

Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e

Ordenamento do Território

Unidade curricular: Análise Espacial ao Ordenamento do Território

# ANÁLISE MULTICRITÉRIO DE INCÊNDIO PARA O DISTRITO DE VIANA DO CASTELO

Docente:

Prof. Miguel Saraiva

Discente:

Gabriela Ribeiro

## Índice Geral:

1. Introdução.....	4
2. Caracterização da área de estudo.....	4
3. Métodos e Materiais.....	8
4. Análise de Variáveis .....	9
1. Declives .....	9
2. Exposição de Vertentes.....	10
3. Distância à rede hidrográfica e aos pontos de água.....	11
4. Ocupação do solo .....	12
5. Densidade Populacional.....	13
6. Proximidade à rede rodoviária .....	14
7. Visibilidade dos postos de vigia .....	15
8. Histórico de Incêndios .....	16
5. Método Analístico Hierárquico .....	17
6. Carta de suscetibilidade.....	18
7. Análise das áreas de maior suscetibilidade.....	19
8. Conclusão .....	21
9. Referências Bibliográficas .....	22

## Índice de figuras:

Figura 1 - Grafico de Ripley com a densidade populacional como peso. ....	5
Figura 2 – A. Concelhos e freguesias de Viana do Castelo; B. Carta de Uso e Ocupação do Solo de Viana do Castelo e sua frequência relativa; C- Análise de <i>Hot-spots</i> e <i>Cold-spot</i> da densidade populacional; D – Análise de <i>Outliers</i> e <i>Clusters</i> da densidade populacional; E - Análise de <i>Hot-spots</i> e <i>Cold-spot</i> da população idosa; F - Análise de <i>Outliers</i> e <i>Clusters</i> da população idosa; G - Análise de <i>Hot-spots</i> e <i>Cold-spot</i> do edificado antigo; H - Análise de <i>Outliers</i> e <i>Clusters</i> do edificado antigo; H – Análise de <i>Hot-spot</i> e <i>Cold-spot</i> do edificado total; J – Análise de <i>Outliers</i> e <i>Clusters</i> do edificado total. ....	7
Figura 3 - Declives da área de estudo.....	10
Figura 4 - Exposição de Vertentes da área de estudo. ....	10
Figura 5 - Frequência relativa de área de cada exposição. ....	11
Figura 6 - A. Distância à rede hidrográfica; B. Distância aos pontos de água. ....	11
Figura 7 - Carta de Ocupação do Solo (COS) da área de estudo.....	12
Figura 8 - Densidade populacional da área de estudo. ....	13
Figura 9 - Proximidade às vias rodoviárias da área de estudo. ....	14
Figura 10 - Visibilidade de postos de vigia (Bacias de Visão) da área de estudo.....	15
Figura 11 - Frequência Relativa da área de cada classe. ....	15
Figura 12 - Áreas ardidas na área de estudo. ....	16

Figura 13 - Frequência relativa de cada classe. ....	16
Figura 14 - Carta de suscetibilidade da área de estudo.....	18
Figura 15 - Frequência relativa de cada classe de suscetibilidade. ....	18
Figura 16 - Distância às corporações de bombeiros e áreas de maior suscetibilidade. ....	20

### **Índice de Tabelas:**

Tabela 1 – Variáveis e ferramentas usadas para sua construção. ....	8
Tabela 2 – Descrição de dados usados .....	9
Tabela 3 – Primeira tabela do método AHP .....	17
Tabela 4 – Segunda Tabela do método AHP .....	17
Tabela 5 – Dados estatísticos do cruzamento das áreas mais suscetíveis e áreas ardidas. ....	19

## **1. Introdução**

“O fogo não pode e não deve eliminar-se por completo. É um fenómeno natural que faz parte da estratégia de desenvolvimento de algumas espécies e da renovação da paisagem, fenómeno que modela as florestas e que é anterior às tentativas do Homem para lhe fazer frente, na sua conquista de territórios.” (Verde, 2007).

Dito isto o verdadeiro problema é realmente o que se faz no espaço e como o Homem se comporta no meio. Desta forma, em Portugal Continental temse verificado a cada ano grandes prejuízos que advêm da destruição do edificado e da floresta ardida que constituía rendimentos à população (Verde, 2007).

Assim sendo, foi visto como algo imprescindível entender e avaliar como os incêndios se comportam, quais os fatores condicionantes que contribuem para a propagação destes e como prevenir. Neste contexto, mostra-se uma necessidade de avaliação de perigosidade ou suscetibilidade das áreas em estudo. E essencialmente num contexto de Ordenamento, é imperativo a construção de cartografia de risco de incêndio florestal para a identificação das áreas mais suscetíveis a este fenómeno (Amador, 2014).

O estudo tem como objetivos: 1) entender e aplicar ferramentas necessárias para a análise de padrões, clusters e distribuição para a caracterização da área de estudo; 2) Compreender e aplicar uma análise multicritério aplicada em incêndios e o método de atribuição de pesos proposto; 3) Aplicação de técnicas para análise do quanto as áreas mais suscetíveis poderão afetar e o custo de faixas de proteção.

## **2. Caracterização da área de estudo**

O estudo tem como área de estudo o distrito de Viana do Castelo. Este distrito enquadra-se na região norte do país e contém 10 concelhos sendo estes Arcos de Valdevez, Caminha, Melgaço, Monção, Paredes de Coura, Ponte da Barca, Ponte de Lima, Valença, Viana do Castelo, Vila Nova de Cerveira. Em cada concelho referido, existe uma grande quantidade de freguesias que serão o objeto de estudo deste trabalho. Este distrito também faz fronteira com Espanha, Braga e Oceano Atlântico já que este encontra-se no litoral.

Para uma caracterização mais aprofundada e estatística, foi realizada algumas análises de padrões e distribuição para entender a distribuição populacional e do edificado deste distrito.

Começando pela densidade populacional, foi possível denotar-se que esta apresenta padrão concentrado apesar de obter um índice de Moran de 0,27, mas com um z-score que indica que é significativamente agrupado. Esta distribuição mostrou-se com nenhum pico significativo em nenhuma distância em específico, tendo assim optado pela distância padrão que se obtivera um maior z-score. Esta distância corresponde a uma distância onde a curva do observado (Figura 1)

está mais afastada do esperado no sentido positivo, sendo nesta distância adequada para a análise. No entanto, pode-se observar que a partir essencialmente 7000m vai começando a decrescer até ir ao encontro da linha esperada numa distância > 16000 metros, estando ligeiramente abaixo da linha. Além disso, ainda foi possível constatar que os valores agrupados estão relacionados com os valores elevados, já que como mencionado esta variável apresenta um z-score positivo e significativo.

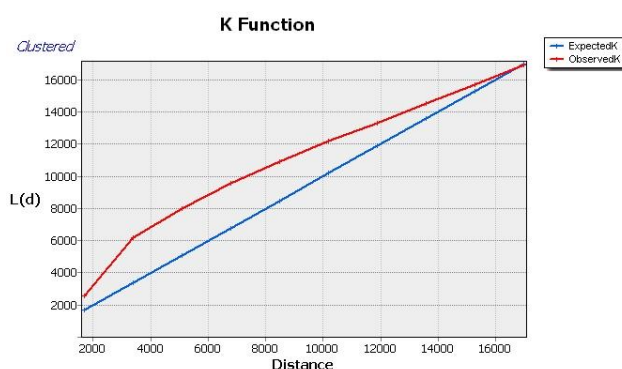


Figura 1 - Gráfico de Ripley com a densidade populacional como peso.

Com as ferramentas de *Mapping Cluster*, observa-se dois agrupamentos de valores elevados, ou seja, *Hot-spots* (Figura 2C), nas freguesias que entornam a freguesia de Viana do Castelo (Centro de Cidade e oeste do distrito) e nos municípios que circundam a freguesia de Arcos de Valdevez. O *Cold-spot* aparente na distância de 6353.9939 (distância padrão), encontra-se nas freguesias limítrofes de Arcos de Valdevez e Monção (mais no interior do distrito). Com a distância a 10km, continua e ampliou o primeiro *Hot-spot* referido, no entanto o segundo alterou para umas freguesias mais pequenas mais a oeste. Este segundo *Hot-spot* poderá estar associado ao facto que estas freguesias em questão são de pequena dimensão, contendo assim uma área pequenas e obtendo altas densidades e comparação com as freguesias em volta.

Quanto aos *Cluster and Outlier Analysis* (Figura 2D), complementa a análise de *Hot-spots* mostrando nesses agrupamentos a tendência dos valores, isto é, destaca-se agrupamentos determinantes de valores altos, ou uma feature de valores altas rodeada por valores baixos ou o contrário. Neste contexto é possível visualizar alguns clusters que coincidem com os *Hot-spots* ou *Cold-spot*, como o cluster a oeste do distrito em que todos são valores que estão rodeados por valores altos com exceção a freguesia de Carreço que é um valor baixo, sendo um *Low-High Outlier*. Outro cluster significativo nas freguesias de Arcos de Valdevez, onde 9 freguesias são valores altos envoltos de valores altos e 4 freguesias que detém valores baixos sendo *Low-High Outliers*.

Em relação à distribuição da população idosa, esta também mostra uma autocorrelação espacial positiva, ou seja, agrupada no índice de Moran que foi calculada com uma distância de

13km onde pelo *Incremental Spatial Autocorrelation* apresentava um pico, isto é, é onde haverá uma maior autocorrelação à densidade populacional. Através da execução dos *High-Low Clustering* foi possível perceber que os clusters são essencialmente de valores altos já que o z-score é positivo (18,2). Quando à função de *Ripley*, apresentou um resultado bastante semelhante mostrando que quanto mais distante menos concentrado.

As ferramentas de *Mapping Clusters* permitiram perceber que existe uma espécie de polarização na sua distribuição onde existe um forte *Hot-spot* (Figura 2E) nas freguesias que estão no litoral e rodeiam a freguesia de Viana do Castelo num total de 43 freguesias e um *Cold-spot* de grande dimensão no meio do distrito, abrangendo os concelhos de Arcos de Valdevez, Ponte de Lima, Ponte da Barca, Paredes de Coura, Monção e Valença. Com o *Cluster and Outlier Analysis* (Figura 2F), entendeu-se onde se encontra o *Hot-spot* grande parte dos valores são altos e estão envolvidos por features vizinhas de valores altos com exceção de Vile Amonde, Deocriste, Freixieiro de Soutelo, Mexeiro, Moreira de Geraz do Lima, Portela Susã, Geraz do Lima (Santa Maria), Torre, Vila Mou e Vilar de Murteda (freguesias pertencentes ao município de Viana do Castelo). Quanto ao *Cold-spot*, todos são *Low-Low Cluster* (valores baixos rodeados por valores baixos) exceto por 22 concelhos com valores mais altos.

O edificado total e os edifícios mais antigos do distrito (considerando os edifícios construídos até 1940 (Pavão, 2016)) constituem um padrão de cluster, ou seja, agregado, cuja maior autocorrelação espacial for visualizada aos 10,3 km aproximadamente. O *Incremental Spatial Autocorrelation* mostrou dois picos no caso do edificado total, um aos 10299m e outro aos 15559m. No entanto, os valores mais significativos na distância de 10299m, sendo também este o pico presente no edificado mais antigo. Com o *High-Low Clustering*, mostrou que ambos tipos de edificado apresenta uma predominância de clusters com valores elevados.

Ainda foi possível observar com o *Hot-spot Analysis* (Figura 2I), que o edificado total tem uma maior concentração/um agrupamento de valores elevados (*Hot-spot*) a oeste do distrito, o que faz bastante sentido dado que é lá que é considerado cidade e que detém maior densidade populacional e um grande *Cold-spot* no meio do distrito quase como uma faixa vertical de freguesias com pouco edificado pertencente a freguesias dos concelhos de Paredes de Coura, Arcos de Valdevez, Ponte de Barca e um pouco de Monção, Valença e Vila Nova de Cerveira. No edificado mais antigo (Figura 2G), o *Hot-spot* concentra-se no mesmo sítio, mas inclui mais freguesias de Caminha, e o *Cold-spot* encontra-se mais a sul do distrito essencialmente concentrado nas freguesias de Ponte de Lima, Ponte da Barca, Arcos de Valdevez, Paredes de Coura e poucas freguesias de Monção e Valença.

Quanto à análise *Cluster and Outlier Analysis* (Figura 2J), as áreas destacadas correspondem com as áreas de *hot-spot* e *cold-spot* e é possível ver que o cluster nas freguesias

do concelho de Viana do Castelo, grande parte constituído por valores elevados de edificado rodeado por valores elevados com exceção de 7 freguesias. Depois encontra-se um agrupamento de valores cuja maioria é do tipo *Low-Low Cluster* e apenas 18 freguesias desse grupo são valores altos em comparação com os valores vizinhos. No caso do edificado antigo (Figura 2H), há uma concentração de valores altos com valores altos vizinhos em grande parte das freguesias do concelho de Viana do Castelo e apenas 7 freguesias que estão com valores baixos, destacando também duas freguesias de Arcos de Valdevez que apresentam valores elevados com vizinhos de valores elevados. Estão também representados um grande cluster em forma de faixa vertical dos quais predomina valores baixos em volta de valores baixos, mas com algumas exceções em freguesias de Arcos de Valdevez, Ponte da Barca, Monção e Valença e Melgaço.

Por fim, é possível através da figura 2B fazer uma breve análise ao uso do solo do Distrito de Viana onde pode-se claramente distinguir que grande parte é constituído pela grande quantidade de verde perceptível na imagem, tendo uma total de 42, 5% da área do distrito coberta por florestas, 26,5% pela classe dos Matos e 18,43% de Agricultura. Tendo uma percentagem tão acrescida de área florestal e de matos, esta área poderá ser bastante propensa a incêndios.

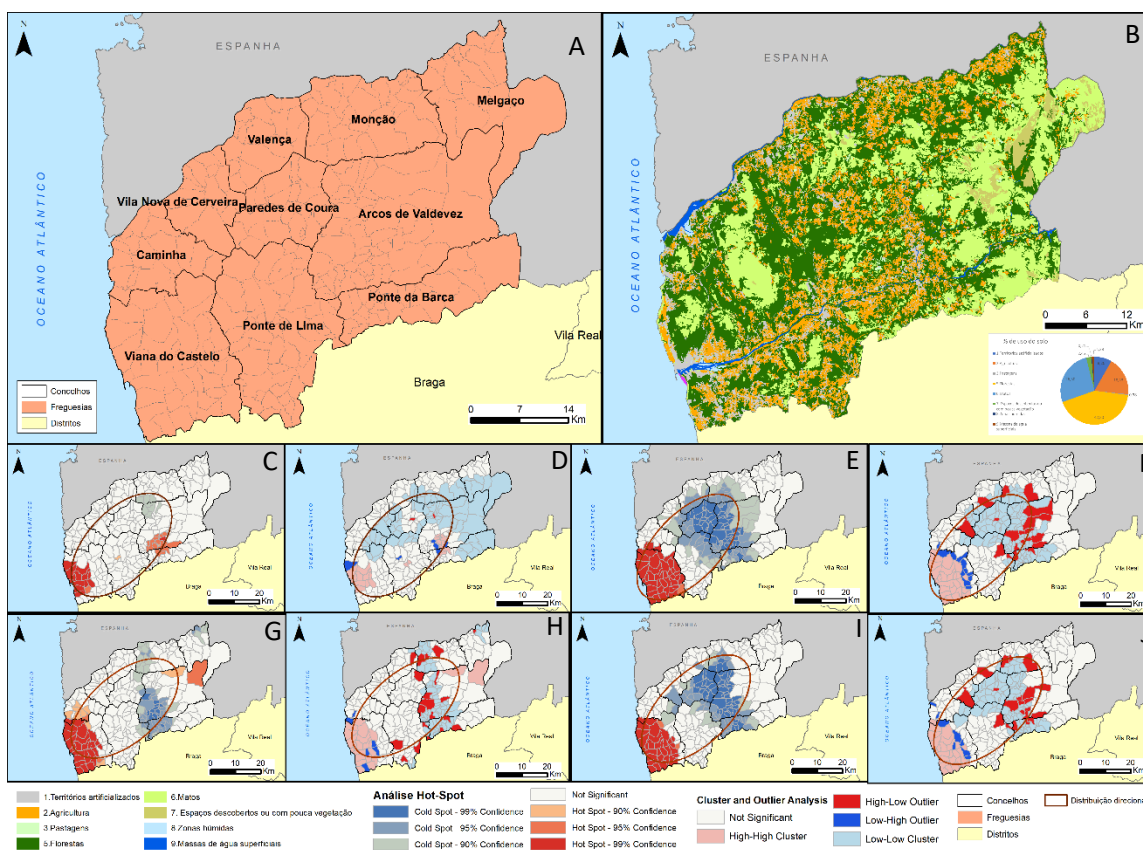


Figura 2 – A. Concelhos e freguesias de Viana do Castelo; B. Carta de Uso e Ocupação do Solo de Viana do Castelo e sua frequência relativa; C- Análise de *Hot-spots* e *Cold-spot* da densidade populacional; D – Análise de *Outliers* e *Clusters* da densidade populacional; E - Análise de *Hot-spots* e *Cold-spot* da população idosa; F - Análise de *Outliers* e *Clusters* da população idosa; G - Análise de *Hot-spots* e *Cold-spot* do edificado antigo; H - Análise de *Outliers* e *Clusters* do edificado antigo; H – Análise de *Hot-spot* e *Cold-spot* do edificado total; J – Análise de *Outliers* e *Clusters* do edificado total.

É importante realçar que na análise de *Hot-spot* e *Cold-spot* e de *Outliers* e *Clusters* destacam-se os valores extremos e que em termos de distribuição direcional está muito semelhante em todos daí não ter sido destacada na análise. Mas esta essencialmente a oeste dos distrito com uma direção sudoeste a nordeste.

### 3. Métodos e Materiais

O trabalho está assente em uma série de etapas até obter o resultado final e relatório. Desta forma, iniciou-se com uma análise descritiva do distrito de Viana do Castelo, do qual utilizou-se as seguintes ferramentas do ArcMap: *Directional Distribution*, *Spatial Autocorrelation (Morans I)*, *Incremental Spatial Autocorrelation*, *High/Low Clustering*, *Multi-Distance Spatial Cluster Analysis (Ripleys K Function)* e por fim, os *Cluster and Outlier Analysis* e *Hot Spot Analysis*.

Segue-se a análise multicritério, onde foi seguida as variáveis do artigo de Antunes (2011), feito para o concelho de Arganil. Das variáveis apresentadas no artigo foram escolhidas o declive, exposição de vertentes, rede hidrográfica, ocupação do solo, densidade demográfica, a proximidade à rede viária, visibilidade de postos de vigia, distancia aos pontos de água e o histórico de incêndios. Para a construção destas variáveis, foi necessário o uso de diversas ferramentas a destacar, simplificadas na seguinte tabela:

*Tabela 1 – Variáveis e ferramentas usadas para sua construção.*

Variável	Ferramentas	Resolução
<b>Declive</b>	Slope (antes TIN com curvas de nivel e pontos cotados e depois TIN to Raster)	10m
<b>Exposição</b>	Aspect	10m
<b>Distância à rede hidrográfica</b>	Euclidean Distance	10m
<b>Ocupação do Solo</b>	Apenas seleccionar e agrupar as classes que se enquadram e Polygon to Raster.	10m
<b>Densidade demográfica</b>	Agrupar nas classes explicitadas no artigo e Polygon to Raster	10m
<b>Proximidade à rede viária</b>	Euclidean Distance	10m
<b>Visibilidade de postos de vigia</b>	Vetorização dos postos de vigia e Viewshed	10m
<b>Distância aos pontos de água</b>	Euclidean Distance	10m
<b>Histórico de incêndios</b>	Model Builder: Polygon to Raster e Cell Statistics.	10m

Com as variáveis construídas, foram reclassificadas para as classes explícitas no artigo referido, adicionar um campo para atribuir o peso de cada classe. Dado que as variáveis têm unidades de medidas diferentes, é necessário normalizar as variáveis, neste caso, estes pesos.

Para a normalização seguiu-se esta equação: 
$$x_i = \frac{R_i - R_{\min}}{R_{\max} - R_{\min}}$$



Para a atribuição do peso de cada variável, foi aplicado o método analítico hierárquico, que será explicado posteriormente e a partir de aí, concedido o mapa de suscetibilidade através do Raster Calculator fazendo a soma do produto de cada variável e peso obtido pelo método referido.

Por fim, foram feitas análises às áreas mais suscetíveis e o quanto poderão afetar que serão abordadas posteriormente.

Este trabalho requereu vários dados disponíveis em diversos sites explícitos na Tabela 2.

*Tabela 2 – Descrição de dados usados*

DADOS	TIPO	FONTE
<b>Limites administrativos e informação sobre a População e Edificado</b>	Vetorial e Tabular	BGRI – Censos 2011 <a href="http://mapas.ine.pt/download/index2011.phtml">http://mapas.ine.pt/download/index2011.phtml</a>
<b>Shapefile da Espanha</b>	Vetorial	Diva-GIS - <a href="https://diva-gis.org/">https://diva-gis.org/</a>
<b>Curvas de Nível e Pontos cotados</b>	Vetorial	Fornecido pelo docente.
<b>COS 2018</b>	Vetorial	SNIG - <a href="https://snig.dgterritorio.gov.pt/">https://snig.dgterritorio.gov.pt/</a>
<b>Rede Rodoviária</b>	Vetorial	<a href="http://download.geofabrik.de/?fbclid=IwAR0KKmXeJYFi6d6qOYwYXjsEzLWKwr3aLhnK_3_AExi0nqseur5Hq3EGIQ">http://download.geofabrik.de/?fbclid=IwAR0KKmXeJYFi6d6qOYwYXjsEzLWKwr3aLhnK_3_AExi0nqseur5Hq3EGIQ</a>
<b>Inventariação dos postos de Bombeiros</b>	Vetorial	Wikipédia - <a href="https://pt.wikipedia.org/wiki/Lista_de_corpora%C3%A7%C3%B5es_de_bombeiros_de_Portugal">https://pt.wikipedia.org/wiki/Lista_de_corpora%C3%A7%C3%B5es_de_bombeiros_de_Portugal</a>
<b>Áreas Ardidas</b>	Vetorial	ICNF - <a href="http://www2.icnf.pt/portal/florestas/dfci/inc/mapas">http://www2.icnf.pt/portal/florestas/dfci/inc/mapas</a>
<b>Rede hidrográfica</b>	Vetorial	SNiAMB - <a href="https://sniamb.apambiente.pt/content/geo-visualizador?language=pt-pt">https://sniamb.apambiente.pt/content/geo-visualizador?language=pt-pt</a>
<b>Pontos de Água</b>	Vetorial	<a href="https://geocatalogo.icnf.pt/catalogo.html">https://geocatalogo.icnf.pt/catalogo.html</a>
<b>Pontos de Vigia</b>	WMS	<a href="http://mapas.dgterritorio.pt/wms/crif?language=por&amp;SERVICE=WMS&amp;REQUEST=GetCapabilities">mapas.dgterritorio.pt/wms/crif?language=por&amp;SERVICE=WMS&amp;REQUEST=GetCapabilities</a>

#### 4. Análise de Variáveis

Previamente à realização da carta de suscetibilidade, realizou-se uma análise de cada variável que irá ser considerada na carta e qual a sua importância/influência no tema dos incêndios.

##### 1. Declives

Como visto em diversas obras literárias como Verde (2008), o declive é um dos fatores que afeta ou potencia a propagação de incêndios. Destacando assim que “Quanto maior é o declive mais depressa o fogo se propaga, por aquecimento dos combustíveis acima da vertente, e como factor potenciador do vento” (Macedo e Sardinha, 1993; Ferreira de Castro *et al*, 2003; Viegas, 2006 em Verde, 2008). Embora seja importante destacar que esta influência que os declives detêm depende muito da “carga de combustível”, sendo que este só contribui para a aceleração da propagação se “os combustíveis situados a montante da frente das chamas serem eficientemente secos e aquecidos até a temperatura de ignição” (Alves, 2012).

Em relação aos declives da área em estudo, observa-se uma grande concentração de grandes declives na área mais interior/este do distrito. Não obstante, existem também declives na classe

dos 40,1 a 506% nas áreas mais litorais ou a oeste do distrito. Este domínio de elevados e moderados declives neste distrito, pode sugerir que o declive seja um fator determinante para a propagação de incêndios.

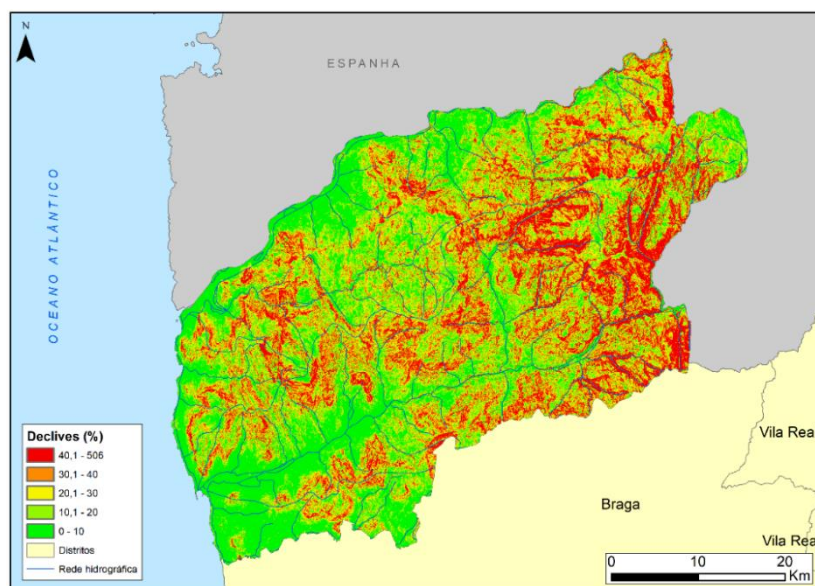


Figura 3 - Declives da área de estudo.

## 2. Exposição de Vertentes

A exposição de Vertentes mostra-se como um fator importante a considerar dado que este está relacionado com “quantidade de insolação, ou até mesmo com o vento e a humidade” (Alves, 2012). Conforme a orientação da vertente, há ou não uma maior quantidade de radiação. Regra geral, as vertentes a sul ou sudoeste costumam ser mais propensas à propagação de incêndios pois é nestas vertentes que incide uma maior quantidade de radiação solar, as ditas vertentes soalheiras (Silva *et al* 2010 em Alves, 2012).

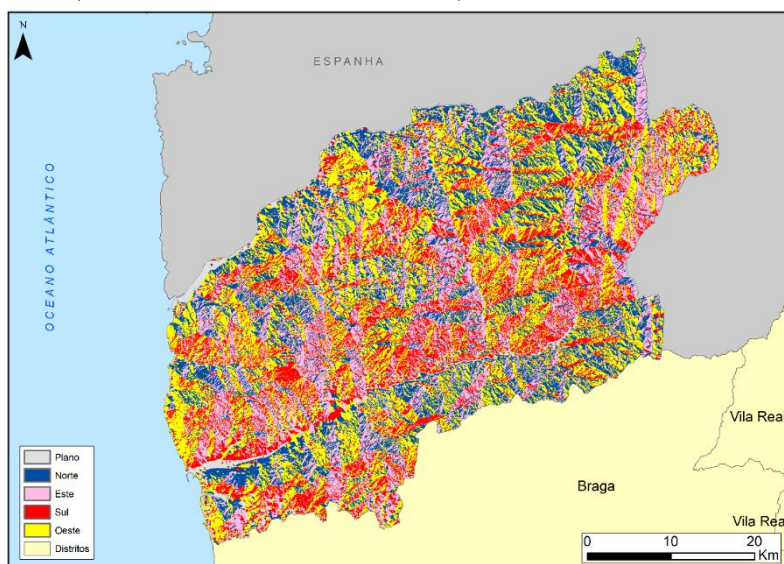


Figura 4 - Exposição de Vertentes da área de estudo.

Na área em estudo, verifica-se com a figura 5 que metade da área de estudo é composta por vertentes orientadas a oeste (30,5%) e a Sul (20,7%). O que, pela lógica do que foi dito, pode ser um dos parâmetros que poderá ter bastante influencia nesta área.

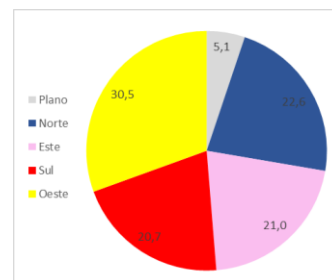


Figura 5 - Frequência relativa de área de cada exposição.

### 3. Distância à rede hidrográfica e aos pontos de água

A distância à rede hidrográfica pode ser um fator a considerar dado que, para apagar incêndios é preciso bastante água sendo mais fácil para os bombeiros se tiverem uma fonte de água por perto. Além da rede hidrográfica, existem os pontos de água que se tiverem bons acessos tanto terrestre como aéreo poderão ser determinantes para o combate a incêndios (Câmara Municipal de Vila Real, 2015). Para este trabalho foi utilizada uma rede hidrográfica simplificada, portanto esta análise poderá não ser muito precisa. No entanto, os pontos de água são um bom contributo para esta análise.

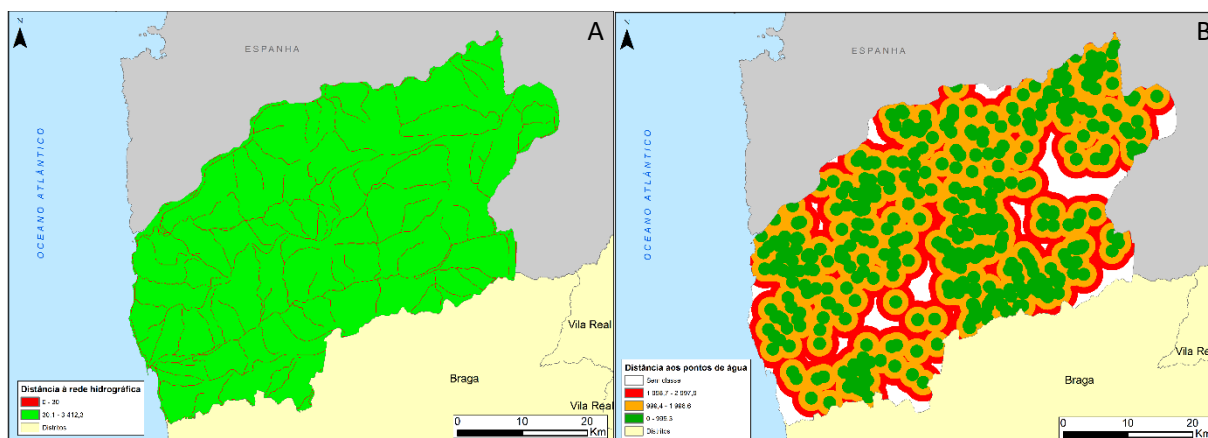


Figura 6 - A. Distância à rede hidrográfica; B. Distância aos pontos de água.

Com a figura 6, pode-se ver que apesar desta rede ser simplificada, Viana do Castelo tem uma rede bastante equilibrada. No entanto denota-se que esta é um pouco mais densa a oeste deste distrito. O critério desta variável indica que há uma maior suscetibilidade aquando mais se distancie das linhas de água, neste caso, é considerado suscetível se estiver a uma distância superior a 300m. Desta forma, está sinalizado a verde uma grande área que potencialmente será suscetível.

Quanto aos pontos de água, Viana do Castelo tem uma grande quantidade de pontos, tendo na sua totalidade 440 pontos. Observa-se um menor número de pontos de água a este como na rede hidrográfica, estando então mais concentrados a norte e oeste do distrito que é onde se encontram maiores densidades como poderá conferir-se posteriormente.

É de se realçar que estas são variáveis distintas, mas complementares daí a análise conjunta.

#### 4. Ocupação do solo

A variável Ocupação do Solo é uma das mais abordadas e com maior peso para a análise e realização de cartografia de risco. Esta variável é importante dado que certos tipos de uso de solo podem contribuir para a combustão e como combustível para o fogo. (Alves, 2012). Assim sendo, destacam-se as classes essencialmente de floresta, Matos, e Agrícola. Segundo o artigo de base, ordenando do mais suscetível ao menos, Matos, Povoamentos Mistos, Eucaliptal, Pinhal, Agrícola, Solo nú/Pouca Vegetação e por fim urbano. Para obter a classe Povoamentos Mistos, foram selecionadas as pastagens e classes associadas à floresta.

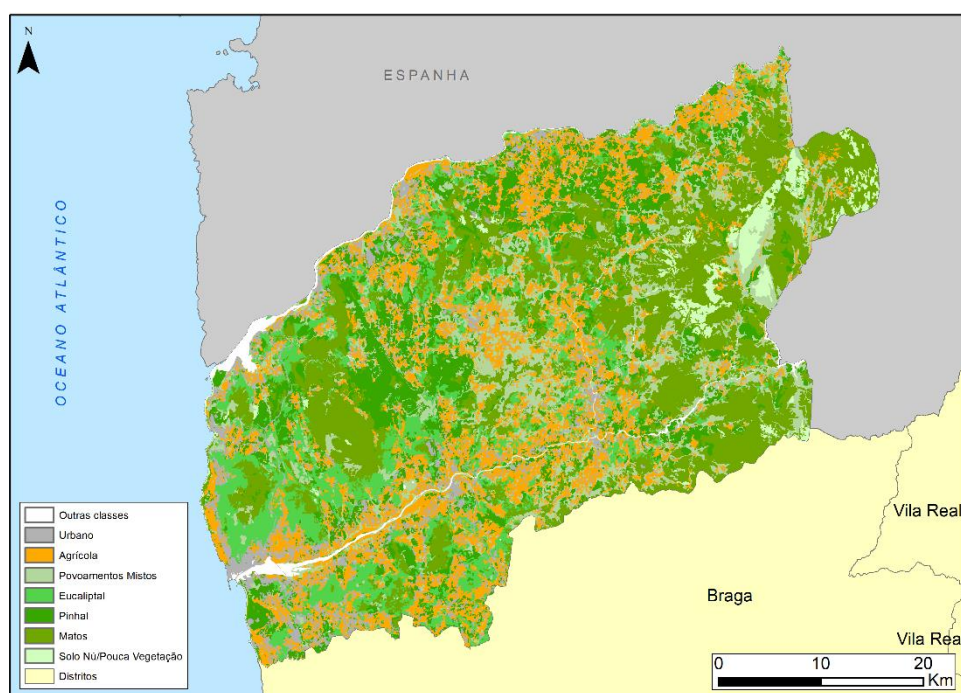


Figura 7 - Carta de Ocupação do Solo (COS) da área de estudo.

O uso do Solo do Distrito de Viana do Castelo é constituído maioritariamente por áreas com propriedades favoráveis à propagação de fogos. Isto porque, como é possível ver na figura 7, grande parte do território está a verde que foi o gradiente de cores atribuída às classes Matos (com maior peso), Povoamentos Mistos, Eucaliptal e Pinhal que são as classes com maior peso. Destacando as agrícolas, menos propensas, mas mesmo assim ainda consideradas. As áreas urbanas não se destacam particularmente, tendo um peso muito diminuto na análise até porque “(...) a existência de espaços suscetíveis à ocorrência e propagação deste fenómeno, não fazendo sentido a avaliação em territórios onde não existem espaços florestais ou rurais.” (Verde, 2007).

## 5. Densidade Populacional

A densidade populacional mostra-se como uma variável a ter em consideração pelo facto de, em áreas com maior densidade, haver a hipótese de acontecer algum descuido que provoque um incêndio ou até a intenção de incendiar. Porém áreas de baixa população também podem potenciar este tipo de risco devido ao abandono da propriedade. Além disso, a densidade também reflete a disponibilidade de ajuda ao combate de incêndios (Almeida *et al*, 1995 em Câmara Municipal de Ribeira de Pena, 2016).

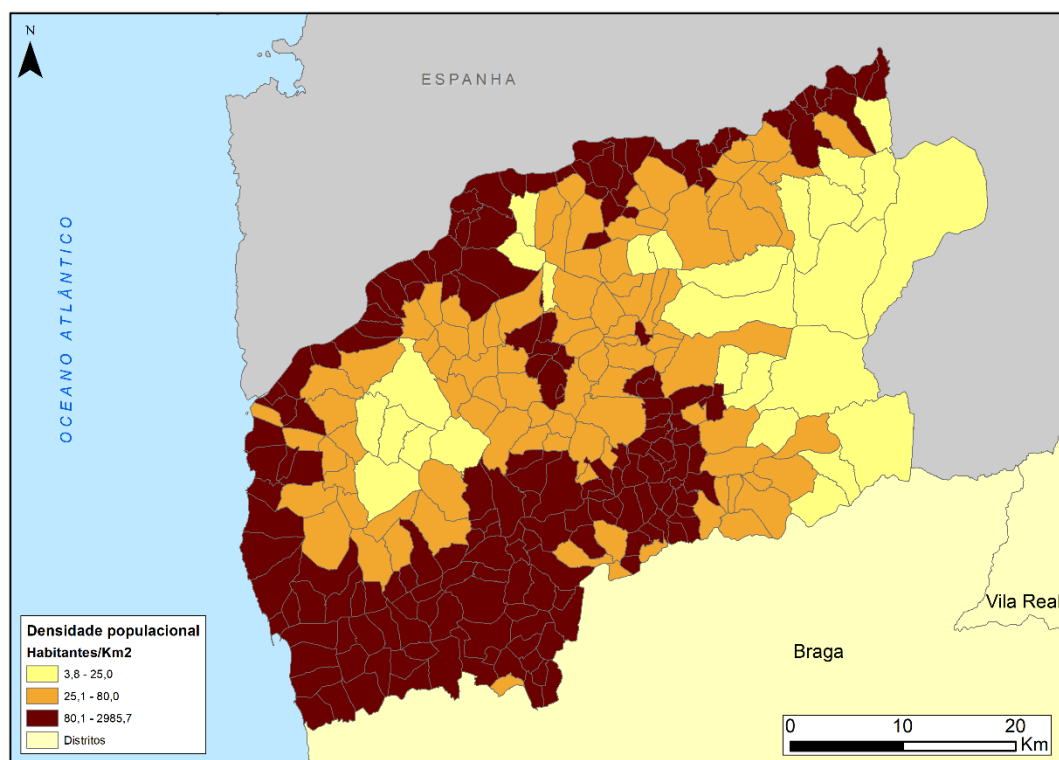


Figura 8 - Densidade populacional da área de estudo.

Nas classes expressas no artigo escolhido como base, a classe como menor suscetibilidade é as áreas de densidade populacional <25 habitantes por km², de seguida de 25 a 80 habitantes por km² e a mais suscetível, as áreas com maiores densidades populacionais (>80 habitantes por km²). As áreas que se destacam com uma maior suscetibilidade são as freguesias que partilham fronteira com Espanha e essencialmente as freguesias pertencentes aos concelhos de Viana do Castelo e Ponte de Lima. Nas áreas mais interiores é caracterizada por uma menor densidade, o que sugeriria que teria uma menor suscetibilidade, mas isto não é tão linear, depende de outros fatores.



## 6. Proximidade à rede rodoviária

Este parâmetro cobre um aspeto bastante importante no combate aos incêndios. Dito isto, é necessário ter acesso rodoviários para que os bombeiros tenham maior facilidade de combate (Alves, 2012). Desta forma, considerar-se-ia que quanto mais distante maior a suscetibilidade. No entanto, artigo base utilizado considerou o oposto. Isto pode-se dever ao facto principalmente dos fogos postos que geralmente são perto das estradas, e ainda que, se tiver carros estacionados ou na estrada, pode explodir e aumentar o incêndio. Nesta linha de pensamento seria mais seguro conforme a distância às estradas aumentasse.

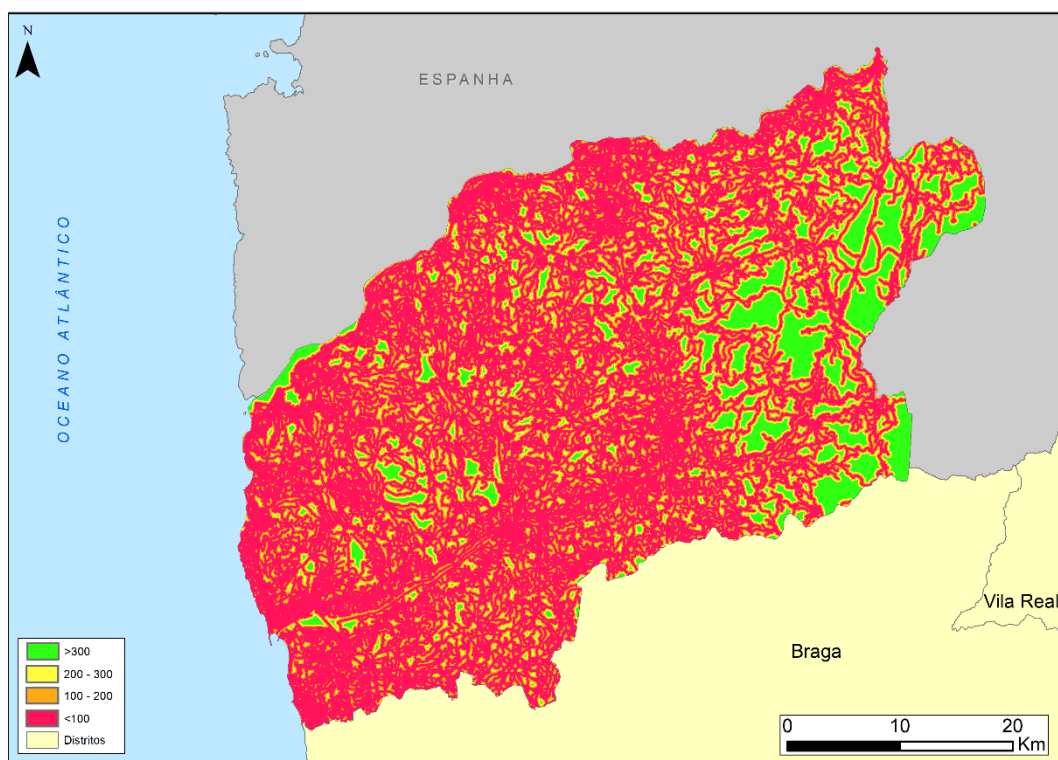


Figura 9 - Proximidade às vias rodoviárias da área de estudo.

No caso da área de estudo, está evidente uma forte rede rodoviária em geral, exceto a este, mas isto devido ao seu relevo montanhoso que condiciona a possibilidade de haver mais estradas. Neste contexto e seguindo a linha de pensamento anterior, este facto de ter uma forte rede rodoviária poderá ser benéfico à propagação do fogo.

## 7. Visibilidade dos postos de vigia

Esta variável é indispensável para uma deteção eficiente do incêndio e para conseguir agir antecipadamente de modo a este não se alastre. Assim sendo, é imperativo saber quais as áreas visíveis e ocultos pelos postos de vigia para poder atribuir a suscetibilidade da área. No entanto é importante salientar que uma área só está corretamente coberta se esta tiver no ângulo de visão de pelo menos dois postos de vigia de forma a poder localizar com mais precisão (Alves, 2012).

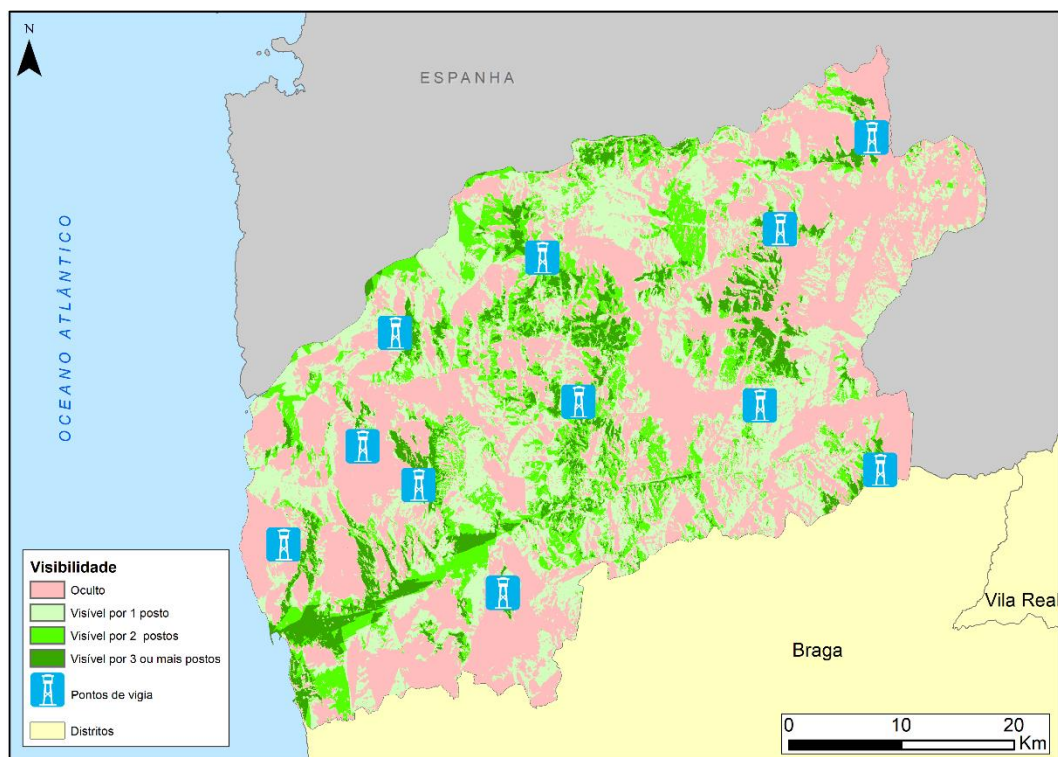


Figura 10 - Visibilidade de postos de vigia (Bacias de Visão) da área de estudo.

As figuras 10 e 11 mostram que quase metade da área (46,8%) estão ocultos aos postos de vigia o que não revela um bom panorama para este distrito. De seguida, observa-se que 31,5% é visível por apenas 1 posto o que não é muito vantajoso. E por fim com as piores percentagens, encontram-se as áreas com 2 postos com 13,7 e as áreas visíveis por 3 ou mais postos que são apenas 8% e geralmente áreas mais aplanadas.

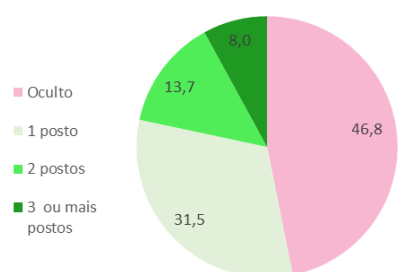


Figura 11 - Frequência Relativa da área de cada classe.

## 8. Histórico de Incêndios

É importante destacar que esta variável foi feita a partir de *Cell Statistics* para somar as áreas e contar as áreas e píxeis que se repetiam de forma a obter as vezes que a área foi ardida. Com este parâmetro, podemos atentar as áreas em que este fenómeno é frequente, e que terão assim uma maior possibilidade de voltar a incendiar. Desta forma, as áreas que foram ardidas 3 ou mais vezes são as áreas mais suscetíveis e as menos suscetíveis, as que nunca foram ardidas.

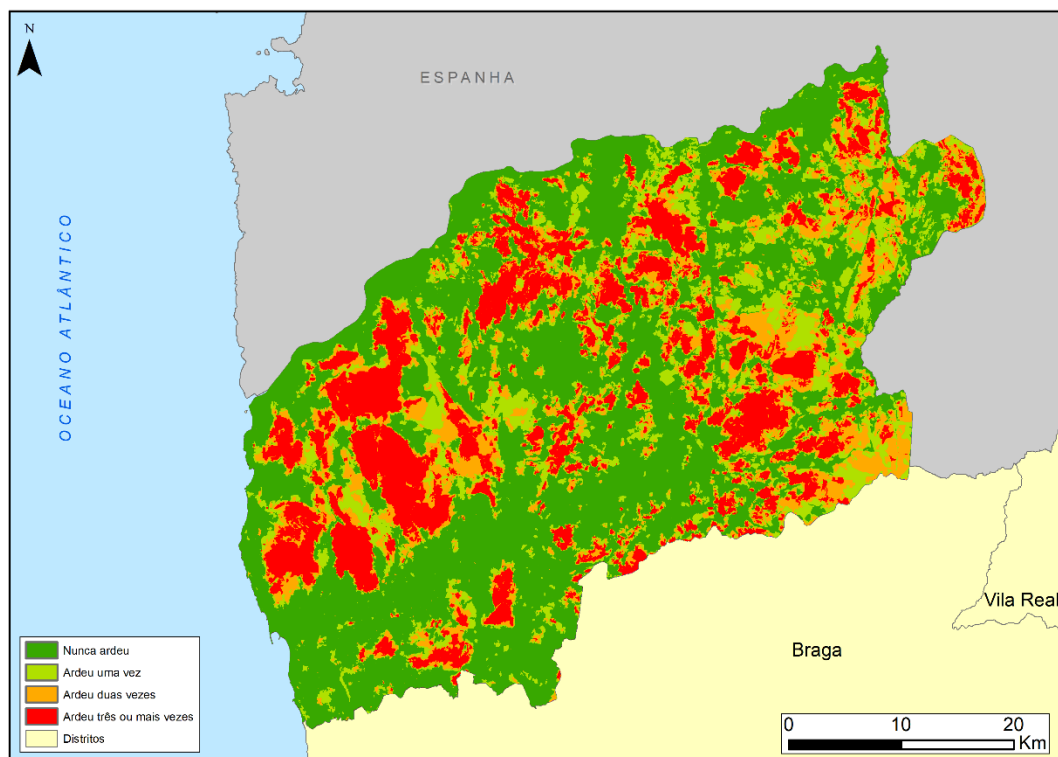


Figura 12 - Áreas ardidas na área de estudo.

Através das figuras 12 e 13, observa-se que a aproximadamente metade da área do distrito nunca ardeu o que é bastante positivo. No entanto a segunda classe com mais percentagem são as áreas que arderam mais de 3 vezes com 20,1%, o que poderá evidenciar que esta área terá uma maior probabilidade de incêndio e consequentemente, uma maior suscetibilidade. As áreas que arderam 1 ou 2 vezes constituem um total de 30,4% da área não sendo áreas tão perigosas, mas a ter em atenção.

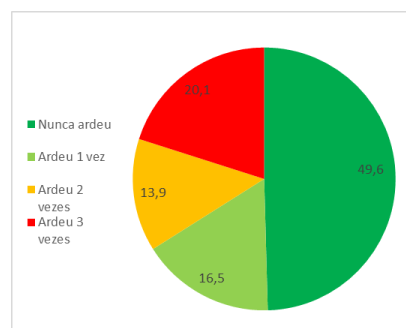


Figura 13 - Frequência relativa de cada classe.



## 5. Método Analítico Hierárquico

O método Analítico Hierárquico é um dos métodos que mais se tem destacado para a tomada de decisão (Vaidya & Kumar, 2006; Raharjo et al., 2009 em Oliveira, 2009).

Este método é considerado pelos autores Miara & Oka-Fiori (2007) como eficiente pois esta análise/comparação par a par entre as variáveis, mostra a influencia de cada variável no fenómeno em estudo e possibilita a conjugação de um leque de variáveis numa só análise (Oliveira, 2009).

Para este trabalho, foi efetuado este método com o auxílio de uma tabela já feita e fornecida pelo docente para entender as suas mecânicas.

Tabela 3 – Primeira tabela do método AHP

CRITÉRIOS	dec	proxv	expo	usolo	densp	redeh	baciasv	distp	histi
Declives (dec)	1	5,9	4,2	0,40	5,26	5,26	7,1	2,8	1,3
Proximidade a vias (proxv)	0,17	1	0,70	0,07	0,88	0,88	1,18	0,47	0,22
Exposição de vertentes (expo)	0,24	1,43	1	0,09	1,25	1,25	1,67	0,67	0,31
Uso solo (usolo)	2,52	15,14	10,6	1	12,50	12,5	16,67	7,14	3,23
Densidade populacional (densp)	0,19	1,14	0,8	0,08	1	1	1,33	1,89	0,25
Rede hidrográfica (redeh)	0,19	1,14	0,8	0,08	1	1	1,33	1,89	0,25
Bacias de visão (baciasv)	0,14	0,85	0,6	0,06	0,75	0,75	1	0,4	0,19
Distância aos pontos de água (distp)	0,36	2,14	1,5	0,14	0,53	0,53	2,5	1	0,46
Histórico de Incêndios (histi)	0,77	4,63	3,24	0,31	4,05	4,05	5,4	2,16	1
Soma	5,58	33,4	23,4	2,23	27,22	27,22	38,2	18,4	7,2

Na tabela 1, encontra-se o primeiro passo deste método que é entender quantas vezes o valor das variáveis cabe na variável em questão. Por exemplo, quanto ao declive, deve-se ver quantas vezes a proximidade de vias é divisível pelo valor do declive. Desta forma, entende-se importância do critério da linha face ao critério da coluna. Depois disso é converter numa escala de 0 a 1 e pôr o valor na coluna dos declives e linha da proximidade. De seguida, nas linhas, coloca-se o inverso do valor que se pôs anteriormente. Por fim, soma os valores das colunas.

Tabela 4 – Segunda Tabela do método AHP

CRITÉRIOS	dec	proxv	expo	usolo	densp	redeh	baciasv	distp	histi	Produto	Peso final
Declives (dec)	0,18	0,18	0,18	0,18	0,19	0,19	0,18	0,15	0,18	0,18	0,18
Proximidade a vias (proxv)	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Exposição de vertentes (expo)	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Uso solo (usolo)	0,45	0,45	0,45	0,45	0,46	0,46	0,44	0,39	0,45	0,44	0,45
Densidade populacional (densp)	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	0,10	0,03	0,04	0,04
Rede hidrográfica (redeh)	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	0,10	0,03	0,04	0,04
Bacias de visão (baciasv)	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03
Distância aos pontos de água (distp)	0,06	0,06	0,06	0,06	0,02	0,02	0,07	0,05	0,06	0,05	0,05
Histórico de Incêndios (histi)	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15	0,14	0,12	0,14	0,14	0,14
Soma	1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,99	1,00

Para a segunda parte, normaliza-se os valores obtidos na tabela anterior a uma escala 0 a 1 através a divisão de cada valor pela soma da coluna. Depois realizada esta operação, calcula-se o produto que se obteve através do produto dos valores da linha elevado a 1 a dividir pelo número de variáveis que, neste caso, são 9. Por fim, obteve-se o resultado final através da divisão de cada célula da coluna Produto pela soma dos valores da coluna Produto. E assim obteve-se o peso final para poder realizar a carta de suscetibilidade.

## 6. Carta de suscetibilidade

Após a etapa anterior e com os rasters já normalizados, foi realizado esta carta de suscetibilidade da área de estudo através do *Raster Calculator* onde fez-se a soma dos produtos do raster com o peso.

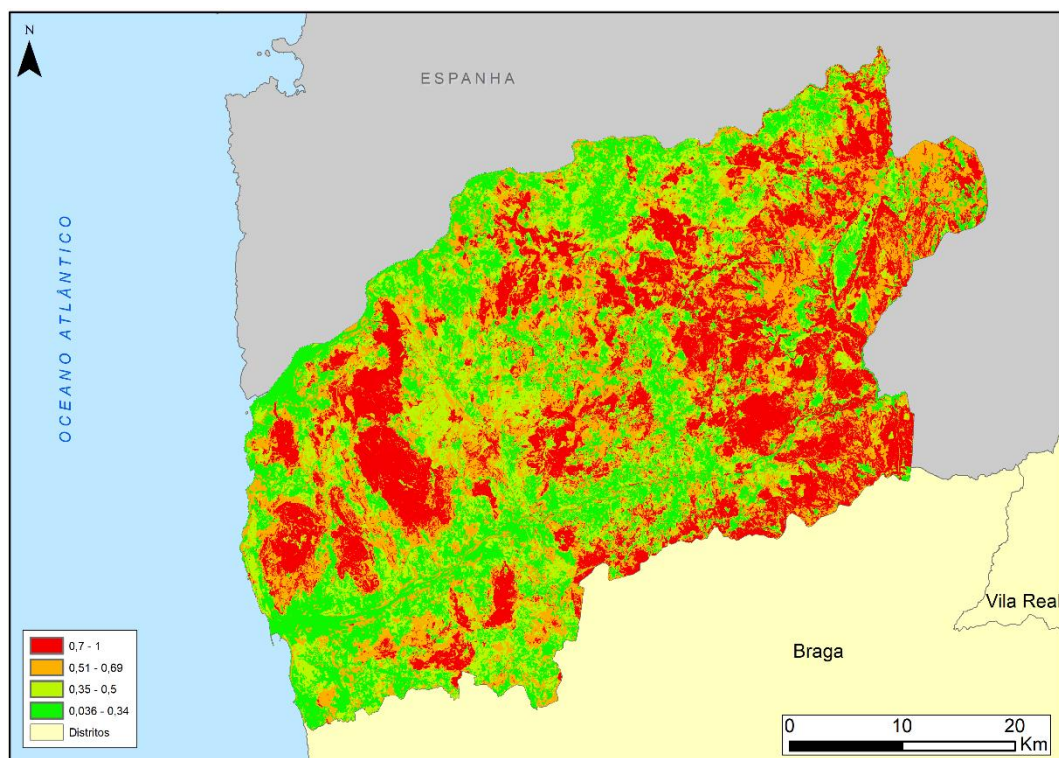


Figura 14 - Carta de suscetibilidade da área de estudo.

É de se destacar que, pelo facto que este modelo não ser validado e não se ter efetuado a curva de ROC para definir as classes, esta classificação foi feita através do Natural Breaks. Apesar disso, foi realizada uma breve análise do que deste resultou. É possível realçar que a classe 0,6 a 0,7 provavelmente seria a considerada Suscetibilidade Moderada e é a que tem maior percentagem de área presente. Em seguida, observa-se com destaque a classe 0,7 a 1 que seria a classe de Suscetibilidade Elevada e com 27,5% das áreas. Por fim constata-se que a classe de 0,036 a 0,34 e de 0,35 a 0,5, corresponderiam a Suscetibilidade Muita Baixa com 23,8% de área e Suscetibilidade Baixa com 18,9% da área do distrito respetivamente.

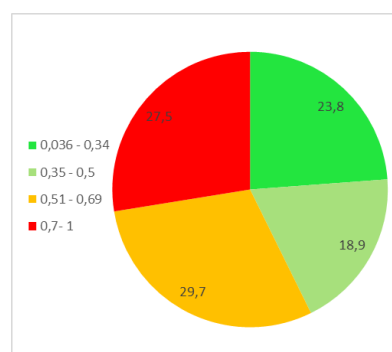


Figura 15 - Frequência relativa de cada classe de suscetibilidade.

## 7. Análise das áreas de maior suscetibilidade

Através de algumas operações no ArcMap e cálculos, foi possível obter alguns resultados interessantes em relação às áreas mais suscetíveis e o que poderá afetar a população e edificado.

Com o uso do *Zonal Statistics as table*, foi possível obter como a área de maior suscetibilidade se divide pelas classes de uso do solo. A ferramenta permitiu calcular a percentagem que área de maior suscetibilidade por cada classe. Desta ação, resultou que 18,2% da área é constituída por povoamentos mistos, 9,07% é constituída por Eucaliptal, 0,08% do que foi considerado é Pinhal e 72,6% da área mais suscetível coincide com a classe dos Matos. Isto significa que a maior parte das classes mais suscetíveis das variáveis coincidiram em áreas com Matos e além disto a ocupação do solo é que tem um maior peso de todas as variáveis e os Matos a que tem maior peso na ocupação do solo.

De forma a comparar as áreas ardidas dos últimos 5 anos às áreas consideradas de maior suscetibilidade, usou-se a mesma ferramenta para conseguir calcular a percentagem de área ardida que corresponde à área mais suscetível. Como é possível observar a figura x, através da divisão da área de cada classe (0 – não tem área ardida, 1- área ardida) e o total da área, multiplicado por 100. A coluna RELATIVA demonstra que 55,4% da área corresponde à área ardida, cuja correspondência poderá ser em grande parte porque estas forma usada para a construção da carta, mas serem áreas com condições ideais para a propagação de incêndios e assim propensas a fogos postos.

Tabela 5 – Dados estatísticos do cruzamento das áreas mais suscetíveis e áreas ardidas.

sus_ardido														
Rowid	VALUE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM	RELATIVA	VARIETY	MAJORITY	MINORITY	MEDIAN
1	0	16531449	1653144900	0	1	1	0,126765	0,332709	2095602	44,63072	2	0	1	0
2	1	5632437	563243700	0	1	1	0,46158	0,498522	2599823	55,36928	2	0	1	0

De seguida, utilizou-se o método *Areal Weighting* para averiguar quantos habitantes e edifícios estão nesta área e poderão ser afetadas através de uma ponderação pela área. E ainda a percentagem de população idosa e edifícios com mais de 50 anos.

Este cálculo foi efetuado através da divisão entre o produto do número de habitantes com a área intercetada e a área total. Isto foi realizado igualmente para os edifícios, população idosa e edifícios antigos.

Para obter a percentagem, apenas dividiu-se o número de idosos ponderado pelo total de habitantes ponderado e multiplicar por 100. Isto foi realizado igualmente com os edifícios antigos.

Com isto, obteve-se um total de 31637 habitantes afetados sendo que 26,8% são idosos e em termos do edificado, nessas áreas existem 18341 edifícios, alertando que 35% destes são antigos.

Considerou-se ainda como fator importante, a distância das corporações de bombeiros às áreas mais suscetíveis.

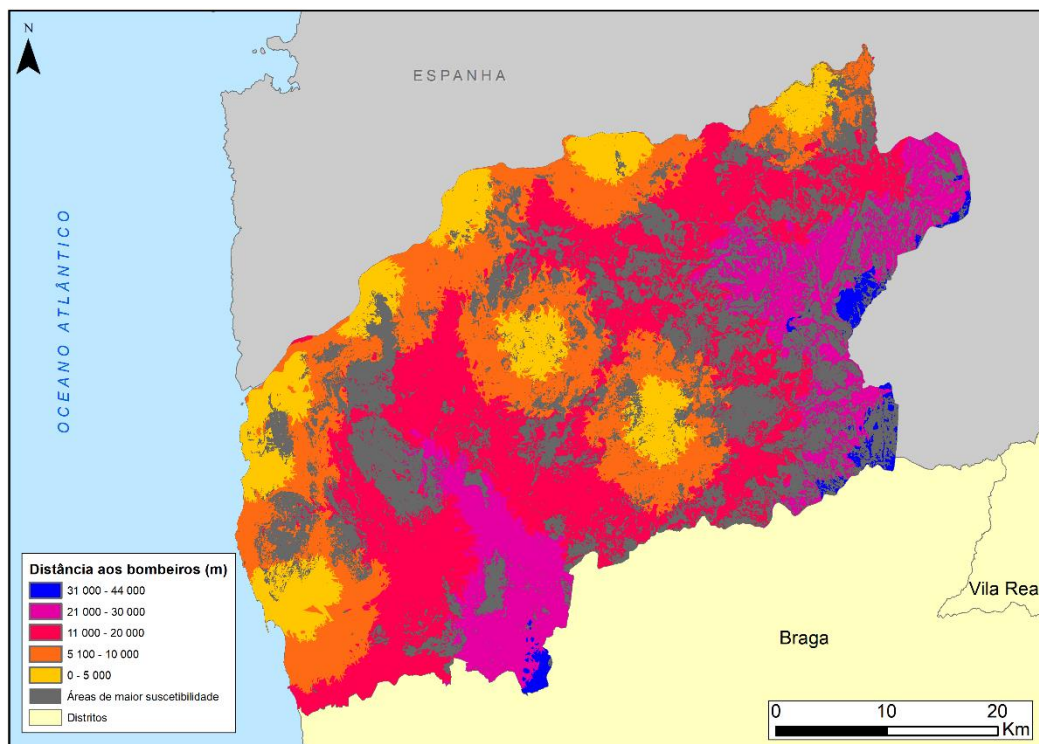


Figura 16 - Distância às corporações de bombeiros e áreas de maior suscetibilidade.

A figura 16 mostra que a maioria das áreas suscetíveis estão na classe dos 11 a 20 km e seguindo-se a classe dos 21km a 30km. Esta já é uma distância considerável, o que poderá ser alarmante. É de se destacar que as áreas que aparecem como suscetíveis concentram maioritariamente no interior do distrito, onde é mais montanhoso e com mais vegetação. Na construção deste mapa considerou-se como raster de custo as estradas para que esta cria-se uma área de influência de cada ponto tendo em conta a rede rodoviária.

Por fim e para finalizar esta análise, foi realizado um orçamento de uma área de 10m às estradas e 100m dos aglomerados urbanos. Para conseguir executar esse cálculo, foi necessário efetuar um buffer de 10m nas estradas e de 100m para os aglomerados urbanos, que foram extraídos da COS das classes do nível 4: Tecido edificado contínuo predominantemente vertical, Tecido edificado contínuo predominantemente horizontal, Tecido edificado descontínuo e Tecido edificado descontínuo esparso. De seguir fez-se um union para unir as duas shapefiles e não repetir operações. Criou-se um campo para calcular a área em hectares das faixas de proteção criadas, já que os preços de base fornecidos são por hectare. Por fim, criou-se 2 campos, um para o valor mínimo e outro para o máximo, onde se multiplicou o valor pela área em hectares. Com uso do Statistics, verificou-se que orçamento encontrar-se-ia entre os 11 864 680,23€ e os

40 678 903€. Estes valores são bastante avultados, mas tem de se ter em conta que se realizou este exercício com a rede viária inteira do Distrito de Viana do Castelo.

## 8. Conclusão

Em virtude dos aspetos mencionados, foi possível redigir uma série de tópicos importantes a destacar na análise realizada.

Primeiramente, nas análises de padrão, distribuição e de clusters, observou-se, de um modo geral a distribuição e direção muito semelhante tanto na densidade populacional como nos outros parâmetros analisados, sendo esta concentrada essencialmente a oeste do distrito, cobrindo parte dos municípios de Viana do Castelo, Paredes de Coura, Arcos de Valdevez e partes dos municípios envolventes. A direção mostra-se Sudoeste a Nordeste.

Em termos de análise de padrão todos mostraram uma autocorrelação positiva, ou seja, um padrão concentrado ou agregado e estes valores agrupados mostravam que eram valores elevados.

Com as ferramentas de *Mapping Clusters* usadas, foi possível denotar que os *hot-spot* estavam essencialmente associados às freguesias do concelho de Viana do Castelo e algumas freguesias de concelhos envolvente, onde continham os vários valores altos rodeados de valores altos (*High-High Outliers*) com alguns com valores baixos rodeados por valores altos que se encontravam nas freguesias das extremidades do cluster. Os *cold-spot* estão em geral localizados mais no interior do distrito, principalmente freguesias dos concelhos de Monção, Valença, Arcos de Valdevez e Ponte de Lima. Desta forma, pode-se dizer que as maiores densidades, maior número de idosos, edifícios e edifícios antigos concentram-se essencialmente no concelho de Viana do Castelo e as áreas com menores valores de todos os critérios estão essencialmente associados aos concelhos de Monção, Valença, Arcos de Valdevez e Ponte de Lima.

Por fim, com a análise multicritério e análises à suscetibilidade, foi possível observar que é no interior do distrito que se encontra principalmente as áreas de maior suscetibilidade, pois é no interior do distrito/áreas mais periféricas que se encontra maior área da classe Matos e Povoamentos Mistos (isto é, no fundo onde tem maior área de floresta, mas tendo em conta que algumas árvores são mais facilmente ardidas). O que faz bastante sentido dado o peso que a ocupação do solo e estas duas classes em particular tinham em relação à restante classificação. Ao fazer uma análise deste tipo é bom ter uma noção aproximada de quantas pessoas poderia afetar se ocorrer um incêndio nas áreas assinaladas, destacando que de 31637 habitantes afetados, 26,8% são idosos e em termos do edificado, 18341 edifícios afetados do qual 35% são antigos, destruindo uma boa parte do património das áreas que seriam mais suscetíveis. Outra coisa importante a ter em consideração é a distância que os bombeiros demorariam aproximadamente a chegar áreas mais suscetíveis pela qual a média resultou em cerca de 15900m, o que é uma distância razoável, mas rapidez a chegar a essas áreas não dependerá apenas da distância, mas também o trânsito. Além disto se se considerasse realizar faixas de proteção nos aglomerados

urbanos e estradas existentes no distrito para reduzir o risco de incêndio, esta teria um custo entre aproximadamente 11,9 e 40,7 milhões de euros. Um preço avultado, mas poderia ser uma forma de proteger a população e os seus bens deste risco que afeta tanto o país inteiro todos os anos.

## **9. Referências Bibliográficas**

Alves, P. (2012). Probabilidade de Ignição e Suscetibilidade de Incêndios Florestais. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Letras da Universidade do Porto. 113p.

Amador, D. (2014). Cartografia de Risco de Incêndio Florestal para o Concelho da Murtosa. Relatório para obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia Topográfica. Instituto Politécnico da Guarda, 59p.

Antunes, Catarina Carvalho, Viegas, Domingos Xavier, & Mendes, José Manuel. (2011). Avaliação do Risco de Incêndio Florestal no Concelho de Arganil. Silva. Lusitana, 19(2), 165-179.

Câmara Municipal de Ribeira de Pena (2016). PLANO MUNICIPAL DE DEFESA DA FLORESTA CONTRA INCÊNDIOS (PMDFCI) 2017 – 2021. 201p.

Câmara Municipal de Vila Real (2015). Proposta ao Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios 2015 – 2019. 88p.

Oliveira, P., Rodrigues, D., Sobrinho, T., Panachuki, E. (2009). PROCESSO ANALÍTICO HIERÁRQUICO APLICADO A VULNERABILIDADE NATURAL A EROSÃO. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 28, n. 4, p. 417-424.

Pavão, R. C. (2016). Catálogo de técnicas de diagnóstico em edifícios antigos. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa, 133p.

Verde, J., Zêzere, J. L. (2007). AVALIAÇÃO DA PERIGOSIDADE DE INCÊNDIO FLORESTAL. VI Congresso da Geografia Portuguesa, Lisboa, 23 p.

Verde, J. (2008). Avaliação da Perigosidade de Incêndio Florestal. Mestrado em Geografia Física. Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa. Lisboa, 97p.