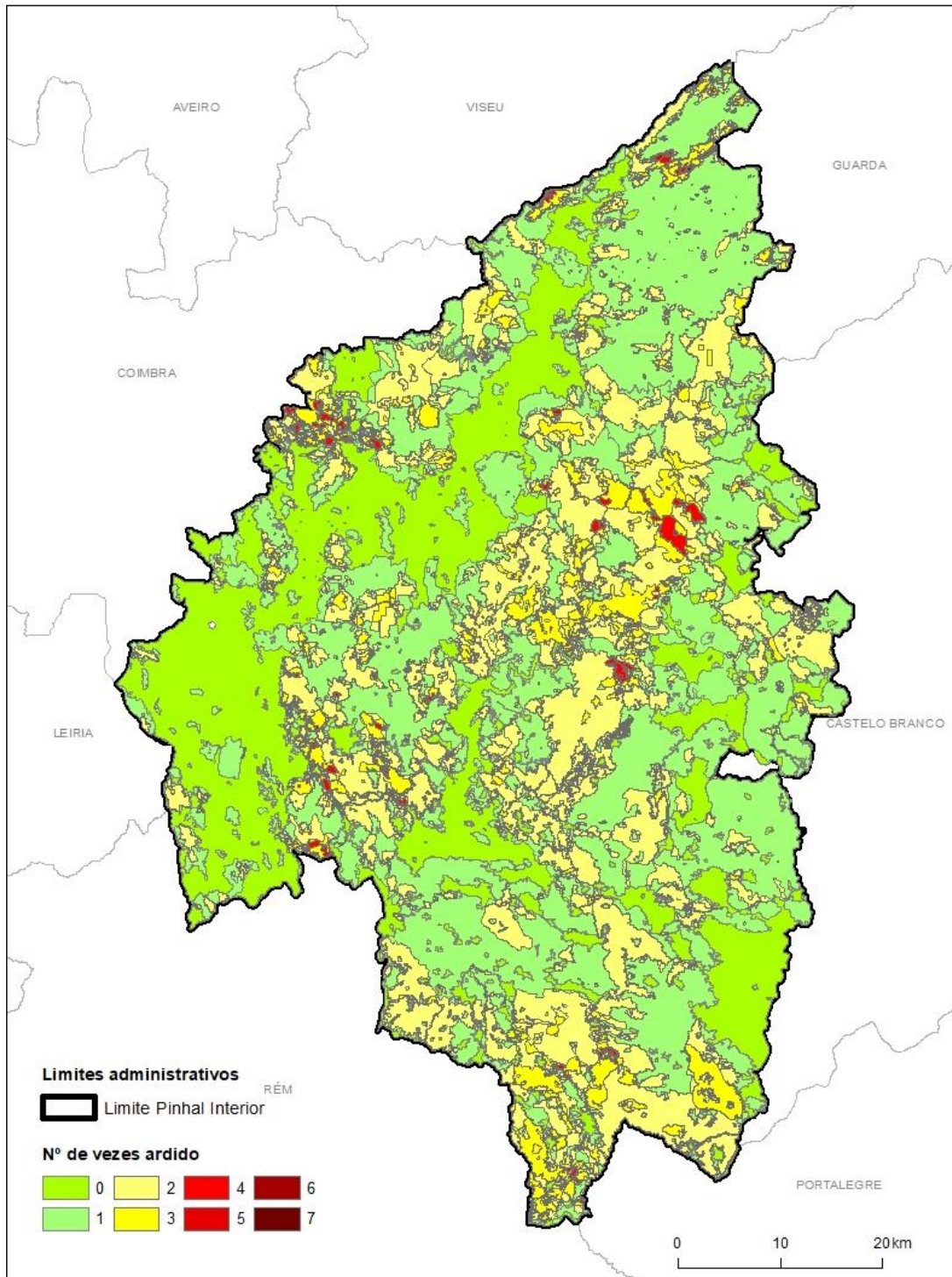


Figura 10. Número de vezes ardido no período 1990 a 2018, no Pinhal Interior (Fonte: ICNF).

Em relação ao número de ocorrências (figura 11), foi analisado o mesmo período (1990 a 2015); a média de ocorrências neste intervalo é 544 e, é nos anos 1991, 1995 e 2005 que se regista o maior número de ocorrências, cerca de 900 por ano. Sabendo que

os anos 1991 e 2005 tiveram grandes áreas ardidas, é normal o elevado número de ocorrências.

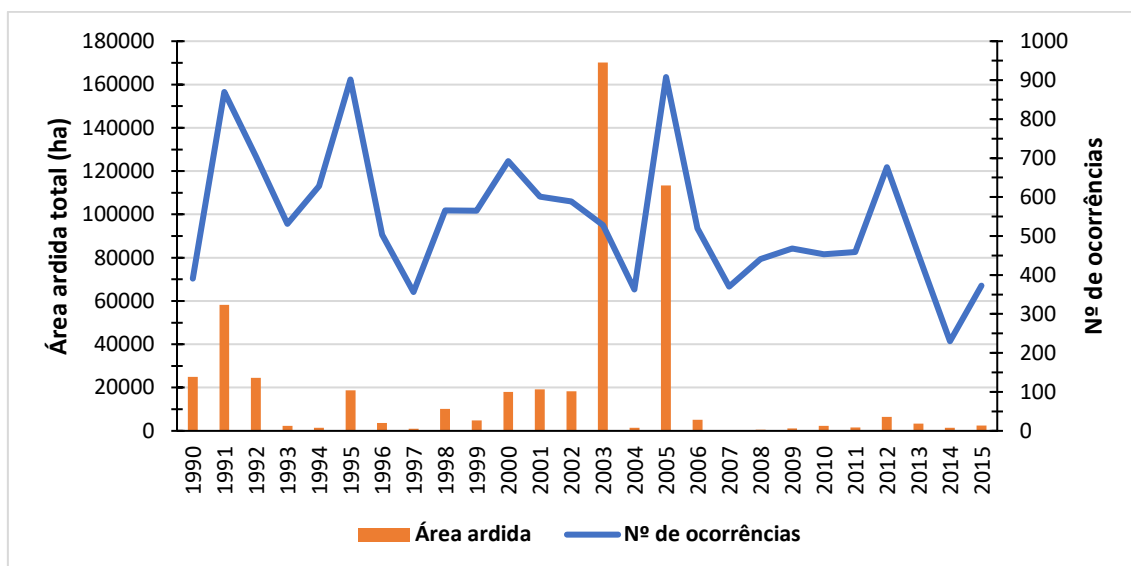


Figura 11. Distribuição anual da área ardida em relação ao número de ocorrências (1990-2015) no Pinhal Interior (ICNF).

Ao nível dos municípios é em Miranda do Corvo, Oleiros, Sertã e Tábua que se regista o maior número de ocorrências. É possível também identificar que, à exceção de Alvaiázere, Miranda do Corvo e Pedrogão, é nos municípios com maior densidade populacional que se regista o maior número de ocorrências (mais de 550). Por sua vez, é nos lugares de menor densidade populacional que as ocorrências são em menor quantidade, à exceção de Pampilhosa da Serra e Vila Nova de Poiares.

4. Conceitos, metodologia e métodos

Neste capítulo são referidos conceitos importantes associados ao risco, são identificados os dados geográficos utilizados e respectivas propriedades e é descrito o método de avaliação da suscetibilidade à ocorrência de áreas ardidadas. É dada relevância particular ao processo de obtenção da cartografia de uso e ocupação do solo, tendo em conta a relevância que possui no desenvolvimento do presente trabalho e na importância que assume no cumprimento dos objetivos da dissertação.

4.1. Suscetibilidade e conceitos associados

As terminologias associadas ao risco são ainda objeto de discussão entre cientistas de diversas áreas de formação e de todo o mundo. A sua aplicabilidade está muito dependente dos organismos que efetuam a avaliação do risco e das interpretações feitas pelos próprios investigadores (Garcia, 2012). Nesta dissertação, os conceitos associados ao risco têm por base a homogeneização proposta no *Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) de base municipal* (Julião et al., 2009).

Neste contexto, o conceito de risco indica a probabilidade de ocorrer um processo (natural, tecnológico ou misto) perigoso bem como as consequências sobre a natureza, pessoas e bens a ele associadas. A perigosidade tem como base a probabilidade de ocorrência de um processo com potencial destruidor, com uma determinada severidade, numa dada área e num dado período. A noção de perigo é entendida como o processo suscetível de produzir perdas e danos identificados. Por sua vez, a suscetibilidade é caracterizada pela incidência espacial do perigo, e representa a propensão de um determinado território ser afetado por um perigo num período indeterminado (Julião et al., 2009).

A identificação das áreas mais sensíveis ou com maior propensão à ocorrência de incêndios rurais é efetuada de forma qualitativa através da combinação entre os fatores de predisposição para a ocorrência de incêndios e a distribuição das áreas ardidadas.

A suscetibilidade é um dos parâmetros que determina a perigosidade de um incêndio; ao abranger a componente espacial do perigo – as áreas ardidadas – permite conhecer as áreas com maior propensão ao desenvolvimento do mesmo. Mediante a

integração dos fatores de predisposição, ou seja, das variáveis espaciais que condicionam a ocorrência dos incêndios, é possível identificar as áreas mais suscetíveis. Esta suscetibilidade é representada cartograficamente através da categorização dos fatores de predisposição e, dependendo dos valores obtidos, pode ser classificada entre muito reduzida e muito elevada. Deste modo, uma determinada área é tanto mais suscetível quanto melhor permitir a deflagração e a propagação do fogo (Verde e Zêzere, 2007).

A análise da suscetibilidade é sustentada pelo princípio do uniformitarismo, isto é, pressupõe que eventos futuros se desenvolvam sob as mesmas condições do passado (Zêzere, 2002). Para além disso, possibilita a projeção para áreas mais sensíveis de outros territórios com as mesmas características.

A representação cartográfica da suscetibilidade, ao identificar as áreas mais suscetíveis à ocorrência de incêndios rurais, constitui uma ferramenta muito importante no apoio ao ordenamento do território (Dimuccio *et al.*, 2008). O conhecimento adquirido ao nível dos incêndios pode auxiliar as autoridades competentes na gestão adequada dos territórios de modo a identificar o tipo de ocupação do solo mais apropriado a cada área, localizando as populações e as atividades económicas em áreas menos sensíveis (Julião *et al.*, 2009; Zêzere, 2002).

O reconhecimento de espaços com maior suscetibilidade proporciona o desenvolvimento e implementação de medidas preventivas adaptadas a cada território, nomeadamente na definição de áreas onde o tratamento do combustível vegetal deve ser prioritário e de ações promovam a mitigação dos prejuízos causados, bem como a proteção da natureza, pessoas e bens (Beighley & Hyde, 2018 e Hyde, 2018).

Aquando da manifestação do perigo, a avaliação da suscetibilidade e o conhecimento *à priori* das condições climáticas, em particular a intensidade e direção do vento, têm um papel fundamental na criação de estratégias de intervenção rápida no combate aos incêndios, o conhecimento das áreas com maior predisposição permite identificar os espaços adequados para o posicionamento dos operacionais e meios de combate. Mas também, caso seja necessário, desenvolver ações de evacuação da população para espaços de menor risco.

4.2. Informação geográfica

Para concretização dos objetivos nesta dissertação, a aquisição da informação geográfica constitui um passo fundamental para o cálculo da suscetibilidade. Assim, as variáveis a utilizar serão o declive, a ocupação do solo e o histórico de incêndios (quadro 2). As alterações na ocupação do solo podem resultar em pequenas diferenças nos resultados da avaliação da suscetibilidade e, tendo conhecimento que o território está em constante mudança e que no Pinhal Interior, devido à ocorrência de incêndios, há grande transformação dos espaços florestais ao longo dos anos, é necessário produzir cartografia de ocupação do solo para os anos em falta. A fim de concretizar este ponto foi efetuada a aquisição de imagens de satélite e procedeu-se à classificação supervisionada das respetivas imagens.

Quadro 2. Variáveis e fontes utilizadas.

VARIÁVEL	INFORMAÇÃO	FONTE DE INFORMAÇÃO
Declive	Curvas de nível (MDT)	Carta militar de Portugal IGeoE, 1/25000
Ocupação do solo	Polígonos de ocupação do solo	COS 2007, 2010, 2015 DGT, 1/25000
Ocupação do solo	Imagens de satélite	Sistema <i>Landsat</i> , 30x30 m
Histórico de Incêndios	Polígonos de áreas ardidas	ICNF, 1/25000

O tratamento da informação adquirida é igualmente importante e, por isso mesmo, foi necessário adaptar os dados vetoriais à resolução original das imagens de satélite, mantendo, assim, uma uniformidade adequada dos resultados. Neste seguimento, os dados vetoriais recolhidos para a realização desta dissertação foram convertidos para estrutura matricial com resolução de 30 metros.

Para a elaboração da classificação supervisionada das imagens de satélite o *software* utilizado foi o QGIS 2.16.3 e, para os restantes processos cartográficos, o ArcGIS 10.6.1. No que respeita ao sistema de coordenadas, foi adotado para cada tema do projeto o sistema PT-TM06/ETRS89.

4.2.1. Classificação de imagens de satélite

Como foi referido anteriormente, a cartografia de ocupação do solo oficial para os anos em estudo corresponde apenas aos anos 2007, 2010 e 2015; para os anos intermédios foi efetuada a classificação supervisionada através de imagens de satélite. A escolha destes anos da COS, aos quais se juntou os referidos anos intermédios, prendeu-se com a necessidade de cartografar um número de anos suficiente (9 anos), por forma a tornar representativos os resultados obtidos. A seleção destas imagens é uma tarefa com muita importância, uma vez que, apesar de permitirem a criação de cartografia de grandes áreas e a baixo custo, para se alcançar os resultados adequados há que ter em consideração as escalas e resoluções a que se propõe este trabalho (Dimuccio *et al.*, 2008). Neste sentido é indispensável ajustar a resolução das imagens de satélite ao objeto de estudo pretendido (Santos, 2014) e, tratando-se de cartografar a ocupação do solo, a utilização de imagens do sistema *Landsat* serão adequadas. Contudo, embora se pudesse recorrer a outro satélite para a aquisição das imagens, não havia nenhum conjunto de imagens de outros satélites que cobrisse a totalidade do território no período em causa.

No processo de comparação entre a COS de 2010 e 2007 e de 2015 e 2010, depois de efetuada a necessária compatibilização das classes, constatou-se que as diferenças de 2007 para 2010 são muito pouco significativas (85,05 km² da área total, o que corresponde a 1,88 % do território); onde, 2/3 desta área alterada corresponde apenas a alteração de florestas de resinosas para florestas de eucalipto; deste modo, para os anos 2008 e 2009 não foi efetuada qualquer cartografia adicional, pelo que esta se centrou no período 2011 a 2014, no qual se verificaram algumas alterações relevantes (230,61 km² da área total, o que corresponde a 5,1 % do território), certamente também devido ao facto do período entre datas de referência ser maior. Tal como no período 2007 a 2010, também entre 2010 e 2015 as maiores alterações se verificaram das florestas de resinosas para florestas de eucaliptos (29 % das áreas modificadas), existindo, no entanto, outros tipos de alterações com alguma relevância. Em relação às áreas ardidas neste período, estas têm uma reduzida dimensão e são dispersas em cada ano, por isso não se mostram relevantes para serem integradas na cartografia de ocupação do solo.

Assim sendo, a classificação das imagens foi efetuada apenas para os polígonos onde houve alterações na ocupação do solo entre 2010 e 2015 (quadro 3); nos casos onde não se verificam alterações manteve-se igual à cartografia de ocupação de 2010, considerada como referência.

Importa referir que dentro destas áreas havia 3 classes de ocupação do solo onde se verificou alterações – redes viárias e ferroviárias e espaços associados, florestas de castanheiro e sistemas agroflorestais de sobreiro; contudo, devido à sua reduzida expressão no território foram excluídas da classificação.

Quadro 3. Classes de ocupação do solo alteradas no período 2010-2015.

Tipos de ocupação do solo classificados
Áreas urbanas
Espaços agrícolas
Espaços descobertos ou com pouca vegetação
Florestas de espécies invasoras
Florestas de espécies <i>Quercus</i>
Florestas de espécies resinosas
Florestas de eucalipto
Florestas de outras folhosas
Matos

Após a realização da classificação supervisionada, a cartografia daí resultante é sobreposta e integrada com o mapa de referência (áreas sem alterações), obtendo assim uma representação da ocupação do solo para todo o território num determinado ano (figura 12).

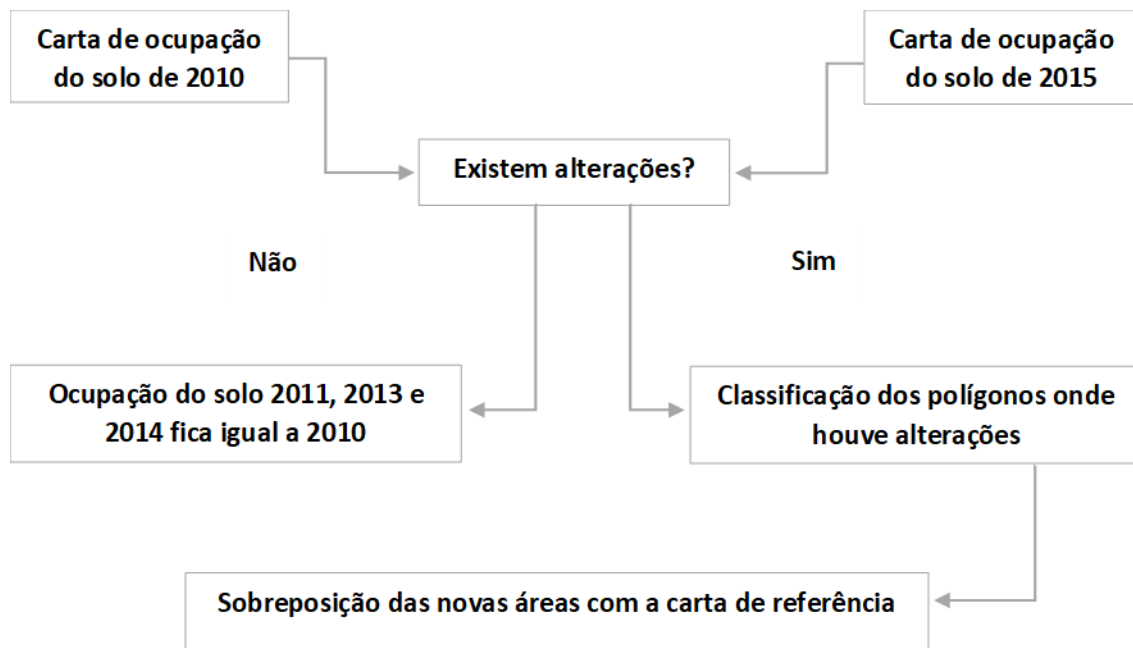


Figura 12. Esquema adotado para a classificação das imagens de satélite.

Para o ano de 2011 foram adquiridas imagens de satélite *Landsat 5* e para os anos 2013 e 2014 imagens *Landsat 8*. No ano de 2012 apenas estavam disponíveis imagens *Landsat 7*, mas como estas incluíam faixas com erros radiométricos optou-se por retirar este ano da classificação.

A aquisição das imagens integra uma componente muito importante para o objetivo deste trabalho, pretende-se evitar a ocorrência de nuvens no outono e no inverno, e o *stress* hídrico da vegetação no verão porque altera a sua resposta espectral. Atendendo a estas condicionantes, as imagens foram adquiridas para os meses de março e maio, pois nesta altura do ano a disponibilidade de hídrica é elevada e as temperaturas são amenas, permitindo um maior desenvolvimento vegetativo e consequentemente maior capacidade fotossintética (Santos, 2014).

Antes de se iniciar a classificação, de modo a corrigir as imperfeições atmosféricas, é necessário efetuar um pré-processamento dos dados. Este procedimento é possível através da correção radiométrica, onde a transformação dos números digitais em valores de refletância corrige os efeitos atmosféricos das imagens e assim garante uma melhor qualidade das mesmas (Gütler *et al.*, 2003, 2005).

Posteriormente é efetuada uma análise da área a classificar, sobretudo dos espaços florestais. É através da conjugação de diferentes bandas espectrais que é possível

perceber qual a combinação que mais se adequa para distinguir o coberto vegetal; neste caso e como são utilizadas imagens de satélite diferentes, as composições utilizadas são 4-3-2 e 4-5-3, para o *Landsat* 5 e 8, respectivamente. Esta combinação entre bandas permite identificar de forma mais clara as diferenças de clorofila presente nas plantas, facilitando a atribuição de áreas de treino para realizar a classificação.

A classificação supervisionada parte do princípio que existe conhecimento da área de estudo e assenta num processo de criação de classes a partir de um conjunto de píxeis considerados como representantes de uma classe (Casimiro, 2002). Neste processo os píxeis são analisados de acordo com um algoritmo de modo a que todos os píxeis definidos como sendo representativos daquela classe (área de treino) sejam atribuídos aos restantes píxeis com a mesma assinatura espectral na imagem (figura 13).

As imagens de satélite permitem classificar as diferenças encontradas na ocupação do solo, contudo esta é uma tarefa difícil quer pelas incorreções atmosféricas e do próprio sensor, quer pela existência de píxeis mistos. A atribuição de áreas de treino acarreta uma dificuldade acrescida pela complexidade de alcançar um pixel puro, ou seja, que corresponda a um único tipo de coberto vegetal. Os píxeis mistos podem trazer também problemas nas áreas de fronteiras entre diferentes espécies florestais, pois nestes espaços a probabilidade de existirem píxeis mistos é muito superior. Porém, em áreas de fronteiras urbanas, por serem mais nítidas, diminuem a existência de píxeis mistos (Casimiro, 2002). Ora, tendo por base imagens com resolução de 30 metros, essa dificuldade é ainda maior, podendo resultar numa classificação demasiado simples para a realidade do território e, conseqüentemente, a tarefa de definição das classes de ocupação do solo assume especial importância na procura dos melhores resultados.

Neste seguimento, tendo como suporte a cartografia de ocupação do solo oficial, foi efetuado um agrupamento das classes de modo a facilitar a classificação e conseguir melhores resultados (quadro 4). Para que os resultados da avaliação da suscetibilidade sejam comparáveis, e possam ser utilizados em conjunto, esta reclassificação foi adaptada para a COS 2007, 2010 e 2015.

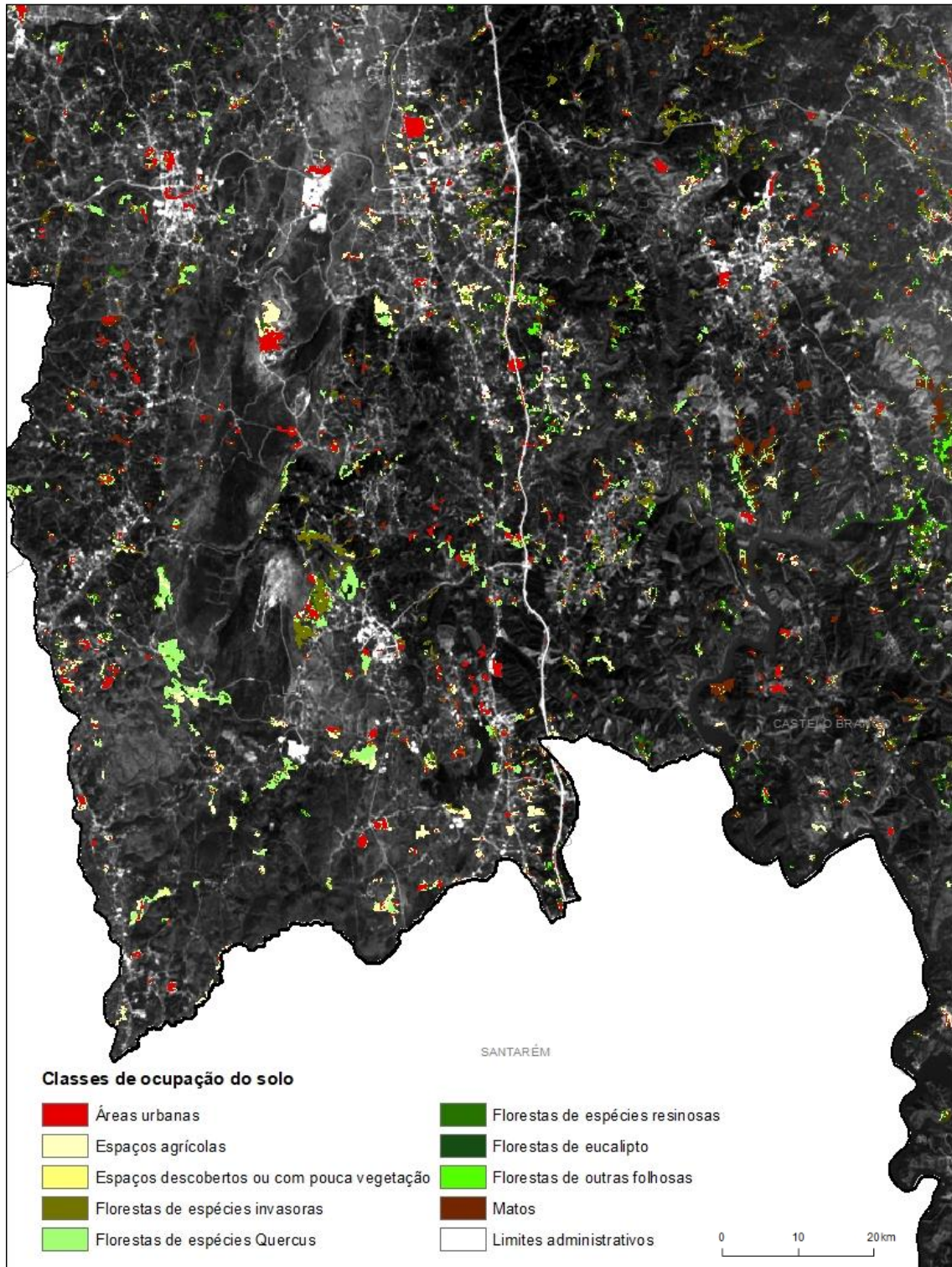


Figura 13. Exemplo do resultado da atribuição de áreas de treino para o ano de 2014.

O quadro 4 indica os agrupamentos das classes de ocupação do solo, de modo a permitir uma classificação mais eficaz, mas também uma maior clareza na avaliação da suscetibilidade. Em relação ao agrupamento das áreas urbanas, este foi concretizado pois não faria sentido para este estudo manter nove classes que diferenciassem áreas de construção humana e através das imagens de satélite não se consegue fazer esta distinção. O mesmo se aplica à classe dos espaços agrícolas, no entanto esta agrupa também as classes de pomares e olivais pelas dificuldades ligadas ao processo de classificação de pixéis mistos. Isto é, os pomares e os olivais, por norma, são constituídos por árvores que têm espaçamento entre si, fazendo com que a refletância do solo seja superior e, por essa razão, corresponda na sua maioria a pixéis de espaços agrícolas. Os agrupamentos realizados para as classes de florestas de espécies *Quercus*, florestas de espécies resinosas e SAF de espécies *Quercus* devem-se à complexidade de atribuição de pixéis que correspondam a uma única espécie. Para além disso, as espécies florestais agrupadas têm um comportamento semelhante em relação à propagação dos incêndios rurais.

Quadro 4. Agrupamento de classes de ocupação do solo (COS, 2010).

Classes de ocupação do solo (2010)	Classes de ocupação do solo agrupadas
Áreas em construção	Áreas urbanas
Equipamentos e zonas históricas	
Espaços verdes urbanos	
Indústria, comércio e equipamentos	
Instalações desportivas e de lazer	
Outras instalações desportivas e de lazer	
Outros equipamentos e zonas históricas	
Tecido urbano contínuo	
Tecido urbano descontínuo	
Agricultura	Espaços agrícolas
Culturas temporárias de sequeiro e regadio	
Culturas com pastagens	
Olivais	
Pastagens permanentes	
Pomares	
Sistemas culturais e parcelares complexos	
Vegetação herbácea	
Vinhas	
Florestas de azinheira	Florestas de espécies <i>Quercus</i>
Florestas de outros carvalhos	
Florestas de sobreiro	
Florestas de outras resinosas	Florestas de espécies resinosas
Florestas de pinheiro bravo	
Florestas de pinheiro manso	
SAF de outros carvalhos	SAF de espécies <i>Quercus</i>
SAF de sobreiro	
SAF de sobreiro com azinheira	

O algoritmo aplicado para calcular as assinaturas espectrais atribuídas a cada classe de ocupação do solo nesta dissertação é o *Maximum likelihood classification* através do *Semi-Automatic Classification plugin*; este identifica “a classe que maximiza a probabilidade de uma classificação correta” (Casimiro, 2002, p.321), colmatando as limitações associadas aos pixéis mistos.

Para estabelecer o grau de confiança da classificação efetuada é necessário avaliar a exatidão dos resultados. Neste caso, a avaliação da exatidão passa pela atribuição de

áreas de validação, onde o princípio é o mesmo de quando foram definidas as áreas de treino para cada classe. No entanto, estas áreas não podem corresponder às definidas como de treino, pois assim os resultados da exatidão serão enviesados para alcançar a melhor classificação, correndo um risco elevado de esta não corresponder à realidade observada no território.

Nas áreas de validação o processo de classificação procede-se igualmente com o mesmo algoritmo e, uma vez obtida a representação para as áreas de validação, podemos então aferir a precisão da classificação. A avaliação da exatidão é executada através do *plugin* referido anteriormente, que possibilita a comparação das áreas de validação com a classificação, originando uma matriz de erro onde podemos analisar a qualidade da classificação adquirida. Tendo em conta que não houve trabalho de campo, a matriz exprime unicamente a qualidade das áreas de treino e não de toda a imagem. O quadro 5 apresenta os resultados alcançados para a classificação realizada para os anos de 2011, 2013 e 2014, onde o rigor do “produtor” indica a pureza dos pixéis das áreas de treino e, o rigor do “consumidor” indica a proporção de pixéis classificados de uma determinada classe que podem pertencer a outra classe.

Quadro 5. Valores de rigor da matriz de erro da classificação supervisionada para os anos de 2011, 2013 e 2014.

Classes de ocupação do solo	Rigor da matriz de erro (%)					
	2011		2013		2014	
	Produtor	Consumidor	Produtor	Consumidor	Produtor	Consumidor
Áreas urbanas	94,0	85,3	88,6	73,3	90,3	54,8
Espaços agrícolas	70,6	59,2	66,4	61,2	56,0	76,1
Espaços descobertos e com pouca vegetação	73,8	97,1	65,1	79,7	73,9	85,9
Florestas de outras folhosas	68,0	62,2	68,8	68,8	58,3	13,3
Florestas de espécies de resinosas	61,3	34,9	65,9	44,1	80,6	85,9
Florestas de espécies invasoras	24,8	25,8	16,7	13,3	30,8	40,7
Florestas de espécies <i>Quercus</i>	61,7	50,5	72,4	63,9	73,1	73,7
Florestas de eucalipto	48,1	39,7	48,5	43,2	71,3	66,7
Matos	88,0	75,7	51,1	84,4	61,3	78,1

As principais limitações desta classificação correspondem às classes de florestas de espécies invasoras e de eucalipto, pois estas apresentam-se como as que têm um rigor

de “produtor” e “consumidor” menor. No entanto, no ano de 2014 as florestas de eucalipto apresentam valores de rigor mais elevados do que nos anos anteriores.

No que respeita à precisão geral obtida os resultados foram 71, 66 e 68 % para os anos 2011, 2013 e 2014, respetivamente. Apesar dos valores de precisão não ultrapassarem 71 %, tendo em conta a resolução das imagens *Landsat* e a ocorrência de pixéis mistos, estes resultados consideram-se satisfatórios, pois representam apenas uma pequena parte do território. Os resultados obtidos desta classificação podem ser observados no quadro 6.

Quadro 6. Frequências relativas (%) das classes de ocupação do solo, nos anos 2011, 2013 e 2014, no Pinhal Interior.

Classes	Área (hectares)			Área (%)		
	2011	2013	2014	2011	2013	2014
Aeroportos e aeródromos	60	60	58	0,013	0,013	0,013
Áreas aquáticas	4959	4959	4971	1,098	1,098	1,101
Áreas de deposição de resíduos	18	18	18	0,004	0,004	0,004
Áreas de extração de inertes	305	305	306	0,067	0,067	0,068
Áreas urbanas	16498	16044	15704	3,652	3,552	3,477
Espaços agrícolas	56975	58143	56969	12,613	12,871	12,613
Espaços descobertos ou com pouca vegetação	2399	2959	4681	0,531	0,655	1,036
Florestas de castanheiro	1582	1582	1580	0,35	0,35	0,35
Florestas de espécies invasoras	3788	3882	3543	0,839	0,859	0,784
Florestas de espécies <i>Quercus</i>	7086	7249	6680	1,569	1,605	1,479
Florestas de espécies resinosas	185637	182944	184598	41,095	40,499	40,869
Florestas de eucalipto	95654	95544	95829	21,175	21,151	21,216
Florestas de outras folhosas	17317	16404	16573	3,833	3,631	3,669
Matos	58513	60698	59237	12,953	13,437	13,115
Redes viárias e ferroviárias e espaços associados	802	802	799	0,177	0,177	0,177
SAF de espécies <i>Quercus</i>	63	63	63	0,014	0,014	0,014
SAF de outras espécies	2	2	2	0	0	0
SAF de outras misturas	70	70	68	0,015	0,015	0,015

Embora haja uma coerência na distribuição das classes de ocupação do solo ao longo dos três anos em análise, ao observarmos o quadro 6 encontramos uma das grandes fragilidades decorrente da classificação de imagens de satélite com baixa resolução espacial. Esta encontra-se na classe de áreas urbanas, onde se verifica um decréscimo de 3,65 % de 2011 para 3,47 % em 2014, isto acontece porque há uma extensa área do

território que entre 2010 e 2015 passou de florestas de eucalipto para florestas de espécies resinosas, sendo que nestes anos intermédios, estando a área em mudança e desprovida de vegetação, na classificação estes pixéis foram assumidos como áreas urbanas.

4.3. Valor Informativo

A avaliação da suscetibilidade aos incêndios rurais constitui uma importante ferramenta no ordenamento dos espaços florestais bem como de todo o território envolvente. Através da sua representação cartográfica é possível obter uma hierarquização da possibilidade de ocorrer um determinado fenómeno (Corominas *et al.*, 2014 *in* Lajas, 2016) e, assim, alcançar um conhecimento mais aprofundado do território de forma a desenvolver medidas adequadas de prevenção dos incêndios rurais, mas também de gestão durante a manifestação da crise.

A metodologia proposta nesta dissertação para avaliar a suscetibilidade aos incêndios rurais assenta na aplicação do método bi-variado do Valor Informativo (VI). Este método baseia-se na aplicação de algoritmos que estabelecem uma relação espacial entre o fenómeno em estudo e as variáveis condicionantes desse mesmo fenómeno (Yin & Yan, 1988). Neste caso, o VI centra-se na relação espacial entre os incêndios rurais (onde as áreas ardidadas são a variável dependente) e, a ocupação do solo e o declive (variáveis independentes ou fatores de predisposição).

Ter conhecimento do histórico das áreas ardidadas é fundamental na aplicação do valor informativo, os fatores de predisposição escolhidos acarretam igualmente uma grande importância, na medida em que “a relação que o fogo tem com a ocupação do solo e o declive permite conhecer os locais onde a suscetibilidade é superior, a que se junta o histórico dos incêndios para melhor definição de padrões e diferenciação de locais onde a recorrência surge como um problema” (Verde e Zêzere, 2007, p.21). Tal como outros métodos bi-variados, ao permitir maior controlo sobre a importância de cada classe das variáveis independentes na distribuição das áreas ardidadas, o VI possibilita a avaliação da suscetibilidade mesmo para classes que não foram afetadas pelos incêndios.

Através da atribuição de pontuações, este método possibilita descrever quantitativamente as relações entre as classes de cada variável independente (ou fatores de predisposição) e a variável dependente (Yin & Yan, 1988). É determinado pela seguinte equação:

$$Li = \log \frac{Si / Ni}{S / N}$$

onde:

Li = valor informativo de cada classe da variável independente;

Si = número de células onde ocorreram incêndios, na classe da variável independente;

Ni = número de células com a variável independente;

S = número total de células onde ocorreram incêndios;

N = número total de células da área de estudo.

Quando o valor de Li é negativo, indica que a classe do fator de predisposição não é determinante para a ocorrência de incêndios rurais. Por sua vez, quando Li é positivo, indica que existe uma relação entre cada classe dos fatores, e quanto maior o seu valor maior será a sua predisposição. O Li pode ainda ter valores indefinidos, o que significa que não existe qualquer ocorrência de incêndios nessa classe, pelo que poderá funcionar como restritiva ao fenómeno. Neste caso, será atribuído o valor mais baixo verificado nas outras classes do fator de predisposição. O resultado do valor informativo é conseguido através do somatório da pontuação para cada classe de cada fator presentes em cada célula.

Uma das principais vantagens da sua aplicação é o facto de as pontuações atribuídas a cada variável não revelarem uma leitura probabilística, mas sim, exprimirem o posicionamento da variável em relação à densidade média. A pontuação atribuída no cálculo quantifica a presença ou a ausência do fenómeno para cada classe das variáveis; este resultado é obtido através da normalização da razão entre a probabilidade condicionada de ocorrer um incêndio numa determinada classe e a probabilidade *a priori* de ocorrer um incêndio no território em estudo (Zêzere, 2007, Zêzere *et al.*, 2011).

Porém, a aplicação deste método também apresenta algumas limitações, nomeadamente (Garcia, 2012, Zêzere, 2002):

- a autocorrelação entre os fatores de predisposição pode conduzir a uma sobrevalorização dos valores de suscetibilidade alcançados;

- cada fator é avaliado de forma isolada, podendo condicionar a obtenção de melhores resultados, uma vez que um fator analisado isoladamente pode não ter expressividade, mas combinado com outro pode contribuir para aumentar a suscetibilidade;

- a classificação das variáveis pode conduzir a uma simplificação exagerada do modelo;

- por ser um método simples e de fácil aplicação, qualquer técnico sem formação adequada o pode aplicar, arriscando-se a criar problemas nos resultados e na interpretação dos mesmos.

Em suma, através deste cálculo é possível obter conclusões acerca das ocorrências registadas no passado e projetá-las para o futuro, ou seja, as áreas com maior predisposição para a ocorrência de áreas ardidas no passado são as que têm igualmente maior predisposição para ocorrer no futuro.

5. Resultados e discussão

5.1. Fatores de predisposição e a sua relação com as áreas ardidadas

A análise dos resultados obtidos a partir do valor informativo tem como objetivo perceber quais as classes de ocupação do solo e de declive que mais contribuem para a ocorrência de incêndios rurais no Pinhal Interior.

Inicialmente foi adquirida cartografia de incêndios rurais (variável dependente) no Pinhal Interior para os anos de 2008 a 2016. A ocupação do solo é a variável independente de maior importância para a avaliação da suscetibilidade, utilizando-se cartografia para os anos de 2007 a 2015; o ano 2007 é utilizado como referência para os anos 2008 e 2009) e 2011 é utilizado como referência para o ano 2012 (tendo em conta, como se verificou, as pequenas diferenças entre os anos que os enquadram).

Quadro 7. Relação entre os anos das áreas ardidadas e da ocupação do solo, para cálculo do VI de cada classe, no Pinhal Interior.

Áreas ardidadas (anos)	Ocupação do solo relacionada
2008	COS, 2007
2009	COS, 2007
2010	COS, 2010
2011	COS, 2010
2012	Landsat, 2011
2013	Landsat, 2011
2014	Landsat, 2013
2015	Landsat, 2014
2016	COS, 2015

A outra variável independente utilizada para o cálculo do valor informativo é o declive, que foi agrupado em 7 classes (quadro 8).

Quadro 8. Classes de declive para modelação da suscetibilidade à ocorrência de incêndios rurais no Pinhal Interior.

Classes de declive (graus)	
1	0 – 2
2	2 – 5
3	5 – 10
4	10 – 15
5	15-25
6	25-35
7	35-65

Após a organização da cartografia necessária, é possível avançar para o cálculo do VI, em que cada classe de cada fator de predisposição é relacionada de forma independente com as áreas ardidadas do Pinhal Interior. Neste processo, é obtido o VI para as classes de cada ano de ocupação do solo através do seu cruzamento com as áreas ardidadas do ano seguinte (com as exceções descritas e justificadas anteriormente).

Os nove anos utilizados no cálculo do VI para construção dos dois modelos de suscetibilidade nesta dissertação, assim como para a sua posterior validação, estão representados na figura 14. Estas áreas ardidadas integram o conjunto de validação, ou seja, vão servir para estimar o quão os modelos representam, ou não, a realidade. A distribuição das áreas ardidadas é relativamente dispersa, sem padrão espacial definido, embora se note uma menor concentração no setor sul do Pinhal Interior. Em conjunto, os nove anos de áreas ardidadas ocupam 20981,6 ha (4,64 % do Pinhal Interior); os anos com maior e com menor área são 2012 e 2008, respetivamente com 7897,6 ha e 210,3 ha (quadro 9).

Quadro 9. Fração do Pinhal Interior com áreas ardidas em cada ano (2008 a 2016).

Áreas ardidas (fração do Pinhal Interior)				
Ano	Área (hectares)		% de Área ardida do PI	Pp de áreas ardidas
	Ardidas	Não ardidas		
2008	210,24	451944,09	0,046	0,00046
2009	707,85	451446,84	0,157	0,00157
2010	1546,02	450608,67	0,342	0,00342
2011	1532,79	450621,54	0,339	0,00339
2012	7897,59	444256,74	1,747	0,01747
2013	3171,33	448983,36	0,701	0,00701
2014	1317,6	450836,73	0,291	0,00291
2015	2485,44	449668,89	0,55	0,0055
2016	2112,75	450041,58	0,467	0,00467

Pp – probabilidade *a priori*.

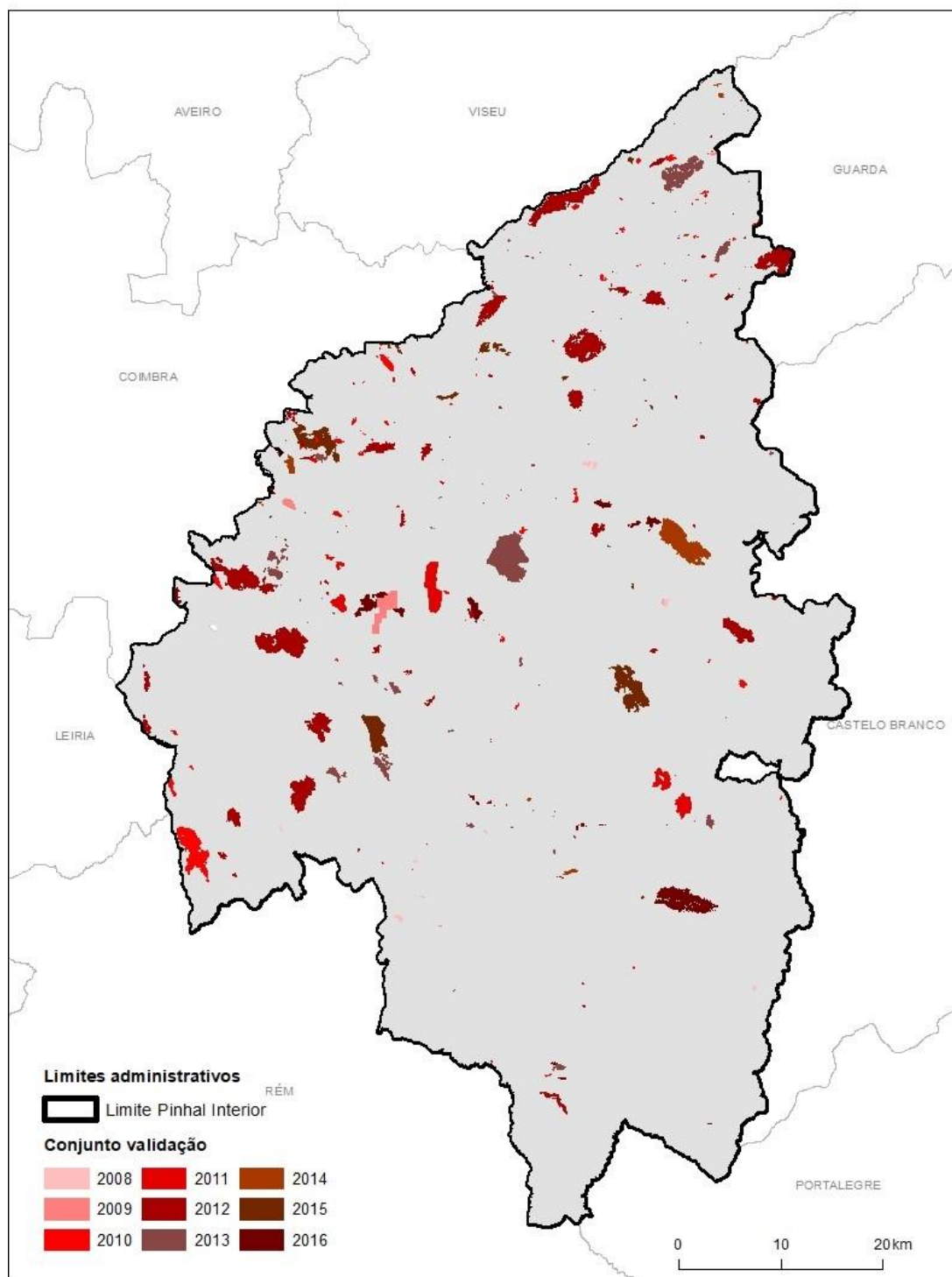


Figura 14. Distribuição espacial das áreas ardidas no Pinhal Interior, utilizadas na construção dos modelos de suscetibilidade (2008 – 2016).

Os resultados permitem concluir que a maioria das classes de ocupação do solo do Pinhal Interior de 2007 a 2015 apresenta valores informativos negativos e que por isso não são determinantes para a ocorrência de incêndios rurais (quadro 10). As classes “aeroportos e aeródromos”, “áreas de deposição de resíduos”, “áreas de extração de

inertes”, “áreas urbanas”, “redes viárias e ferroviárias e espaços associados”, “SAF de outras espécies” e “SAF de outras misturas”, ao longo dos nove anos apresentam sempre valores informativos negativos, indicando que não têm, qualquer predisposição para a ocorrência de áreas ardidas.

Quadro 10. Valor informativo das classes de ocupação do solo de 2007 a 2015.

CLASSES	VALOR INFORMATIVO								
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Aeroportos e aeródromos	-0,850	-4,670	-5,260	-4,160	-3,250	-5,940	-2,760	-2,380	-2,380
Áreas aquáticas	-0,161	-4,670	-5,260	-4,160	-0,942	-5,937	-2,755	-0,681	-2,380
Áreas de deposição de resíduos	-0,805	-4,670	-5,260	-4,160	-3,250	-5,940	-2,760	-2,380	-2,380
Áreas de extração de inertes	-0,850	-4,668	-2,938	-1,791	-1,246	-5,940	-2,760	-1,540	-2,380
Áreas urbanas	-0,850	-4,670	-5,257	-3,862	-0,137	-1,764	-1,063	-1,533	-2,378
Espaços agrícolas	-0,324	-2,861	0,164	-2,075	-0,491	-0,952	-1,748	-0,897	-0,700
Espaços descobertos ou com pouca vegetação	-0,850	-2,110	-3,665	1,327	-0,508	0,141	-0,799	-1,827	-0,242
Florestas de castanheiro	-0,850	-4,670	-1,596	-4,153	-3,243	-5,940	-2,760	-2,373	-0,606
Florestas de espécies invasoras	1,179	-4,670	-0,083	-1,941	-0,185	1,071	-1,888	0,775	-2,307
Florestas de espécies <i>Quercus</i>	-0,850	-3,890	0,630	-4,160	-0,394	1,054	-2,565	-2,273	-2,380
Florestas de espécies resinosas	0,321	-0,280	-0,036	0,388	-0,089	-0,490	-0,676	-0,076	0,245
Florestas de eucalipto	-0,141	0,442	-0,390	-0,196	0,394	0,720	0,413	0,695	0,106
Florestas de outras folhosas	-0,843	0,784	-0,626	-0,917	0,877	1,053	-1,510	-0,015	-0,876
Matos	-0,280	0,684	0,634	0,168	-0,451	-0,558	1,159	-0,561	-0,014
Redes viárias e ferroviárias e espaços associados	-0,850	-4,670	-3,423	-1,805	0,186	-0,800	-2,760	-0,591	1,004
SAF de espécies <i>Quercus</i>	-0,850	-4,670	-5,260	2,279	-3,250	-5,940	-2,760	-2,380	-2,380
SAF de outras espécies	-0,850	-4,670	-5,260	-4,160	-3,250	-5,940	-2,760	-2,380	-2,380
SAF de outras misturas	-0,850	-4,670	-5,260	-4,106	-3,250	-5,940	-2,706	-2,380	-2,380

Há que destacar o valor informativo obtido para a classe de SAF de espécies *Quercus* para o ano de 2010, com uma pontuação de 2,28. Este valor pode ser questionável dado que esta classe tem uma reduzida expressividade no território e por isso ter enviesado o resultado de dois modos: por um lado, a sua área restrita na mancha florestal afetada pelo incêndio faz com que seja afetada diretamente pela passagem do fogo, visto que não constitui barreira suficiente à sua progressão; por outro, mesmo que tenha resistido à passagem do fogo, a sua área pequena pode ter levado a que, na elaboração da cartografia das áreas ardidas, esta área tenha sido ignorada e considerada queimada. No entanto, aquando efetuado os cálculos estatísticos para a analisar os valores, estes

resultados não obtiveram grande expressão uma vez que, a pontuação foi claramente negativa.

Embora existam outras classes com valores informativos positivos, são as classes as florestas de eucalipto e os matos que têm maior frequência de valores positivos ao longo dos anos. Estas classes, tal como foi referido anteriormente, pelas suas características são mais suscetíveis à passagem dos incêndios e estes resultados revelam que a sua dimensão territorial no Pinhal Interior pode viabilizar a ocorrência de incêndios. Por sua vez, as florestas de espécies resinosas, que ocupam cerca de 40 % do território do Pinhal Interior, revelam resultados positivos em apenas três dos nove anos em estudo.

As florestas de eucalipto no ano de 2007, 2009 e 2010 não têm pontuações que indiquem a existência de uma relação com as áreas ardidas, contudo com o avançar dos anos esta apresenta sempre valores informativos positivos, sendo que o valor mais elevado é 0,72 para o ano de 2012. Esta relação entre as florestas de eucalipto e as áreas ardidas pode ser justificada pelo facto de a sua extensão no Pinhal Interior ter aumentado ao longo dos anos e, por essa razão aumentar também a sua suscetibilidade.

A classe de matos tem VI positivos em quatro anos (2008, 2009, 2010 e 2013), destacando-se 2013 por ter valor acima de 1. Para além da forte tendência para coincidir com áreas ardidas, destaca-se um comportamento padrão, em valores positivos alternam com valores negativos do VI. Este facto deverá estar associado à dinâmica de crescimento da vegetação, em que são necessários 2 anos para o desenvolvimento dos matos, criando-se, novamente, as condições para a propagação do fogo.

As florestas de espécies resinosas apresentam valores informativos positivos nos anos de 2007, 2010 e 2015. O valor máximo obtido foi 0,388 para o ano de 2010. É interessante, destacar o facto de, à exceção de 2015, os valores para as florestas de eucaliptos e de resinosas nunca são elevados no mesmo ano. Se nas florestas de eucalipto a relação com as áreas ardidas pode ser entendida pelo aumento da sua área no Pinhal Interior, quanto à classe de florestas de resinosas a relação, ou a falta dela, pode ser entendida pela diminuição da área de pinhal.

Com base nos resultados anteriores, é calculada a média de valor informativo para cada classe de ocupação do solo ao longo dos anos em análise, para integrar, posteriormente, o modelo de suscetibilidade final aos incêndios rurais. Em seguida é realizado o cálculo do valor informativo para as classes do declive, que em conjunto com

os valores médios da ocupação do solo vai integrar o modelo de suscetibilidade final através do cruzamento das duas variáveis.

A média dos valores informativos (quadro 11), tal como já era esperado revela que as classes de florestas de eucalipto e matos são as que mais propiciam a ocorrência de incêndios. No cálculo da mediana, continuam a ser as florestas de eucalipto que têm um valor mais elevado. No entanto, a classe de matos passa para um valor negativo, o que se explica pela contribuição inconstante ao longo dos nove anos, tal como referido anteriormente. A classe florestas de outras folhosas, apesar de na maioria dos anos terem valores informativos negativos, no ano de 2012 a sua pontuação é superior a 1, tornando-a numa classe que mais favorece a ocorrência de incêndios no percentil 75. No percentil 75, as florestas de outras folhosas são as que detêm um maior valor, todavia as florestas de eucalipto e matos continuam a desempenhar um papel importante; por outro lado, neste parâmetro já aparece as florestas de espécies de resinosas como sendo determinantes à ocorrência de incêndios.

Quadro 11. Parâmetros estatísticos do valor informativo para cada classe de ocupação do solo.

Classes de ocupação do solo	Valor informativo		
	MÉDIA	MEDIANA	PERCENTIL 75%
Aeroportos e aeródromos	-3,517	-3,250	-2,380
Áreas de deposição de resíduos	-2,994	-2,755	-0,942
Áreas de extração de inertes	-3,517	-3,250	-2,380
Áreas urbanas	-2,679	-2,380	-1,540
Áreas aquáticas	-2,390	-1,764	-1,063
Espaços agrícolas	-1,098	-0,897	-0,491
Espaços descobertos ou com pouca vegetação	-0,948	-0,799	-0,242
Florestas de castanheiro	-2,910	-2,760	-1,596
Florestas de espécies invasoras	-0,894	-0,185	0,775
Florestas de espécies <i>Quercus</i>	-1,648	-2,273	-0,394
Florestas de espécies resinosas	-0,077	-0,076	0,245
Florestas de eucalipto	0,227	0,394	0,442
Florestas de outras folhosas	-0,230	-0,626	0,784
Matos	0,087	-0,014	0,634
Redes viárias e ferroviárias e espaços associados	-1,523	-0,850	-0,591
SAF de espécies <i>Quercus</i>	-2,801	-2,760	-2,380
SAF de outras espécies	-3,517	-3,250	-2,380
SAF de outras misturas	-3,517	-3,250	-2,380

Analisando os valores informativos anualmente e os cálculos de estatística básica, podemos concluir que as florestas de eucalipto têm um comportamento mais linear e por isso são as que se apresentam como as mais sensíveis à ocorrência de incêndios. Contudo, observando os valores máximos para cada classe, há que ressaltar que as florestas de eucalipto não são as que apresentam os valores mais elevados. Todavia, esta situação é pouco relevante, pois o valor máximo corresponde a uma única ocorrência, a qual pode ser resultado de uma anomalia que não segue o comportamento padrão na área de estudo.

Relativamente ao fator declive, destacam-se principalmente as classes 10-15° e 15-25°, mas também a classe 25-35°, que têm maior predisposição para a ocorrência de áreas ardidas (quadro 12).

Quadro 12. Classes de declive e respetivo valor informativo.

Classes de declive	Valor informativo
0 - 2	-0,438
2 - 5	-0,410
5 - 10	-0,160
10 - 15	0,126
15 - 25	0,230
25 - 35	0,018
35 - 65	-0,246

Tal como referido, no modelo anterior de suscetibilidade é utilizada a média dos valores de VI que resultam dos 9 anos analisados, por forma a contemplar as alterações do coberto vegetal ao longo deste período.

Adicionalmente, e para efeitos de comparação, procedeu-se ao cálculo da suscetibilidade, mas tendo apenas o ano 2010 como referência, mas desta vez considerando o total das áreas ardidas para os nove anos estudados (2008 a 2016). Os valores resultantes do cálculo do valor informativo para o ano de referência (quadro 13) serão posteriormente cruzados com os valores de declive, tal como foi efetuado para o modelo de suscetibilidade anterior 2007-2015. O ano 2010 é aqui reconhecido como o ano de referência, pois apesar da nomenclatura das classes ter sido alterada e algumas dessas classes terem sido agrupadas para facilitar a classificação das imagens de satélite, este ano integra a cartografia oficial da DGT e ocupa uma posição intermédia no período analisado.

Quadro 13. Valores informativos para o ano de referência (2010).

Classes de ocupação do solo	Valor informativo (ano 2010)
Aeroportos e aeródromos	-2,849
Áreas de deposição de resíduos	-2,849
Áreas de extração de inertes	-2,069
Áreas urbanas	-2,137
Áreas aquáticas	-2,267
Espaços agrícolas	-0,818
Espaços descobertos ou com pouca vegetação	-0,069
Florestas de castanheiro	-2,849
Florestas de espécies invasoras	0,062
Florestas de espécies <i>Quercus</i>	0,022
Florestas de espécies resinosas	-0,045
Florestas de eucalipto	0,397
Florestas de outras folhosas	0,587
Matos	0,001
Redes viárias e ferroviárias e espaços associados	-0,280
SAF de espécies <i>Quercus</i>	-0,476
SAF de outras espécies	-2,849
SAF de outras misturas	-2,849

O quadro 13 indica quais as classes que têm maior predisposição aos incêndios rurais no Pinhal Interior para o ano de referência (2010), com o total de áreas ardidas; a comparação com o cálculo da média dos 9 anos (quadro 11) permite perceber que a classe de florestas de espécies invasoras e de espécies *Quercus*, apesar do seu VI positivo, têm um contributo diminuto para a ocorrência de incêndios. Por sua vez, as florestas de resinosas continua aqui com uma pontuação negativa, indicando que estas não têm uma relação direta com as áreas ardidas. Comparativamente ao modelo anterior, utilizando apenas a ocupação do solo de 2010, a classe de matos perde relevância e são as florestas de eucalipto e de outras folhosas que se destacam por ter uma maior predisposição à ocorrência de incêndios.

5.2. Avaliação da suscetibilidade

Finalizados os cálculos do valor informativo é possível avançar para o passo seguinte, o da avaliação da suscetibilidade aos incêndios rurais no Pinhal Interior. Através da comparação entre o modelo de suscetibilidade obtido pela média dos 9 anos e o modelo de suscetibilidade obtido para o ano de referência (2010), será possível, à partida, entender se é relevante a utilização de cartografia anual de ocupação do solo na avaliação da suscetibilidade à ocorrência de áreas ardidas. De forma a compreender melhor os resultados alcançados no modelo de suscetibilidade obtido pela média e no modelo obtido para o ano de referência, serão, também, analisados os modelos resultantes do cálculo efetuado para cada ano em estudo, isto é, cada ano de ocupação do solo será relacionado com as áreas ardidas do ano seguinte.

A avaliação da suscetibilidade permite, como já foi referido anteriormente, identificar as áreas mais sensíveis aos incêndios, mas também as áreas onde a perda será maior. Neste sentido, este tipo de modelos pode e deve ser usado como ponto de partida para a adoção de medidas de prevenção, deteção e, também, de combate, fazendo deste um território onde a incidência de incêndios rurais não seja tão regular.

Uma vez que o objetivo desta dissertação não passa pela análise da suscetibilidade propriamente dita, mas sim por perceber qual a relevância de utilização de cartografia de ocupação do solo atualizada para a construção de modelos de suscetibilidade, será feita apenas uma breve análise dos resultados da cartografia obtida (quadros 14, 15 e 16).

Quadro 14. Classificação da suscetibilidade, obtida para a média dos 9 anos, através da divisão por quintis.

Classes de suscetibilidade	Valores das classes do VI	% da área de estudo
Muito reduzida	-3,95 a -0,51	23
Reduzida	-0,51 a -0,10	20
Moderada	-0,10 a 0,07	21
Elevada	0,07 a 0,21	18
Muito elevada	0,21 a 0,46	18

Quadro 15. Classificação da suscetibilidade, obtida para o ano de referência (2010), através da divisão por quintis.

Classes de suscetibilidade	Valores das classes do VI	% da área de estudo
Muito reduzida	-3,29 a -0,49	21
Reduzida	-0,49 a -0,04	23
Moderada	-0,04 a 0,17	30
Elevada	0,17 a 0,51	17
Muito elevada	0,51 a 0,82	10

No modelo de suscetibilidade a partir da média (quadro 14), resultante do cruzamento entre os VI médios para cada classe de ocupação do solo e os VI do declive (figura 24), a classe de suscetibilidade muito elevada e elevada são as que têm menor representatividade no Pinhal Interior, ambas com 18 %. A classe moderada ocupa 21 % e a reduzida 20 %. Por sua vez, a classe muito reduzida é a que tem maior área, com 23 % do território. Neste sentido, cerca de 60 % do território (classes moderada a muito elevada) tem valores de suscetibilidade positivos e por isso é mais suscetível à ocorrência de incêndios.

No modelo de suscetibilidade para o ano de referência (quadro 15), que contempla o cálculo do VI para as classes de ocupação do solo de 2010 com as áreas ardidadas dos nove anos estudados e a sua relação com o VI para as classes de declive (figura 25), a classe moderada é a mais representada (30 %) no Pinhal Interior e a classe muito elevada é a que tem menor presença, cerca de 10 %. As restantes três classes têm frequências que rondam entre 17 e 23 %, a classe elevada tem 17 %, a muito reduzida detêm 21 % e a reduzida 23 %. Todavia, as classes moderada a muito elevada ocupam quase 60 % do território, indicando que mais de metade se apresenta como sendo suscetível à ocorrência de incêndios rurais.

Comparando estes dois modelos, a maior diferença é evidenciada pelos valores das classes elevada e muito elevada, onde no modelo para o ano de referência os valores informativos alcançados são superiores ao modelo efetuado através da média. Enquanto que no modelo obtido pela média a classe muito elevada começa nos 0,21 até aos 0,46, no modelo para o ano de referência estes valores são encontrados na classe elevada, sendo que, a classe muito elevada tem um valor máximo de 0,82.

Ao analisarmos os modelos de suscetibilidade para cada ano (quadro 16), constatamos que, à semelhança dos modelos apresentados anteriormente, as classes com valores informativos positivos representam cerca de metade do território quase todos os anos, sendo que, em 2012 e 2013 estas classes representam apenas 26 e 34 % respetivamente. Este é um facto bastante curioso uma vez que é nestes dois anos que a área ardida tem uma maior dimensão, com 7897,59 ha em 2012 e 3171,33 ha em 2013. Há ainda a anotar que, os valores informativos são consideravelmente mais elevados, à exceção de 2009, são sempre acima de 1, chegando em 2010 a 2,51. Todavia, apesar dos valores informativos serem mais elevados, a classe muito elevada nos nove anos aqui representados é a que tem sempre menor percentagem do território, rondando quase sempre 15 %.

Quadro 16. Classificação da suscetibilidade para os 9 anos, através da divisão por quintis.

2007			2008		
Classes de suscetibilidade	Valores das classes do VI	% da área de estudo	Classes de suscetibilidade	Valores das classes do VI	% da área de estudo
Muito reduzida	-1,29 a -0,49	23	Muito reduzida	-5,11 a -0,74	23
Reduzida	-0,49 a -0,10	20	Reduzida	-0,74 a -0,16	27
Moderada	-0,10 a 0,09	20	Moderada	-0,16 a 0,25	17
Elevada	0,09 a 0,45	23	Elevada	0,25 a 0,65	22
Muito elevada	0,45 a 1,41	14	Muito elevada	0,65 a 1,01	12
2009			2010		
Classes de suscetibilidade	Valores das classes do VI	% da área de estudo	Classes de suscetibilidade	Valores das classes do VI	% da área de estudo
Muito reduzida	-5,70 a -0,45	22	Muito reduzida	-4,60 a -1,09	20
Reduzida	-0,45 a -0,22	22	Reduzida	-1,09 a -0,05	21
Moderada	-0,22 a 0,07	24	Moderada	-0,05 a 0,22	24
Elevada	0,07 a 0,27	18	Elevada	0,22 a 0,50	20
Muito elevada	0,27 a 0,86	14	Muito elevada	0,50 a 2,51	14

2011			2012		
Classes de suscetibilidade	Valores das classes do VI	% da área de estudo	Classes de suscetibilidade	Valores das classes do VI	% da área de estudo
Muito reduzida	-3,69 a -0,53	21	Muito reduzida	-6,38 a -0,93	22
Reduzida	-0,53 a -0,27	23	Reduzida	-0,93 a -0,48	22
Moderada	-0,27 a 0,04	22	Moderada	-0,48 a -0,26	30
Elevada	0,04 a 0,22	18	Elevada	-0,26 a 0,81	15
Muito elevada	0,22 a 1,11	17	Muito elevada	0,81 a 1,30	11

2013			2014		
Classes de suscetibilidade	Valores das classes do VI	% da área de estudo	Classes de suscetibilidade	Valores das classes do VI	% da área de estudo
Muito reduzida	-3,20 a -1,51	20	Muito reduzida	-2,82 a -0,73	21
Reduzida	-1,51 a -0,66	23	Reduzida	-0,73 a -0,24	28
Moderada	-0,66 a -0,46	23	Moderada	-0,24 a 0,15	29
Elevada	-0,46 a 0,63	21	Elevada	0,15 a 0,81	15
Muito elevada	0,63 a 1,40	13	Muito elevada	0,81 a 1,01	7

2015		
Classes de suscetibilidade	Valores das classes do VI	% da área de estudo
Muito reduzida	-2,82 a -0,58	21
Reduzida	-0,58 a -0,07	20
Moderada	-0,07 a 0,20	21
Elevada	0,20 a 0,36	25
Muito elevada	0,36 a 1,23	14

No ano de 2007 (figura 15), o modelo de suscetibilidade indica que é nas classes muito reduzida e elevada que se encontram as maiores percentagens, cerca de 23 %, segue-se as classes reduzida e moderada com 20 %, já a classe muito elevada representa apenas 14 % do território.

Em 2008 (figura 16) a classe muito elevada é representada em apenas 12 % do território e a classe elevada detém 22 %. As classes com maior percentagem são a muito reduzida e reduzida têm 23 e 27 % respetivamente. A classe moderada é representada em 17 % da área.

No ano de 2009 (figura 17) as classes muito reduzida e reduzida têm valores iguais na representatividade na área do Pinhal Interior (22 %), a classe moderada é a de maior valor, já as classes elevada e muito elevada correspondem a 18 e 14 % respetivamente.

No modelo que representa o ano de 2010 (figura 18) é a classe moderada que tem maior área, com 24 %, seguindo-se a classe reduzida com 21 %, posteriormente elevada e muito reduzida com 20 % e, por último a muito elevada com 14 %. Ao compararmos este modelo com o modelo de 2010 que considera as áreas ardidadas dos 9 anos, constatamos que em ambos os modelos a classe muito elevada é a que ocupa a menor percentagem do território do Pinhal Interior, contudo, é no modelo que usa apenas as áreas ardidadas de 2011 que se verificam os valores informativos mais elevados.

Para o ano de 2011 (figura 19) há a destacar o facto de as classes elevada e muito elevada serem as que têm uma menor percentagem da área de estudo, com 18 e 17 % respetivamente. A classe mais representativa neste ano é a classe reduzida (23 %), seguindo-se da classe moderada (22 %) e da muito reduzida (21 %).

Em 2012 (figura 20) o modelo revela que é a classe moderada que tem maior área (30 %), esta apresenta na sua totalidade valores negativos, o que a torna numa classe de menor suscetibilidade. As classes reduzida e muito reduzida com ocupam 22 % cada, já a classe elevada tem a particularidade de se iniciar com valores negativos, com 15 % do território, e a muito reduzida tem apenas 11 %.

No modelo de suscetibilidade para o ano de 2013 (figura 21), as classes com maior ocupação são a moderada e a reduzida. Tal como em 2012 a classe elevada (21 %) inicia-se com um valor informativo negativo, indicando-nos que existe uma grande parte do território em que a relação com as áreas ardidadas não é favorável para a ocorrência de incêndios. Por sua vez, a classe muito elevada representa 13 % do Pinhal Interior e a muito reduzida 20 %.

Em relação ao modelo para o ano de 2014 (figura 22) a classe muito elevada tem uma expressão bastante reduzida, apenas 7 %, dos anos em análise este é o valor mais baixo para esta classe. A classe elevada é a segunda de menor dimensão (15 %), sendo as classes moderada e reduzida que têm maiores áreas, 29 e 28 %, respetivamente.

Por fim, no modelo de suscetibilidade para o ano de 2015 (figura 23), é a classe elevada (25 %) que tem maior área, segue-se as classes moderada e muito reduzida (21 %), a classe reduzida detém 20 % e a muito elevada apenas 14 %.

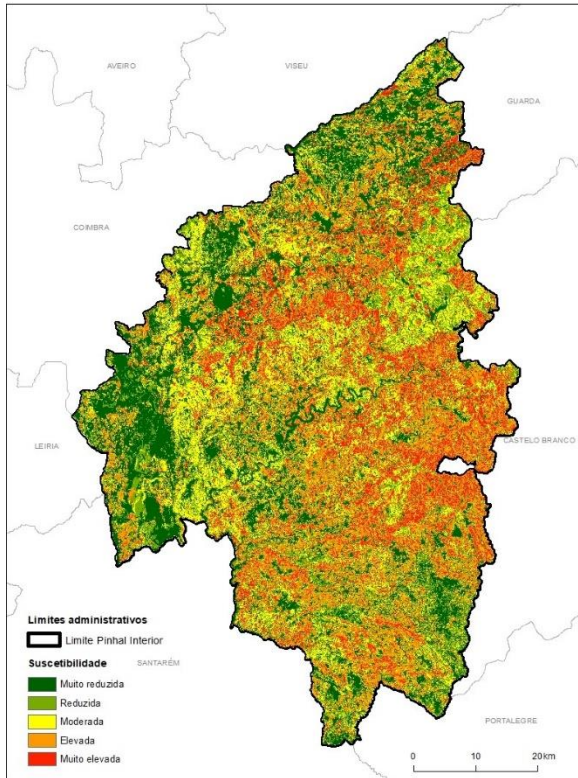


Figura 15. Modelo de suscetibilidade a incêndios rurais no Pinhal Interior para o ano de 2007.

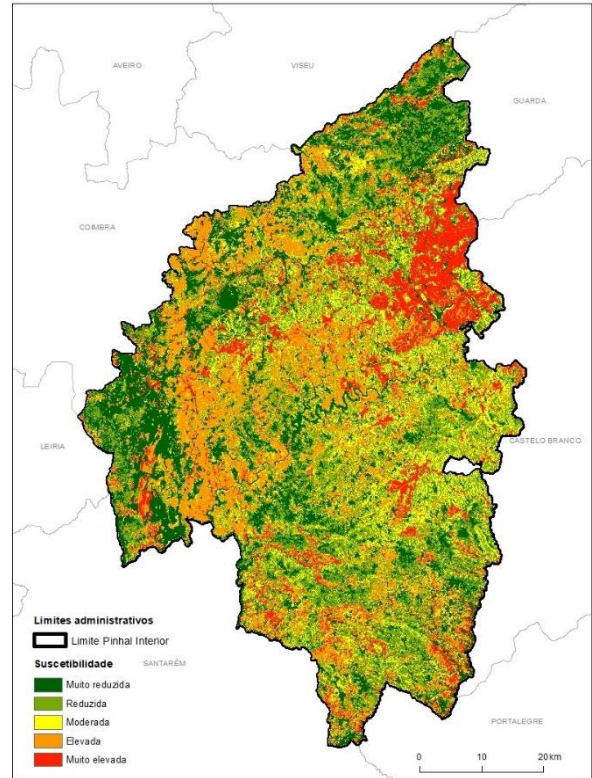


Figura 16. Modelo de suscetibilidade a incêndios rurais no Pinhal Interior para o ano de 2008.

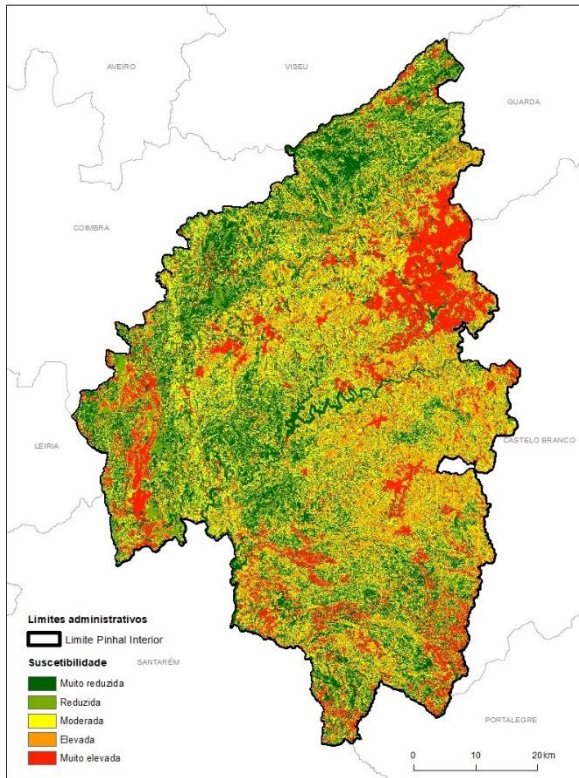


Figura 17. Modelo de suscetibilidade a incêndios rurais no Pinhal Interior para o ano de 2009.

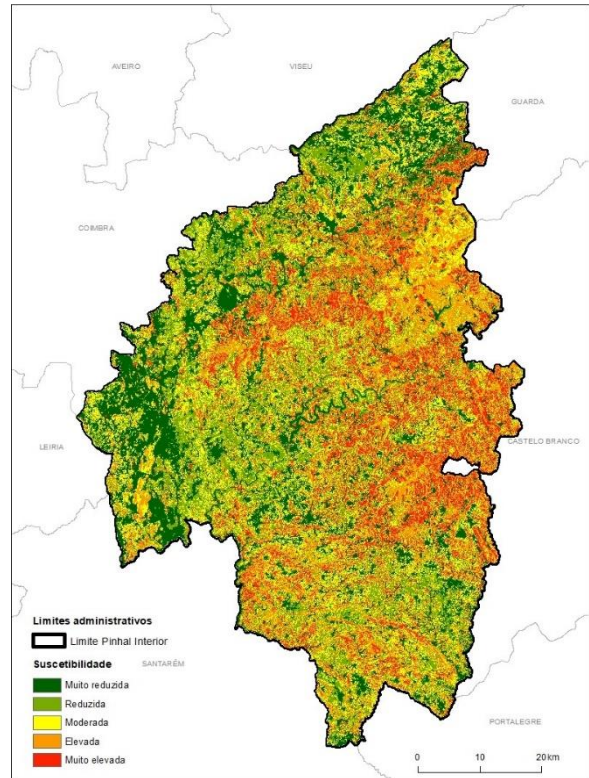


Figura 18. Modelo de suscetibilidade a incêndios rurais no Pinhal Interior para o ano de 2010.

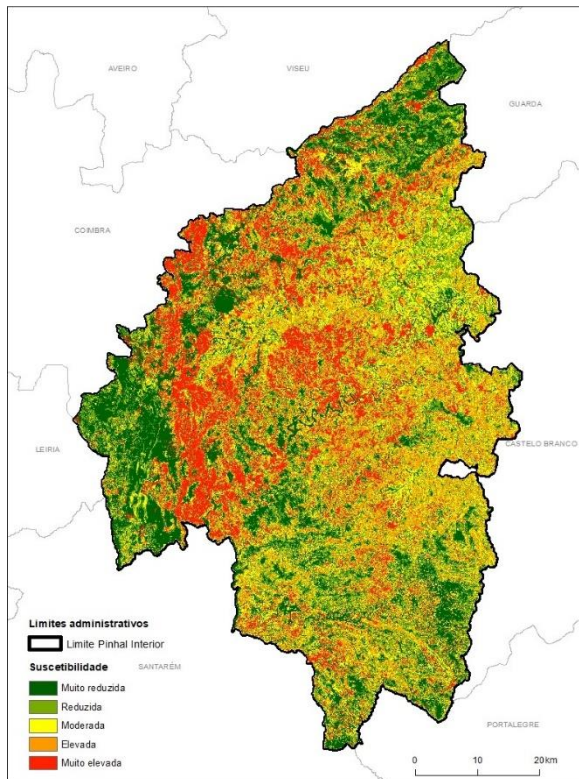


Figura 19. Modelo de suscetibilidade a incêndios rurais no Pinhal Interior para o ano de 2011.

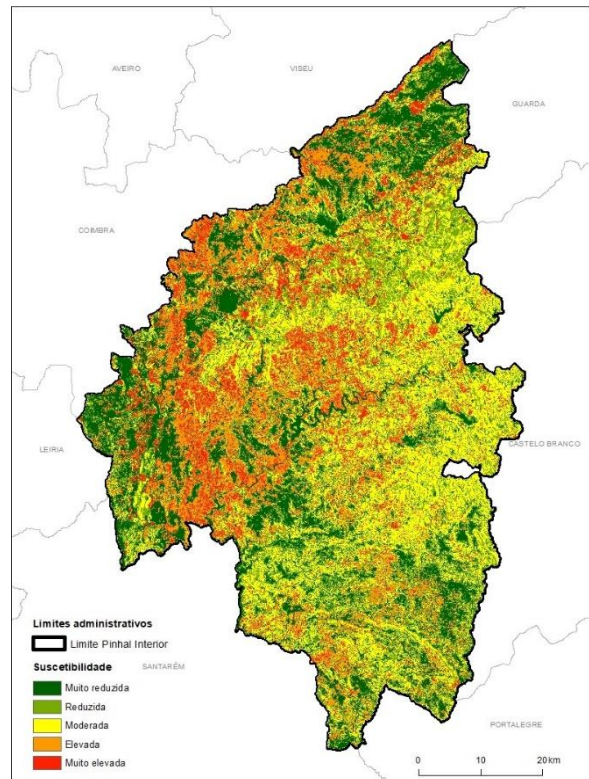


Figura 20. Modelo de suscetibilidade a incêndios rurais no Pinhal Interior para o ano de 2012.

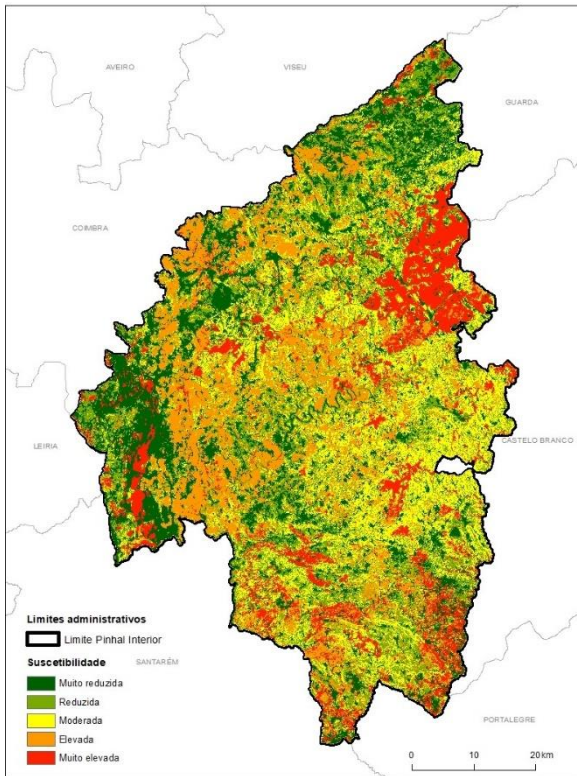


Figura 21. Modelo de suscetibilidade a incêndios rurais no Pinhal Interior para o ano de 2013.

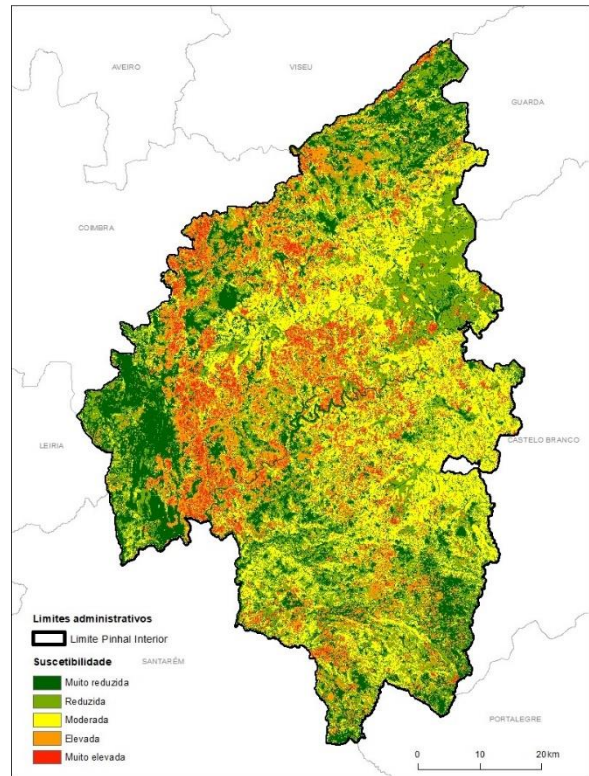


Figura 22. Modelo de suscetibilidade a incêndios rurais no Pinhal Interior para o ano de 2014.

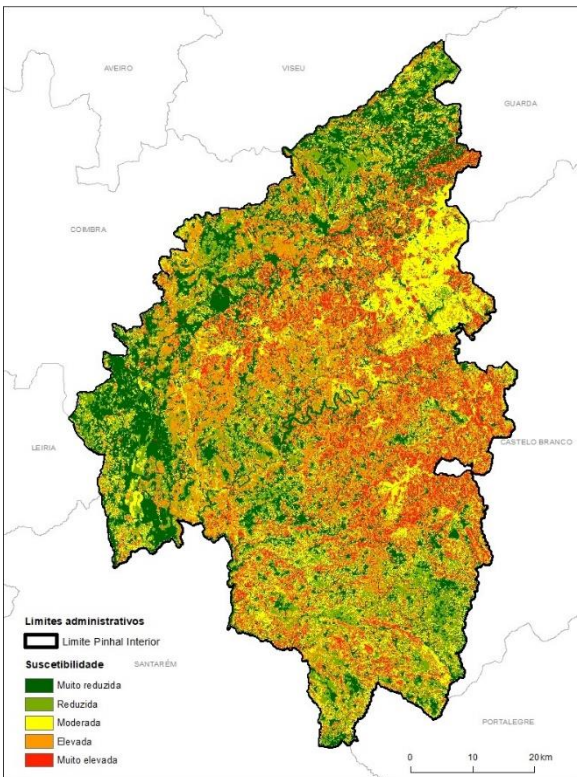


Figura 23. Modelo de suscetibilidade a incêndios rurais no Pinhal Interior para o ano de 2015.

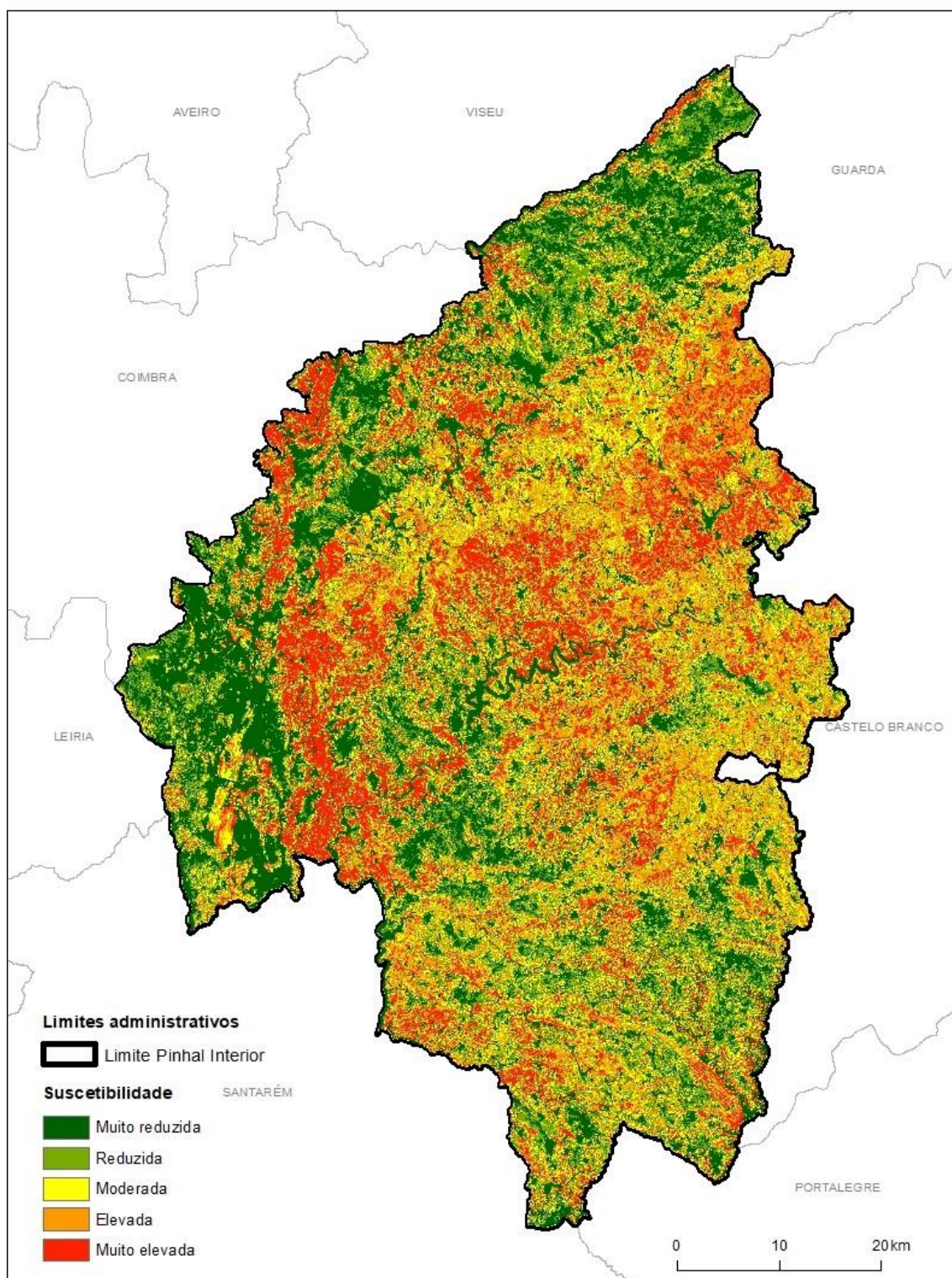


Figura 24. Modelo de suscetibilidade a incêndios rurais no Pinhal Interior, obtido com base na média do VI para 9 anos.

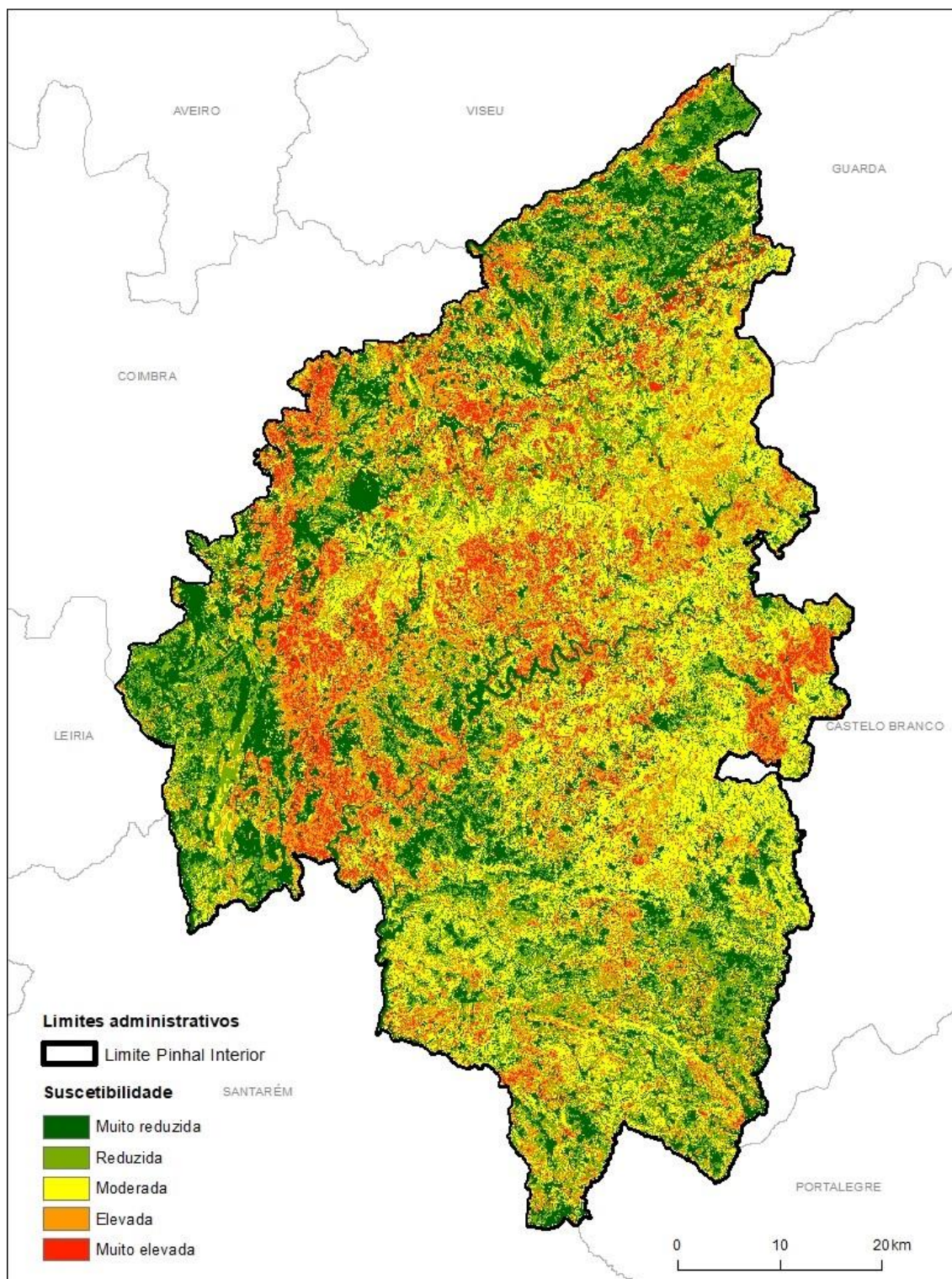


Figura 25. Modelo de suscetibilidade a incêndios rurais no Pinhal Interior, obtido com base no ano de referência (2010).

5.3. Validação da cartografia de suscetibilidade: curvas de sucesso

Avaliar a qualidade dos mapas de suscetibilidade é o próximo e último passo para que se possa estabelecer um grau de confiança dos resultados dos modelos. A validação dos modelos será baseada nas curvas de sucesso⁵ onde será feito o cruzamento dos mapas de suscetibilidade com a distribuição das áreas ardidas. Deste modo é avaliado “apenas o grau de ajuste entre o modelo preditivo e os dados que o originam” (Verde e Zêzere, 2007, p. 16), ou seja, o ajustamento entre os modelos e as áreas ardidas nos nove anos estudados.

Após efetuados os cálculos, é possível criar dois gráficos onde se observa a Área Abaixo da Curva (AAC) (figura 26 e 27). Esta pode variar entre 0 e 100 %, onde 50 % é considerado o valor mínimo de aptidão dos modelos. A partir de 75 % o modelo é considerado aceitável, maior que 80 % é muito aceitável e superior a 90 % significa que o modelo corresponde com grande eficácia à distribuição espacial das áreas ardidas.

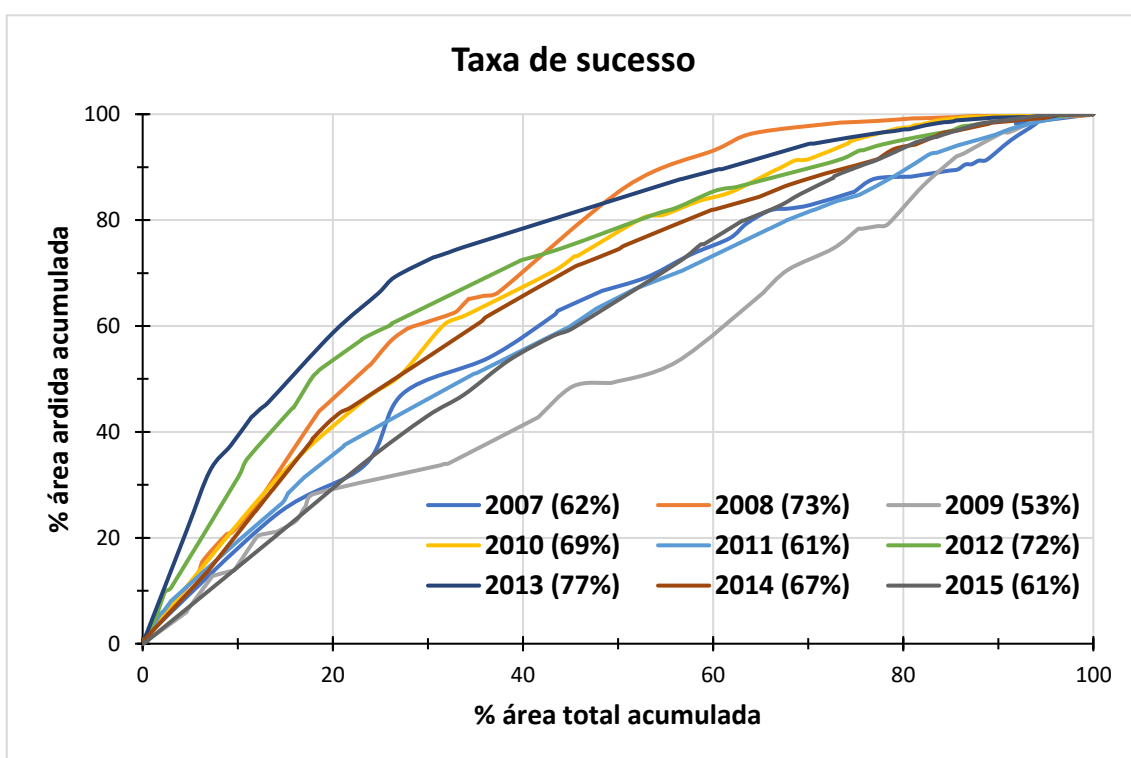


Figura 26. Curvas de sucesso para os modelos de suscetibilidade a incêndios rurais no Pinhal Interior referentes a cada ano.

⁵ A curva de sucesso mede o ajustamento entre o modelo preditivo e o conjunto das áreas ardidas que deram origem a esse mesmo modelo.

A figura anterior demonstra as curvas de sucesso e o grau de confiança obtido para os modelos de suscetibilidade referentes a cada ano estudado. O ano de 2009 é o que apresenta uma área abaixo da curva menor (53 %), ou seja, segundo a explicação dada anteriormente, não atinge a percentagem considerada aceitável. Contudo, este facto não acontece só no ano de 2009, ao olharmos para o gráfico, constatamos que à exceção de 2013, todos os outros modelos atingem somente o valor mínimo de aptidão.

Devido à homogeneidade atingida pelos valores da área abaixo da curva em praticamente todos os anos, não é necessário explicar de forma individual os resultados de todos os modelos. Neste sentido, podemos resumir que para os anos de 2007, 2010, 2011, 2014 e 2015 para se conseguir explicar 50 % das áreas ardidas é necessário cerca de 30 % da área de estudo. Se pretendermos justificar 75 % das áreas ardidas, aí será preciso recorrer a cerca de 60 % do território e, para 90 % necessitamos de 70 a 80 % da área total.

Os anos 2008 e 2012 têm um valor de AAC muito perto do mínimo aceitável (73 % para 2008 e 72 % para 2012), nestes modelos para justificar 50 % da área ardida é necessário cerca de 25 % da área total, para explicar 75 % de área ardida precisamos de 45 % do território, para fundamentar 90 % da área ardida precisamos de 60 % do total da área para 2008 e 70 % para 2012.

Como já foi referido, o modelo para o ano de 2013 destaca-se dos restantes pela positiva, este é o único modelo que tem uma percentagem considerada aceitável de área abaixo da curva (77 %). Em que cerca de 20 % da área total justifica 50 % das áreas ardidas e, é necessário apenas 35% do território para determinar 75 % das áreas ardidas. Se pretendermos fundamentar 90 % das áreas ardidas, será preciso cerca de 65 % da área total.

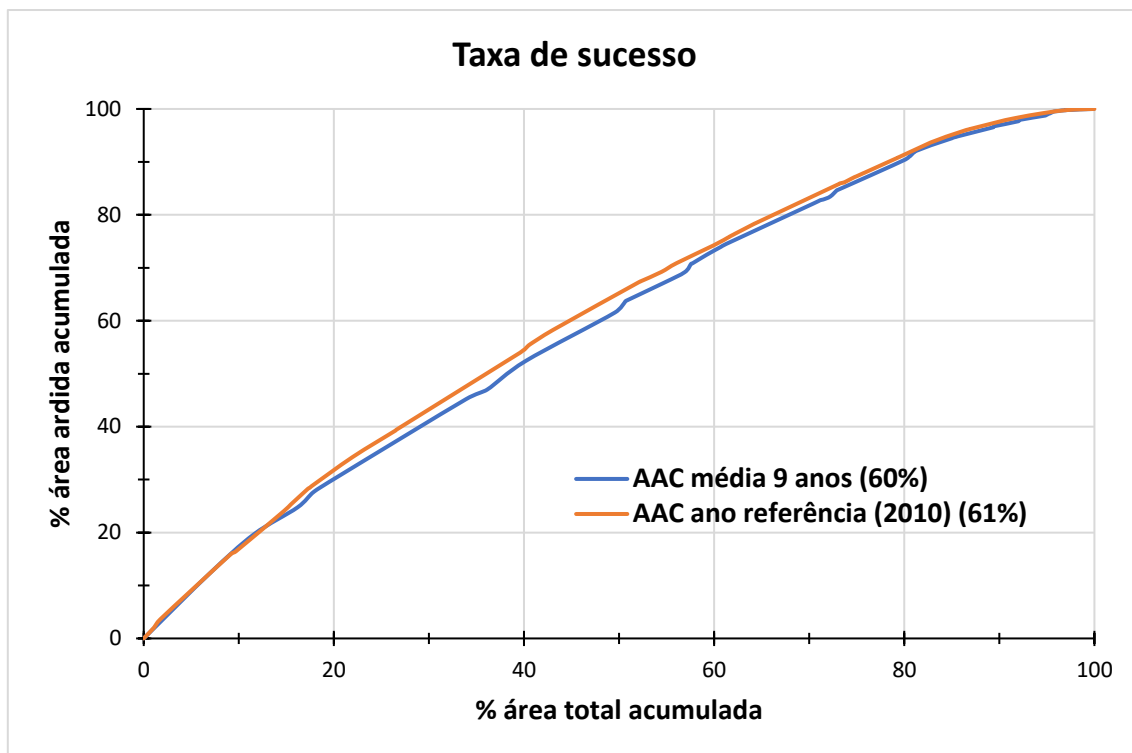


Figura 27. Curvas de sucesso para os dois modelos de suscetibilidade a incêndios rurais no Pinhal Interior.

Através das curvas de sucesso visualizadas na figura 27, para o modelo de suscetibilidade com a média dos 9 anos e para o modelo do ano de referência (2010), verifica-se que as duas curvas estão muito próximas e que as taxas de sucesso têm valores muito parecidos e pouco satisfatórios (60 e 61 %). Ambos os modelos explicam uma pequena percentagem das áreas ardidas, uma vez que se situam pouco acima do valor mínimo admissível e abaixo do valor considerado aceitável (75 %).

As curvas de sucesso para estes dois modelos finais demonstram que, é necessário cerca de 40 % da área total para explicar 50 % da área ardida, de modo a subir para os 75 % de área ardida, em ambos os modelos, é necessário cerca de 60 % e para 90 % é preciso ter em conta 80 % do território.

Apesar de a AAC do modelo que considera a média dos 9 anos ser inferior ao do ano de referência, esta diferença é muito reduzida (1 %) e, conseqüentemente, estes resultados não permitem afirmar que utilizando a cartografia de ocupação do solo atualizada ano a ano traga verdadeiros benefícios no estudo da suscetibilidade aos incêndios florestais no Pinhal Interior.

Conclusão

Como se pôde constatar, o Pinhal Interior é um território onde a ocorrência de incêndios rurais é bastante frequente. Neste sentido, esta dissertação pretendeu dar resposta à questão: em que medida a produção de cartografia anual de ocupação do solo poderá trazer melhores resultados na avaliação da suscetibilidade? Após efetuados os cálculos para o modelo de suscetibilidade obtido através da média dos 9 anos e, das respetivas taxas de sucesso, podemos concluir que atendendo às curvas de sucesso apresentadas, a integração de cartografia de ocupação do solo atualizada anualmente, neste caso, não gera melhores resultados e, com apenas 60 % de sucesso, fica muito abaixo do espetável. Poder-se-á assim dizer, à partida, e apenas com base nestes elementos, que a avaliação da suscetibilidade a incêndios rurais não justifica o tempo e o esforço na utilização de cartografia anual de ocupação do solo.

Todavia, há a considerar que estes resultados podem ter sido enviesados pela classificação da ocupação do solo através das imagens do sistema *Landsat*, pois estas têm cerca de 30 m de resolução espacial e em alguns casos não foi possível distinguir com clareza as diversas classes.

Porém, a explicação que parece mais legítima é o facto de as classes de ocupação do solo com VI mais elevados ocuparem quase a totalidade do território, nomeadamente as florestas de eucaliptos, florestas de espécies resinosas e matos e, dentro destas grandes manchas poderá existir variações nas classes de ocupação do solo importantes que não foram consideradas. Apesar de na classificação da ocupação do solo se ter tido em consideração a inflamabilidade de algumas espécies, nomeadamente, na separação entre matos, florestas de eucaliptos, florestas de espécies resinosas e florestas de espécies *Quercus*, há critérios não tidos em conta, como por exemplo a diferença de inflamabilidade de um pinhal jovem ou um pinhal não gerido.

De forma a perceber se realmente o problema está na classificação da ocupação do solo conseguida a partir das imagens de satélite, recorreu-se à cartografia oficial da DGT (nível 5) para os anos de 2007, 2010 e 2015, às quais foi sobreposta a cartografia que integra o total das áreas ardidas nos 9 anos. Tal como esperado, dentro das grandes manchas e, onde ardeu, existem outras classes com diferentes graus de inflamabilidade. No caso da classe matos, foram agrupados tanto os matos densos como os pouco

densos. Nas grandes manchas das florestas de espécies resinosas, encontram-se, para além de florestas de pinheiro bravo, novas plantações de pinheiro bravo e florestas abertas da mesma espécie. Por sua vez, nas áreas dominadas pelas florestas de eucalipto podem distinguir-se as florestas abertas ou, também, as novas plantações. Ou seja, tentou-se ter o máximo rigor na definição da ocupação do solo para os vários anos, porém, falhou-se na distinção das classes, consequência das limitações impostas pelas imagens de satélite. Presumivelmente, se as imagens de satélite adquiridas tivessem uma maior resolução, seria possível identificar com maior rigor as subclasses e dessa forma entender a viabilidade deste modelo final. Para aferir a sua aplicabilidade, seria também interessante que este modelo fosse aplicado a outro território com características diferentes às do Pinhal Interior.

Contudo, apesar de no modelo adquirido a partir da média os resultados nos indicarem que a utilização da classificação do uso do solo ano a ano não traz benefícios ao estudo da suscetibilidade, ao analisarmos as taxas de sucesso para cada um dos anos em análise, as conclusões podem ser bem diferentes. Os modelos finais têm uma AAC de 60 e 61 %, ora ao verificarmos os valores para cada ano individualmente constatamos que somente em 2009 o valor de AAC foi abaixo dos 60 %. Todos os outros anos têm valores superiores a 60 %, sendo que quatro destes são iguais ou superiores a 67 % e, um deles (2013) supera o limite aceitável dos 75 % para validação do modelo.

Ou seja, quase todos os valores anuais são superiores ou bastante superiores à média e, através desta constatação a criação de cartografia de ocupação do solo ano a ano pode ser considerada uma mais valia para a avaliação da suscetibilidade no território do Pinhal Interior.

Esta avaliação da suscetibilidade, ao reconhecer as áreas mais sensíveis, possibilita localizar as áreas onde o tratamento de combustível deve ser prioritário, promovendo a limpeza dos terrenos bem como a criação de faixas de gestão de combustível. No Pinhal Interior são as classes de matos, florestas de eucaliptos e florestas de espécies resinosas, que ocupam quase todo o território, cerca de 77 %, que têm maior predisposição à deflagração e propagação dos incêndios e por isso é nestas áreas que se devem centrar as medidas de prevenção imediatas. Através do conhecimento das áreas mais suscetíveis é, ainda, possível definir estratégias de intervenção rápida no combate aos incêndios adequadas ao território, visando a proteção da natureza, pessoas e bens. Além

do mais, em situações que o incêndio ponha em risco os aglomerados populacionais, a elaboração de planos de emergência e de evacuação torna-se mais eficaz.

O grande investimento em meios de combate a incêndios tem se revelado insuficiente devido à ausência de investimento em ações de prevenção. Neste contexto, a análise da suscetibilidade viabiliza uma melhor canalização dos investimentos, complementando a prevenção e o combate, por forma a diminuir os impactos resultantes do incêndio.

As áreas ardidadas devem ser encaradas como uma oportunidade de recuperar estes territórios de forma equilibrada e sustentável. Mediante a localização dos aglomerados urbanos e das atividades económicas em áreas de menor risco, é possível assegurar o valor económico e ambiental destas áreas e, ao mesmo tempo promover a fixação da população.

Para finalizar, não devem ser esquecidas as ações para mitigar os efeitos resultantes dos incêndios, especialmente na adoção de técnicas imediatas que previnam a erosão dos solos e a contaminação dos recursos hídricos.

Bibliografia

Antunes, C., Viegas, D., Mendes, J. (2011). Avaliação do risco de Incêndio Florestal no Concelho de Arganil. *Silva Lusitana*, 19(2), p.165-179.

Autoridade Florestal Nacional (2012) – Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios Guia Técnico, Direção de Unidade de Defesa da Floresta, Lisboa.

Beighley, M., Hyde, A. (2018). Gestão dos incêndios florestais em Portugal numa nova era. Avaliação dos Riscos de Incêndio, Recursos e Reformas.

Bergonse, R., Bidarra, J. (2010). Probabilidade bayesiana e regressão logística na avaliação da suscetibilidade de ocorrência de incêndios de grande magnitude. *Finisterra*, XLV, 89, p. 79-104.

Canto, L., Junior, J., Candeias, A. (2016). Análise comparativa de classificadores em imagens *Landsat 8* (OLI) com e sem correção atmosférica no entorno de Petrolândia-PE. *VI Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação*. Recife, Brasil.

Casimiro, P. (2002). *Uso do solo, Teledeteção e Estrutura da Paisagem Ensaio Metodológico – Concelho de Mértola*. Dissertação de doutoramento em Geografia e Planeamento Regional. Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Nova de Lisboa. 585 p.

Centro de Estudos sobre Incêndios Florestais (2017). O complexo de incêndios de Pedrogão Grande e concelhos limítrofes, iniciado a 17 de junho de 2017. CEIF/ADAI/LAETA. Coimbra.

Coelho, L. (2016). *Análise e estudo comparativo das ações de mecanização florestal, respeitantes aos Fundos Comunitários, no período de 1994 a 2011, no território do Pinhal Interior*. Dissertação de mestrado em Recursos Florestais. Escola Superior Agrária, Coimbra. 56 p.

Conselho Nacional do Ambiente e do Desenvolvimento Sustentável (2006). Reflexão do CNADS sobre os sistemas de proteção e combate aos incêndios rurais. CNADS. Lisboa.

Dimuccio, L., Ferreira, R., Cunha, L., Almeida, A. (2008). Suscetibilidade aos incêndios florestais na Região Centro de Portugal. Utilização de ferramentas SIG e de um modelo de redes neurais para ponderar os fatores condicionantes. *Cadernos de Geografia*, nº26/27, p.179-188.

Direção de Unidade de Defesa da Floresta (2010). Manual para o tratamento da informação geográfica associada a terrenos percorridos por incêndios. DUDF. Lisboa.

Direção-Geral das Florestas (2001). Manual do utilizador para a classificação de incêndios florestais. DGF. Lisboa.

Direção-Geral do Território (2007). Carta de Uso e Ocupação do Solo de Portugal Continental para 2007 (COS 2007). Lisboa. www.dgterritorio.pt

Direção-Geral do Território (2010). Carta de Uso e Ocupação do Solo de Portugal Continental para 2010 (COS 2010). Lisboa. www.dgterritorio.pt

Direção-Geral do Território (2015). Carta de Uso e Ocupação do Solo de Portugal Continental para 2015 (COS 2015). Lisboa. www.dgterritorio.pt

Direção-Geral do Território (2018). Especificações técnicas da Carta de Uso e Ocupação do Solo (COS) de Portugal Continental para 1995, 2007, 2010 e 2015. Lisboa. www.dgterritorio.pt

Direção-Geral dos Recursos Florestais (2006). Plano Regional de Ordenamento Florestal do Pinhal Interior Norte. DGRF. Lisboa.

Ferreira-Leite, F., Bento-Gonçalves, A., Lourenço, L. (2011/12). Grandes Incêndios Florestais em Portugal Continental. Da história recente à atualidade. *Cadernos de Geografia*, nº30/31, p.81-86.

Ferreira-Leite, F., Bento-Gonçalves, A., Lourenço, L., Úbeda, X., Vieira, A. (2013). Grandes Incêndios Florestais em Portugal Continental como resultado das perturbações nos regimes de fogo no mundo Mediterrâneo. *Silva Lusitana*, 9, p. 129–144.

Ferreira, R. (2014). *Atualização da Carta de Uso e Ocupação do Solo no Concelho de Mafra*. Dissertação de mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Modelação Territorial Aplicados ao Ordenamento. Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa. 178 p.

Fontes, A., Gonçalves, A. (2005). Cartografia de Risco de Incêndio no Parque Nacional da Peneda-Gerês e Gestão adequada dos recursos florestais e sistemas naturais. *X Colóquio Ibérico de Geografia*, Évora.

Julião, R., Nery, F., Ribeiro, J., Branco, M., Zêzere, J. (2009). Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de sistemas de informação geográfica (SIG) de base municipal. Autoridade Nacional de Proteção Civil, Direção-Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano e Instituto Geográfico Português. Lisboa.

Garcia, R. (2002). Avaliação do risco de movimento de vertente na Depressão da Abadia. Dissertação de mestrado em Geografia Física e Ambiente. Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa. 140 p.

Garcia, R. (2012). *Metodologias de avaliação da perigosidade e risco associado a movimentos de vertente: Aplicação na bacia do rio Alenquer*. Dissertação de Doutoramento em Geografia, Universidade de Lisboa. 437p.

Gaspar, J. (2005). *A gestão da floresta e o planeamento do uso do solo*. Tese de doutoramento em Ciências Aplicadas ao Ambiente. Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro. 184 p.

Gürtler, S., Epiphanyo, J., Luiz, Alfredo., Formaggio, A. (2005). Planilha eletrónica para o cálculo da refletância em imagens TM e ETM+ Landsat. *Revista Brasileira de Cartografia*, nº 57/02, p. 162-167.

Gonçalves, A. (2018). *Avaliação da exposição das comunidades locais a incêndios florestais. O caso de Alvares, Góis*. Dissertação de mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território. Instituto de Geografia e Ordenamento do Território. Universidade de Lisboa. 96 p.

Haynes, K., Short, K., Xanthopoulos, G., Viegas, D., Ribeiro, L. M., & Bianchi, R. (2020) Wildfires and WUI fire fatalities. In: Manzello, Samuel L., ed. *Encyclopedia of Wildfires and Wildland-Urban Interface (WUI) Fires*. Cham, Switzerland: Springer. 16 p.

Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas (2006). Plano Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios ICNF. Lisboa.

Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas (2006) .Programa Regional de Ordenamento Florestal do Pinhal Interior Norte. ICNF. Lisboa.

Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (2013). Adaptação das florestas às alterações climáticas. ICNF. Lisboa.

Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (2017). Relatório provisório de incêndios florestais. Lisboa. www.icnf.pt.

Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (2019). Cartografia de áreas ardidas 1990-2018. Lisboa. www.icnf.pt.

Instituto Geográfico do Exército (sem data). A imagem de satélite na atualização cartográfica: duas aplicações. IGeoE. Lisboa.

Instituto Nacional de Estatística (2019). Censos 2001. Lisboa. www.ine.pt

Instituto Português do Mar e Atmosfera (2019). Normais climatológicas de Coimbra (Bencanta) e Castelo Branco. Lisboa. www.ipma.pt

Lajas, S. (2016). *Integração de métodos estatístico e determinístico para a avaliação da suscetibilidade a deslizamentos superficiais*. Dissertação de mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território. Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa. 150 p.

Lourenço, L. (1990). Manifestações do Risco Dendrocaustológico. Impacte ambiental dos incêndios florestais. *Cadernos de Geografia*, 9, p. 143-150.

Lourenço, L. (1991). Risco de Incêndio. *Encontro Pedagógico sobre Fogos Florestais*, ASEPIF, p. 56-61.

Marques, C. (2010). *Um contributo para o desenvolvimento do Pinhal Interior Norte*. Dissertação de mestrado em Planeamento do Território – Inovação e Políticas de Desenvolvimento. Universidade de Aveiro. 123 p.

Mota, A., Bento-Gonçalves, A., Vieira, A. (2012). Uso e ocupação do solo em Portugal – aspetos metodológicos para atualização de cartografia temática. *AURORA – geography journal*, nº4, p. 101-113.

Município de Vila de Rei (2017). Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios. Vila de Rei.

Neves, N., Guiomar, N., Freire, M., Fernandes, J., Duarte, L. (2011). Modelo de avaliação da perigosidade de incêndio florestal. Imprensa da Universidade de Coimbra. Trunfos de uma Geografia Activa, p. 871-878.

Nunes, A. (2002). Região Centro de Portugal: duas décadas de incêndios florestais. *Revista Territorium*, 9, p. 135-148.

Oliveira, C. (2006). Suscetibilidade de Incêndio Florestal no concelho de Valongo. Implicações no Planeamento de Áreas Periurbanas. Dissertação de mestrado em Planeamento e Projeto do Ambiente Urbano. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 222p.

Pereira, J., Cardoso, J., Rego, F., Silva, J., Silva, T. (2006). Incêndios florestais em Portugal: caracterização, impactes e prevenção. Instituto Superior de Agronomia. Lisboa.

Pereira, J., Silva, J., Carreiras, J., Silva, J., Vasconcelos, M. (2006). Alguns conceitos básicos sobre fogos rurais em Portugal. *ISA Press*, 6, p. 133-161.

Pereira, M., Trigo, R., Camara, C., Pereira, J., Leite, S. (2005). Synoptic patterns associated with large summer forest fires in Portugal. *Agricultural and Forest Meteorology*, 129, p.11-25.

Ribeiro, R., Borges, J., Uva, J., Moreira, J. (2004). Modelação de dados de desenvolvimento de tecnologias de informação no âmbito do inventário florestal de áreas de grande dimensão. *Silva Lusitana*, nº especial, p. 119-131.

Ricardo, A. (2010). *Modelação da probabilidade de ocorrência de incêndio em povoamentos florestais de Portugal Continental*. Dissertação de mestrado em Engenharia Florestal e dos Recursos Naturais. Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa. 69 p.

Santos, C., Almeida, J. (2003). Caracterização espacial de um índice de produtividade nos povoamentos de pinheiro-bravo em Portugal. *Finisterra*, XXXVIII, 75, p.51-65.

Santos, C., Uva, J., Almeida, J. (2002). Caracterização espacial da produtividade do pinheiro-bravo em Portugal. Lisboa.

Unidade de Missão para a Valorização do Interior (2017). Programa de revitalização do Pinhal Interior. UMVI. Lisboa.

Vasconcelos, A. (2013). *Avaliação da suscetibilidade à ocorrência de incêndios florestais no concelho de Leiria*. Dissertação de mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Modelação Territorial aplicados ao Ordenamento. Instituto de Geografia e Ordenamento, Universidade de Lisboa. 83 p.

Verde, J. (2008). *Avaliação da perigosidade de incêndio florestal*. Dissertação de Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa, 97p.

Verde, J. (2008) - *Avaliação da Perigosidade de Incêndio Florestal*. Dissertação de mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território. Universidade de Lisboa. 97 p.

Verde, J., Zêzere J. (2007). Avaliação da perigosidade de incêndio florestal. *Atas do VI Congresso de Geografia Portuguesa*. Lisboa.

Verde, J., Zêzere, J. (sem data). Avaliação da perigosidade de incêndio florestal. Universidade de Lisboa.

Yan, T.Z., Yin K.L. (1988). Statistical prediction model for slope instability of metamorphosed rocks. 5th International Symposium on Landslides. Lausanne 2:1269–72.

Zani, M., Duarte, G., Cruz, Carla. (2015). Ajustamento geométrico e radiométrico entre imagens *Landsat* 5 e 8 para o apoio de análises temporais. *XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. São Paulo, Brasil.

Zêzere, J. (2002). *Landslide susceptibility assessment considering landslide typology. A case study in area north of Lisbon (Portugal)*. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2, p. 73-82.

Zêzere J. (2006). Predição probabilística de movimentos de vertente na escala regional. *Jornades sobre terrasses i prevenció de riscos naturals*. Mallorca, Espanha.