

Suscetibilidades de Incêndios no concelho de Arcos de Valdevez

Tiago Manuel Gonçalves Brito up 202006068

Resumo

Este estudo avalia a suscetibilidade e perigosidade dos incêndios florestais para o concelho de Arcos de Valdevez, no Norte de Portugal, utilizando o método de Likelihood Ratio (LR). A metodologia envolve a análise da correlação entre a distribuição espacial dos incêndios históricos e diversos fatores ambientais, como os declives, altitude, orientação das vertentes, uso do solo, proximidade da rede viária dos incêndios. Os resultados indicam que a declive, a proximidade à rede viária e a vegetação são os fatores mais influentes na suscetibilidade a incêndios. Áreas com maior declive e vegetação apresentam maior probabilidade de ocorrência de incêndios, assim como áreas próximas a estradas. A cartografia gerada a partir dos valores de LR fornece uma visão detalhada das zonas mais vulneráveis, contribuindo para a formulação de estratégias preventivas eficazes e a gestão eficiente dos recursos para mitigação de incêndios florestais em Arcos de Valdevez.

Palavras-chave: Suscetibilidade a incêndios, Likelihood Ratio, Arcos de Valdevez, prevenção de incêndios, fatores ambientais.

Introdução

O objetivo deste trabalho consiste na criação de um modelo de suscetibilidade, utilizando a mesma metodologia do ICNF para a criação da Carta de Perigosidade Estrutural de Incêndio para Portugal, aplicando este método com para o Município de Arcos de Valdevez. O segundo objetivo consiste na criação da curva de Sucesso, Predição e as áreas abaixo da curva, tendo intuito de avaliar a qualidade global do modelo.

O município de Arcos de Valdevez está localizado na região Norte de Portugal, inserido na sub-região do Alto Minho. Arcos de Valdevez situa-se no noroeste de Portugal, fazendo fronteira com Espanha a leste. Geograficamente, encontra-se na zona de transição entre a região montanhosa do Parque Nacional da Peneda-Gerês e as áreas mais baixas em direção à costa atlântica.

Quanto ao relevo a presença de rios, como o Rio Vez, contribui para a formação de vales férteis. Este mesmo é um dos principais cursos de água que atravessam o município, desempenhando um papel importante na hidrografia local, influenciando a topografia e a paisagem. Parte do município está incluído em áreas que pertencem ao Parque Nacional da Peneda-Gerês, uma das áreas protegidas mais importantes de Portugal.

O Município de Valdevez conta com uma área total de 447,60 km² e 20.718 habitantes (segundo os censos de 2021), distribuindo-se estes distribuem-se pelas suas 36 freguesias (Tabela 1). Este município faz fronteira com outros municípios do Alto Minho, como Ponte da Barca, Ponte de Lima e Melgaço, e também faz fronteira com a Espanha, nomeadamente com a província de Ourense como é possível observar na Figura1.

“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 tem-se 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).

A suscetibilidade segundo a Autoridade Florestal Nacional (AFN), exprime as condições que o território apresenta face à ocorrência e ao potencial de um fenómeno danoso. Existem variáveis derivadas da topografia, ocupação do território, entre outras, que determinam se um território é mais ou menos suscetível a esse fenómeno. Enquanto Verde, Zêzere et al. (2007: 8) definem a suscetibilidade como “a propensão de uma dada área ou unidade territorial para ser afetada pelo fenómeno estudado, avaliada a partir das propriedades que lhe são intrínsecas”.

De acordo com Varnes (1984, citado em Verde, 2008: 15), a perigosidade expressa a probabilidade de ocorrência de um incêndio rural com uma determinada dimensão, numa área específica e dentro de um determinado período temporal. Enquanto Aguado, Chuvieco et al. (2007) define a perigosidade como a potencialidade de um incêndio ocorrer, por um lado numa determinada área e tempo e, por outro, a sua capacidade de propagação. Este conceito é, então, a probabilidade de um evento ocorrer, num determinado período temporal, e num local característico para tal.

| Freguesias | Abreviações: |
|--|--------------|
| União das Freguesias de Alvora e Loureda | AL |
| União das Freguesias de Arcos De Valdevez (São Paio) e Gíela | SPG |
| União das Freguesias de Arcos De Valdevez (Salvador), Vila Fonche e Parada | SVF |
| União das Freguesias de Grade e Carralcova | GC |
| União das Freguesias de Guilhadeses e Santar | GS |
| União das Freguesias de Jolda (Madalena) e Rio Cabrão | JRC |
| União das Freguesias de Padreiro (Salvador e Santa Cristina) | PD |
| União das Freguesias de Portela e Extremo | PR |
| União das Freguesias de São Jorge e Ermelo | SJE |
| União das Freguesias de Souto e Tabaço | ST |
| União das Freguesias de Távora (Santa Maria e São Vicente) | TA |
| União das Freguesias de Vilela, São Cosme e São Damião e Sá | VSC |

| Freguesias | Abreviações: | Freguesias | Abreviações: |
|----------------------|--------------|-------------------------------------|--------------|
| Aboim das Choças (1) | AC | Paço | PA |
| Aguiã | AG | Padroso | PAD |
| Azere | AZ | Prozelo | PR |
| Cabana Maior | CM | Rio Frio | RF |
| Cabreiro | CAB | Rio de Moinhos | RM |
| Cendufe | CE | Sabadim | SAB |
| Couto | CO | Jolda (S. Paio) | JSP |
| Gavieira | GAV | Senharei | SE |
| Gondoriz | GON | Sistelo | SIS |
| Miranda | MI | Soajo | SOA |
| Monte Redondo | MR | Vale | VA |
| Oliveira | OL | União das Freguesias de Eiras e Mei | EM |

Tabela 1- Freguesias de Arcos de Valdevez

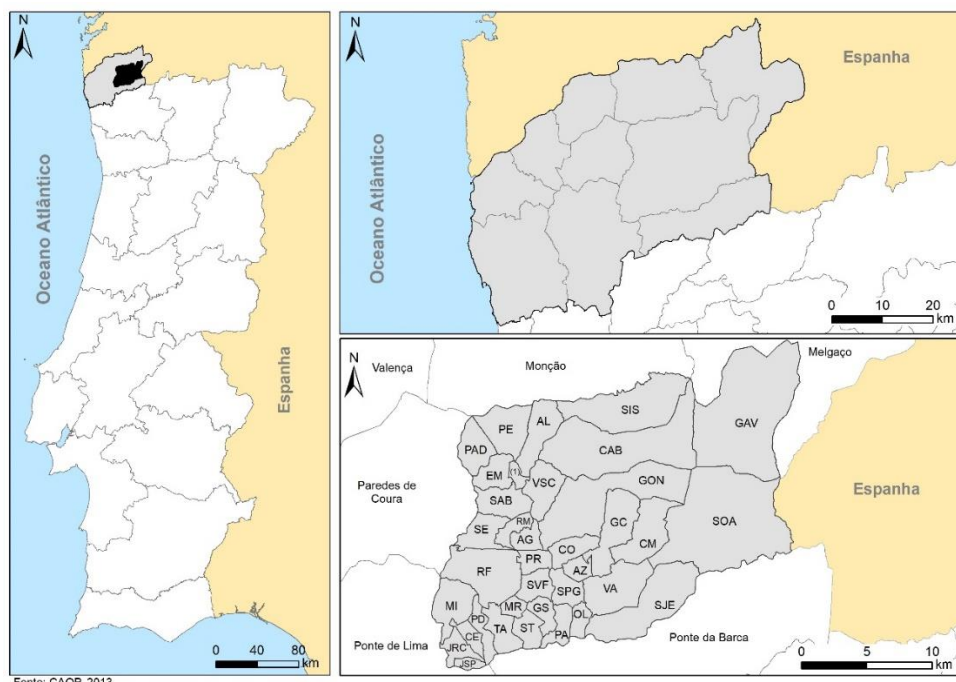


Figura 1- Mapa de Enquadramento

Materiais

A metodologia utilizada no presente estudo foi dividida em etapas, sendo que inicialmente teve como base a criação de um inventário. Neste foram registadas as ocorrências de incêndios na área de estudo entre os anos de 2000 e 2022 (variável independente), a recolha foi realizada através retirados do banco de dados do ICNF (Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas), utilizando o seguinte link:” <https://geocatalogo.icnf.pt/home.html> “. No total foram registadas 617 ocorrências, sendo que correta foram excluídos previamente todos os incêndios com áreas superiores a 100 hectares devido estes serem considerados incêndios de grande dimensão (Gonçalves, A. C. D. N., 2018).

Neste estudo além da variável dependente representada pela extensão das áreas de incêndios florestais, foram selecionadas outras variáveis independentes que serão consideradas. Estas são fatores que se acredita influenciar a extensão de um incêndio.

Entre as variáveis apuradas estão a altitude do terreno, o declive e a exposição das vertentes. Estes foram obtidos a partir do Modelo Digital de Elevação (DEM) disponibilizado no seguinte site: “<https://www.fc.up.pt/pessoas/jagoncal/dems/>”. O Uso e Ocupação do Solo (COS) nível 3 disponibilizado pela Direção Geral do Território (DGT) para o ano de 2018.

Por fim a distância dos incêndios às estradas para a qual utilizamos as estradas disponibilizadas no site “<https://download.geofabrik.de/>” do Open Street Map, fazendo uma seleção para apenas ter estradas pelas quais passam apenas carros excluindo assim todos os caminhos pedestres.

Após todos os dados estarem tratados e recortados para a área de estudo procedeu-se à transformação de vetorial para formato raster. A altitude foi reclassificada segundo a metodologia utilizada ICNF, (2020) em 11 classes (0-100 m; 100-200m; 200-300m; 300-400m; 400-500m; 500-600m; 600-700m; 700-800m; 800-1000m; 1000-1500m; 1500-2000 m). O declive foi reclassificado em 5 classes segundo a metodologia utilizada ICNF, (2020) em graus (0-5°; 5-10°; 10-15°; 15-20°; > 20°).

Em relação à COS foram mantidas as mesmas 30 classes (Tecido edificado contínuo, Tecido edificado descontínuo, Espaços vazios em tecido edificado, Indústria, Comércio, Infraestruturas de produção de energia, Infraestruturas de águas e tratamento de resíduos, Redes viárias e

ferroviárias e espaços associados, Áreas de extração de inertes, Áreas em construção, Equipamentos desportivos, Equipamentos de lazer e parques de campismo, Equipamentos culturais, Outros equipamentos e instalações turísticas, Parques e jardins, Culturas temporárias de sequeiro e regadio e arrozais, Vinhas, Pomares, Culturas temporárias e/ou pastagens melhoradas associadas a culturas permanentes, Mosaicos culturais e parcelares complexos, Agricultura com espaços naturais e seminaturais, Agricultura protegida e viveiros, Pastagens melhoradas, Florestas de folhosas, Florestas de resinosas, Matos, Rocha nua, Vegetação esparsa, Cursos de água, Planos de água) que são apresentadas para a área de estudo, sendo posteriormente excluídas dos Modelos resultantes todas as áreas urbanas e que fossem corpos de água.

A distância às estradas foi reclassificada em 6 classes (100m, 200m, 300m, 400m, 500m, 2000m). Calculou-se também a exposição das vertentes que se reclassificou Alves (2012) em 9 classes sendo elas Plano, Norte, Nordeste, Este, Sul, Suldeste, Sudoeste, Noroeste e Oeste.

Os modelos matriciais utilizam a células (pixéis) de 25m e os dados foram tratados utilizando o sistema de coordenadas ETRS89_Portugal_TM06.

Metodologia utilizada

A metodologia utilizada para o cálculo da suscetibilidade de incêndio para município de Arcos de Valdevez, foi o método Likelihood Ratio (LR) este é um método estatístico bivariado de base Bayesiana utilizado para avaliar a suscetibilidade a incêndios florestais. (ICNF, 2020)

Este calcula a relação entre determinadas classes de variáveis (como declives, altitude, uso do solo, etc.) e a ocorrência de incêndios. (ICNF, 2020). O cálculo da Razão de Verossimilhança (LR) para cada variável (classe x do fator de predisposição y) é efetuado utilizando a equação " $Lri = (Si/S)/(Ni/N)$ " (ICNF, 2020). O Lri pode variar entre 0 (zero) e infinito, sendo que se LRI for superior a 1 implica uma relação positiva entre a presença da variável e a ocorrência de áreas ardidas, tornando-se mais elevada quanto maior for o score. Pelo contrário, Lri entre 1 e 0 (zero) indica uma relação negativa entre a presença da variável e a ocorrência de áreas ardidas, tornando-se mais negativa quanto mais baixo for o score (ICNF, 2020).

A Tabela 2 sumariza os scores de LRI obtidos para cada classe de cada variável independente.

| Classes dos declives (graus) | Valor LRI | Classes COS 2018 | |
|--|-----------|--|-------|
| 0 - 5 | 0,448 | Tecido edificado contínuo | 0,020 |
| 5 - 10 | 0,745 | Tecido edificado descontínuo | 0,076 |
| 10 - 15 | 0,996 | Espaços vazios em tecido edificado | 0,000 |
| 15 - 20 | 1,240 | Indústria | 0,000 |
| >20 | 1,208 | Comércio | 0,000 |
| Classes Altitude | | | |
| 0 - 100 | 0,156 | Infraestruturas de produção de energia | 0,000 |
| 100 - 200 | 0,864 | Infraestruturas de águas e tratamento de resíduos | 0,000 |
| 200 - 300 | 1,495 | Redes viárias e ferroviárias e espaços associados | 0,051 |
| 300 - 400 | 1,968 | Áreas de extração de inertes | 0,000 |
| 400 - 500 | 1,562 | Áreas em construção | 0,000 |
| 500 - 600 | 1,147 | Equipamentos desportivos | 0,186 |
| 600 - 700 | 0,967 | Equipamentos de lazer e parques de campismo | 0,194 |
| 700 - 800 | 0,955 | Equipamentos culturais | 0,000 |
| 800 - 1000 | 0,378 | Outros equipamentos e instalações turísticas | 0,041 |
| 1000 - 1500 | 0,517 | Parques e jardins | 0,000 |
| Classes Exposição de Vertentes | | | |
| Plano | 0,568 | Culturas temporárias de sequeiro e regadio e arrozais | 0,101 |
| Norte | 1,030 | Vinhas | 0,110 |
| Nordeste | 1,066 | Pomares | 0,630 |
| Este | 0,974 | Culturas temporárias e/ou pastagens melhoradas associadas a culturas permanentes | 0,000 |
| Sudeste | 1,106 | Mosaicos culturais e parcelares complexos | 0,128 |
| Sul | 1,038 | Agricultura com espaços naturais e seminaturais | 0,242 |
| Sudoeste | 0,893 | Agricultura protegida e viveiros | 0,000 |
| Oeste | 0,922 | Pastagens melhoradas | 0,156 |
| Noroeste | 0,986 | Florestas de folhosas | 1,138 |
| Classe distância dos incêndios às estradas (Metros) | | | |
| 100 | 0,923 | Florestas de resinosas | 0,808 |
| 200 | 1,263 | Matos | 1,559 |
| 300 | 1,425 | Rocha nua | 0,000 |
| 400 | 1,415 | Vegetação esparsa | 0,296 |
| 500 | 1,103 | Cursos de água | 0,224 |
| 2000 | 0,248 | Planos de água | 0,000 |

Tabela 2- Valores do LRI para as variáveis

Para avaliar a suscetibilidade utilizando o LR para cada unidade de terreno, soma-se os valores de Lri de cada fator de predisposição presente na unidade de terreno, de acordo com a equação $LRI = \sum_{i=0}^n X_{ij} LRI$ (ICNF, 2020).

A avaliação da perigosidade estrutural através do produto da suscetibilidade e pela probabilidade simples de ocorrência de incêndio. Esta probabilidade é determinada pela razão entre o número de vezes que a área ardeu e o número total de anos na base de dados das áreas ardidadas em Arcos de Valdevez (22 anos) (ICNF, 2020).

Por fim realizou-se a técnica de validação para o modelo de suscetibilidade e para o modelo de perigosidade estrutural para isso calculou-se a curva de sucesso e a curva de perdição, bem como as respetivas áreas abaixo da curva.

Resultados

Variável independente

A variável independente aplicada para este âmbito foi os incêndios registados pelo ICNF entre 2000 e 2022. Os incêndios florestais são um fenómeno com grandes impactos ambientais, sociais e económicos, sendo atualmente uma das principais ameaças à sustentabilidade dos espaços florestais e à segurança das populações (Gonçalves, 2018).

Na figura 2 podemos ver a distribuição dos incêndios no grupo de modelação e de validação para o concelho, sendo já excluídos os incêndios superiores a 100 hectares.

De modo a ter uma melhor repartição que se representa da melhor forma a diversidade possível das condições de predisposição do terreno, optou-se por criar o grupo de modelação e o grupo de validação de forma aleatória.

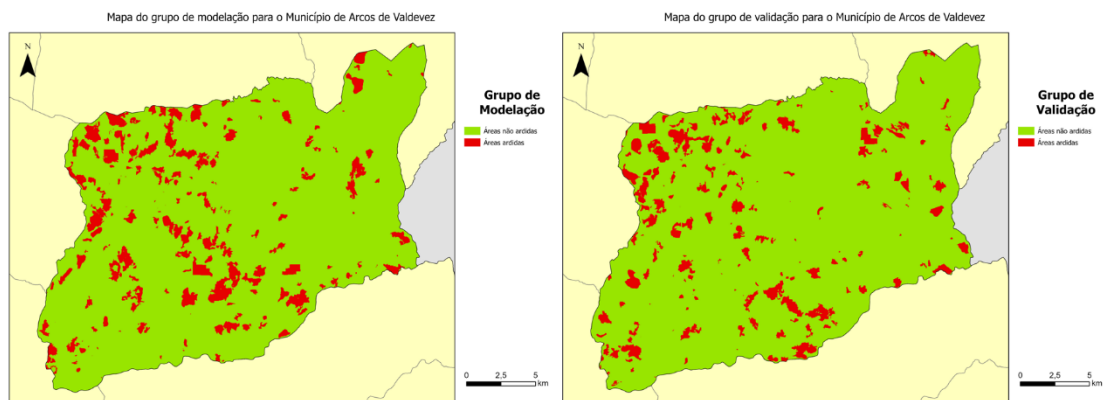


Figura 2- Grupo de Modelação e Grupo de Validação

Variáveis dependentes

1 – Altimetria

Os locais de baixa altitude apresentam o ar menos rarefeito e com as temperaturas mais altas, por isso a probabilidade de risco de incêndio é maior. Esta variável influencia bastante na propagação de um incêndio, dado que, quanto maior for a sua declividade, maior será a potencial propagação e rapidez deste. A altitude é uma das características topográficas que influenciam o comportamento dos incêndios florestais, uma vez que condiciona a temperatura e a precipitação exercendo desta forma uma grande influência na quantidade e distribuição da vegetação existente (Alves, 2012).

O concelho é marcado por um relevo bastante acidentado, onde se podem verificar áreas ribeirinhas e áreas serranas (Figura 3). Sendo predominantemente montanhoso destacam-se no Nordeste as altitudes mais elevadas, onde está localizada a serra da Peneda. O ponto mais elevado do concelho situa-se no cume da Pedrada, este atinge os 1416 metros.

É também possível observar no centro e no sul do concelho áreas de com baixas altitudes (próximas dos 10 metros), estas localizam-se junto às zonas ribeirinhas que correspondem ao Rio Vez e ao Rio Lima.

As zonas em que a altitude é inferior, nomeadamente nas áreas ribeirinhas, são propícias a uma maior fixação da vegetação, o que poderá favorecer uma maior propagação de incêndio rural (Esteves, 2020)

No Oeste do concelho as Altitudes variam entre os 800 e os 500 metros de altitude. Tendo em conta também a Figura 4 existem quatro classes que apresentam um LRI superior a 1 implicando uma relação positiva entre a presença desta variável e a ocorrência de áreas ardidas (ICNF, 2020). Entre os 200 e os 600 metros de altitude existe uma maior presença de áreas ardidas isto deve-se poderá ser justificar-se devido à quantidade e à distribuição da vegetação, porque com o aumento da altitude reduzem os combustíveis e aumenta a humidade, tendo o fogo menor facilidade em propagar (Verde, 2008).

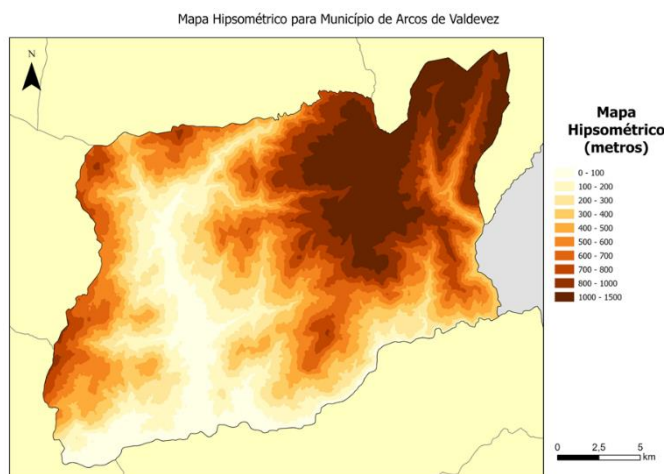


Figura 3- Mapa Hipsometrico de Arcos de Valdevez

| classes | COUNT | AREA | Área não ardida | Área ardida | LRI |
|-------------|-------|----------|-----------------|-------------|-------|
| 0 - 100 | 69557 | 43473125 | 42761250 | 711875 | 0,156 |
| 100 - 200 | 75901 | 47438125 | 43133750 | 4304375 | 0,864 |
| 200 - 300 | 73427 | 45891875 | 38684375 | 7207500 | 1,495 |
| 300 - 400 | 75361 | 47100625 | 37363750 | 9736875 | 1,968 |
| 400 - 500 | 71759 | 44849375 | 37489375 | 7360000 | 1,562 |
| 500 - 600 | 74075 | 46296875 | 40718750 | 5578125 | 1,147 |
| 600 - 700 | 67111 | 41944375 | 37685625 | 4258750 | 0,967 |
| 700 - 800 | 47393 | 29620625 | 26648750 | 2971875 | 0,955 |
| 800 - 1000 | 65409 | 40880625 | 39256250 | 1624375 | 0,378 |
| 1000 - 1500 | 96124 | 60077500 | 56815625 | 3261875 | 0,517 |

Figura 4- Valores LRI por classe de altitude

2- Declives

Segundo Verde (2008), o declive é um dos fatores que afeta ou potência a propagação dos incêndios. Destacando assim que “Quanto maior é o declive mais depressa o fogo se propaga, por aquecimento dos combustíveis acima da vertente, e como fator 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).

Segundo Chuvieco, Congalton et al. (1989), o declive exerce uma grande influência nas colunas de convecção, afetando rapidamente a velocidade de propagação. Sendo mais significativo o impacto na direção de propagação do fogo, resultante do sobreaquecimento da parte superior da vertente. As encostas na serra apresentam características marcantes, como temperaturas mais altas e maior vegetação. Durante a noite, formam-se cinturões térmicos (ar mais quente a meia encosta) e ocorrem variações bruscas de ventos.

Outro aspeto importante relacionado com a topografia é a existência de linhas de água, formando vales encaixados e com declives acentuados. Nestes locais, a vegetação tende a ser mais densa e, geralmente, a velocidade de propagação do incêndio é maior. Em áreas com declives mais acentuados, o controlo do fogo torna-se mais difícil, tanto devido ao comportamento do incêndio quanto à maior dificuldade de acesso a esses locais. Portanto, nessas zonas, há uma necessidade de implementar medidas estratégicas ao nível da prevenção e combate a incêndios. (Esteves, 2020)

Como se pode observar na Figura 6, a área de estudo é caracterizada por áreas montanhosas e acidentadas, com relevo vigoroso, vales profundos e encaixados. O concelho apresenta vertentes muito inclinadas e com declives acentuados.

Relativamente à distribuição da área ocupada por cada classe de declives (Figura 6), destaca-se que a classe mais representativa no concelho é a dos declives superiores a 20 graus, abrangendo 25,5% da área total. Em seguida, encontra-se a classe de declives entre 10 e 15 graus, com 24,5%. A classe com menor área ocupada é a dos declives entre 0 e 5 graus, representando apenas 8,9% da área total do concelho. Como podemos ver na Figura 5 as classes com maiores declives são as que apresentam maior LRI superior a 1 implicando uma relação positiva entre a presença desta variável e a ocorrência de áreas ardidas (ICNF, 2020).

| classe | COUNT | AREA | Área não ardida | Área ardida | LRI |
|---------|--------|-----------|-----------------|-------------|-------|
| 0 - 5 | 63470 | 39668750 | 37801250 | 1867500 | 0,448 |
| 5 - 10 | 147434 | 92146250 | 84937500 | 7208750 | 0,745 |
| 10 - 15 | 175605 | 109753125 | 98270000 | 11483125 | 0,996 |
| 15 - 20 | 147110 | 91943750 | 79965625 | 11978125 | 1,240 |
| >20 | 182498 | 114061250 | 99583125 | 14478125 | 1,208 |

Figura 5- Tabela dos Valores de LRI por classe de declives

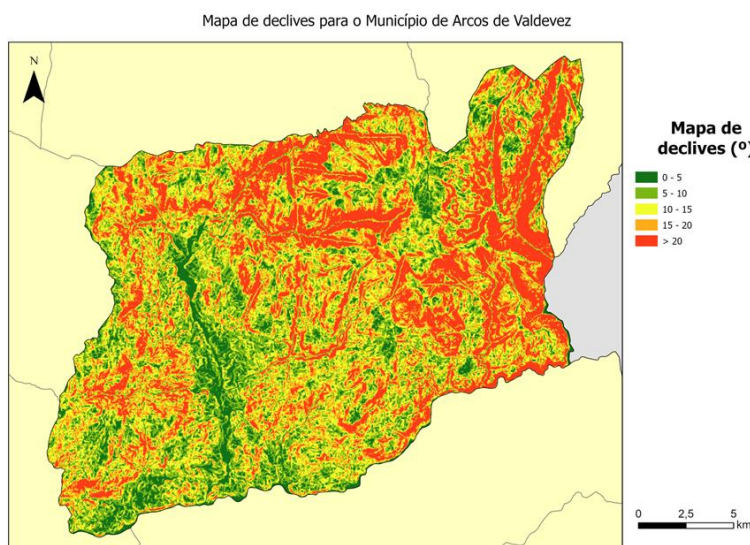


Figura 6- Mapa de declives para o concelho de Arcos de Valdevez

3 - Distância dos incêndios às estradas

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, o 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.

Como podemos ver na figura 8, no caso da área de estudo, está evidente uma forte concentração da rede rodoviária Oeste. Enquanto a Este existe uma menor concentração, 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.

Olhando para a figura 7 as classes de distâncias que mais influenciam para a propagação do fogo é entre os 100 e os 500 metros, visto que é dentro destas áreas onde LRI superior a 1 implicando uma relação positiva entre a presença desta variável e a ocorrência de áreas ardidas (ICNF, 2020).

| classe | AREA | VALUE_0 | VALUE_12 | LRI |
|------------|-----------|-----------|----------|-------|
| 0 - 100 | 191508125 | 172945625 | 18562500 | 0,923 |
| 100 - 200 | 93615000 | 81196250 | 12418750 | 1,263 |
| 200 - 300 | 51154375 | 43495625 | 7658750 | 1,425 |
| 300 - 400 | 30684375 | 26124375 | 4560000 | 1,415 |
| 400 - 500 | 19083125 | 16872500 | 2210625 | 1,103 |
| 500 - 2000 | 61528125 | 59923125 | 1605000 | 0,248 |

Figura 7- Tabela dos valores de LRI da distância às estradas

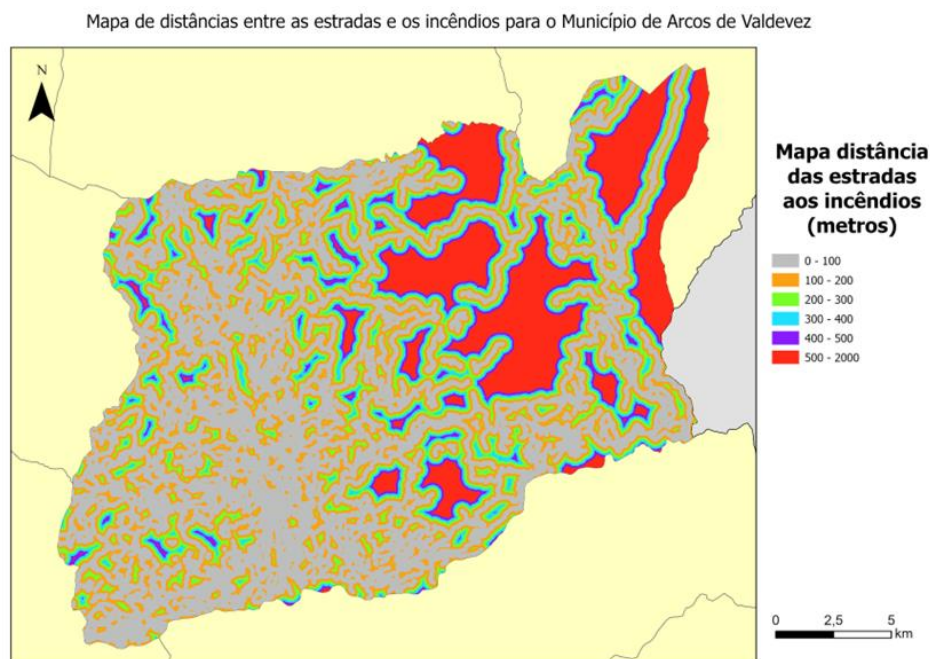


Figura 8- Mapa das distâncias às estradas e os incêndios para o Município de Arcos de Valdevez

4 – 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).

Na área de estudo, predominam as vertentes orientadas a Sudeste (17,7% da área) e a Sul (14,8% da área) (Figura 10). Estas vertentes apresentam normalmente condições que favorecem a propagação de incêndios, uma vez que os combustíveis sofrem uma maior dissecação, o ar também é mais seco, devido á exposição solar incidente (Alves, 2012).

Observando a figura 9 as classes de distâncias que mais influenciam para a propagação do fogo é o Norte, Nordeste, Sul e o Sudeste, visto que é dentro destas áreas onde LRI superior a 1 implicando uma relação positiva entre a presença desta variável e a ocorrência de áreas ardidas (ICNF, 2020).

| Classes | COUNT | Área | Área não ardida | Área ardida | LRI |
|----------|--------|----------|-----------------|-------------|-------|
| Plano | 3200 | 2000000 | 1880625 | 119375 | 0,568 |
| Norte | 50050 | 31281250 | 27896250 | 3385000 | 1,030 |
| Nordeste | 60932 | 38082500 | 33818125 | 4264375 | 1,066 |
| Este | 100584 | 62865000 | 56431250 | 6433750 | 0,974 |
| Sudeste | 126808 | 79255000 | 70045625 | 9209375 | 1,106 |
| Sul | 106057 | 66285625 | 59057500 | 7228125 | 1,038 |
| Sudoeste | 96132 | 60082500 | 54446250 | 5636250 | 0,893 |
| Oeste | 99027 | 61891875 | 55896875 | 5995000 | 0,922 |
| Noroeste | 73327 | 45829375 | 41085000 | 4744375 | 0,986 |

Figura 9- Tabela dos valores de LRI por classes das orientações de vertentes

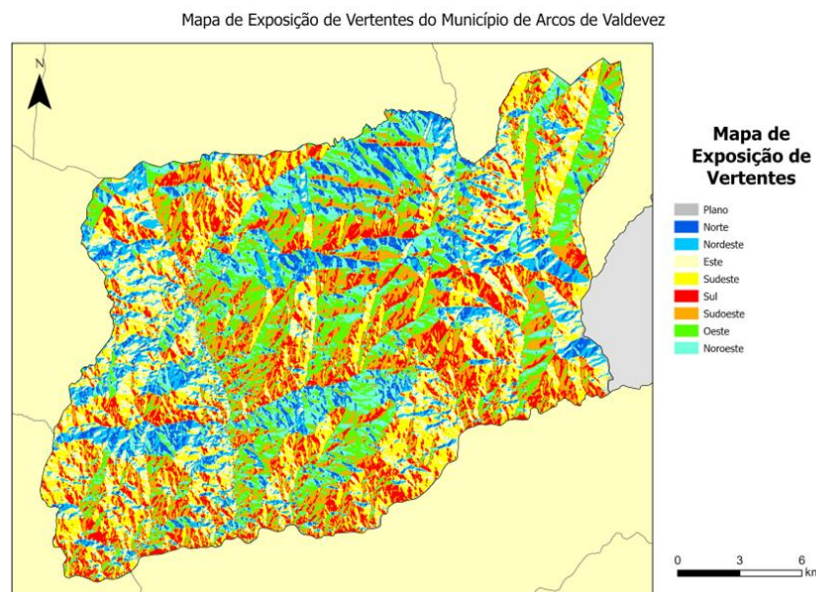


Figura 10- Mapa da orientação de vertentes para Arcos de Valdevez

5- 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 Agricultura.

O uso do Solo de Arcos de Valdevez é constituído maioritariamente por áreas com propriedades favoráveis à propagação de fogos. Isto porque, como é possível ver na figura 11, grande parte do território está a verde-claro que foi a cor atribuída à classe Matos (ocupando 36,6% do território), Florestas Resinosas (ocupando 9,3% de área) e Florestas Folhosas (ocupando 27,7% da área). As áreas urbanas não se destacam particularmente, tendo sido descartadas da análise 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).

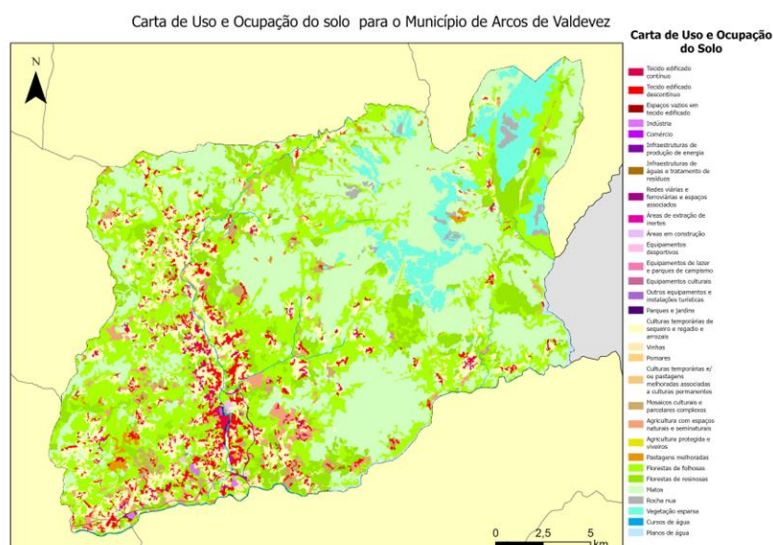


Figura 11- Carta de Uso e Ocupação de Solo para Arcos de Valdevez

Observando a figura 12 as classes de distâncias que mais influenciam para a propagação do fogo é os Matos e as Florestas Folhosas visto que é dentro destas áreas onde LRI superior a 1

| classes | Count | area | Área não ardida | Área ardida | LRI |
|--|--------|----------|-----------------|-------------|-------|
| Tecido edificado contínuo | 7648 | 4780000 | 4770000 | 10000 | 0,020 |
| Tecido edificado descontínuo | 20876 | 13047500 | 12943750 | 103750 | 0,076 |
| Espaços vazios em tecido edificado | 36 | 22500 | 22500 | 0 | 0,000 |
| Indústria | 825 | 515625 | 515625 | 0 | 0,000 |
| Comércio | 84 | 52500 | 52500 | 0 | 0,000 |
| Infraestruturas de produção de energia | 9 | 5625 | 5625 | 0 | 0,000 |
| Infraestruturas de águas e tratamento de resíduos | 96 | 60000 | 60000 | 0 | 0,000 |
| Redes viárias e ferroviárias e espaços associados | 1123 | 701875 | 698125 | 3750 | 0,051 |
| Áreas de extração de inertes | 38 | 23750 | 23750 | 0 | 0,000 |
| Áreas em construção | 186 | 116250 | 116250 | 0 | 0,000 |
| Equipamentos desportivos | 410 | 256250 | 251250 | 5000 | 0,186 |
| Equipamentos de lazer e parques de campismo | 98 | 61250 | 60000 | 1250 | 0,194 |
| Equipamentos culturais | 70 | 43750 | 43750 | 0 | 0,000 |
| Outros equipamentos e instalações turísticas | 230 | 143750 | 143125 | 625 | 0,041 |
| Parques e jardins | 131 | 81875 | 81875 | 0 | 0,000 |
| Culturas temporárias de sequeiro e regadio e arrozais | 69437 | 43398125 | 42936875 | 461250 | 0,101 |
| Vinhas | 5354 | 3346250 | 3307500 | 38750 | 0,110 |
| Pomares | 771 | 481875 | 450000 | 31875 | 0,630 |
| Culturas temporárias e/ou pastagens melhoradas associadas a culturas permanentes | 65 | 40625 | 40625 | 0 | 0,000 |
| Mosaicos culturais e parcelares complexos | 10953 | 6845625 | 6753750 | 91875 | 0,128 |
| Agricultura com espaços naturais e seminaturais | 14664 | 9165000 | 8931875 | 233125 | 0,242 |
| Agricultura protegida e viveiros | 26 | 16250 | 16250 | 0 | 0,000 |
| Pastagens melhoradas | 4823 | 3014375 | 2965000 | 49375 | 0,156 |
| Florestas de folhosas | 198153 | 1,24E+08 | 109038125 | 14807500 | 1,138 |
| Florestas de resinosas | 66261 | 41413125 | 37896875 | 3516250 | 0,808 |
| Matos | 261867 | 1,64E+08 | 136868750 | 26798125 | 1,559 |
| Rocha nua | 4232 | 2645000 | 2645000 | 0 | 0,000 |
| Vegetação esparsa | 41473 | 25920625 | 25115000 | 805625 | 0,296 |
| Cursos de água | 3909 | 2443125 | 2385625 | 57500 | 0,224 |
| Planos de água | 2269 | 1418125 | 1418125 | 0 | 0,000 |

Figura 12- Tabela dos valores de LRI por Classes da COS

implicando uma relação positiva entre a presença desta variável e a ocorrência de áreas ardidas (ICNF, 2020).

6 - Modelo de suscetibilidade

Antes de agregar as variáveis foi necessário fazer um “lookup” para cada uma das variáveis, tendo como campo da tabela usado nestes, o campo “LRI” (de cada subclasse). Posto isto, utilizando o comando do “raster calculator” somaram-se os resultados do “lookup” de cada variável pelo “LRI” definido anteriormente e obteve-se assim o mapa final, a carta de suscetibilidade aos incêndios do Concelho de Arcos de Valdevez.

Para a classificar o modelo de suscetibilidade não foi utilizada, a curva de sucesso uma vez que a curvatura desta era muito redonda, devido a isso não se encontraram quebras por isso fez-se uma classificação pelos quantis, resultando no seguinte mapa de suscetibilidade.

Na figura 13 podemos observar o mapa de suscetibilidade para a área de estudo, não existe nenhuma predominância quanto à suscetibilidade uma vez que todas as classes ocupam cerca de 20% da área. Os locais com grande suscetibilidade de incendio são no Sul do concelho, no centro, no Noroeste, e no Oeste. As áreas envolventes ao Rio Vez apresentam baixa suscetibilidade bem com as áreas próximas às zonas urbanas do concelho. O Nordeste do concelho também apresenta baixa suscetibilidade.

Com o intuito de avaliar a capacidade preditiva do mapa produzido, foi realizada uma distribuição das áreas ardidas do grupo de validação pelas classes do mapa de suscetibilidade a incêndios.

Como podemos ver na Figura 13, a classe de suscetibilidade muito alta concentra 3,7% das áreas ardidas. As duas classes de suscetibilidade mais elevadas ocupam apenas 39,95% da área em estudo, mas conseguem prever cerca de 6% das novas áreas ardidas. Por outro lado, apenas 1,4% das áreas ardidas encontram-se localizadas nas classes de baixa suscetibilidade, que representam 40,05% do território. Estes resultados permitem concluir que o mapa de suscetibilidade possui uma boa capacidade preditiva.

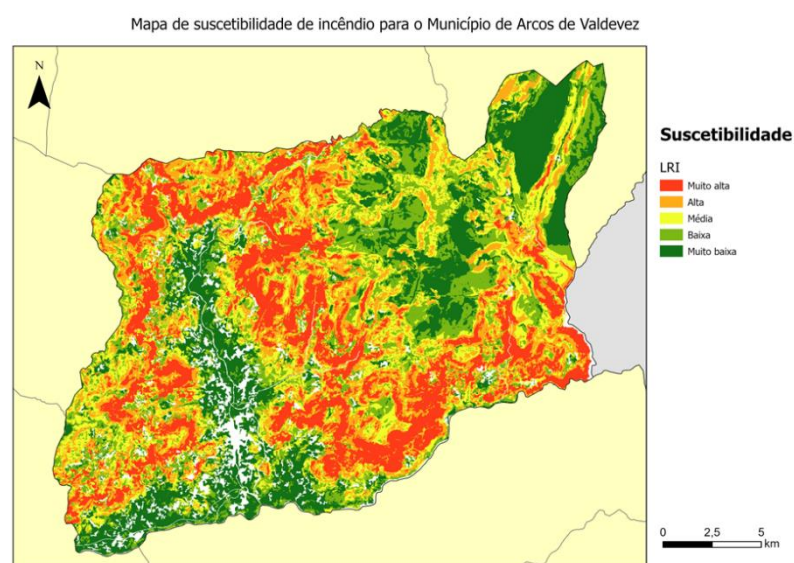


Figura 13- Mapa de suscetibilidade de incêndio para o concelho de Arcos de Valdevez

7- Método de Validação do modelo de suscetibilidade

Após a elaboração da cartografia de suscetibilidade, é necessário analisar a sua fiabilidade e capacidade preditiva, e avaliar se os resultados obtidos com base nas variáveis em estudo podem ser considerados cientificamente corretos e precisos. Para tal, foi proposto o uso de um método de validação, utilizando as curvas de sucesso e de predição, para avaliar a qualidade do modelo desenvolvido. Quando a cartografia é obtida através de métodos estatísticos, como é o caso do mapa de suscetibilidade (Figura 14), é necessário determinar o valor preditivo de cada píxel. O objetivo é classificar os resultados para que possam ser utilizados para outros fins.

Embora não existam modelos mais ou menos corretos, desde que a técnica ou método seja bem aplicado, pode-se afirmar que um mapa de suscetibilidade tem um maior valor preditivo se conseguir concentrar o maior número de ocorrências nas classes mais suscetíveis, na menor área possível, aumentando assim a capacidade preditiva desses eventos. A precisão da predição depende de vários fatores, incluindo a dimensão da área de estudo, que condiciona a densidade e qualidade da informação recolhida, bem como o tipo de análise a ser aplicada (Soeters R., 1996). Além disso, a experiência do modelista é um fator essencial que pode influenciar a precisão do modelo.

Com base na figura 14 é possível constatar que o método utilizado foi corretamente aplicado no modelo suscetibilidade (figura 13), dado que se atingiu um valor da área abaixo da curva (AAC) de 0,69 para a taxa de predição. Enquanto a taxa de sucesso apresenta uma AAC de 0,71. Segundo Guzzetti (2006), a taxa de sucesso obtida não apresenta um valor aceitável para uma correta fiabilidade neste modelo, dado que o mínimo de AAC é 0,75.

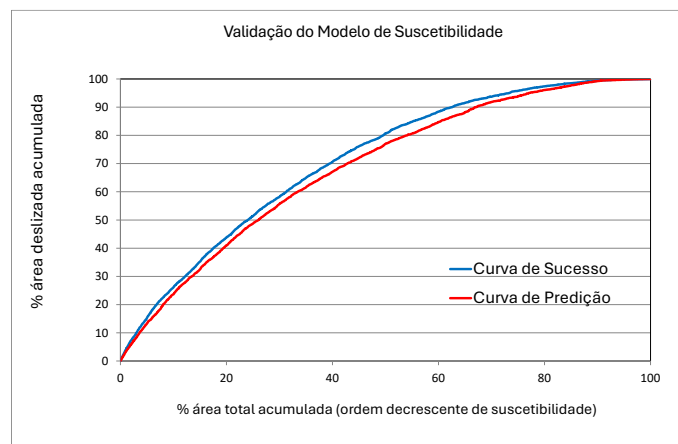


Figura 14- Curva de Sucesso e Predição para o modelo de suscetibilidade

8 - Modelo de perigosidade estrutural

A perigosidade de incêndio florestal deve refletir sobre a dificuldade de controlo de um incêndio florestal, sendo habitualmente determinada pelas características de comportamento potencial do fogo, assim como por medidas da sua severidade. (Neve N. et al, 2011). Segundo Verde (2008) a cartografia de perigosidade de incêndio florestal é elaborada a partir do produto da probabilidade de ocorrência de incêndios com a suscetibilidade do território, expressando assim as condições do local para a potencial ocorrência de um evento danoso.

Na figura 15 está apresentado o mapa da perigosidade estrutural para Arcos de Valdevez, é possível observar que as áreas de maior perigosidade estão concentradas principalmente no sul

e sudoeste do município. As áreas de baixa perigosidade estão mais concentradas no norte e centro, indicando condições menos favoráveis à ocorrência de incêndio.

Com o intuito de avaliar a capacidade preditiva do mapa produzido, foi realizada uma distribuição das áreas ardidas do grupo de validação pelas classes do mapa de perigosidade dos incêndios florestais.

Como podemos ver na Figura 15, a classe de perigosidade muito alta concentra 7,9% das áreas ardidas. As duas classes de perigosidade mais elevadas ocupam apenas 24,8% da área em estudo, mas conseguem prever cerca de 18,6% das áreas ardidas. Por outro lado, quase 60% das áreas ardidas encontram-se localizadas nas classes de baixa perigosidade, que representam 60,6% do território. Estes resultados permitem concluir que o mapa de suscetibilidade possui boa capacidade preditiva.

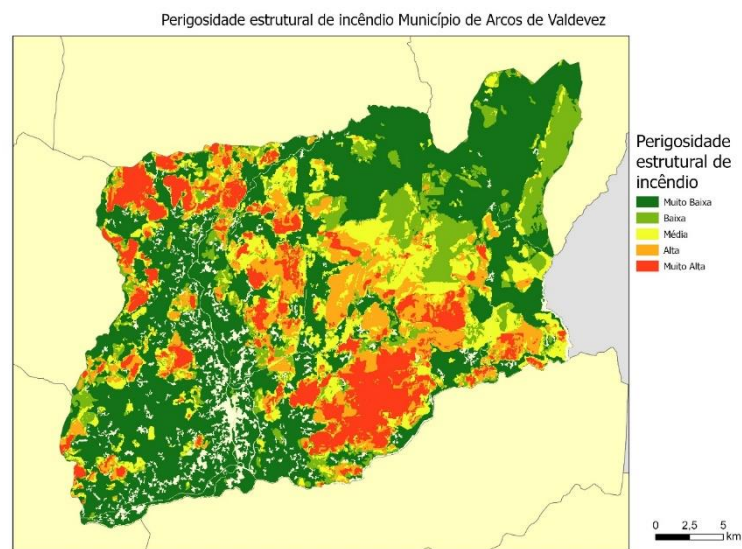
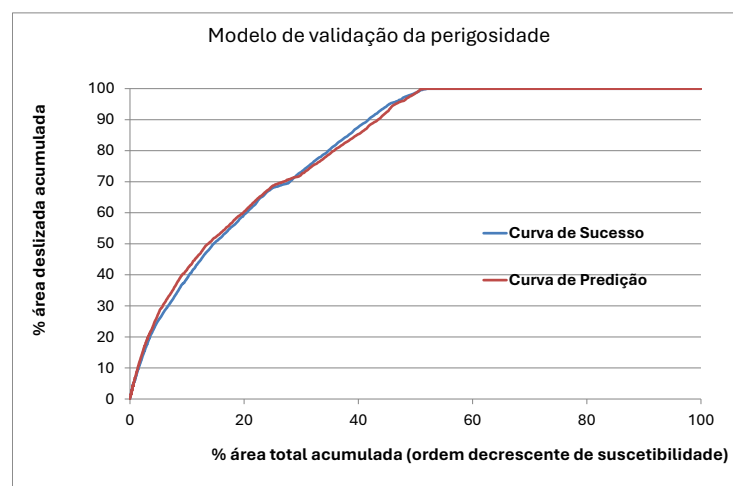


Figura 15- Perigosidade Estrutural de incêndio para o Concelho de Arcos de Valdevez

9 - Método de Validação do modelo de perigosidade estrutural

À semelhança do que foi feito para o modelo de suscetibilidade também se elaboram as curvas de predição e de sucesso de modo a ter uma avaliação global do modelo de perigosidade.

Tendo por base a figura 16 é possível constatar que o método utilizado foi corretamente aplicado no modelo perigosidade (figura 15), dado que se atingiu um valor da área abaixo da



curva (AAC) de 0,82 para a taxa de predição. Enquanto a taxa de sucesso apresenta uma AAC de 0,81. Segundo Guzzetti (2006), a taxa de sucesso obtida não apresenta um valor aceitável para uma correta fiabilidade neste modelo, dado que o mínimo de AAC é 0,75. Segundo Guzzetti (2006), podemos considerar a classificação deste modelo muito satisfatória uma vez que a AAC é superior a 80.

Conclusão

Este estudo explorou a perigosidade e a suscetibilidade a incêndios florestais no concelho de Arcos de Valdevez, integrando dados históricos de incêndios e diversas variáveis ambientais. Os resultados revelaram insights significativos sobre os fatores que influenciam a ocorrência e a propagação desses eventos devastadores.

Ao analisar variáveis como altimetria, declives, distância às estradas, exposição de vertentes e ocupação do solo, pudemos identificar padrões claros. Áreas de baixa altitude e declives acentuados apresentaram maior propensão a incêndios, devido à densidade de vegetação e às condições climáticas favoráveis à rápida propagação do fogo. A proximidade das estradas também emergiu como um fator crítico, com incêndios frequentemente iniciados em locais acessíveis pela rede viária.

A cartografia resultante de suscetibilidade e perigosidade permitiu visualizar áreas de maior risco, destacando-se o sul e o sudoeste do concelho como os mais vulneráveis. Essas informações são essenciais para orientar políticas públicas de prevenção e gestão de incêndios, priorizando áreas onde medidas preventivas podem ter maior impacto.

A validação dos modelos revelou uma capacidade preditiva satisfatória, com as classes de maior suscetibilidade e perigosidade frequentemente correspondendo às áreas com maior incidência de incêndios observados. Isso reforça a utilidade desses modelos como ferramentas eficazes para a tomada de decisões informadas e a alocação eficiente de recursos.

Para o futuro, recomenda-se a contínua atualização e refinamento dos modelos, incorporando novos dados e tecnologias para melhorar a precisão das previsões. Além disso, a educação pública sobre prevenção de incêndios e a colaboração entre comunidades locais, bombeiros e autoridades governamentais são fundamentais para mitigar os impactos dos incêndios florestais e proteger tanto o ambiente quanto as populações vulneráveis.

Em suma, este estudo não apenas contribui para o entendimento dos processos que regem os incêndios florestais, mas também oferece orientações práticas para a gestão sustentável e segura dos espaços florestais, promovendo a resiliência e a sustentabilidade ambiental a longo prazo.

Bibliografia:

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.

Chuvieco, E., Congalton, R. G., et al. (1989). Application of Remote Sensing and Geographic Information Systems to Forest Fire Hazard Mapping. 29: pp. 147-159.

Esteves, V. A. S. (2020). Avaliação da Suscetibilidade de Incêndio Rural no Concelho de Cinfães.

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

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

Soeters, R., & Van Westen, C. J. (1996). Slope instability recognition, analysis and zonation. *Landslides: investigation and mitigation*, 247, 129-177.

Guzzetti, F.; Reichenbach, P.; Ardizzone, F.; Cardinali, M.; Galli, M. (2006). Estimating the quality of landslide susceptibility models. *Geomorphology*, 81, 166- 184.

Neves, N., Guiomar, N., Freire, M., Fernandes, J. P., & Duarte, L. (2011). Modelo de avaliação da perigosidade de incêndio florestal.

AFN (2009). Autoridade Florestal Nacional. Georreferenciação de Incêndios Florestais