

Faculdade de Letras da Universidade do Porto

Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território

Análise Espacial Aplicada ao Ordenamento do Território

Ano Letivo 2020/2021

ANÁLISE DE SUSCETIBILIDADE DEMOGRÁFICA E HABITACIONAL A INCÊNDIOS FLORESTAIS NO DISTRITO DE VILA REAL

Docente:

Miguel Marinho Saraiva

Discente:

José Henrique Campos da Costa

Índice

INTRODUÇÃO.....	3
MATERIAIS E MÉTODOS:	4
ENQUADRAMENTO	5
DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	6
-POPULAÇÃO (DENSIDADE POPULACIONAL; POPULAÇÃO MAIS VULNERÁVEL;.....	6
- EDIFICADO (CONSTRUÇÕES ANTERIORES A 1980)	7
- COS (EUCALIPTAL E RESINOSAS).....	7
ANÁLISE MULTI-CRITÉRIO.....	8
DECLIVE.....	9
EXPOSIÇÃO DE VERTENTES.....	10
OCUPAÇÃO DO SOLO	11
REDE ESTRADAS	12
REDE HIDROGRÁFICA	13
DENSIDADE POPULACIONAL.....	14
PONTOS DE ÁGUA.....	15
POSTOS DE VIGIA.....	16
HISTÓRICO DE ÁREAS ARDIDAS	17
MAPA DE SUSCETIBILIDADE	17
ANÁLISE DA CLASSE DE MAIOR SUSCETIBILIDADE	18
CONCLUSÃO.....	23
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24
ANEXOS.....	24

INTRODUÇÃO

Os incêndios florestais em Portugal constituem-se como a principal perturbação ao mundo rural, sendo considerado o mais importante no que diz respeito à alteração do uso do solo. Esta problemática tem vindo a assumir uma importância crescente, sobretudo devido aos impactos negativos sobre os recursos naturais, nomeadamente nas áreas protegidas do nosso país. Atualmente uma das grandes preocupações por parte das entidades responsáveis passa pela gestão da floresta nacional e também na projeção negativa do problema, amplamente divulgado aquando dos grandes incêndios.

Em Portugal continental os prejuízos elevados resultantes da destruição de edificado e de vastas áreas de povoamentos florestais dos quais as populações retiram rendimentos, justifica a necessidade de se avaliar a perigosidade de incêndio florestal. A cartografia de risco de incêndio florestal constitui uma ferramenta de apoio à prevenção, permitindo identificar as áreas mais suscetíveis ao fenómeno e as áreas com maior potencial de perda. Segundo Bachmann e Algôwer (1999) o risco expressa o potencial de perda dos elementos, em função da perigosidade de um incêndio florestal. Cada vez é mais difícil realizar avaliação do risco pelo facto de os incêndios serem um fenómeno complexo e por igualmente serem provocados, maioritariamente, pela ação humana.

“A compreensão das causas dos incêndios florestais constitui o ponto de partida para a definição de políticas de prevenção dos incêndios florestais. Deste modo, só conhecendo as diferentes razões que estão por detrás das ignições e as suas proporções será possível definir ações de prevenção no sentido de combater os comportamentos que originam os fogos florestais.” (Matos, 2012).

Como objetivo principal deste estudo pretende-se realizar uma análise de suscetibilidade demográfica e habitacional aos incêndios para o distrito de Vila Real. Como segundo objetivo a alcançar procura-se problematizar a influência que cada variável utilizada tem para potenciar o risco de ignição, de propagação e de controlo do “fogo”. Propôs-se assim seguir uma metodologia assente num trabalho de análise multicritério desenvolvido anteriormente por ALMEIDA et al.(1995).

MATERIAIS E MÉTODOS:

Para a realização deste trabalho foram utilizadas algumas ferramentas de cartografia de base e de análise espacial. Recorrendo a softwares como o ArcGis e o Excel, foi possível tratar todos os dados recolhidos. Estes dados foram provenientes de pesquisa de realizada, na busca das melhores fontes e nos modelos mais corretos para o tratamento da suscetibilidade. A fonte primária e dados populacionais foi retirada da BGRI 2011, contendo dados relativos aos censos de 2011. Estes foram essenciais numa primeira fase para a análise descritiva do distrito, sendo o seu tratamento elaborado à escala da freguesia. Numa fase posterior foi necessário recolher mais informação, sendo assim os restantes dados utilizados neste estudo, estão descritos na tabela 1, e são referentes aos elementos necessários pra realizar a análise multicritério.

O processo metodológico em que se baseia a análise multicritério assentou em primeiro lugar no tratamento de dados, vetoriais e matriciais, de diferentes origens, reclassificá-los segundo uma tabela de pesos predefinida. Após reclassificar o declive, a exposição de vertentes, a ocupação do solo e a densidade demográfica, foram aplicadas consoante o tipo de informação, ferramentas para tratar as restantes variáveis tais como: *eucledian distance*, aplicado aos rios, estradas e pontos de água. Ainda o *cell statistics*, para tratar as áreas ardidas, o *viewsheed* para a visibilidade dos postos de vigia entre outros. Reclassificaram-se assim estas últimas variáveis de modo a todos seguirem os pesos corretos. Posteriormente foi criado um campo em todos as tabelas, para realizar a normalização dos pesos (entre 0-1). No seguimento do anterior procedeu-se à realização dos *lookup`s*, ponderados pelo campo normalizado que havíamos criado. Foi desenvolvida ainda para todas as nove variáveis cartografia de modo a ser mais percetível as características e as ponderações atribuídas a cada classe.

Construir um mapa de suscetibilidade fora uma das últimas etapas do, no sentido em que recorrendo á tabela das variáveis com os valores ponderados, extraindo o valor do peso final, apenas seria preciso um último comando: o *raster calculator*. Neste caso concreto foram combinados todos os *lookups* multiplicados pelo valor que se extraiu da tabela de ponderações.

A resposta às últimas questões, foram desenvolvidas com o auxílio de *tools* tais como: *Zonal statistics*, *tabulate table*. Os resultados do cruzamento de variáveis espaciais, foram exportados em tabelas, sendo essa a forma de representação principal no relatório.

Tabela 1- Materiais Utilizados na elaboração do estudo de caso

DADOS	TIPOLOGIA	ESCALA	FONTE
Pontos de água	Vetorial	Portugal	https://sig.icnf.pt/portal/home/item.html?id=5edce268aef743d09f1de6913bc770a0&fbclid=IwAR0dej2hYXDyftLthE6dH5BbYbxH7hXQB4flor8fc775uX04B9beKU2tn8A
Rede de estradas	Vetorial	Portugal	Open Stret Maps - https://download.geofabrik.de/europe/portugal.html
Postos de Vigia	Vetorial	Portugal	http://mapas.dgterritorio.pt/wms/crif?language=por&SERVICE=WMS&REQUEST=GetCapabilities&fbclid=IwAR0f9cksc45BL5qRr183bWqhQ2JjBzls_wDlXB1eNE2W1VFnyBAIP9BM2ng
Áreas ardidas	Vetorial	Portugal	https://sigservices.icnf.pt/server/rest/services/BDG/areas_ardidas/MapServer
Ocupação do Solo	Vetorial	Portugal	https://www.dgterritorio.gov.pt/
Topografia	Vetorial	Vila Real	Fornecida pelo Docente
Dados população	Tabela	Freguesia	http://mapas.ine.pt/download/index2011.phtml

ENQUADRAMENTO

O distrito de Vila Real situa-se na região norte de Portugal, é delimitada a leste pelo distrito de Bragança, a sul por Viseu, a oeste pelo Porto e Braga e por fim ainda com o país vizinho, a Espanha. Em termos de dimensões a sua área é aproximadamente de 4 328 km² e a sua população residente segundo os censos populacionais de 2011 era de 206661 habitantes. Na totalidade o distrito comporta 14 municípios e 197 freguesias. Os municípios são: Montalegre, Boticas, Chaves, Vila Pouca de Aguiar, Ribeira de Pena, Valpaços, Murça, Alijó, Sabrosa, Mondim de Basto, Mesão Frio, Santa Marta de Penaguião, Vila Real e por fim Peso da Régua. (Figura 1).

O distrito é vincadamente marcado pelas montanhas que o formam e pelo traçado de rios e ribeiras que desde os pontos mais elevados correm até aos principais cursos, o Tâmega a montante e posteriormente a sul, o rio Douro.

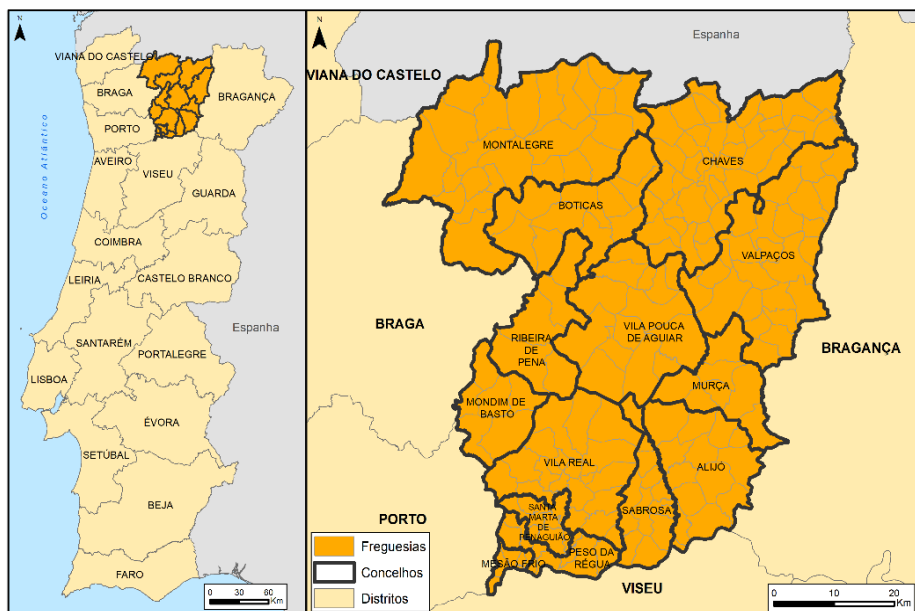


Figura 1- Mapa de enquadramento

Para se poderem analisar com maior precisão as principais características do distrito e de como este se organiza foi realizado um pequeno estudo de análise espacial. Foram escolhidas em quatro variáveis que mais poderiam contribuir para um estudo da suscetibilidade. A população residente, foi expressa pela sua densidade; a ocupação do solo, mais concretamente as explorações florestais de eucaliptal e resinosas. Foi igualmente definida a faixa etária acima dos 65 anos como aquela mais suscetível. Por fim no que concerne ao edificado foi escolhido representar apenas as habitações que apresentassem maior risco (construções anteriores a 1980).

DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Para a realização de uma caracterização do distrito de Vila Real foram utilizadas ferramentas de análise espacial contidas nas *toolbok do arcmap*: Mapping Clusters, Analyzing Patterns e Measuring Geographical Distributions. Para melhor descrever o seu desempenho é necessário saber em que consiste cada uma delas e quais as ferramentas explanadas neste estudo.

O Measuring Geographical Distributions mede a distribuição de um conjunto possibilitando o cálculo de estatística descritiva, como a média, a mediana, o desvio padrão, entre outros. Se aplicada a estudos de fenómenos, tem uma aplicabilidade enorme da análise temporal e permite rápidas comparações. Neste conjunto de possibilidades foram escolhidas apenas o centro médio (*mean center*) e a direção da distribuição (*directional distribution*) para auxiliar a leitura de dinâmicas espaciais.

A *tool Mapping Clusters* permite realizar análises de clusters, isto é, reconhecer os locais estatisticamente de pontos quentes, e pontos frios. De todas as ferramentas disponíveis destaca-se o Cluster e *Outlier Analysis*, pois, reconhece os pontos quentes, os pontos frios, os valores espaciais, dá um conjunto de meios ponderados utilizando a estatística I de *Anselin Local Moran*. A ferramenta de análise de Hot Spot oferece um conjunto de valores ponderados, reconhece os pontos quentes e frios mais importantes utilizando a estatística *Getis-Ord g_i^** .

Por fim a *tool dos Analysing Patterns* torna-se importante para reconhecer padrões geográficos e perceber como se comportam os fenómenos e as dinâmicas geográficas. Este comando baseia-se em modelos de estatística inferencial. Para este grupo de ferramentas foram utilizadas apenas três delas: o *High/low clustering (Getis_ord Gi)*, *Incremental spatial Autocorrelation*, *spatial autocorrelation (Morans I)*. O High Low indica se os valores altos e baixos estão agrupados, o incremental, cria uma serie de distâncias em que avalia a intensidade de agrupamento de dados, expressa numa linha de z-scores em que os picos correspondem ao maior pronunciamento. Estes picos podem ser usados como distâncias em outros tipos de analises. O Morans I mede os desvios em relação á media, esta será maior quanto mais agregados os valores se apresentarem. O índice de expressa-se entre -1 e 1 em que 1 existe um possível agrupamento de dados e -1º seu oposto, uma dispersão

-POPULAÇÃO (DENSIDADE POPULACIONAL; POPULAÇÃO MAIS VULNERÁVEL;

Relativamente às caraterísticas da população, pode-se afirmar que esta apresenta os padrões de um território de baixa densidade, com concentrações pontuais em sedes de concelhos e cidades. Os resultados desta avaliação permitem assim avaliar a distribuição da densidade população no espaço. Para ter um conhecimento da distância aproximada para usar na análise de Hotspot e Clusters realizou-se um *incremental* (Figura 2G). Este foi aplicado para um número de

20 *distance Bands*, e teve como resultado um pico de pronunciamento aos 7000 metros, sendo esta a distância utilizada posteriormente para esta variável. Com a aplicação do clusters and outlier (Figura 2A) identificam-se duas zonas distintas de valores elevados de densidade entre as cidade do Peso da Régua e a de Chaves, comprovado ainda pelas elipses de distribuição (Figura 2F). Os valores mais baixos concentram-se em locais mais montanhosos do distrito, perto do parque Natural da Peneda Gerês (valores a azul). Pela análise do índice de Morans I e ainda possível aferir que os dados apresentam um padrão agrupado (Cluster), com um valor aproximado de 0,28.

No que diz respeito à população maior de 65 anos foi realizado um Hot Spot que apresentou em linhas gerais os mesmos padrões de distribuição que a densidade, identificando dois pontos de maior concentração, em Chaves e Vila Real. Pela análise da Figura 2E, é visível pela representação em círculos proporcionais a característica acima realçada e comprovada pelas elipses de distribuição das figuras 2D e 2E.

- EDIFICADO (CONSTRUÇÕES ANTERIORES A 1980)

Para analisar a variável edificado, como referido anteriormente apenas foram utilizados dados relativos ao edificado mais vulnerável. Este apresenta valores altos significativamente concentrado apenas num ponto do distrito, na quase totalidade das freguesias de Vila Real e em uma parcela de freguesias de Santa Marta de Penaguião. Esta descrição foi possível pela realização de uma análise Hot Spot (Figura 2C), em que, por oposição se verificam um vazio de dados novamente sob os territórios da Peneda e na extremidade norte das freguesias de Chaves e Valpaços. De realçar que o raio de seleção de dados aplicado para esta ferramenta foi de 14Km, valor este fruto da aplicação de um incremental a esta variável. A opção final recaiu sempre na leitura do mapa de resultados, sendo sempre escolhida uma distância ajustada às características do território.

- COS (EUCALIPTAL E RESINOSAS)

No que diz respeito à ocupação do solo, foram apenas escolhidas as espécies florestais de eucalipto e pinhal. Esta opção recaiu na importância que estas ocupam no território nacional (Anexo 1) e igualmente por serem aquelas que comprometem mais o combate aos incêndios, devido à sua capacidade de gerar projeções. Neste seguimento foi realizado uma Hot Spot (Figura 2B) ponderado pelas áreas de cada espécie em que se pode concluir que as existe uma forte concentração de explorações com elevada área nos concelhos de Ribeira de Pena, Boticas, Alijo e ainda as freguesias a sul de Chaves. Pela análise da elipse de distribuição pode-se assim perceber que não há uma direção muito visível entre os valores mais elevados, e sim um achatamento da mesma. Isto deve-se principalmente à forte dispersão dos dados pelo território, sendo assim característico de um distrito com um forte índice de florestas.

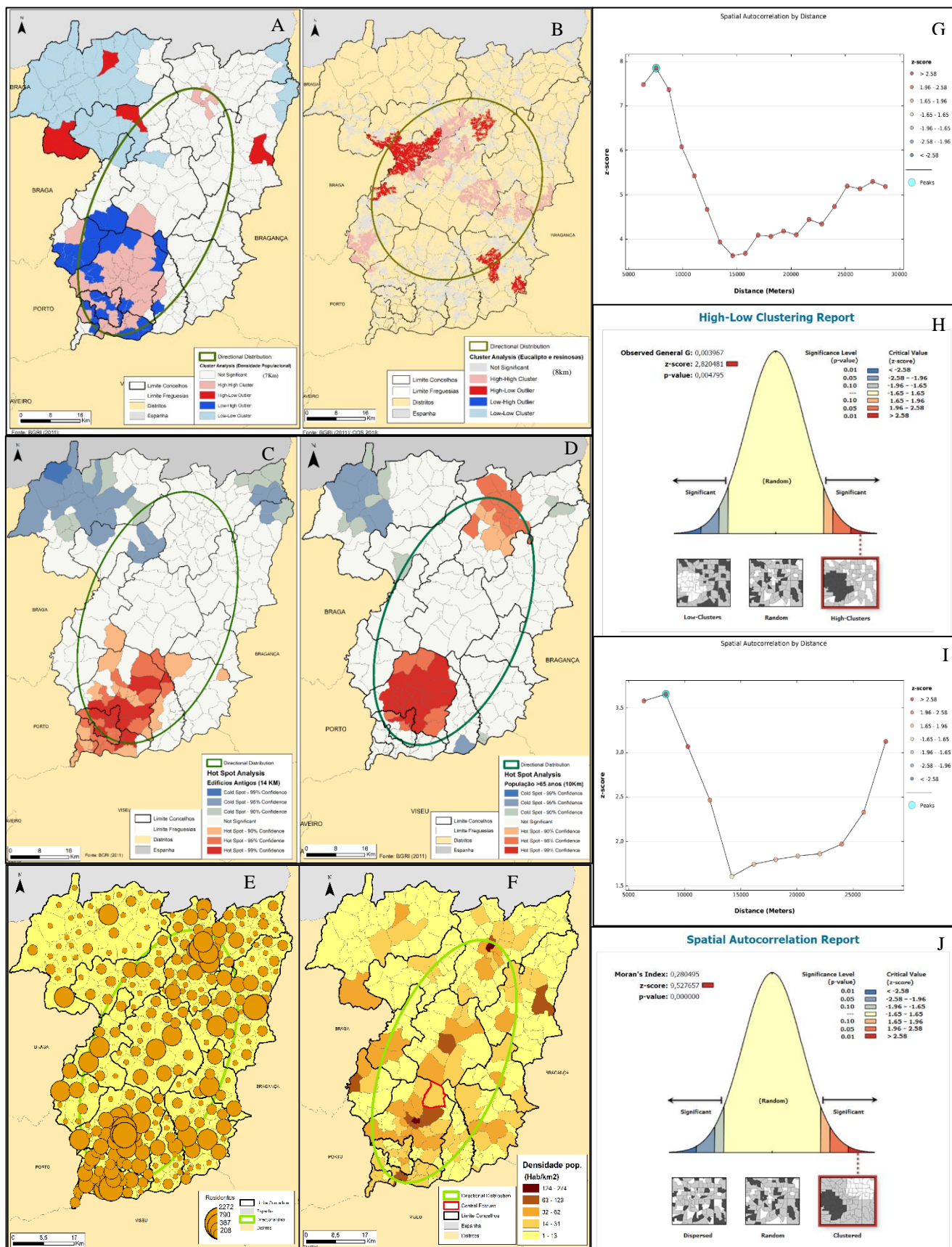


Figura 2- Aplicação de metodologias de análise de padrões e distribuição. A- Cluster and outlier Analysis da densidade populacional B- Cluster and outlier Analysis da Concentração de eucaliptos e resinosas; C- Hot Spot Analysis relativa aos edifícios antigos; D- Hot Spot Analysis da população maior de 65 anos; E- população residente maior de 65 anos; F- Densidade Populacional; G- Spatial Autocorrelation (incremental) da densidade populacional; H- High-Low clustering dos edifícios antigos; I- Spatial Autocorrelation (incremental) dos edifícios antigos. J- Morans I da densidade populacional.

Para proceder a uma análise multicritério rigorosa foi necessário escolher uma metodologia e matriz de ponderação anteriormente desenvolvida por ALMEIDA, (1995), e adaptada para este estudo. De todas as variáveis por este tratadas optou-se por utilizar apenas nove, pelo motivo de que nem todas estas possuem dados acessíveis. As variáveis escolhidas foram: declive, ocupação do solo, exposição de vertentes, rede hidrográfica, rede estradas, densidade populacional, pontos de água, postos de vigia e por fim o histórico de áreas ardidas.

DECLIVE

O declive constitui uma variável muito importante no estudo da propagação e combate aos incêndios florestais.

A presença de vales pronunciados em comunhão com os seus declives acentuados criam as condições perfeitas para a formação de ventos locais que influenciam a progressão das chamas, principalmente no sentido ascendente. Estas ao progredirem pela encosta acima geram uma aproximação dos materiais e um aquecimento de todos estes, reduzindo os níveis de humidade sendo quando isto impossível de combater pela maior capacidade de progressão que se forma.

A distribuição desta característica pelo território é vincadamente vivível no encaixe no rio Douro a sul e igualmente a oeste pelo rio Tâmega. O vale do Douro apesar do declive acentuado não é muito crítico porque temos conhecimento que o território é ocupado maioritariamente por vinha.

Para o tratamento desta variável recorre-se a um modelo digital de terreno do distrito com um pixel de 10m, de seguida aplicou-se a ferramenta *Slope*. Com a tool reclassify, reclassificaram-se os valores do *slope*, atribuindo os pesos segundo a metodologia aplicada (tabela da figura 3). Posteriormente foi necessário criar um campo na tabela de atributos e normalizar os pesos de 0 a 1. Como etapa final de tratamento desta variável foi utilizada a ferramenta lookup, ponderada pelo campo anteriormente criado, afim de obter um raster normalizado.

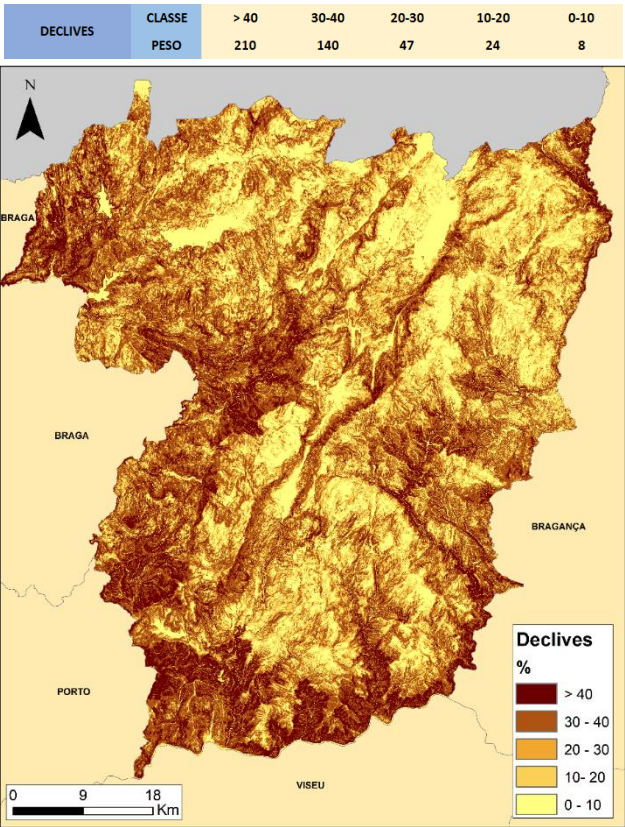


Figura 3- Declives e tabela de pesos segunda ALMEIDA, 1995.

EXPOSIÇÃO DE VERTENTES

A exposição do relevo aos raios solares é um factor que influencia a dinâmica do fogo e a vulnerabilidade da vegetação aos incêndios. Pode-se afirmar que quanto maior é a exposição solar, mais elevada será a temperatura e menor a humidade numa dada área.

Em Portugal, as encostas com estas características correspondem às vertentes voltadas a Sul e Sudoeste que apresentam condições climáticas e um mosaico de vegetação tipificado pela abundância de espécies esclerófitas favoráveis à rápida inflamação e propagação do fogo, contrariamente às vertentes Norte e Nordeste que, detendo maiores teores em humidade, ardem mais lentamente e atingem temperaturas inferiores (Almeida *et al.* 1995).

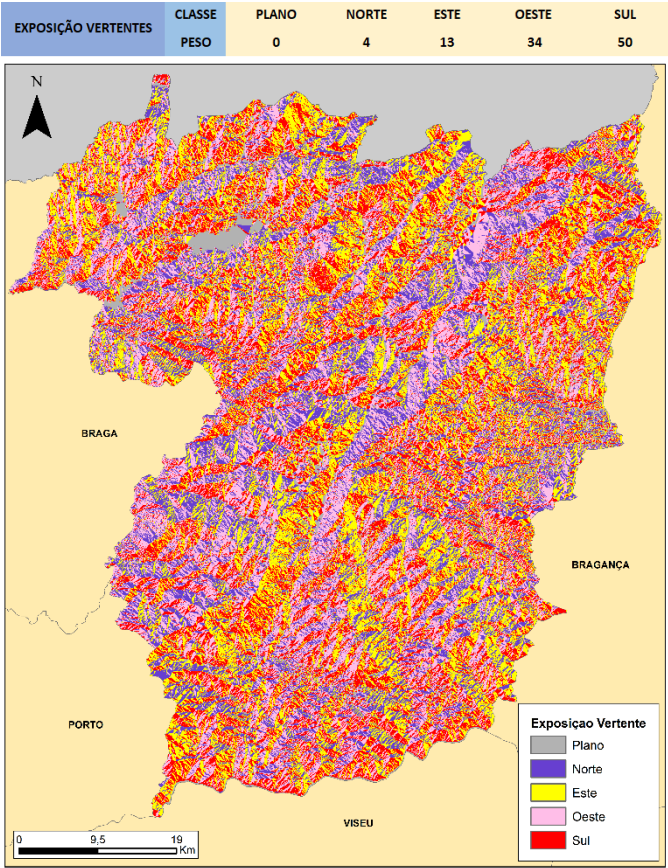


Figura 4 – Exposição de vertentes e tabela de pesos

Para o tratamento desta variavel recoreu-se como no caso anterior a um modelo digital de terreno do distrito, de seguida aplicou-se um a ferraamenta *Aspect*. Com a tool reclassify, reclassificaran-se os valores do aspect, tendo em atenção os graus associados a cada tipo de orientação. Dando um exemplo, no cado das vertentes norte, dizem respeito a angulos entre os 315° e 360°, ainda dos 0° aos 45°. Nesta reclassificação foram assim igualmente atribuidos os pesos (tabela de figura 4).

Posteriormente foi necessário criar um campo na tabela de atributos e normalizar os pesos de 0 a 1. Por fim foi utiliza a ferramenta lookup, ponderada pelo campo anteriormente criado, afim de obter um raster normalizado.

OCUPAÇÃO DO SOLO

O tipo de floresta é um dos indicadores que mais influencia na propagação dos incêndios florestais. A floresta nacional tem sofrido algumas mutações que permitem afirmar que cada vez mais o valor económico das espécies sobrepõe-se à sustentabilidade ambiental. Atualmente assiste-se a uma sobrevalorização de espécies de crescimento rápido, estas são difundidas pelo território sem qualquer tipo de planeamento, em detrimento de outras de menor rentabilidade.

Quando se verifica a existência de continuidade horizontal, isto é, se não existir interrupção do combustível junto ao solo, as chamas terão sempre condições para se propagarem de uns combustíveis para outros. Pelo contrário, quando o combustível se distribui na horizontal, em manchas não contínuas, ou quando se procede à abertura de uma faixa até ao rególito, interrompe-se a continuidade horizontal e, por consequência, a propagação das chamas.

Para o tratamento da variável ocupação do solo recorreu-se aos dados da carta ocupação do solo nacional relativa a 2018. Esta em relação a versões anteriores contempla classes diferentes, nessa medida e tendo em atenção a metodologia aplicada foi necessário agrupar e separar algumas classes. Um exemplo possível, foi a necessidade de na classe das florestas distinguir as explorações de eucaliptos e de pinhais. Numa fase posterior foi necessário converter os dados vetoriais da COS para matricial. De seguida foi necessário reclassificar os valores para os pesos da metodologia. (tabela da figura 5) Posteriormente foi criado um novo campo na tabela de atributos e normalizar os pesos de 0 a 1. Finalmente foi utilizada a ferramenta *lookup*, ponderada pelo campo criado, obtendo assim um raster normalizado.

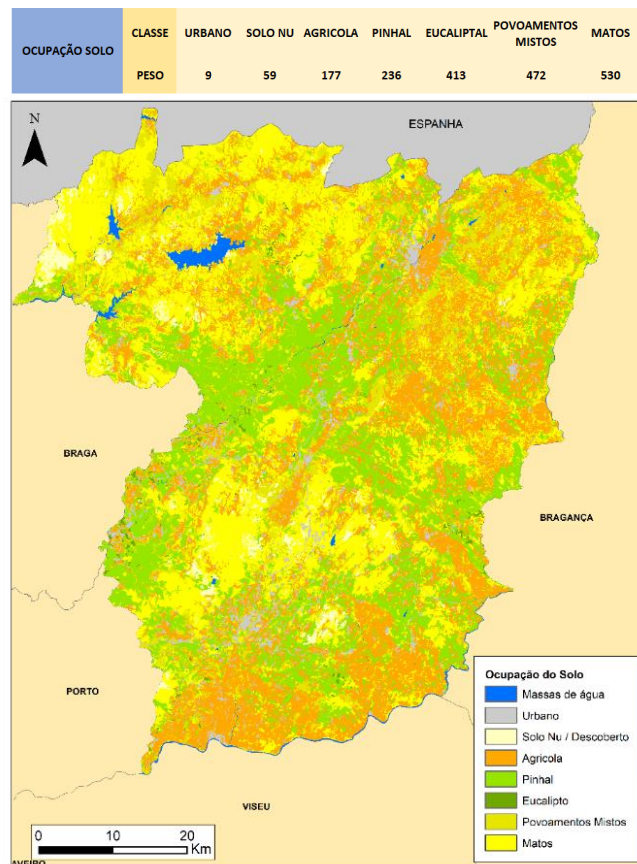


Figura 5 – Ocupação do solo Fonte: COS, (2018).

REDE ESTRADAS

A proximidade à rede viária é um fator de origem humana com influência na perigosidade de incêndio para as áreas florestais adjacentes. Os incêndios florestais que têm origem humana, seja por negligência/ acidente, ou por ignição criminosa, iniciam-se frequentemente perto da rede viária, pelo que a proximidade a uma estrada ou caminho pode aumentar o perigo de ignição (Amador, 2014).

Importante também ressaltar que é pelas vias rodoviárias que se deslocam os veículos de combate aos incêndios e que quando mais vasta a rede, mais abrangente poderá ser a resposta, entrando um pouco em contrassenso com o referido anteriormente.

Os dados relativos à variável rede viária foram obtidos na plataforma do open street maps onde se extraiu um ficheiro vetorial para o território nacional do traçado das vias.

Como passos principais desenvolvidos destaca-se primeiramente a utilização do *euclidean distance* aplicado à rede. Como exemplo para outras variáveis em estudo cria um raster de distâncias desde a linha de estrada para o vazio, sendo assim possível medir a proximidade à rede de qualquer ponto do distrito.

De seguida os dados foram reclassificados em apenas 3 classes previamente definidas na metodologia, e também atribuídos os pesos correspondentes (tabela da figura 6). Foi ainda criado um novo campo para receber a normalização dos pesos e desse campo, criado um *lookup* final, correspondendo ao *raster* final da normalização da variável.

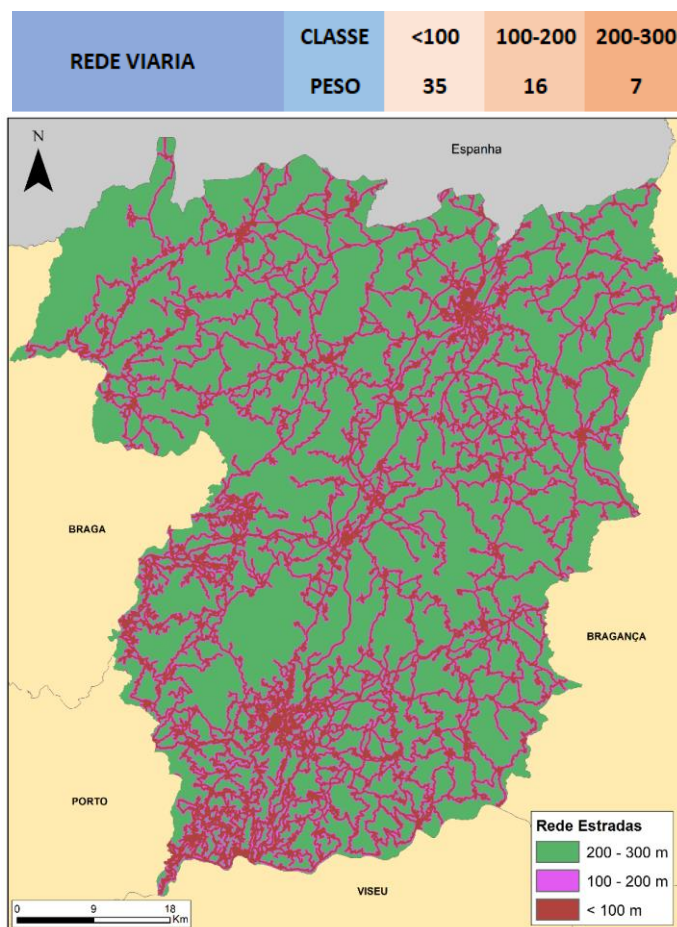


Figura 6 – Rede de Estradas; Fonte: Open street maps

REDE HIDROGRÁFICA

A rede hidrográfica constitui um elemento muito atenuador da propagação dos incêndios florestais. A proximidade de um curso de água poderá funcionar com uma barreira física à progressão das chamas. O seu efeito também é sentido ao nível das temperaturas junto ao solo, sendo estas mais reduzidas junto a massas e corpos de água.

A rede hidrográfica visivelmente destacada na figura 4 permitem em primeiro falar de uma rede bastantes regular e que cobre a totalidade do distrito. Esta rede foi construída através da ferramenta *hidrology* disponível no software *arcmap*, esta pode em relação á realidade conter algumas pequenas diferenças, mas de um modo geral corresponde de modo fidedigno ao traçado original dos principais cursos de água do distrito.

Relativamente ao tratamento necessário a realizar para colocar os dados normalizados, foi primeiramente realizado um *euclidean distance*. Esta ferramenta criou um *raster* de distância á rede de estradas e permitiu posteriormente dividir em classes esses valores. Posto isto reclassificaram-se os resultados anteriores apenas para duas classes, em que <30m corresponderia a um menor risco e >30m o seu contrário atribuindo-lhes os devidos pesos. Depois foi ainda necessário criar um campo na tabela de atributos e normalizar esses pesos. Como etapa final foi criado um *lookup*, ponderado pelo campo normalizado que servira de modelo de comparação para o mapa de suscetibilidade final.

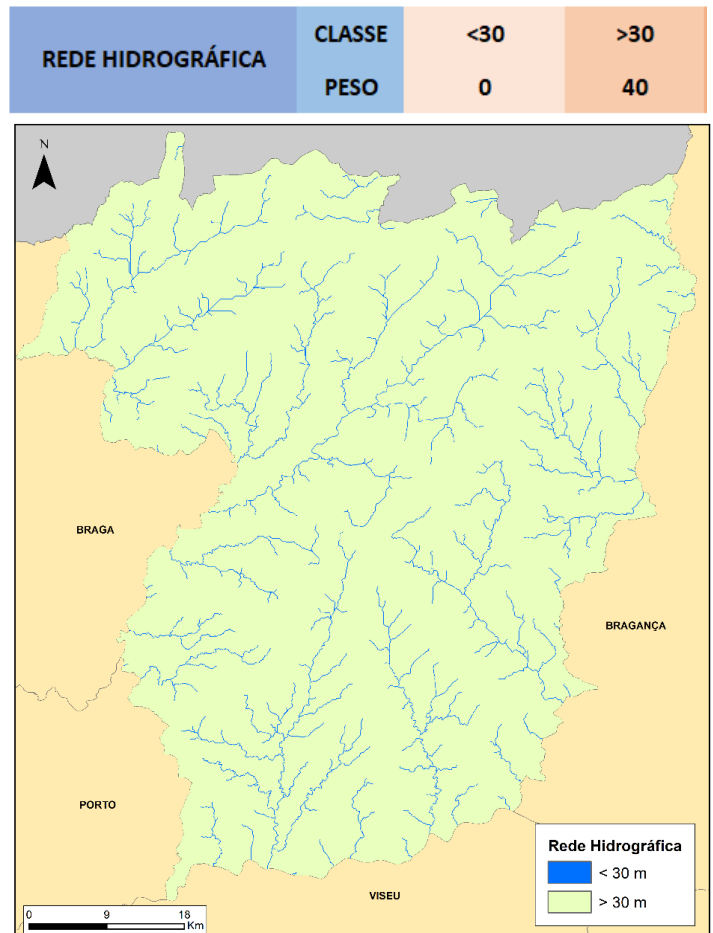


Figura 7 – Rede Hidrográfica e tabela de pesos aplicada.

DENSIDADE POPULACIONAL

A densidade populacional à partida poderia não ser um elemento estruturante, mas se analisada com maior rigor constitui um dos que poderá contribuir de forma mais significativa para a suscetibilidade. Se nos basear-nos na ideia de que associada a uma elevada densidade populacional se originará um aumento do risco de incêndio florestal devido à maior probabilidade de negligência e/ou acidente ou mesmo de ignição intencional criminosa. No entanto, pode considerar-se também, que a ausência de população poderá ser, simultaneamente, um fator que potencia o risco de incêndio, visto poder estar associado ao abandono da propriedade.

No que diz respeito ao tratamento de dados foi executada uma reclassificação da simbologia onde os dados foram divididos em 3 classes (Figura 8). Não obstante do referido anteriormente, a atribuição de pesos foi no sentido de caracterizar com maior risco locais mais densamente povoados, e o seu inverso. Nesse sentido e ainda na etapa da reclassificação de valores foi necessário atribuir os pesos relativos segundo a metodologia.

Seguidamente foi necessário criar um novo campo na tabela de atributos, a fim de realizar a normalização dos valores atribuídos aos pesos. Neste seguimento, aplicando a ferramenta *Lookup*, ponderado pelo último campo criado, foi construído assim o *raster* final normalizado.

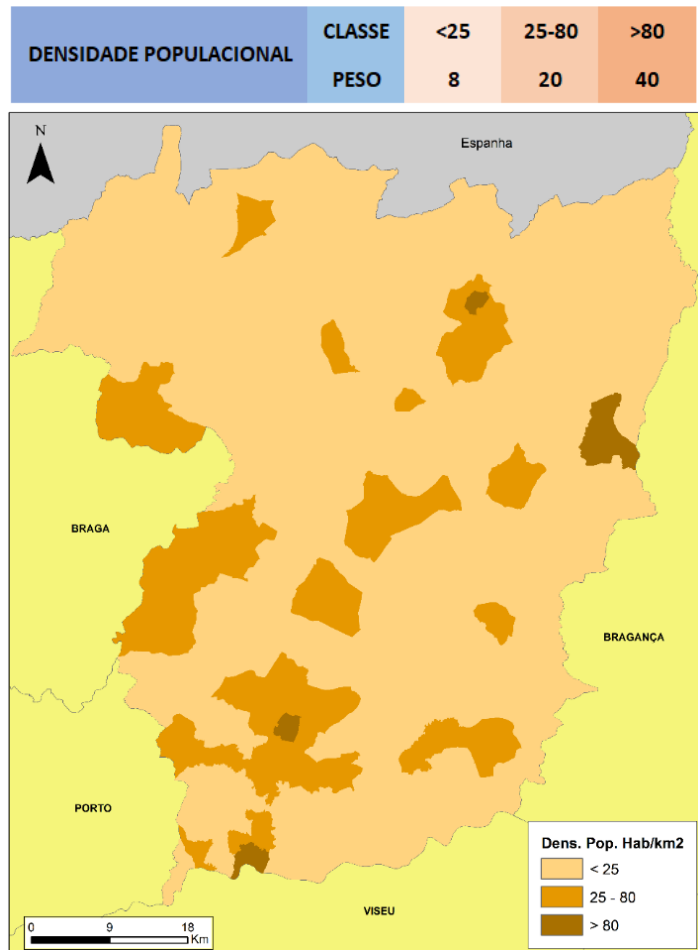


Figura 8 – Densidade Populacional. BGRI, 201

PONTOS DE ÁGUA

A existência de pontos de água com boas condições de acesso aéreo e/ou terrestre é um factor essencial no combate aos incêndios florestais. O acesso à água, quer por parte das corporações de bombeiros, quer por parte das próprias populações é determinante na eficácia das acções de combate aos incêndios florestais.

Os dados relativos a esta variável estavam disponíveis no Instituto de Conservação da Natureza e Florestas em formato vetorial. O seu tratamento baseou-se na aplicação de um *euclidean distance*, usando a shape de pontos como elemento base. De seguida foram reclassificados os valores da ferramenta anterior para as classes utilizadas na metodologia.

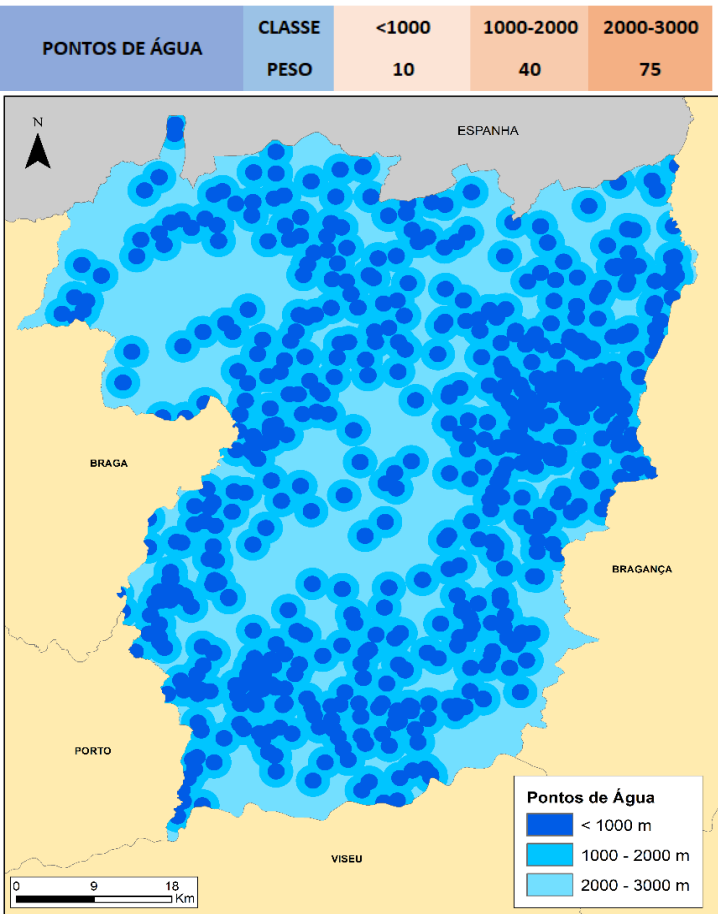


Figura 9 – Pontos de água ICNF, 2007.

Os valores das classes indicam que quanto mais próximo de pontos de água um território estiver, menos este contribui para a dinâmica dos incêndios, por oposição quanto mais longe mais vulneráveis serão essas populações e maior o risco associado.

As etapas processuais que se seguiram basearam-se na normalização dos pesos atribuídos a cada classe, sendo necessário criar um campo para receber esse valor. Por fim e fazendo uso do *lookup*, foi possível obter com resultado um raster normalizado.

POSTOS DE VIGIA

Na dinâmica dos incêndios florestais, quanto mais rápida a identificação da ignição melhor poderá ser o sucesso da intervenção. Isto é, quando identificado precocemente um incêndio este ainda não conseguiu atingir proporções incontrolláveis e assim é mais facilmente combatível. Sendo assim é importante que se esteja vigilante para o surgimento de possíveis fenómenos.

A implementação e localização de postos de vigia desempenha um papel determinante. Vila Real contava em 2011 com 26 postos de vigia (Figura 10). Mesmo assim pela análise do mapa, uma grande parte do território não é visível de nenhum posto de vigia, o que dificulta a deteção inicial de ignições.

Esta informação de estava disponível da Carta de risco de incêndio florestal de 2011, em formato imagem, sendo necessário vetorizar todos estes pontos para o seu possível tratamento.

A ferramenta utilizada para o tratamento desta variável foi o *Viewsheed*, este tira partido do modelo digital de elevação para criar bacias de visão de pontos específicos do território. Na tabela de atributos dos postos de vigia foi criado um novo campo designado *OFFSETA*, onde foi atribuída uma altura de 15 metros para a estrutura dos postos de vigia em relação ao solo. A ferramenta interpreta este campo automaticamente e calcula em relação ao valor introduzido os campos de visão para cada ponto definido. O resultado obtido foi um *raster* de dois campos: oculto e visível, sendo posteriormente necessário reclassificar este resultado com a atribuição dos pesos como efetuado para as restantes variáveis. De seguida foram normalizados estes pesos de 0-1 e por fim criado um *lookup* ponderado pelo campo normalizado.

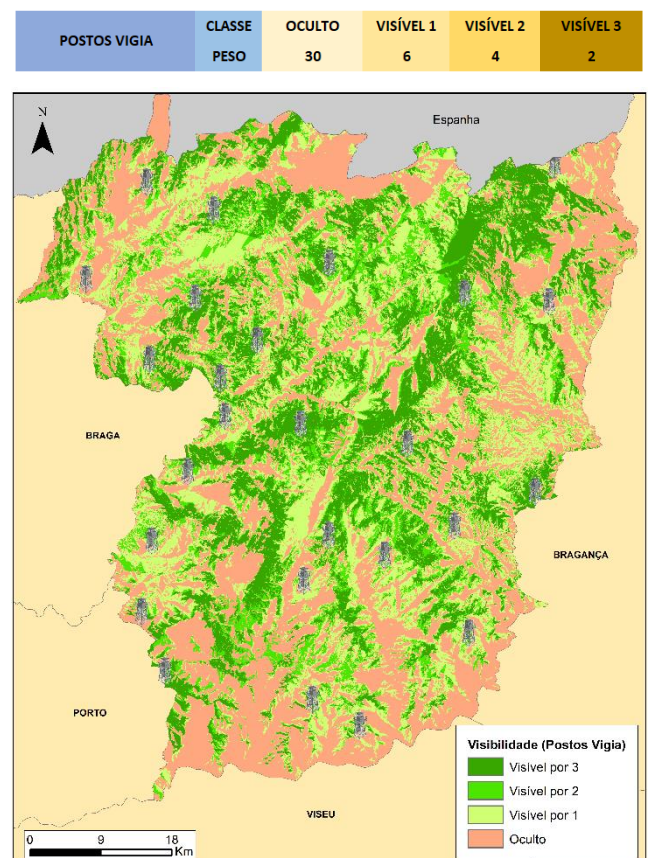


Figura 10 – Pontos de vigia. Fonte: CRIF,2011. CAOP, (2018)

HISTÓRICO DE ÁREAS ARDIDAS

A variável de “histórico “enquadra-se nesta abordagem criteriosa na medida em que a análise da frequência em que um determinado local arde poderá servir de modelo para eventos futuros. A probabilidade de ocorrência é medida pela análise de uma série estatística em que se poderá reconhecer um padrão. Se um determinado território arde muitas vezes num período curto de tempo, terá mais probabilidade do que um que não tenha ardido.

Neste caso em concreto foram avaliadas as áreas ardidas para um espaço temporal de 5 anos (2015-2019). Esta informação de base estava disponível no website do ICNF, em formato *shapefile*. A ferramenta utilizada nesta análise foi o cell statistics. Foram assim reclassificadas 4 classes divididas pelas áreas que nunca arderam, por aquelas que arderam uma, duas e três vezes ao longo deste período, atribuindo maior peso àquelas que sofreram mais. O território de Vila Real pela análise geral do mapa da figura 11, apresenta maioritariamente áreas em que arderam apenas 1 vez, não obstante ainda se denotam alguns pontos concentrados de áreas que ardera 2 vezes. Os passos seguintes passaram pela normalização dos pesos atribuídos, criando um campo para esse efeito. Finalmente, tomando partido da ferramenta *Lookup*, ponderada pelo campo da normalização, foi criado o *raster* final desta variável.

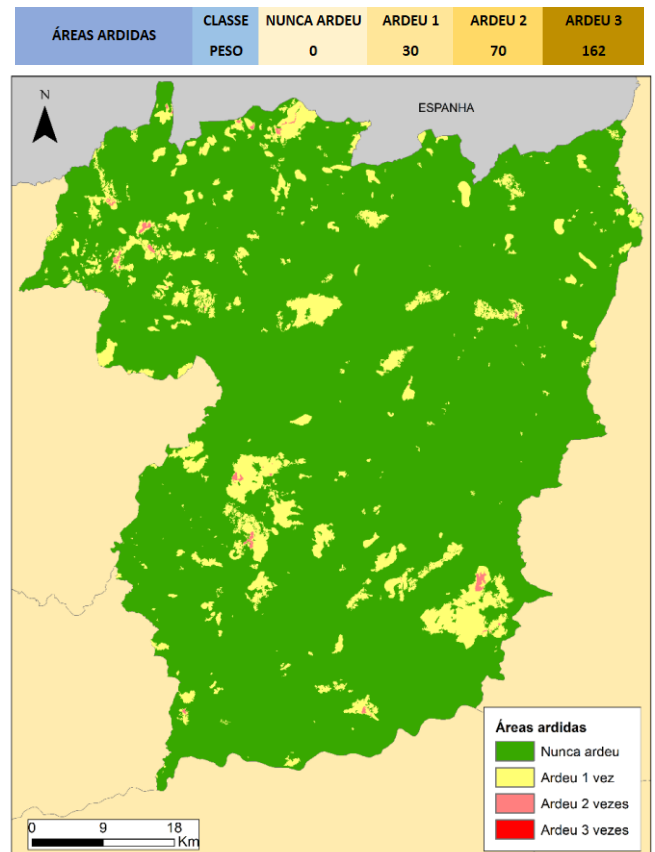


Figura 11– Áreas ardidas. Fonte: ICNF, 2021. CAOP (2018).

MAPA DE SUSCETIBILIDADE

Como resultado da análise multicritério elaborada anteriormente procurou-se construir um mapa de suscetibilidade. Nesse rumo foi necessário primeiramente juntar as variáveis e associá-las entre si, de seguida procede-se à ponderação de cada variável pelos pesos atribuídos na construção da cartografia anterior. Neste caso foi usado o método de "comparação entre pares de critérios," isto é, uma ponderação bivariada que utiliza assim o máximo peso atribuído a duas variáveis e divide uma pela outra. Estes pesos foram distribuídos segundo uma ordem de importância para o tratamento da perigosidade de incendio florestal, em que os valores mais elevados correspondiam a uma maior influência nesta dinâmica e os mais baixos aqueles que não

se revelaram preponderantes (Anexo 2). Através da construção de uma tabela de ponderação para as variáveis em estudo foi possível encontrar o peso final que cada variável tem em relação ao total em análise (Tabela 1).

De seguida foram utilizados esses valores finais em conjugação dos *lookpu*'s de todas as variáveis para a criação do mapa de suscetibilidade final. Recorrendo assim à *tool raster calculator* foram multiplicados e somados todos os valores do peso final e do *lookup* traduzido na seguinte expressão: ("LooK_declive" * 0.18) + ("LOOK_RH" * 0.03) + ("LOOK_Estra" * 0.03) + ("Look_COS" * 0.45) + ("LOOOK_DP" * 0.03) + ("LOOK_R" * 0.04) + ("LOOK_AA" * 0.14) + ("LooK_PV" * 0.03) + ("Look_PA" * 0.06).

Tabela 1 - Tabelas de ponderação

CRITÉRIOS	DECLIVES	RIOS	ESTRADAS	COS	DENS POP	EXPOSIÇÃO	ÁREAS ARIDAS	POSTOS DE VIGIA	PONTOS DE ÁGUA
DECLIVES	1	5,26	5,88	0,40	5,26	4,2	1,30	7,14	2,78
REDE HIDROGRÁFICA	0,19	1	1,14	0,08	1	0,8	0,25	1,32	0,53
REDE RODOVIÁRIA	0,17	0,88	1	0,07	0,88	0,70	0,22	1,18	0,47
OCUPAÇÃO DO SOLO	2,52	13,25	15,14	1	12,5	10	3,23	16,67	7,14
DENSIDADE POPULACIONAL	0,19	1	1,14	0,08	1	0,8	0,25	1,33	0,53
EXPOSIÇÃO VERTENTES	0,24	1,25	1,43	0,1	1,25	1	0,31	1,67	0,67
ÁREAS ARIDAS	0,77	4,05	4,63	0,31	4,05	3,24	1	5,26	2,17
POSTO DE VIGIA	0,14	0,76	0,85	0,06	0,75	0,6	0,19	1	0,4
PONTO DE ÁGUA	0,36	1,88	2,14	0,14	1,88	1,5	0,46	2,5	1
Soma	5,58	29,33	33,35	2,23	21,89	17,50	5,54	29,30	12,12

CRITÉRIOS	DECLIVES	RIOS	ESTRADAS	COS	DENS POP	EXPOSIÇÃO	ÁREA ARIDA	POSTO DE VIGIA	PONTOS DE ÁGUA	PRODUTO	PESO FINAL
DECLIVES	0,18	0,18	0,18	0,18	0,24	0,24	0,23	0,23	0,21	0,21	0,18
REDE HIDROGRÁFICA	0,03	0,03	0,03	0,03	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03
REDE RODOVIÁRIA	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03
OCUPAÇÃO DO SOLO	0,45	0,45	0,45	0,45	0,57	0,57	0,58	0,57	0,59	0,52	0,45
DENSIDADE POPULACIONAL	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,05	0,04	0,05	0,04	0,04	0,03
EXPOSIÇÃO VERTENTES	0,04	0,04	0,04	0,04	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04
ÁREAS ARIDAS	0,14	0,14	0,14	0,14	0,19	0,19	0,18	0,18	0,18	0,16	0,14
POSTO DE VIGIA	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
PONTOS DE ÁGUA	0,06	0,06	0,06	0,06	0,09	0,09	0,08	0,09	0,08	0,07	0,06
Soma	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,16	1,00

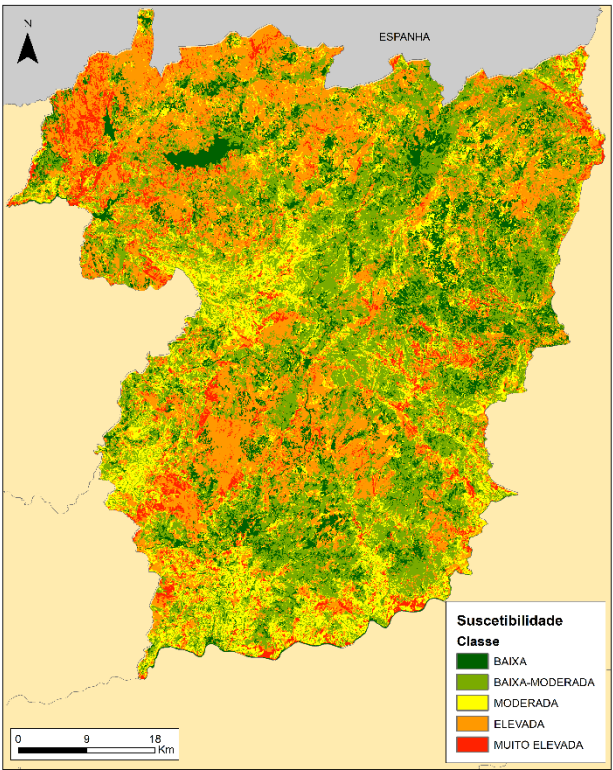


Figura 12 – Mapa de Suscetibilidade aos incêndios florestais ponderada para 5 classes.

ANÁLISE DA CLASSE DE MAIOR SUSCETIBILIDADE

Serão realizadas algumas análises tendo conta a classe de maior suscetibilidade, definida como todos os territórios com valores de suscetibilidade acima de 0,7 (figura).

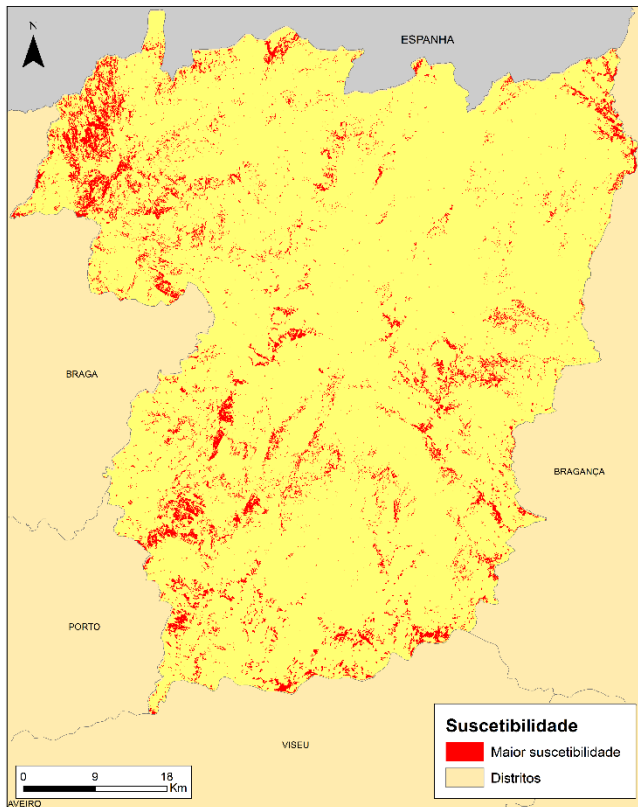


Figura 14- Mapa de Maior Suscetibilidade

Exercício V: Divisão da área de maior suscetibilidade pelas diversas classes de uso do solo.

Para calcular a divisão da classe de maior suscetibilidade pelas classes de uso do solo, foi necessário primeiramente individualizar essa classe (>0.7). O mesmo processo foi aplicado à COS, selecionando apenas o campo pretendido. De seguida, e fazendo uso da ferramenta *Tabulate área*, aplicando o cruzamento das variáveis anteriormente separadas (COS e suscetibilidade) obtiveram-se os resultados transcritos na tabela 2.

A classe de maior suscetibilidade apenas tem representatividade nas florestas e matos. Este facto poderá se explicado pelo maior número de

ocorrências associado a estas duas classes de uso do solo.

Tabela 2 – Divisão da classe de maior suscetibilidade pelas classes da COS

CLASSE SOLO	TERRITÓRIOS ARTIFICIALIZADOS	AGRICULTURA	SUPERFÍCIES FLORESTAIS	PASTAGENS	FLORESTAS	MATOS	ESPAÇOS DESCOBERTOS	MASSAS DE ÁGUA
0	154862300	1116406600	451300	86728700	1569993000	977361100	88837000	40782100
1	0	0	0	0	44854400	195272600	0	0

Exercício VI: Comparação entre a área ardida nos últimos 5 anos com as áreas de maior suscetibilidade.

Para poder responder com rigor a este parâmetro foi necessário recorrer a uma variável anteriormente usada, o histórico de áreas ardidas. A esta foi necessário aplicar um “Merge” de modo a juntar todos os anos desta serie temporal (2015-2019). De seguida, utilizando a classe de suscetibilidade

acima elaborada ($>0,7$), foi novamente utilizada a ferramenta *Tabulate area* para obter uma comparação e sobreposição de variáveis.

Uma possível análise aos dados contidos na tabela de *export*, permite aferir que do total de área ardida no período de 5 anos 13,94% corresponde a locais de suscetibilidade elevada. Apesar se pouco significativo esta relação permite afirmar que à uma sobreposição de informação. Sendo assim a cartografia de risco é exemplo de como sinalizar possíveis locais para novas ocorrências, tendo por base as anteriores.

Tabela 3 – Comparação de áreas ardidas com a classe de maior suscetibilidade

Value	CODE1	Percentagem	SIGNIFICADO
0	328074100	86,06	ÁREAS ARDIDAS NÃO CLASSIFICADAS COMO MAIS SUSCETIVÉIS
1	53154100	13,94	ÁREAS ARDIDAS CLASSIFICADAS COMO MAIS SUSCETIVÉIS

Exercício VII e VIII: Total de habitantes e edifícios / percentagem de habitantes idosos e edifícios abrangidos por áreas de maior suscetibilidade.

A população e o edificado constituem dois dos principais elementos que podem ser colocados em risco pela ação dos incêndios florestais. Emerge assim a importância de saber quais os que estarão em maior risco. Para esse fim, e recorrendo ao cálculo do valor ponderado pela área (areal weighting), foi necessário importar a informação da população e edificado da BGRI para uma tabela. Seguidamente criar campo para a área, criar outro para a variável ponderada pelo campo área e por fim calcular as percentagens no caso da população acima de 65 e os edifícios com mais de 50 anos (tabela 4).

Como resultado deste processo foram identificadas 8431 pessoas em áreas de elevado risco, e que 4,35 % desses indivíduos têm acima dos 65 anos. De igual forma foi possível aferir que 5395 edifícios sendo que 4,93% desses são construções antigas.

Tabela 4 – Ponderação de habitantes, edifícios contidos em áreas de maior suscetibilidade

Variável	POPULAÇÃO > 65	EDIFÍCIOS (50 ANOS)	POPULAÇÃO TOTAL	EDIFÍCIOS TOTAL
%	4,34%	4,93%	8431	5395

Exercício IX: Distância das corporações de bombeiros às áreas de maior suscetibilidade.

A localização das corporações dos bombeiros constitui uma das variáveis mais importantes no que ao combate aos incêndios diz respeito. São estes os primeiros, ou dos primeiros agentes de combate direto á chamas, daí que a sua localização e modo de deslocação contribui em muito para o sucesso dos primeiros minutos do combate. Uma densa rede de estradas e caminhos florestais aliado a uma rápida intervenção podem reduzir em muito os danos devastadores dos incêndios. Nesta ótica de pensamento quão mais próximos dos locais de ignição melhor será a resposta dos meios humanos. Pela figura 14 pode-se aferir que as corporações de bombeiros assinaladas não se distribuem de modo simétrico pelo território, constituindo desde logo um problema de cobertura da rede.

Neste aspeto de análise foi necessário utilizar duas ferramentas do Software *ArcMap*. Primeiramente o *Cost Distance*, que permitiu delimitar zonas de deslocamento dos bombeiros de cada corporação, valor este, ponderado pela rede viária. Pela legenda da figura 14, os valores mais alaranjados corresponderiam a locais mais próximos e acessíveis, contrapondo com os tons azulados, da extremidade superior direita como locais mais distantes. A segunda ferramenta utilizada foi o *Zonal Statistics as Table* (tabela 4), de modo a ponderar com o *raster* de custo construído as distâncias concretas das corporações até aos locais de maior suscetibilidade (previamente separados das restantes classes). Os resultados permitem identificar em linhas gerais que a distância mínima a que uma corporação está de uma área de elevada suscetibilidade são 212

Tabela 5 – Distância dos quartéis de bombeiros a áreas suscetíveis

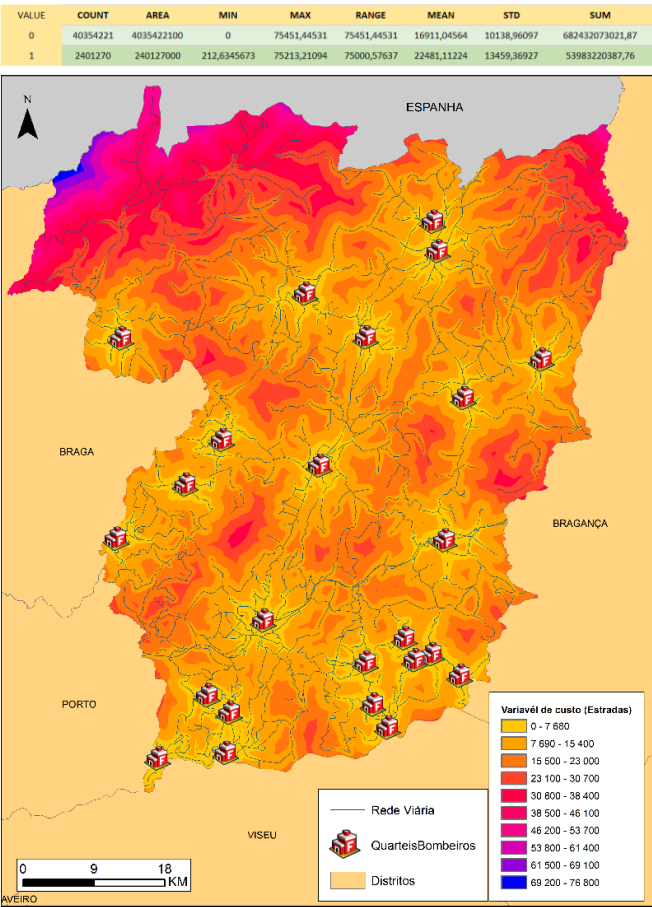
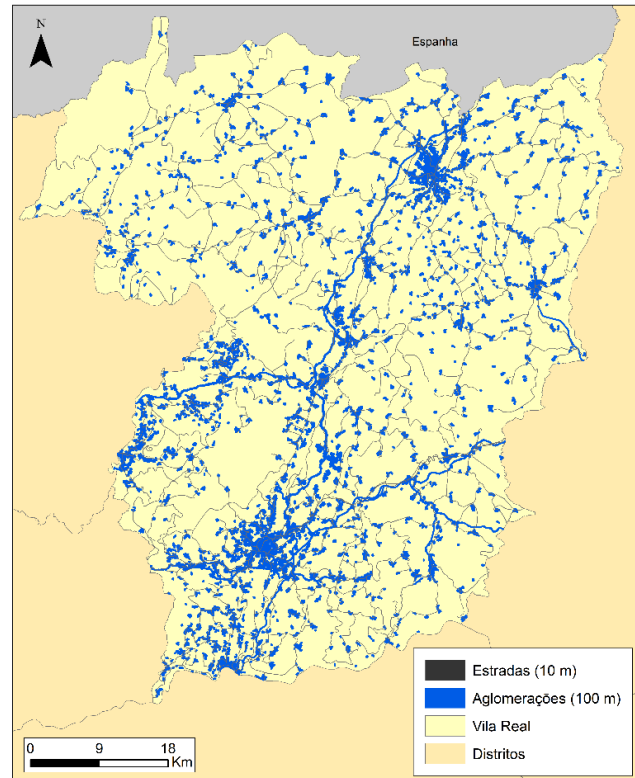


Figura 14 – Localização e distância entre os quartéis de bombeiros e as áreas de maior suscetibilidade.

metros sendo que por oposição se verificam casos de este valor atingir os 75Km. A média de deslocações ronda os 22 Km, o que apesar da extensão do concelho, pode ser considerado um valor razoável (Tabela 5).

Exercício X: orçamento para a limpeza dos terrenos em torno das populações e das estradas:

Para se obter o orçamento necessário para a limpeza das faixas de segurança ao redor das estruturas populacional foram definidas distâncias mínimas para cada tipologia de espaço. Utilizando apenas as aglomerações populacionais, disponível na COS e ainda a rede viária de estradas anteriormente utilizada, criaram-se *buffers* no software *ArcMap*. O primeiro caso foi utilizado uma distância de 100 metros, no segundo apenas se optou por 10 metros (Figura 15).



Numa fase posterior uniram-se as duas *features* anteriores, sendo criado na tabela do

Figura 15 – Faixas de limpeza e proteção florestal. Fonte: COS 2018; CAOP(2018).

novo atributo três campos: um para a área em hectares, outro para o cálculo do orçamento mínimo e igualmente para o orçamento máximo. Os valores “min” e “max” foram ponderados tendo em atenção um preço aproximado para a limpeza de terrenos que variava entre os 350 e os 1200 euros por Hectare.

Da aplicação desta variável resultaram assim em dois valores distintos de custo de limpeza total, correspondendo ao valor mínimo cobrado o montante de 24550259,03 milhões de euros. De igual modo aplicando o valor mais elevado de custo de limpeza, a soma final de todas as parcelas a limpar rondariam os 84172316,66 milhões de euros.

CONCLUSÃO

O incêndio tem uma ação dinâmica, mesmo conhecendo com precisão os fatores condicionantes que o podem alterar, não é certo que se consiga prever o seu comportamento. Neste seguimento são importantes estudos que nos aproximem quanto possível da realidade dos incêndios florestais.

A análise multicritério realizada permitiu a definição das áreas de maior suscetibilidade, podendo ressaltar desta três variáveis que mais preponderância tiveram para o resultado final. Em primeiro lugar a ocupação do solo, como fator de combustão, mais ativo e influenciador do comportamento dos incêndios. Seguido pelo declive e por fim o histórico de áreas ardidas. O mapa de suscetibilidade resultante foi produto da soma ponderada de todas as nove variáveis. Traduziu um distrito com grau elevado de suscetibilidade, fruto principalmente de uma ocupação do solo predominantemente florestal e de matos. O distrito sofre um abandono progressivo dos seus territórios, sendo acompanhado claro da proliferação de matéria vegetal sem ordenamento, combustível perfeito para o deflagrar de incêndios.

Cresce assim a importância de realizar operações de limpeza de matos e florestas nas imediações das povoações e vias rodoviárias, uma vez que recentemente os fogos florestais afetaram para além da floresta, as próprias habitações e a segurança da população rural. Uma das análises realizadas concluiu que uma porção significativa da população está sob áreas de suscetibilidade elevada. Isto acarreta custos extremamente avultados como pudemos comprovar, mas serão sempre menores que o preço pago em vidas humanas e bens.

Ao nível da vigilância (postos de vigia) e intervenção dos bombeiros, deve ser dada a sua verdadeira importância a estes dois fatores. A identificação precoce de fogos e a ação coordenada dos agentes de proteção civil permitiria reduzir custos e perdas. Se aliada a isto se fomentassem a limpeza dos caminhos florestais teríamos as condições ideais para controlar melhor as ignições. Referir também que apesar dos incêndios serem um fenómeno mais concentrado no verão, as ações de prevenção devem ser aplicadas durante todo o ano.

De um modo geral foram cumpridos os objetivos propostos inicialmente, sendo a cartografia elaborada é intuitiva e permite perceber os locais que mais necessitam de intervenção por parte das entidades públicas e pela sociedade. Processos de análise espacial podem assim ser considerados ótimas ferramentas de cartografia de risco.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, R., et al. (1995). Relatório do projeto piloto de produção de cartografia de risco de Incendio Florestal. *Centro Nacional de Informação Geográfica. Lisboa.*

Amador, D. (2014). Relatório de Projeto Curricular-Cartografia de Risco de Incêndio Florestal (Murtosa).

Bachmann, A. e Allgöwer, B. (1999). The need for a consistent wildfire risk terminology. In Proceedings from the Joint Fire Science Conference and Workshop. Boise, Idaho, June 15-17.

Bachmann, A. e Allgöwer, B. (2001). É necessária uma terminologia consistente de risco de incêndio em áreas florestais. *Fire Management Today* , 61 (4), 28-33.

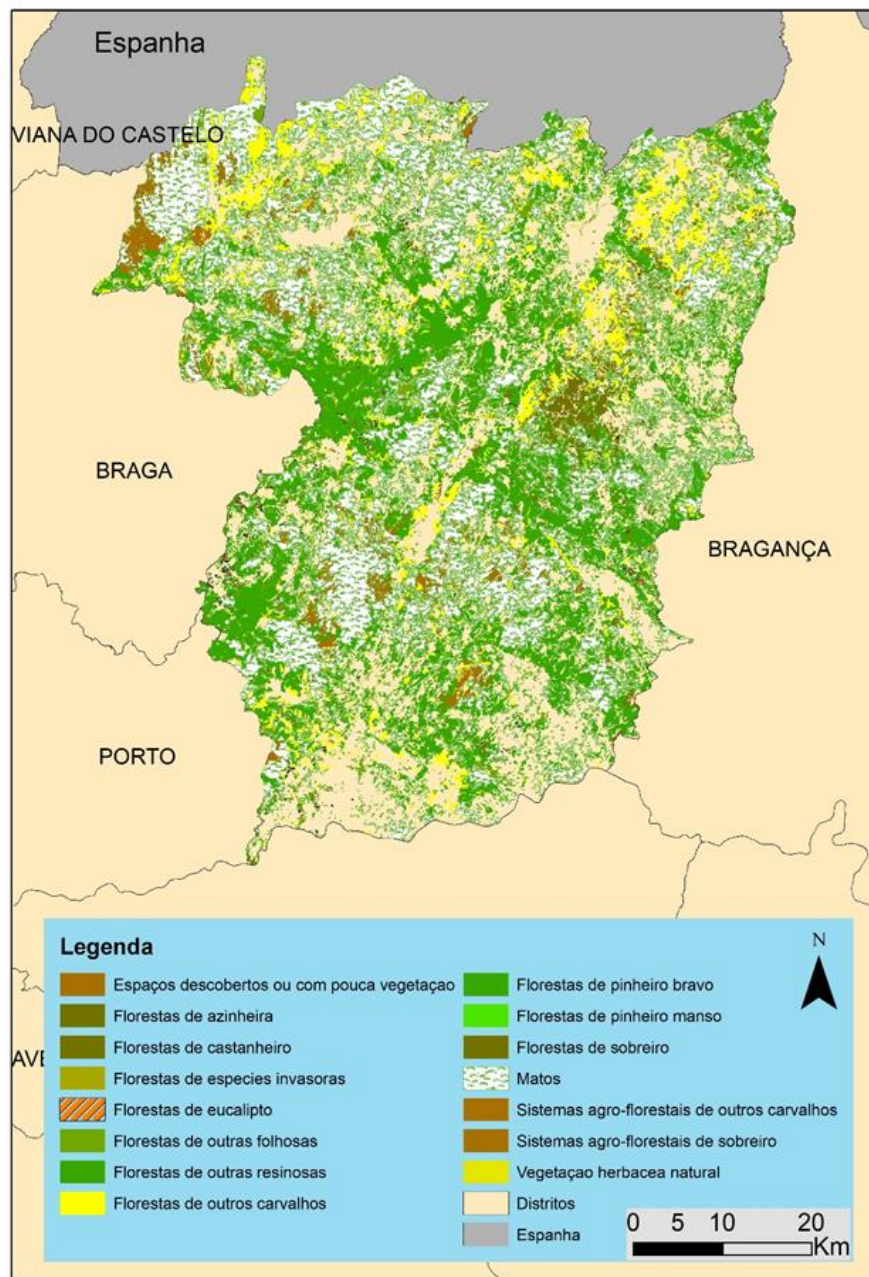
Lourenço, L., Tedim, F., & Ferreira, C. (2019) Os Incêndios Florestais. Em Busca de um novo paradigma.

Matos, F. D. R. M. (2012). Estudo comparativo do desempenho de índices de perigosidade de incêndio florestal.

Verde, J., & Zêzere, J. L. (2008). Avaliação da perigosidade de incêndio florestal. .

Carvalho, A. C., Viegas, D. X., & Mendes, J. M. (2011). Avaliação do Risco de Incêndio Florestal no Concelho de Arganil. *Silva Lusitana*, 19(2).

ANEXOS



Fonte: ICNF, 2020

Anexo 1 – Mancha florestal afeta ao distrito de Vila Real.

Variáveis		Ponderação	Coefficiente da Variável	Subclasses das Variáveis	Valor
Declive		210	14,87%	> 40%	210
				30-40%	140
				20-30%	47
				10-20%	24
				0-10%	8
Exposição		50	3,54%	Sul	50
				Oeste	34
				Este	13
				Norte	4
Rede Hidrográfica		40	2,83%	Plano	0
				< 30m	0
Ocupação do Solo		530	37,54%	> 30m	40
				Matos	530
				Povoamentos Mistos	472
				Eucaliptal	413
				Pinhal	236
				Agrícola	177
				Solo Nu/Pouca Vegetação	59
Interface Urbano/Florestal		100	7,08%	Urbano	9
				Densidade Baixa	20
				Densidade Média	50
				Densidade Alta	100
Densidade demográfica		40	2,83%	< 25 hab/km²	8
				25 - 80 hab/km²	20
				> 80 hab/km²	40
Proximidade ao Recreio Florestal		30	2,12%	0 - 100 m	30
				100 - 200 m	16
				200 - 300 m	4
Rede viária	Proximidade à rede viária	70	4,96%	< 100 m	35
				100 - 200 m	16
				200 - 300 m	7
	Densidade de caminhos florestais e agrícolas			< 5m/ha	35
				5 - 12,5 m/ha	16
				12,5 - 20 m/ha	7
				20 - 30 m/ha	7
				30 - 40 m/ha	16
				> 40 m/ha	35
Visibilidade de postos de vigia		30	2,12%	Oculto	30
				Visível por 1 posto	6
				Visível por 2 postos	4
				Visível por 3 ou mais postos	2
Distância aos Pontos de Água		75	5,31%	< 1000m	10
				1000 - 2000m	40
				2000 - 3000m	75
Tempo Deslocação dos Bombeiros		75	5,31%	< 5min	10
				5 - 10min	25
				10 - 15min	50
				> 15min	75
Histórico de Incêndios		162	11,47%	Nunca ardeu	0
				Ardeu uma vez	30
				Ardeu duas vezes	70
				Ardeu três ou mais vezes	162

Anexo 2 – Tabela de ponderação de pesos, adaptada de ALMEIDA (1995).