

Universidade de Lisboa  
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território



**A influência das faixas e mosaicos de gestão de combustível no padrão  
de distribuição de incêndios no centro de Portugal**

**Marta Dias Perdiz Jorge Ferreira**

Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território

Dissertação orientada pela Doutora Sandra Isabel Santos de Oliveira e pelo Doutor  
Rafaello Costa Gomes Vieira Bergonse

2024

Universidade de Lisboa  
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território



**A influência das faixas e mosaicos de gestão de combustível no padrão de distribuição de incêndios no centro de Portugal**

**Marta Dias Perdiz Jorge Ferreira**

Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território

Dissertação orientada pela Doutora Sandra Isabel Santos de Oliveira e pelo Doutor Rafaello Costa  
Gomes Vieira Bergonse

Júri:

Presidente: Doutor Eusébio Joaquim Marques dos Reis, Professor Associado do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa.

Vogais:

- Doutor Miguel Henrique Alfaia Leal, Professor Auxiliar da Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora.
- Doutora Maria da Conceição Almeida Colaço, Investigadora Júnior do Centro de Ecologia Aplicada Professor Baeta Neves (CEABN) do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa e Investigadora no Laboratório Associado InBIO (Rede de Investigação em Biodiversidade e Biologia Evolutiva).

2024

## **Declaração de Autoria**

Eu Marta Dias Perdiz Jorge Ferreira, declaro que a presente dissertação de mestrado intitulada “A influência das faixas e mosaicos de gestão de combustível no padrão de distribuição de incêndios no centro de Portugal”, é o resultado da minha investigação pessoal e independente. O conteúdo é original e todas as fontes consultadas estão devidamente mencionadas na bibliografia ou outras listagens de fontes documentais, tal como todas as citações diretas ou indiretas têm devida indicação ao longo do trabalho segundo as normas académicas.

## AGRADECIMENTOS

Foi uma longa jornada que muitas vezes senti que iria ficar pelo caminho. Com o apoio de todo o meu círculo de pessoas próximas, posso finalmente dizer que chegou ao fim. Sem elas não estaria aqui para agradecer.

Aos meus pais por tornarem isto possível, por me proporcionarem as condições, por motivarem em ir mais além, e por desde pequena fomentarem o gostinho em querer saber mais do mundo que nos rodeia. Posso dizer que cresci numa casa onde a natureza e o ambiente foram sempre temáticas muito presentes, e todo este percurso académico se deve a essa proximidade e interesse que estabeleci ao longo de todos estes anos. Tenho de agradecer a cada um deles pelo diferente apoio que me deu. Ao meu pai pelo apoio durante todos estes anos, pela ajuda, pelas imensas horas de conversa e debate sobre o tema, e por estar sempre lá para mim. À minha mãe, pelo carinho e pelos abanões muito necessários. São sem dúvida uma inspiração, e só tenho a agradecer pela paciência.

Ao meu irmão, por me ter ajudado, e por ter sido uma pessoa que sempre me estimulou a ir mais além. Obrigada pelas conversas, desabafos, e força para continuar.

Aos meus orientadores, Sandra e Rafaello, por terem sido incríveis comigo, e por todo o apoio que me deram, especialmente nesta reta final, estou agradecida do fundo do coração. Tornaram isto possível.

Às minhas amigas e amigos, por estarem sempre lá, por me darem força a continuar este percurso, por ouvirem os meus desabafos, os meus dramas, e as minhas preocupações. Mas também por presenciarem as minhas conquistas e pequenas vitórias.

Ao André, por ter aguentado o forte nestes últimos meses, pela compreensão nas muitas ausências, pelo carinho e apoio nos momentos em que tudo parecia desabar. Por ter sido o meu ombro e o meu porto de abrigo.

À Francelina e ao Jorge, por terem me feito sentir tão bem acolhida na minha grande mudança, para um sítio completamente novo. Foram uma rede de apoio fundamental neste meu percurso e só tenho a agradecer por isso.

## RESUMO

As crescentes condições de seca conjugadas com as alterações climáticas têm-se refletido num aumento da ocorrência e intensidade de incêndios, com Portugal sendo um dos países a nível europeu mais assolados por este tipo de fenómeno, resultando em enormes perdas para a população e natureza.

As redes de faixas e mosaicos de gestão de combustível (RFMGC) são uma das principais medidas de prevenção contra incêndios, tendo a sua implementação como objetivo criar discontinuidades de combustível na paisagem, de forma que reduzam a intensidade e propagação do fogo, bem como alterem o seu comportamento, proporcionando condições de supressão.

Porém, a monitorização da gestão do combustível nas RMFGC pode ser morosa e dispendiosa. Com o intuito de automatizar o processo de monitorização, recorreu-se ao NDVI para estabelecer um valor limiar a fim de distinguir níveis de densidade da vegetação para cada tipo de ocupação do solo, possibilitando classificar as células conforme o seu nível de intervenção. Os resultados, aplicados aos municípios da Sertã, Figueiró dos Vinhos e Ferreira do Zêzere, demonstraram uma reduzida proporção de faixas geridas, variando entre 19,49 % e 36,17 %.

Relativamente à influência exercida pelas RFMGC nas características das áreas ardidas, antes e depois da implementação das RFMGC (1990-2019), ficou demonstrado que todos os municípios registaram uma tendência positiva, com maior ênfase para o da Sertã, onde o mesmo foi visível através da diminuição do número de hectares ardidos e da sinuosidade, acompanhado de um aumento do número de incêndios e fragmentação.

Por sua vez, o efeito da implementação das RFMGC nas características das áreas ardidas foi avaliado considerando diferentes intervalos de distância (100, 500 e 1000 metros), entre áreas geridas e não geridas, e em períodos anteriores e posteriores à sua implementação. Observaram-se diferenças estatisticamente significativas em alguns dos parâmetros avaliados, com especial destaque para a sinuosidade.

Palavras-Chave: Prevenção de Incêndios; Redes de Faixas e Mosaicos de Gestão de Combustível; NDVI; Modelação Espacial; Padrões de áreas ardidas.

## ABSTRACT

The increasing drought conditions combined with global warming have been reflected in a rise in the occurrence and intensity of wildfires, with Portugal being one of the European countries most affected by this phenomenon, which results in significant losses to the population and nature every year.

Fuel breaks are one of the main fire prevention measures, with their implementation aiming to create fuel discontinuities in the landscape, in order to reduce the intensity and spread of fire, as well as alter its behavior, providing conditions for its suppression.

However, monitoring fuel management in fuel breaks can be time-consuming and costly. In order to automate the monitoring process, NDVI was used to establish a threshold value to distinguish vegetation density levels for each type of land use, allowing classification of cells based on their intervention level. The results, applied to the municipalities of Sertã, Figueiró dos Vinhos, and Ferreira do Zêzere, showed a low proportion of managed strips, ranging from 19,49% to 36,17%.

Regarding the influence of fuel breaks on the characteristics of burned areas before and after fuel breaks implementation (1990-2019), it was shown that all municipalities registered a positive trend, with the most significant being Sertã, where this was visible through the decrease in the number of burned hectares and sinuosity, accompanied by an increase in the number of fires and fragmentation.

In turn, the effect of management established by fuel breaks on the characteristics of burned areas, at distances of 100, 500, and 1000 meters between managed and unmanaged areas, and in pre- and post-implementation years, revealed statistically significant differences in some parameters, with particular emphasis on sinuosity.

Keywords: Wildfires; Fuel Breaks; NDVI; Spatial Modelling; Wildfire Patterns.

# ÍNDICE

AGRADECIMENTOS.....	4
ABSTRACT.....	6
ÍNDICE DE FIGURAS.....	1
ÍNDICE DE TABELAS.....	2
CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO.....	3
CAPÍTULO 2. CONTEXTUALIZAÇÃO DOS INCÊNDIOS RURAIS EM PORTUGAL.....	6
2.1. CARACTERIZAÇÃO DOS INCÊNDIOS RURAIS EM PORTUGAL.....	6
2.2. MEDIDAS DE PREVENÇÃO E MITIGAÇÃO CONTRA INCÊNDIOS.....	8
2.2.1. FAIXAS E MOSAICOS DE GESTÃO DE COMBUSTÍVEL.....	9
CAPÍTULO 3. OS INCÊNDIOS RURAIS E OS SEUS CONTORNOS NOS MUNICÍPIOS DA SERTÃ, FIGUEIRÓ DOS VINHOS E FERREIRA DO ZÊZERE.....	15
3.1. ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO DA ÁREA DE ESTUDO.....	15
3.1.1. MUNICÍPIO DA SERTÃ.....	16
3.1.2. MUNICÍPIO DE FIGUEIRÓ DOS VINHOS.....	22
3.1.3. MUNICÍPIO DE FERREIRA DO ZÊZERE.....	27
3.2. OS INCÊNDIOS RURAIS NOS MUNICÍPIOS.....	33
3.2.1. HISTÓRICO DE INCÊNDIOS.....	33
3.2.2. CARTOGRAFIA DE PERIGOSIDADE ESTRUTURAL.....	37
3.3. IMPLEMENTAÇÃO, GESTÃO E MANUTENÇÃO DAS FAIXAS E MOSAICOS.....	40
3.3.1. ESTRUTURA DA REDE DE FAIXAS E MOSAICOS DE GESTÃO DE COMBUSTÍVEL.....	40
3.3.2. ANÁLISE DA OCUPAÇÃO DO SOLO NAS FGC.....	45
CAPÍTULO 4. MONITORIZAÇÃO DAS FAIXAS E MOSAICOS DE GESTÃO DE COMBUSTÍVEL.....	50
4.1. CONCEITOS E TRABALHOS RELACIONADOS.....	50
4.2. MÉTODOS.....	55
4.3. RESULTADOS.....	60
CAPÍTULO 5. A INFLUÊNCIA DAS FAIXAS E MOSAICOS DE GESTÃO DE COMBUSTÍVEL NAS CARACTERÍSTICAS DAS ÁREAS ARDIDAS.....	63
5.1. MÉTRICAS DE CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS ARDIDAS E RELAÇÃO COM AS RFMGC.....	65
5.1.1. RECOLHA DE DADOS.....	65
5.1.2. MÉTODOS.....	65
5.1.3. RESULTADOS.....	67
CAPÍTULO 6. O EFEITO DA GESTÃO E DA DISTÂNCIA ÀS FAIXAS E MOSAICOS NAS ÁREAS ARDIDAS.....	76
6.1. RECOLHA DE DADOS.....	76
6.2. MÉTODOS.....	76
6.3. RESULTADOS.....	81
6.4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	89
CAPÍTULO 7. DA TEORIA À PRÁTICA – EXPERIÊNCIA PROFISSIONAL NUM GABINETE TÉCNICO FLORESTAL.....	91

CAPÍTULO 8. CONCLUSÕES .....	94
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	97
ANEXOS .....	103

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Orientação estratégica para a gestão das RFMGC .....	11
Figura 2 - Enquadramento geográfico da área de estudo .....	15
Figura 3 - Altimetria no município da Sertã .....	17
Figura 4 - Classes de declive município da Sertã .....	18
Figura 5 - Classes de uso e ocupação do solo (2018) no município da Sertã .....	19
Figura 6 - Temperatura do ar no distrito de Castelo Branco .....	20
Figura 7 - Precipitação no distrito de Castelo Branco .....	21
Figura 8 - Altimetria no município de Figueiró dos Vinhos .....	23
Figura 9 - Classes de declive município de Figueiró dos Vinhos .....	24
Figura 10 - Classes de ocupação do solo no município de Figueiró dos Vinhos .....	25
Figura 11 - Temperatura do ar no distrito de Coimbra .....	26
Figura 12 - Precipitação no distrito de Coimbra .....	26
Figura 13 - Classes de altitude no município de Ferreira do Zêzere .....	28
Figura 14 - Classes de declive no município de Ferreira do Zêzere .....	29
Figura 15 - Classes de ocupação do solo no município de Ferreira do Zêzere .....	30
Figura 16 - Temperatura do ar no distrito de Santarém .....	31
Figura 17 - Precipitação no distrito de Santarém .....	31
Figura 18 - Total de área ardida no município da Sertã (1990-2019) .....	34
Figura 19 - Área ardida no município de Figueiró dos Vinhos (1990-2019) .....	35
Figura 20 - Total de área ardida no município de Ferreira do Zêzere (1990-2019) .....	36
Figura 21 - Perigosidade estrutural no município de Ferreira do Zêzere .....	39
Figura 22 - Perigosidade estrutural no município da Sertã .....	39
Figura 23 - Perigosidade estrutural no município de Figueiró dos Vinhos .....	39
Figura 24 - Rede de Faixas e Mosaicos de Gestão de Combustíveis (RFMGC) do município da Sertã .....	42
Figura 25 - Rede de Faixas e Mosaicos de Gestão de Combustíveis (RFMGC) do município de Figueiró dos Vinhos .....	43
Figura 26 - Rede de Faixas e Mosaicos de Gestão de Combustíveis (RFMGC) do município de Ferreira do Zêzere .....	44
Figura 27 - RFMGC do município da Sertã, por tipo de ocupação do solo .....	46
Figura 28 - RFMGC do município de Figueiró dos Vinhos, por tipo de ocupação do solo .....	47
Figura 29 - RFMGC do município de Ferreira do Zêzere, por tipo de ocupação do solo .....	48
Figura 30 - Delimitação de polígonos de amostras de áreas geridas e não geridas, por tipo de ocupação do solo .....	56
Figura 31 - Delimitação das amostras de áreas geridas e não geridas nas classes de ocupação do solo florestas e matos .....	57
Figura 32 - Metodologia para a criação de polígonos de amostra das áreas geridas e não geridas .....	57
Figura 33 - Polígonos de amostra de área não gerida (floresta de pinheiro-bravo) em relação a resultados da classificação dos pixéis das áreas de amostra quando aplicado o valor limiar de NDVI de 0,5 .....	58
Figura 34 - Metodologia desenvolvida para a monitorização das faixas e mosaicos de gestão de combustível .....	59
Figura 35 - Faixa correspondente à projeção vertical dos cabos condutores exteriores das linhas de transporte e distribuição de energia elétrica em média tensão, na RFMGC do município de Ferreira do Zêzere .....	60
Figura 36 - Áreas geridas e não geridas para os municípios em estudo: (a) – Sertã; (b) – Figueiró dos Vinhos; (c) – Ferreira do Zêzere .....	62
Figura 37 - Parâmetros selecionados para a avaliação das características das áreas ardidas para o período 1990-2019, e respetiva forma de cálculo .....	67
Figura 38 - Total área ardida (ha) por ano, no município da Sertã .....	69
Figura 39 - Total área ardida (ha) por ano, no município de Figueiró dos Vinhos .....	69
Figura 40 - Total área ardida (ha) por ano, no município de Ferreira do Zêzere .....	70
Figura 41 - Total n.º de incêndios por ano, no município da Sertã .....	70
Figura 42 - Total n.º de incêndios por ano, no município de Figueiró dos Vinhos .....	71
Figura 43 - Total n.º de incêndios por ano, no município de Ferreira do Zêzere .....	71
Figura 44 - Fragmentação no município da Sertã .....	72
Figura 45 - Fragmentação no município de Figueiró dos Vinhos .....	72
Figura 46 - Fragmentação no município de Ferreira do Zêzere .....	73
Figura 47 - Sinuosidade no município da Sertã .....	73
Figura 48 - Sinuosidade no município de Figueiró dos Vinhos .....	74
Figura 49 - Sinuosidade no município de Ferreira do Zêzere .....	74
Figura 50 - Metodologia aplicada na comparação estatística entre as áreas geridas e não geridas .....	77
Figura 51 - Metodologias aplicadas na comparação estatística entre os períodos pré-instalação e pós-instalação das RFMGC .....	77
Figura 52 - Exemplo de áreas de influência de 100 metros, 500 metros e 1000 metros em torno das áreas classificadas como floresta de eucalipto não gerida, na RFMGC de Ferreira do Zêzere .....	78

# ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Subdivisão da rede secundária e respetiva largura definida .....	13
Tabela 2 - População por grupo etário no município da Sertã .....	21
Tabela 3 - População por grupo etário no município de Figueiró dos Vinhos .....	27
Tabela 4 - População por grupo etário no município de Ferreira do Zêzere .....	32
Tabela 5 - Estrutura da RFMGC nos 3 municípios .....	41
Tabela 6 - Percentagem de ocupação de cada classe de uso do solo por categoria de RFMGC .....	49
Tabela 7 - Valores limiares com a melhor taxa de acerto para cada classe de uso do solo .....	59
Tabela 8 – Resultados do <i>likelihood ratio</i> por categoria de uso e ocupação do solo, nos três municípios .....	75
Tabela 9 - Valores dos parâmetros calculados para as áreas de influência de 100 metros, 500 metros e 1000 metros em torno das áreas classificadas como geridas, na RFMGC de Ferreira do Zêzere .....	78
Tabela 10 - Valores dos parâmetros calculados para as áreas de influência de 100 metros, 500 metros e 1000 metros em torno das áreas classificadas como não geridas, na RFMGC de Ferreira do Zêzere .....	79
Tabela 11 - Nº de polígonos de áreas ardidas, por ano, nos intervalos de distância às áreas geridas e não geridas .....	82
Tabela 12 - Nº de polígonos de áreas ardidas nos intervalos de distância às áreas geridas e não geridas .....	82
Tabela 13 - Nº de polígonos de áreas ardidas nos intervalos de distância às áreas geridas e não geridas das classes de ocupação de solo mais propensas a arder .....	82
Tabela 14 - Nº de polígonos de áreas ardidas nos intervalos de distância às áreas geridas e não geridas das classes de ocupação de solo mais propensas a arder, sem o ano de 2017 .....	82
Tabela 15 - Nº de polígonos das áreas ardidas nos intervalos de distância às RFMGC, pré e pós instalação .....	83
Tabela 16 - Nº de polígonos das áreas ardidas nos intervalos de distância às RFMGC, nas classes de ocupação do solo mais propensas a arder, pré e pós instalação .....	83
Tabela 17 - <i>P-values</i> obtidos quando comparadas as características das áreas ardidas nos intervalos de distância às áreas geridas e não geridas, no município da Sertã .....	83
Tabela 18 - <i>P-values</i> obtidos quando comparadas as características das áreas ardidas nos intervalos de distância às áreas geridas e não geridas, no município de Ferreira do Zêzere .....	84
Tabela 19 - <i>P-values</i> obtidos quando comparadas as características das áreas ardidas nos intervalos de distância às áreas geridas e não geridas, no município de Figueiró dos Vinhos .....	84
Tabela 20 - <i>P-values</i> obtidos quando comparadas as características das áreas ardidas de um determinado ano, nos intervalos de distância às áreas geridas e não geridas, no município da Sertã .....	85
Tabela 21 - <i>P-values</i> obtidos quando comparadas as características das áreas ardidas de um determinado ano, nos intervalos de distância às áreas geridas e não geridas, no município de Ferreira do Zêzere .....	85
Tabela 22 - <i>P-values</i> obtidos quando comparadas as características das áreas ardidas, com e sem a contabilização do ano de 2017, nos intervalos de distância estabelecidos às classes de ocupação do solo mais propensas a arder, das áreas geridas e não geridas, no município da Sertã .....	86
Tabela 23 - <i>P-values</i> obtidos quando comparadas as características das áreas ardidas de um determinado ano, nos intervalos de distância às áreas geridas e não geridas, no município de Figueiró dos Vinhos .....	86
Tabela 24 - <i>P-values</i> obtidos quando comparadas as características das áreas ardidas, com e sem a contabilização do ano de 2017, nos intervalos de distância estabelecidos às classes de ocupação do solo mais propensas a arder, das áreas geridas e não geridas, no município de Figueiró dos Vinhos .....	86
Tabela 25 - <i>P-values</i> obtidos quando comparadas as características das áreas ardidas, com e sem a contabilização do ano de 2017, nos intervalos de distância estabelecidos às classes de ocupação do solo mais propensas a arder, das áreas geridas e não geridas, no município de Ferreira do Zêzere .....	87
Tabela 26 - <i>P-values</i> obtidos quando comparadas as características das áreas ardidas nos intervalos de distância às RFMGC, no município da Sertã, pré e pós instalação .....	87
Tabela 27 - <i>P-values</i> obtidos quando comparadas as características das áreas ardidas nos intervalos de distância às RFMGC, no município de Figueiró dos Vinhos, pré e pós instalação .....	88
Tabela 28 - <i>P-values</i> obtidos quando comparadas as características das áreas ardidas nos intervalos de distância às RFMGC, no município de Ferreira do Zêzere, pré e pós instalação .....	88
Tabela 29 - <i>P-values</i> obtidos quando comparadas as características das áreas ardidas nos intervalos de distância estabelecidos às classes de ocupação do solo mais propensas a arder na RFMGC, no município da Sertã, pré e pós instalação .....	88
Tabela 30 - <i>P-values</i> obtidos quando comparadas as características das áreas ardidas nos intervalos de distância estabelecidos às classes de ocupação do solo mais propensas a arder na RFMGC, no município de Figueiró dos Vinhos, pré e pós instalação .....	89
Tabela 31 - <i>P-values</i> obtidos quando comparadas as características das áreas ardidas nos intervalos de distância estabelecidos às classes de ocupação do solo mais propensas a arder na RFMGC, no município de Ferreira do Zêzere, pré e pós instalação .....	89

## CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

Portugal tem sido um dos países a nível europeu mais assolados por incêndios rurais, traduzindo enormes perdas para a população, a economia, a sociedade e o ambiente (Salis et al., 2013; Oliveira et al., 2018; Oliveira et al., 2021).

As redes de faixas e mosaicos de gestão de combustível (RFMGC) são uma das principais medidas de prevenção contra incêndios, sendo fundamentais na reestruturação dos espaços florestais (Oliveira et al., 2016). A sua implementação passa pela criação de descontinuidades no território ao nível da vegetação, de forma a diminuir a intensidade potencial do fogo, bem como a sua taxa de propagação, permitindo assim um ataque mais eficaz por parte dos meios de combate no local (Oliveira et al., 2016).

A implementação das RFMGC surge na sequência dos incêndios rurais de grande magnitude registados nos anos de 2003 e 2005, os quais sensibilizaram para a necessidade de adoção de medidas de prevenção estrutural que salvaguardassem o território deste tipo de eventos. Como tal, é criado um novo quadro legal de reorganização do sistema de defesa da floresta contra incêndios, com uma incidência mais abrangente no território, prevendo um conjunto de medidas e ações de articulação institucional, de planeamento e de intervenção relativas à prevenção e proteção das florestas contra incêndios, nas vertentes da compatibilização de instrumentos de ordenamento, de sensibilização, planeamento, ordenamento do território florestal, silvicultura, infraestruturização, vigilância, deteção, combate, rescaldo, vigilância pós-incêndio e fiscalização.

No âmbito do planeamento e intervenção relativo à prevenção e proteção das florestas contra incêndios, foi concebido um conjunto de infraestruturas de redes de defesa, com vista à proteção de pessoas, animais e bens, bem como à gestão do fogo em territórios rurais. Estas redes contemplaram a criação de uma rede de gestão de combustíveis, a criação de mosaicos estratégicos de gestão de combustíveis, a criação de uma rede viária florestal, com a ampliação e beneficiação da rede viária existente, e a criação de pontos de água para abastecimento de meios de combate a incêndios rurais. No entanto, devido aos elevados custos associados, à falta de previsibilidade de financiamento regular e suficiente e à necessidade da dependência da iniciativa dos proprietários na manutenção das mesmas, a sua implementação verificou-se muito inferior ao planeado (Oliveira et al., 2016).

Assolado novamente em 2017 por uma vaga de grandes incêndios, Portugal totalizou uma área ardida superior a 500 000 hectares de território, dos quais 90 % em espaços florestais ou rurais, sofrendo grandes perdas, tanto humanas, como materiais. A sua ocorrência desencadeou mudanças políticas levando à adoção de diversas medidas com vista a fazer face a este problema, no sentido de prevenir e minimizar o impacto de tais fenómenos (Viegas, 2018), ressaltando a importância da implementação, monitorização e fiscalização das RFMGC.

Como tal, para que as RFMGC cumpram os seus objetivos, é fundamental uma gestão eficaz da vegetação das mesmas (Ager et al., 2014; Oliveira et al., 2016). Neste sentido, o presente estudo pretende avaliar os efeitos da presença das RFMGC nas características e dimensão das áreas ardidas, com intuito de perceber a ação desenvolvida pelas mesmas, na redução da propagação do fogo, para assim compreender se as medidas atualmente adotadas se verificam suficientes na proteção do território, e quais as problemáticas que se identificam ao nível da sua implementação. Para isto, foram selecionados três municípios: Sertã, Figueiró dos Vinhos e Ferreira do Zêzere, todos eles afetados com frequência por incêndios rurais, correspondendo a três distritos distintos do País: Castelo Branco, Leiria e Santarém, respetivamente. Esta seleção teve também o propósito de incluir diferentes realidades, ao nível da aplicação de medidas de gestão, execução e de prevenção, e como as diferentes ações no seu desenvolvimento podem ser preponderantes para um território mais protegido.

Foi ainda testada neste trabalho a possibilidade de utilizar imagens de satélite de acesso aberto para monitorizar a implementação e estado das faixas, no que concerne à gestão da vegetação existente, através da aplicação de um índice de vegetação (NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index*).

O trabalho desenvolvido teve como propósito de dar resposta à seguinte questão:

“Em que medida os padrões espaciais dos incêndios foram influenciados pelo estabelecimento da Rede de Faixas e Mosaicos de Gestão de Combustível e pelas suas características?”

Neste âmbito, foram definidas as seguintes hipóteses:

- A localização e tipo de ocupação do solo nas faixas de gestão tem influência na distribuição espacial e na configuração das áreas ardidas;
- A influência exercida pelas faixas e mosaicos de gestão de combustível sobre as características das áreas ardidas diminui com a distância;

Nos municípios selecionados foi analisado o grau de implementação das RFMGC, que consequentemente terá impacto nos resultados obtidos relativamente à sua influência sobre as áreas ardidas; foram caracterizadas as áreas ardidas, antes e depois da instalação das RFMGC; e foi realizada uma comparação estatística das características das áreas ardidas compreendidas em diferentes intervalos de distância às RFMGC.

Os objetivos definidos estabeleceram-se por:

- Realizar um diagnóstico do ponto de situação relativamente à implementação das RFMGC nos municípios da Sertã, Figueiró dos Vinhos e Ferreira do Zêzere (3 municípios do centro de Portugal, pertencentes a distritos diferentes, com características territoriais e de relação com o fogo distintas);
- Analisar a distribuição espacial das faixas de gestão de combustível e as suas condições;

- Investigar as relações entre a distribuição espacial dos incêndios e a implementação e características das faixas de gestão de combustível;
- Testar o efeito da distância às redes de faixas e mosaicos de gestão de combustível, na configuração das áreas ardidas;

## **ESTRUTURA DA TESE**

A dissertação encontra-se organizada em 8 capítulos, precedidos por este primeiro capítulo, onde é apresentada a problemática na qual se insere este estudo, o enquadramento dos seus objetivos, e a sua estrutura.

O capítulo 2 realiza uma contextualização da realidade dos incêndios em Portugal, abordando a predisposição do território a este fenómeno, os seus impactos associados e as medidas adotadas na sua prevenção e mitigação, com especial destaque para as Redes de Faixas e Mosaicos de Gestão de Combustível (RFMGC).

Segue-se no Capítulo 3, uma análise mais detalhada dos três municípios abrangidos pelo estudo, com a realização do enquadramento biofísico e sociodemográfico de cada um, a descrição do histórico de incêndios e respetiva perigosidade e análise da estrutura das RFMGC e da respetiva ocupação do solo nelas contida.

No Capítulo 4 é testada uma metodologia para a deteção do estado de intervenção das RFMGC, por tipo de ocupação do solo que contêm, e apresentado o seu grau de implementação nos três municípios em estudo.

O quinto capítulo encontra-se dedicado ao estudo do efeito da presença das Faixas e Mosaicos de Gestão de Combustível nas características das áreas ardidas, começando por abordar os dados e metodologia aplicada para este fim, bem como os respetivos resultados, os quais culminam na caracterização das áreas ardidas antes e depois da instalação das RFMGC, através de diversas métricas associadas à dimensão, sinuosidade e fragmentação.

No sexto capítulo é apresentada a metodologia e análise da comparação estatística das características das áreas ardidas compreendidas em intervalos de distância às Faixas e Mosaicos de Gestão de Combustível, nomeadamente a 100m, 500m e 1000m.

No sétimo capítulo é realizada uma síntese dos desafios e constrangimentos na aplicação do Decreto-Lei n.º 82/2021, de 13 de outubro, o qual estabelece o novo Sistema de Gestão Integrada de Fogos Rurais (SGIFR) e as suas regras de funcionamento, com efeitos ao nível das competências das autarquias locais, assente na experiência profissional estabelecida num Gabinete Técnico Florestal.

## CAPÍTULO 2. CONTEXTUALIZAÇÃO DOS INCÊNDIOS RURAIS EM PORTUGAL

### 2.1. CARACTERIZAÇÃO DOS INCÊNDIOS RURAIS EM PORTUGAL

Nas últimas décadas, as crescentes condições de seca conjugadas às alterações climáticas têm-se refletido num aumento da ocorrência e intensidade de incêndios em diferentes regiões do mundo, acarretando inúmeros impactos negativos a nível económico, social e ecológico.

O clima da região do Mediterrâneo é caracterizado pela interação complexa de padrões atmosféricos, que resultam num clima temperado, onde períodos sazonais frios e chuvosos, que promovem o crescimento de vegetação, contrastam com períodos sazonais secos e quentes, facilitando assim a ocorrência e propagação de fogos, que consomem o combustível acumulado (Damianidis et al., 2021).

Devido às suas características climáticas e biofísicas, em conjunto com fatores derivados da atividade humana, e conseqüentemente da sua influência sobre o regime do fogo, a região do Mediterrâneo é particularmente suscetível à ocorrência de incêndios de alta intensidade (Oliveira et al., 2017; Oliveira et al., 2020, Damianidis et al., 2021).

Neste contexto, Portugal tem sido um dos países a nível europeu mais assolados por este tipo de fenómeno, com a ocorrência de incêndios que todos os anos resultam em enormes perdas para a população e natureza (Viegas 2018; Oliveira et al., 2017; Oliveira et al., 2020).

O ano de 2017 foi particularmente catastrófico neste campo para Portugal, contabilizando mais de 500 mil hectares de área ardida e 112 óbitos no decorrer dos incêndios registados neste ano (Comissão Técnica Independente, 2022). Eventos climáticos extremos afetaram o sul da Europa, os quais conjugaram períodos de seca severa, com ondas de calor, onde se registaram temperaturas superiores a 40°C, aliadas a baixa humidade e ventos fortes, reunindo as condições para a propagação de incêndios de grande intensidade (Viegas 2018; Oliveira et al., 2020; Comissão Técnica Independente, 2022). Estima-se que só entre os dias 14 e 16 de outubro tenham ocorrido prejuízos na ordem dos 275 milhões de euros, resultantes de danos e perdas ao nível de infraestruturas de cerca de 521 empresas, afetando mais de 4500 postos de trabalho em 30 municípios (Comissão Técnica Independente, 2022).

Os incêndios ocorrem e propagam-se mediante a contribuição de diversos fatores, tais como climáticos, características dos combustíveis, fontes de ignição, e topografia (Marques et al., 2011). No entanto, o agravamento deste tipo de fenómenos não se encontra exclusivamente dependente de fatores físicos, mas também da ação humana e das tendências socioeconómicas e demográficas registadas nas últimas décadas (Marques et al., 2011; Viegas et al., 2018).

O envelhecimento e a diminuição da população em zonas rurais, bem como a alteração profunda do uso do solo registada desde meados de 1970 (Carreiras et al., 2014), traduzem no território um aumento da acumulação de combustível, em consequência do abandono das práticas ligadas à atividade agrícola, como o cultivo das terras ou o pastoreio, e da conversão destes espaços em plantações florestais, transformando-se assim em manchas de floresta e mato contínuas, sem gestão, constituídas por diversas propriedades de pequena dimensão, cujos proprietários, em grande parte, se encontram distanciados destes territórios (Oliveira et al., 2020, Marques et al., 2011; Viegas, 2018; Silva et al., 2011; Damianidis et al., 2021). Para além disso, a diminuição da população reflete-se também na redução da capacidade de deteção e intervenção rápida no surgimento de um foco de incêndio (Carreiras et al., 2014).

A falta de gestão de combustível nas zonas rurais tem também na sua raiz um problema de baixa rentabilidade económica das atividades agrícolas e silvícolas em contexto de minifúndio, pela dificuldade de introdução de processos de exploração em grande escala com recurso à mecanização, o que origina o abandono dos terrenos contribuindo para que estes, sem gestão, se encontrem mais vulneráveis a possíveis fontes de ignição, a maioria derivadas da atividade humana (Damianidis et al., 2021 e Marques et al., 2011). Mais de 95 % dos incêndios na Europa tiveram origem em causas humanas, por via de ações diretas ou indiretas relacionadas a práticas ligadas à atividade agrícola e agroflorestal, negligência ou fogo posto (San-Miguel-Ayanz et al., 2013).

Em Portugal, desde 1990 a 2023, arderam em média cerca de 120273 hectares por ano (Anexo 1), dando destaque em particular aos anos de 2003 (425 770 hectares), 2005 (338 593 hectares) e 2017 (537 131 hectares) como os mais fustigados pelos incêndios. Na situação oposta, os anos de 2008 (15 501 hectares) e 2014 (22 544 hectares) evidenciam-se pelos menores valores de área ardida registada neste intervalo temporal, podendo ser explicado pelas condições meteorológicas sentidas nesses anos: em 2008 pela ausência de ondas de calor e valores de precipitação muito baixos no inverno (IPMA, 2008; Beighley et al., 2018); e em 2014 por valores de temperatura média inferiores ao normal nos meses de verão (IPMA, 2014; Beighley et al., 2018). A variabilidade do total anual de área ardida não é linear, verificando-se uma dispersão grande de valores no período analisado. No que toca ao número de incêndios, estima-se que anualmente tenham ocorrido em média aproximadamente 20000 ocorrências neste período, com especial incidência no Litoral Norte e Centro do país. Relativamente ao padrão de distribuição de área ardida, a região Norte e Centro são as mais afetadas no território. Quanto à dimensão dos incêndios, a maioria registada (77 %) verifica-se de pequena dimensão (<1 hectare de área ardida), enquanto apenas aproximadamente 0,7 % atingiu proporções de incêndios de grande dimensão (>100 hectares de área ardida).

## 2.2. MEDIDAS DE PREVENÇÃO E MITIGAÇÃO CONTRA INCÊNDIOS

Na região do Mediterrâneo os incêndios são fenómenos inevitáveis, que sempre coexistiram com as comunidades (Carreiras et al., 2014, Oliveira et al., 2020; Salis et al., 2018). Como tal, as medidas promovidas para a prevenção e mitigação de incêndios surgem com o objetivo de reduzir a área ardida e mitigar os potenciais efeitos da ocorrência deste fenómeno, tomando em consideração a sustentabilidade dos ecossistemas e a otimização na gestão e planeamento dos espaços florestais (Carreiras et al., 2014; Hesseln, 2018).

No sentido de prevenir a ocorrência de grandes incêndios, mitigar os seus impactos e promover a recuperação dos ecossistemas afetados, a base jurídica é essencial na definição de estratégias e medidas para o planeamento e reestruturação dos espaços florestais, ao nível da sua organização, infraestruturas e gestão. A adaptação a longo prazo ao risco de incêndios pode auxiliar consideravelmente nos desafios da supressão dos mesmos. Para isto, é fundamental a revisão e coordenação da legislação e regulamentos, bem como a implementação de novas soluções, de modo a facultar orientação especializada a diversas áreas (como a silvicultura, agricultura, infraestruturas, entre outras), à tomada de decisões políticas, à angariação de apoio de partes interessadas, tanto de entidades públicas, como privadas, e no envolvimento das comunidades que se encontram mais vulneráveis a este fenómeno (Maas *et al.*, 2012 in Carreiras et al., 2014).

Com as alterações nas dinâmicas biofísicas e sociodemográficas registadas nos últimos anos, que têm resultado no aumento da intensidade e rápida propagação dos incêndios, o combate direto tem-se verificado menos efetivo (Beighley et al., 2018). Como tal, a tendência tem evoluído no esforço de uma abordagem mais estratégica e menos reativa, que passa pela promoção e investimento em medidas ao nível das infraestruturas de deteção e combate a incêndios, da aplicação de técnicas como o uso do fogo controlado, da promoção de práticas de silvicultura e pastoreio, da criação e manutenção de Redes de Faixas e Mosaicos de Gestão de Combustível, da criação de Zonas de Intervenção Florestal e da sensibilização e educação da população para a defesa da floresta contra incêndios e uso correto do fogo (Carreiras et al., 2014; Hesseln, 2018). Atualmente, em Portugal, a implementação de medidas de mitigação encontra-se predominantemente dependente de iniciativas privadas, as quais se refletem na prática de atividades de prevenção indireta, com especial destaque para a manutenção dos espaços florestais por via da agricultura, pastoreio e produção florestal (Beighley et al., 2018).

### 2.2.1. FAIXAS E MOSAICOS DE GESTÃO DE COMBUSTÍVEL

A redução e tratamentos de combustível são a chave para diminuir a propagação e intensidade do fogo, facilitando a supressão quando implementados a uma larga escala espacial (Agee and Skinner 2005; Boer et al., 2009 via Oliveira et al., 2016).

Como alternativa ao tratamento integral dos combustíveis à escala de toda a paisagem, as Faixas e Mosaicos de Gestão de Combustível surgem no sentido de criar discontinuidades na paisagem, onde, dentro de um intervalo de área definido, os combustíveis são sujeitos ao tratamento ou remoção, parcial ou total, de modo a reduzir a quantidade e volatilidade dos mesmos, com o intuito de assim, diminuir a intensidade e propagação do fogo, e possibilitar a sua supressão e contenção por parte dos meios de combate (Oliveira et al., 2016; Pereira-Pires et al., 2020; Shinneman et al., 2019).

As faixas de gestão de combustível começaram por ser implementadas no sul da Europa no final do século XIX, com a função de definir unidades de gestão florestal e delimitar plantações florestais ou terrenos agrícolas, enquanto atuavam como infraestruturas defensivas contra incêndios, devido ao seu posicionamento estratégico em cumeadas e locais críticos, na sequência dos avanços da florestação (Oliveira et al., 2016).

Em Portugal, após os incêndios devastadores de 2003 e 2005, foi desenvolvida uma estratégia técnica para implementar um conjunto de medidas que visassem uma série de aspetos apontados pelos especialistas ao longo das últimas décadas como cruciais à prevenção e mitigação de incêndios, nomeadamente a necessidade de prevenção de ignições de origem antrópica; a criação de uma estrutura defensiva de faixas de gestão e redução de combustíveis em zonas críticas; a melhoria na capacidade de combate a incêndios para implementar táticas de controlo de perímetro e estratégias de gestão de grandes incêndios; e a reestruturação da organização responsável pelo combate (Beighley et al., 2018).

Assim, em 2006, é implementado o Sistema de Defesa da Floresta Contra Incêndios, pela aprovação do Decreto-Lei n.º 124/2006, na perspetiva de aplicar estas recomendações no território, por via das orientações emanadas pelo Plano Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios, aprovado em Maio de 2006, pela Resolução de Conselho de Ministros n.º 65/2006, o qual estabelecia a organização do sistema, e definia a estratégia, os eixos estratégicos, metas, objetivos e eixos prioritários à prevenção de incêndios (Beighley et al., 2018).

Com a mudança de paradigma e o impacto dramático que os incêndios têm provocado no território e população nos últimos anos, em consequência do insucesso das políticas anteriormente vigoradas, surgiu a necessidade e compromisso de mudança no que toca à matéria de prevenção e combate aos fogos rurais. Como tal, em 2021, é implementado o Sistema de Gestão Integrada de Fogos Rurais (SGIFR), com a aprovação do Decreto-Lei n.º 82/2021, de 13 de outubro, que veio estabelecer, a nível

nacional, as macropolíticas e orientações estratégicas para a redução do perigo e mudança de comportamentos dos proprietários, usuários e beneficiários do território rural. Este novo regime vem assim introduzir a gestão agregada dos territórios rurais e o envolvimento dos setores agrícolas e pecuários como agentes de prevenção e supressão, dado que, a promoção de adoção de boas práticas no ordenamento e gestão da paisagem, como a execução e manutenção de faixas de gestão combustível, a gestão de material sobranço, a renovação de pastagens ou a implementação de mosaicos agrossilvopastoris, são fundamentais para tornar o território mais resiliente e economicamente viável.

Para isto, a gestão e planeamento das paisagens exige a adoção simultânea de múltiplas soluções, definidas de modo inclusivo, colocadas e aplicadas em prática de forma integral e transversal (RCM n.º 45-A/2020). Como tal, a gestão integrada de incêndios rurais assenta num planeamento que assegura a coerência territorial, ao nível do domínio público e operacional, fundamentado pelas diretrizes estabelecidas no Plano Nacional de Gestão Integrada de Fogos Rurais (PNGIFR), aprovado pela Resolução de Conselhos de Ministros n.º 45-A/2020, de 16 de junho, e operacionalizado em programas de ação nacional, regionais e sub-regionais, bem como em programas municipais de execução (Decreto-Lei n.º 82/2021).

O Programa Nacional de Ação surge assim com o intuito de materializar as operações estratégicas delineadas no PNGIFR, orientando o processo de governança e gestão adaptativa a diversos níveis: nacional, regional, sub-regional e municipal, mediante a concretização, até 2030, de 12 objetivos estratégicos, os quais alcançados através de 28 programas, que compreendem 97 projetos. Em cada projeto são definidas iniciativas, resultados esperados, indicadores de realização, calendário, metas, entidades responsáveis, orçamento e fontes de financiamento.

As iniciativas delineadas para a gestão das RFMGC encontram-se inseridas em quatro projetos distintos enquadrados no eixo estratégico 2 - “Cuidar dos Espaços Rurais”, onde integram os objetivos estratégicos de redução da carga de combustível à escala da paisagem, bem como do aumento da proteção das populações e território edificado (Figura 1).

A gestão do combustível nos territórios rurais é realizada mediante a manutenção da vegetação em faixas e áreas estratégicas, a diferentes escalas espaciais, conforme a função a desempenhar (artigos 46.º e 47.º do Decreto-Lei n.º 82/2021). As redes de faixas de gestão encontram-se subdivididas em 3 níveis: Rede Primária, Rede Secundária e Rede Terciária. Nelas são compreendidos 3 tipos de faixa de gestão de combustível, estando classificadas mediante o tipo de intervenção de que é alvo:

- Faixa de redução de combustível (FRC) - visa a remoção do combustível de superfície, ao nível do extrato herbáceo, subarbustivo e arbustivo; a redução de densidade dos povoamentos florestais, de modo a proporcionar distanciamento entre as copas das árvores; e o desbastamento da parte inferior das copas, de forma a estabelecer descontinuidade vertical.

- Faixa de Interrupção de Combustível (FIC) - consiste na remoção total da vegetação.
- Rede Viária Florestal (RVF);



## ORIENTAÇÃO ESTRATÉGICA 2: CUIDAR DOS ESPAÇOS RURAIS

Objetivos Estratégicos	Programas	Projetos	Implementação Regional
2.1. Planear e promover uma paisagem diversificada	2.1.1 Reconverter a paisagem	2.1.1.1 Áreas Integradas de Gestão da Paisagem (AIGP)	Sim
		2.1.1.2 Gestão da paisagem e remuneração dos serviços dos ecossistemas	Sim
		2.1.1.3 Recuperação pós fogo e intervenção em áreas ardidas de mais com 500 ha e intervir em articulação com as entidades locais	Sim
		2.1.1.4 Transpor os Programas Regionais de Ordenamento Florestal (PROF) para os Planos Diretores Municipais (PDM)	Sim
2.2. Diminuir a carga de combustível à escala da paisagem	2.2.1. Executar o programa plurianual de gestão de combustível	2.2.1.1 Estabelecer e operacionalizar sistema de informação para coordenação e reporte de gestão estratégica de combustível	Sim
		2.2.1.2 Garantir a gestão da rede primária de faixas de gestão de combustíveis	Sim
		2.2.1.3 Garantir a gestão da rede secundária	Sim
		2.2.1.4 Áreas estratégicas de mosaicos de gestão de combustível	Sim
		2.2.1.5 Proteção de áreas de elevado valor	Sim
		2.2.1.6 Gestão de galerias ribeirinhas	Sim
		2.2.1.7 Promover o apoio ao pastoreio extensivo com rebanhos	Sim
		2.2.1.8 Aplicar regras de corte	Sim
		2.2.1.9 Uso do fogo como estratégia integrada de Gestão Fogos Rurais	Sim
	2.2.2. Alterar o processo de eliminação e promover o reaproveitamento de sobrantes	2.2.2.1 Promover processos de compostagem	Sim
	2.2.2.2 Promover geração de energia à escala local com base em biomassa	Sim	
2.3. Aumentar a eficácia da proteção das populações e do território edificado	2.3.1. Apoiar a implementação dos programas de autoproteção de pessoas e infraestruturas	2.3.1.1 Revisão e implementação das regras das redes de defesa pelos privados	Sim
		2.3.1.2 Gestão de combustível nos aglomerados rurais e envolvente de áreas edificadas	Sim
		2.3.1.3 Incrementar a resiliência do edificado	Sim
		2.3.1.4 Programas "Aldeia Segura" e "Pessoas Seguras"	Sim
		2.3.1.5 Mecanismos de cobertura e garantia de correta gestão do risco	Sim
		2.3.1.6 Robustecer os incentivos financeiros	Sim

FIGURA 1 - Orientação estratégica para a gestão das RFMGC (PNA)

### REDE PRIMÁRIA DE FAIXAS DE GESTÃO DE COMBUSTÍVEL

Implementada a uma escala sub-regional, a Rede Primária de Faixas de Gestão de Combustível (RPFGC) atua como obstáculo ao avanço e propagação do fogo, permitindo e facilitando o combate direto, contribuindo assim, para a diminuição da área percorrida por grandes incêndios. Estas faixas, planeadas e instaladas em locais estratégicos, possuem uma largura padrão de 126 metros e

compreendem áreas que variam entre os 500 hectares e 10000 hectares. O traçado e características das RPFGC são delineados tendo em conta um conjunto de critérios, nomeadamente:

- As características fisiográficas e particularidades da paisagem local;
- A eficácia na supressão de incêndios de grande dimensão;
- A segurança das forças de combate;
- O valor socioeconómico, paisagístico e ecológico dos territórios;
- O histórico dos grandes incêndios na região e a predictabilidade do seu comportamento face a eventos meteorológicos favoráveis à progressão do fogo;
- As atividades que se possam desenvolver e contribuir para a sustentabilidade e viabilidade económica destas áreas;

A sua execução e monitorização encontram-se a cargo do Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF), podendo este delegar competências sobre a sua execução, manutenção e monitorização a nível intermunicipal, municipal ou a entidades empresariais públicas ou privadas, mediante o ressarcimento das despesas com os encargos ocorridos.

#### **REDE SECUNDÁRIA DE FAIXAS DE GESTÃO DE COMBUSTÍVEL**

Por sua vez, a Rede Secundária de Faixas de Gestão de Combustível (RSFGC) surge com o propósito de reduzir os efeitos da passagem do fogo junto de vias de comunicação, infraestruturas e equipamentos sociais, zonas edificadas, e formações florestais e agrícolas de valor especial. Para além disso, desempenham também a função de isolar potenciais focos de ignição de incêndios. O seu planeamento é realizado a uma escala sub-regional, integrando os programas sub-regionais de ação (PSA).

A sua estrutura é delineada, nos territórios rurais, nas envolventes das redes rodoviárias e ferroviárias, linhas de distribuição de energia elétrica e de transporte gás e produtos petrolíferos, áreas edificadas, estabelecimentos hoteleiros, parques de campismo e caravanismo, infraestruturas e parques de lazer e recreio, áreas de localização empresarial, estabelecimentos industriais e de atividades afetas a matérias perigosas, postos de abastecimento de combustíveis, plataformas logísticas, aterros sanitários, instalações de produção e armazenamento de energia elétrica e de gás, e infraestruturas de suporte ao Sistema Integrado de Redes de Emergência e Segurança de Portugal (SIRESP), nos seguintes termos:

TABELA 1 - Subdivisão da rede secundária e respetiva largura definida

Infraestrutura		Largura da FGC
Redes rodoviárias e ferroviárias		10 metros
Linhas de transporte e de distribuição de energia elétrica	Linhas de muito alta tensão e alta tensão	> 10 metros
	Linhas de média tensão	> 7 metros
	Linhas de baixa tensão	> 3 metros
Linhas de distribuição de energia elétrica e de transporte gás e produtos petrolíferos		> 7 metros
Infraestruturas de suporte ao SIRESP		7 metros
Parques de campismo e caravanismo, estabelecimentos hoteleiros, áreas de localização empresarial, estabelecimentos industriais e de atividades afetas a matérias perigosas, postos de abastecimento de combustíveis, plataformas de logística, instalações de produção e armazenamento de energia elétrica ou de gás, e aterros sanitários		100 metros
Envolvente das áreas edificadas, quando confinante com territórios florestais		100 metros
Habitações e atividades económicas	caso a FGC abranja territórios florestais	50 metros
	caso a FGC abranja territórios agrícolas	10 metros

No que toca à gestão de combustível no interior das áreas edificadas, os municípios são responsáveis pelo estabelecimento das normas, vigorando a aplicação do Regulamento Municipal aprovado para o efeito.

A RSFGC é supervisionada pela ANEPC, e a responsabilidade da sua execução encontra-se a cargo das várias entidades, sendo elas públicas ou privadas, responsáveis pelas infraestruturas supramencionadas, e proprietários, arrendatários, usufrutuários ou entidades que detenham terrenos abrangidos na

envolvente de habitações ou áreas edificadas. Caso não realizem a gestão de combustíveis no prazo estipulado pelo Governo, os mesmos encontram-se sujeitos à aplicação de coimas pelo não cumprimento.

#### **REDE TERCIÁRIA DE FAIXAS DE GESTÃO DE COMBUSTÍVEL**

Já a Rede Terciária de Faixas de Gestão de Combustível, de nível local, é assente em redes e infraestruturas pré-existentes no território, como a rede viária, rede viária florestal e outras infraestruturas relacionadas às unidades locais de gestão florestal ou agroflorestal (como por exemplo aceiros). Estas redes, tal como as RSFGC, desempenham um papel de isolamento de potenciais focos de ignição de incêndio.

#### **MOSAICOS DE GESTÃO DE COMBUSTÍVEL**

Como complemento a esta estrutura, o SGIFR prevê ainda a criação de áreas estratégicas de mosaicos de gestão de combustível, cuja finalidade passa por exercer influência no comportamento e propagação do fogo, contribuindo para a redução da dimensão dos incêndios e consequentemente minimização dos seus impactos no território. São definidas nos programas sub-regionais de ação (PSA) e integradas nos Programas Municipais de Execução (PME).

Estas áreas, planeadas e instaladas em locais estratégicos, assumem dimensões variáveis e visam os locais onde os tratamentos de combustível demonstram ter uma maior eficácia na contenção do fogo, sendo os mesmos apurados tomando em consideração os seguintes critérios:

- Histórico dos grandes incêndios na região e a predictabilidade do seu comportamento face a eventos meteorológicos favoráveis à progressão do fogo;
- Localização de pontos críticos de abertura do fogo na paisagem;
- Características fisiográficas e as particularidades da paisagem local;

A responsabilidade de promoção e monitorização destas áreas encontra-se afeta ao ICNF, e a execução de atividades de gestão da carga de combustível (redução de vegetação herbácea ou arbustiva, seleção de varas, desrames e desbastes) podem ser realizadas por entidades designadas para o efeito, sob decisão da administração central ou local.

## CAPÍTULO 3. OS INCÊNDIOS RURAIS E OS SEUS CONTORNOS NOS MUNICÍPIOS DA SERTÃ, FIGUEIRÓ DOS VINHOS E FERREIRA DO ZÊZERE

### 3.1. ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO DA ÁREA DE ESTUDO

Foram selecionados três municípios, localizados na região centro de Portugal Continental, pertencentes a três distritos diferentes: Sertã (Castelo Branco), Figueiró dos Vinhos (Leiria) e Ferreira do Zêzere (Santarém) (Figura 2). Esta seleção teve o propósito de incluir condições distintas, ao nível das características territoriais de cada município e o histórico de incêndios, mas também na aplicação de medidas de gestão, execução e de prevenção.



FIGURA 2 - ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO DA ÁREA DE ESTUDO

### 3.1.1. MUNICÍPIO DA SERTÃ

A Sertã é um município pertencente ao distrito de Castelo Branco, integrante da sub-região da Beira Baixa (NUTS III), região Centro (NUTS II). É composto por 10 freguesias, nomeadamente Cabeçudo, Carvalhal, Castelo, União de Freguesias de Cernache do Bonjardim, Nesperal e Palhais, União das freguesias de Cumeada e Marmeleiro, União das freguesias de Ermida e Figueiredo, Pedrógão Pequeno, Sertã, Troviscal e Várzea dos Cavaleiros. O município abrange uma área de 446 km<sup>2</sup> e totaliza um efetivo populacional de 14770 habitantes (Censos 2021).

#### **TOPOGRAFIA**

O município da Sertã apresenta uma variação de altitude consideravelmente acentuada (Figura 3), situando-se a cota mais baixa no nível pleno de armazenamento (NPA) da albufeira de Castelo de Bode (121 metros), no curso do rio Zêzere, e a cota mais alta no Cabeço da Rainha (1084 metros). Na zona Este e Nordeste do município concentram-se os maiores valores de altitude, por influência da localização da Serra de Alvéolos, com vários cumes da rede geodésica superiores a 800 metros, a saber: Cabeço da Rainha 1084 metros; Bravo 895 metros; Rendeiro 895 metros; Cava 866 metros; Lameiro da Serra 833 metros; e Figueiredo 828 metros. A classe hipsométrica predominante compreende altitudes entre 300 e 400 metros (Anexo 2).

A variação da altitude constitui-se como um fator determinante no comportamento de diversos parâmetros climáticos, sendo que exerce indiretamente influência na composição da cobertura vegetal, condicionando o tipo de vegetação que se desenvolverá, bem como a sua quantidade, o que pode, ou não, traduzir-se em territórios mais propensos a arder (Fernandes, 2006).

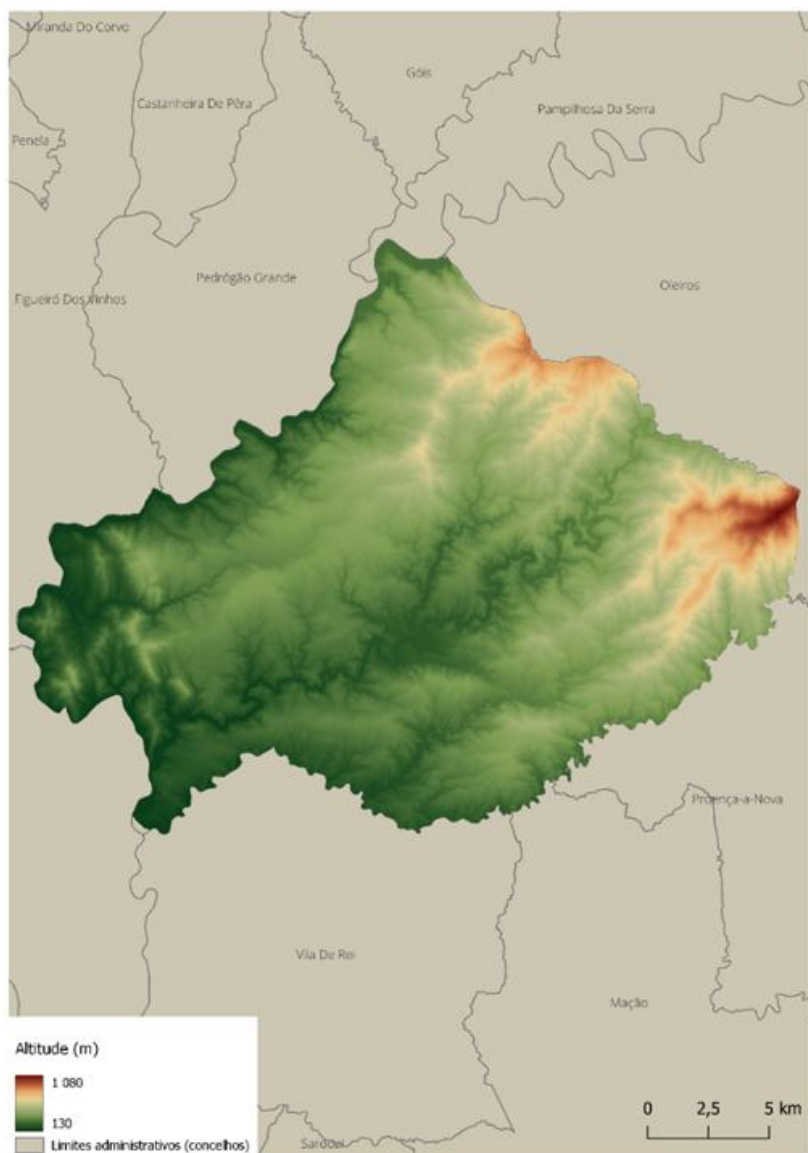


FIGURA 3 – Distribuição da altitude no município da Sertã (CIGeoE)

Mais de metade do território apresenta zonas de declive superiores a 10° (aproximadamente 63 %), traduzindo um relevo parcialmente irregular (Anexo 3), com especial destaque para a zona Este e extremo Oeste do município, onde é visivelmente mais acidentado, correspondendo às áreas de encosta da Serra de Alvólos e aos fundos de vale, entalhados pela rede hidrográfica, que, neste último caso, chegam a registar mais de 30° de inclinação (Figura 4).

O declive verifica-se como um fator relevante no comportamento do fogo, devido ao efeito que este provoca na aproximação da chama aos combustíveis; à influência no aumento da velocidade de propagação; e ao facto de possibilitar uma maior elevação de partículas, que consequentemente provocam focos secundários e agravam a propagação do incêndio (Dupuy et al., 2011; Viegas, 2004).

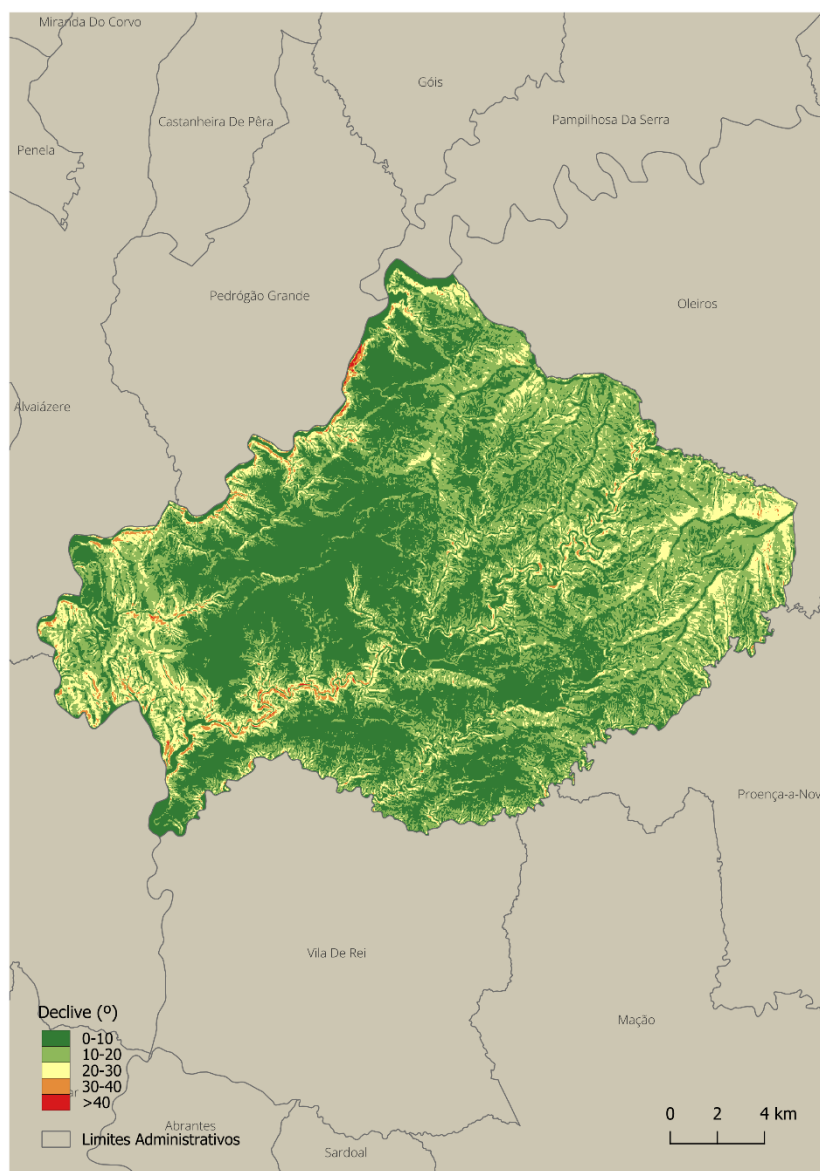


FIGURA 4 - Classes de declive no município da Sertã (CIGeoE)

## USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

De acordo com a carta de uso e ocupação do solo (COS2018), o território do município da Sertã é predominantemente ocupado por floresta (Figura 5), compreendendo cerca de 74,48 % da área total do município, seguindo-se a agricultura (12,7 %) e os matos (7,4 %) (Anexo 4). Na classe de ocupação do solo relativa às áreas de coberto florestal, a floresta de pinheiro-bravo abrange quase metade da área do território, com uma extensão de 214,34 km<sup>2</sup> (48 %), seguindo-se a floresta de eucalipto com 111,11 km<sup>2</sup> (24,9 %). Os restantes tipos de floresta não revelam grande expressividade no território, dando como exemplo disso a floresta de Outras Folhosas, que se destaca como a terceira classe de ocupação do solo

florestal com a maior taxa de cobertura, a qual equivale apenas a 1,3 % da área do município. Somente 3,3 % do município se destina a territórios artificializados, na sua maioria tecido urbano descontínuo.

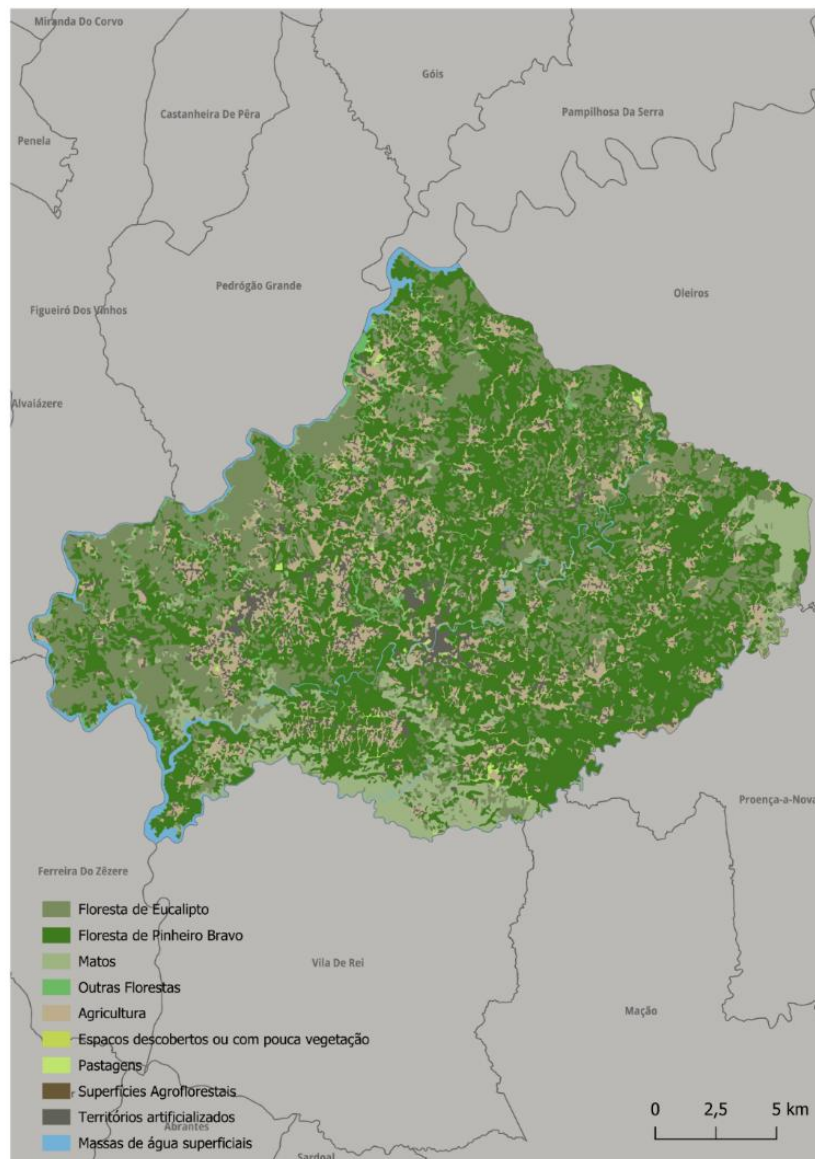


FIGURA 5 - Classes de uso e ocupação do solo (2018) no município da Sertã (DGT)

Pelas suas características biofísicas, existem categorias de uso e ocupação do solo que são mais propensas a arder do que outras. A presença de carga combustível nos territórios, nomeadamente quando o coberto vegetal é composto por material lenhoso fino e os povoamentos florestais não são objeto de gestão do subcoberto, está fortemente relacionada à ocorrência de incêndios (Fernandes, 2006).

## CLIMA

O município da Sertã apresenta um clima temperado, caracterizado por verões secos e quentes, e invernos rigorosos (Csa na classificação de Köppen-Geiger). Para a análise dos dados foi considerada a estação meteorológica de Castelo Branco, a mais próxima do município, para o período de 1981-2010.

O clima desempenha um papel preponderante na estrutura e composição dos espaços florestais. Temperaturas mais elevadas estão associadas a menores percentagens de humidade no ar, refletindo-se na vegetação, que por sua vez seca. Criam-se assim condições propícias ao aumento de ignições e rápida propagação de incêndios (Calheiros et al., 2022).

A temperatura média apresenta uma variação entre os 8,1°C e 24,7°C, para os meses de janeiro e julho, respetivamente. Salientam-se dois períodos - dezembro, janeiro e fevereiro - como os meses mais frios, com o menor valor médio de temperatura mínima de 4,1°C no mês de janeiro, e outro - junho, julho e agosto - correspondente aos meses mais quentes, com o maior valor médio de temperatura máxima de 32°C no mês de julho (Figura 6).

No que toca à precipitação, a sua média mensal varia entre os 122,3 mm, registados no mês de dezembro, e os 7,7 mm no mês de agosto (Figura 7).

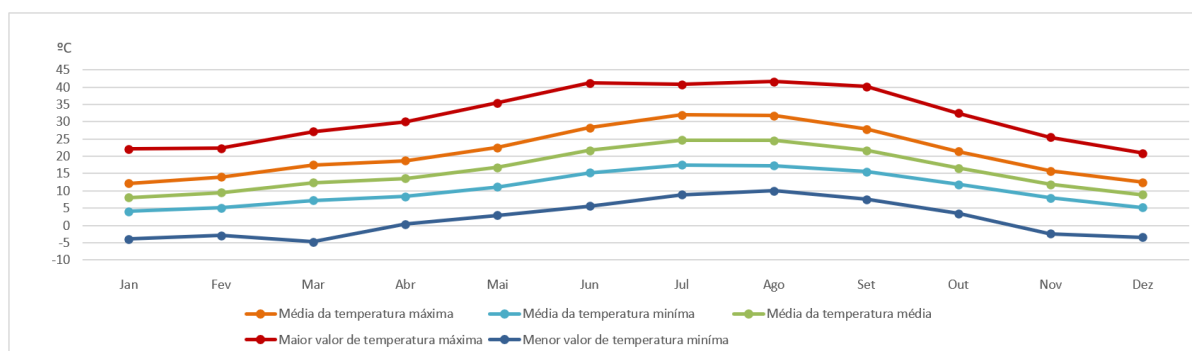


FIGURA 6 - Temperatura do ar no distrito de Castelo Branco (normais climatológicas 1981-2010) (IPMA)

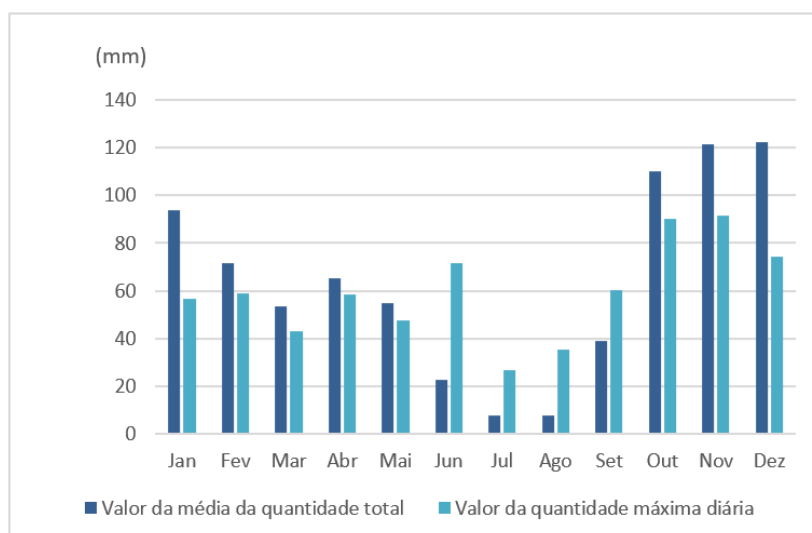


FIGURA 7 - Precipitação no distrito de Castelo Branco (normais climatológicas 1981-2010) (IPMA)

## POPULAÇÃO

De acordo com os dados dos censos de 2021 (Tabela 2), o município da Sertã totaliza um efetivo populacional de 14769 habitantes, o qual predominantemente do sexo feminino (51,8 %). Quase um terço da população deste município possui 65 ou mais anos, perfazendo 31,10 % da mesma (4594 habitantes). Em contrapartida, a faixa etária da população com menos de 15 anos representa apenas 10,72 % da população total (1584 habitantes). A maior percentagem do efetivo global concentra-se no grupo etário entre os 15 e os 64 anos, constituindo 58,2 % da população. Face aos censos de 1991, a Sertã perdeu cerca de 18,9 % da população total, apresenta um decréscimo de 49,28 % da população jovem e uma subida de cerca de 17,8 % da população idosa.

A população ativa do município representa uma percentagem relativamente baixa (37,5 %) do efetivo global, estando inserida 6,3 % da mesma em atividades ligadas ao setor primário, 27,4 % ao setor secundário e 66,3 % ao setor terciário.

TABELA 2 - População por grupo etário no município da Sertã (Censos 2021, INE)

GRUPO ETÁRIO			
TOTAL	0-14	15-64	65 OU MAIS
14769	1584	8591	4594

### 3.1.2. MUNICÍPIO DE FIGUEIRÓ DOS VINHOS

Figueiró dos Vinhos é um município pertencente ao distrito de Leiria, integrante da sub-região do Pinhal Interior Norte (NUTS III), região Centro (NUTS II). É composto por 4 freguesias, nomeadamente Aguda, Arega, Campelo e União de Freguesias de Figueiró dos Vinhos e Bairradas. O município abrange uma área de 173,44 km<sup>2</sup> e totaliza um efetivo populacional de 5281 habitantes (Censos 2021).

#### **TOPOGRAFIA**

O município de Figueiró dos Vinhos apresenta uma variação de altitude consideravelmente acentuada (Figura 8), situando-se a cota mais baixa no nível pleno de armazenamento (NPA) da albufeira de Castelo de Bode no curso do rio Zêzere (121 metros), e a cota mais alta de 1010 metros numa das cumeadas da serra da Lousã (Anexo 5). Na zona Norte do município concentram as maiores altitudes, por influência da localização da Serra da Lousã, com vários cumes da rede geodésica superiores a 800 metros, a saber: Cabril com 958 metros; Relva de Tábuas com 940 metros; e São João com 854 metros. A classe hipsométrica predominante varia entre 400 e 500 metros de altitude.

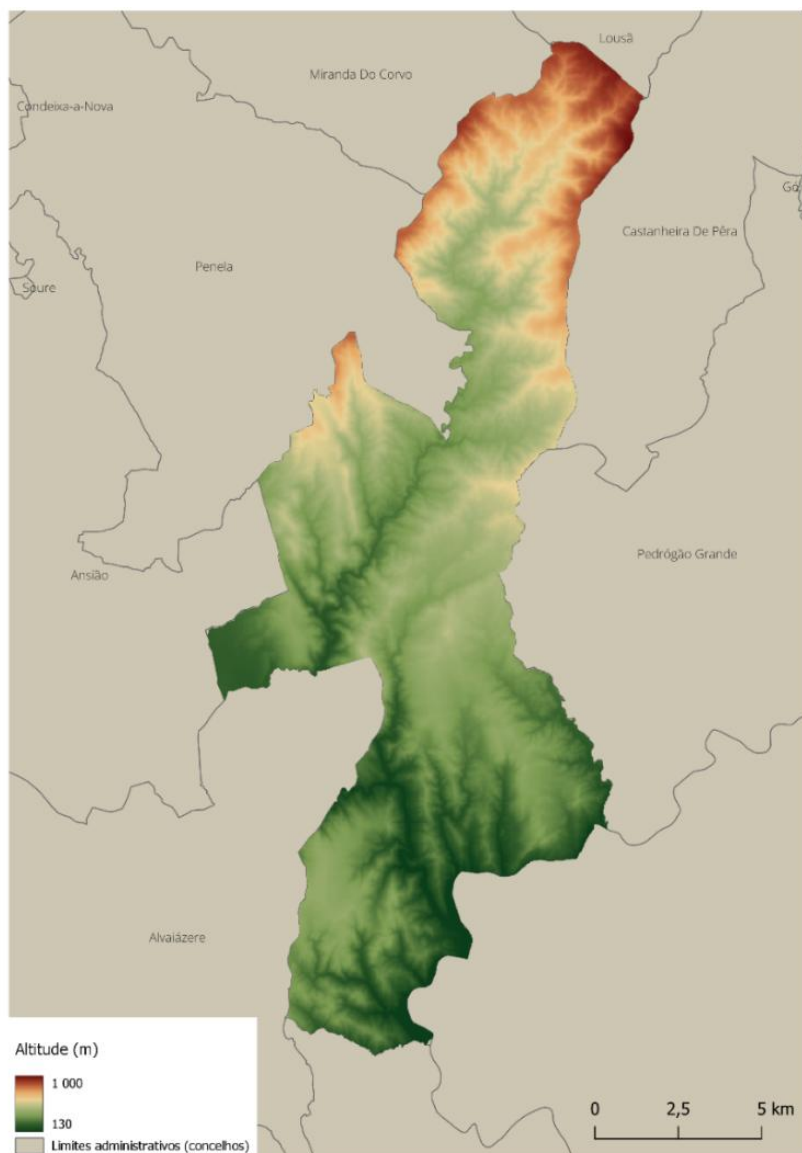


FIGURA 8 – Distribuição da altitude no município de Figueiró dos Vinhos (CIGeoE)

Mais de metade do território apresenta zonas de declive superiores a 10° (aproximadamente 66 %) (Anexo 6), traduzindo um relevo parcialmente irregular, com especial destaque para a zona Sul, Oeste e extremo Norte do município, onde é visivelmente mais acidentado, correspondendo às áreas de encosta da Serra da Lousã e aos fundos de vale, entalhados pela rede hidrográfica, que, neste último caso, chegam a registar mais de 30° de inclinação (Figura 9).

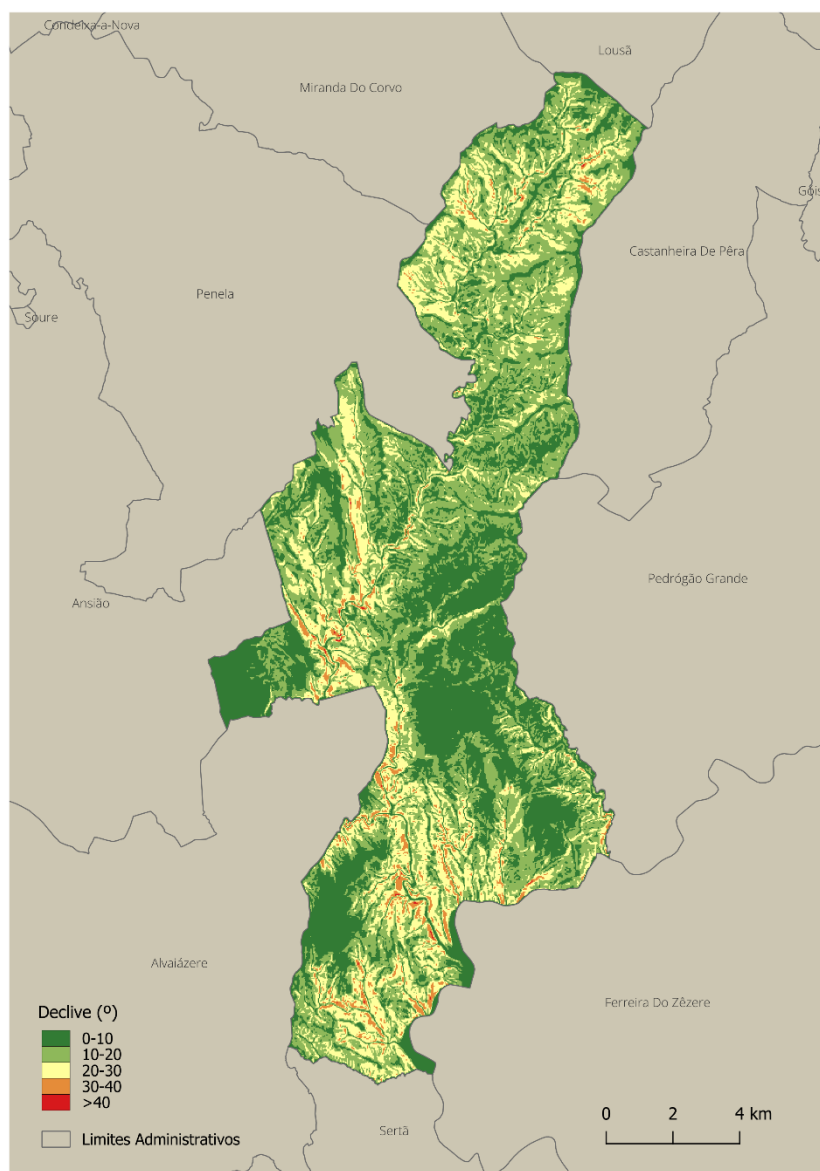


FIGURA 9 - Classes de declive no município de Figueiró dos Vinhos (CIGeoE)

## USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Conforme a carta de uso e ocupação do solo (COS2018, DGT), as florestas integram a classe de uso do solo dominante no município de Figueiró dos Vinhos (Figura 10), contabilizando cerca de 82,7 % da sua área total, seguindo-se a agricultura (8,3 %) e matos (8,2 %) (anexo 7). Dentro da classe referente à ocupação florestal, destaca-se a predominância da floresta de eucalipto, com uma ocupação superior a mais de metade do território (56,9 %), assim como a Floresta de Pinheiro-bravo (16,5 %). Os restantes tipos de floresta apresentam uma expressão pouco significativa, à exceção das Florestas de Outras Folhosas, com uma ocupação de 4,5 % da área total. Cabe apenas 2,9 % destinado a territórios

artificializados, sendo grande parte deste tecido urbano descontínuo, por norma rodeados por espaços para fins agrícolas.

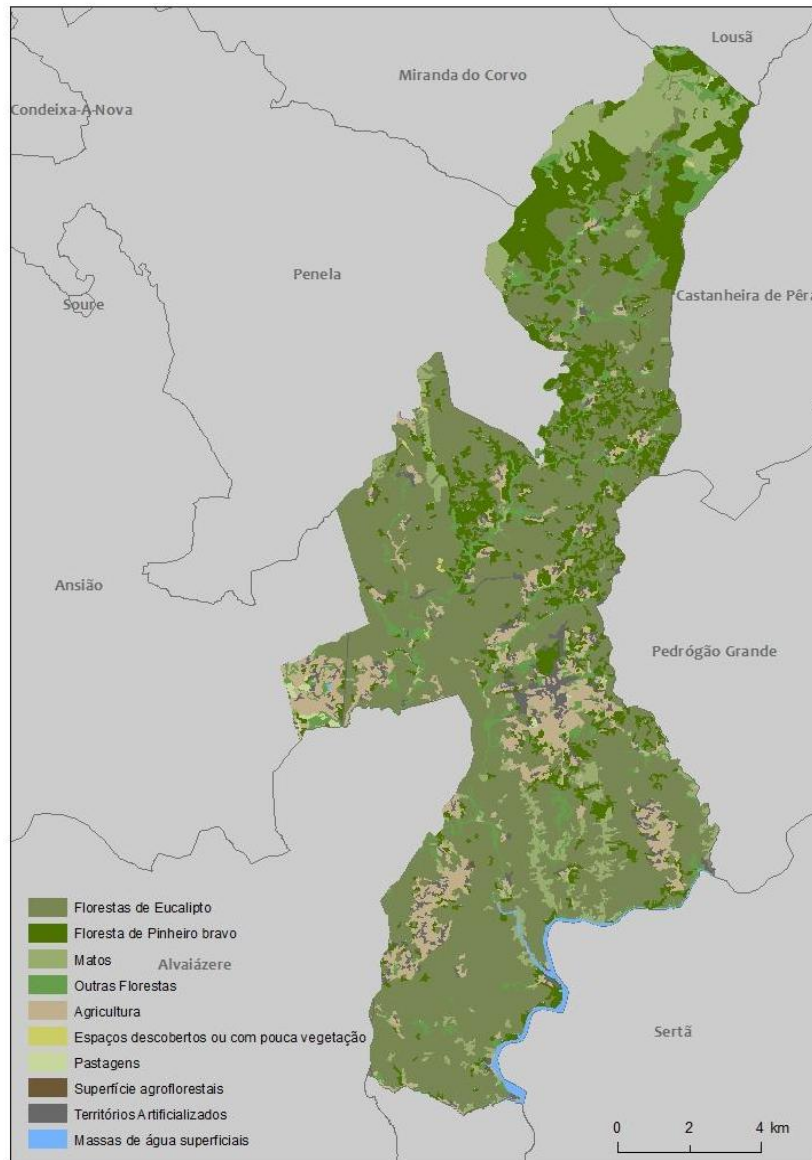


FIGURA 10 - Classes de ocupação do solo no município de Figueiró dos Vinhos (DGT)

## CLIMA

Figueiró dos Vinhos apresenta um clima temperado, caracterizado por verões secos e quentes, e invernos chuvosos (Csb na classificação de Köppen-Geiger). Para a análise dos dados foi considerada a estação meteorológica de Coimbra, a mais próxima do município, para o período de 1981-2010.

A temperatura média apresenta uma variação entre os 9,9°C e 22,2°C, para os meses de janeiro e agosto, respetivamente. Salientam-se dois períodos - dezembro, janeiro e fevereiro - como os meses mais frios, com o menor valor médio de temperatura mínima de 5°C no mês de janeiro, e outro - junho, julho e agosto - correspondente aos meses mais quentes, com o maior valor médio de temperatura máxima de 28,8°C no mês de agosto (Figura 11).

No que toca à precipitação, a sua média mensal varia entre os 126,2 mm, registados no mês de dezembro, e os 10,9 mm no mês de julho (Figura 12).

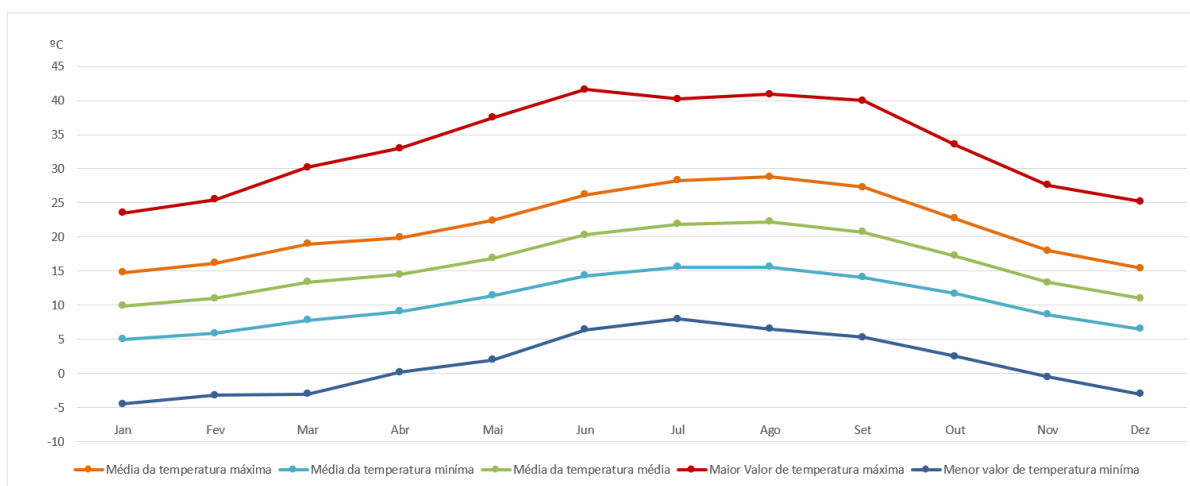


FIGURA 11 - Temperatura do ar no distrito de Coimbra (normais climatológicas 1981-2010) (IPMA)

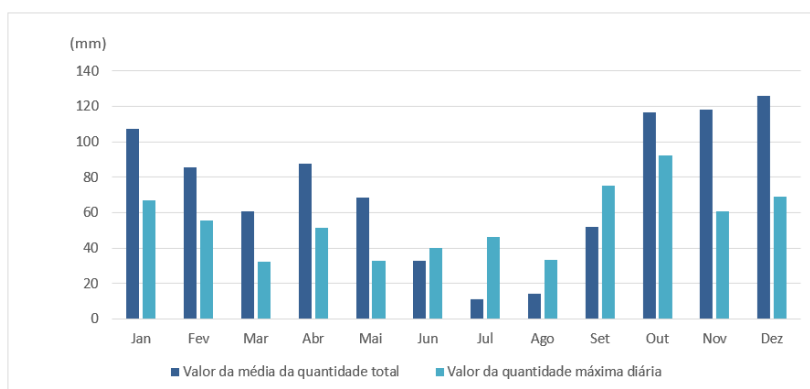


FIGURA 12 - Precipitação no distrito de Coimbra (normais climatológicas 1981-2010) (IPMA)

## POPULAÇÃO

De acordo com os dados dos censos de 2021 (Tabela 3), o município de Figueiró dos Vinhos totaliza um efetivo populacional de 5281 habitantes, o qual predominantemente do sexo feminino (52,6 %). Quase um terço da população deste município é idosa, perfazendo 35,2 % da mesma (1858 habitantes). Em contrapartida, a faixa etária da população mais jovem representa apenas 9,2 % da população total (488 habitantes). A maior percentagem do efetivo global concentra-se no grupo etário entre os 15 e os 64 anos, constituindo 55,7 % da população. Face aos censos de 1991, Figueiró dos Vinhos perdeu cerca de 34,1 % da população total, apresenta um decréscimo de 64,12 % da população jovem e uma subida de cerca de 7,2 % da população idosa.

A população ativa do município representa uma percentagem relativamente baixa (36,3 %) do efetivo global, estando inserida 4,2 % da mesma em atividades ligadas ao setor primário, 25,7 % ao setor secundário e 70,3 % ao setor terciário.

TABELA 3 - População por grupo etário no município de Figueiró dos Vinhos (Censos 2021, INE)

GRUPO ETÁRIO			
TOTAL	0-14	15-64	65 OU MAIS
5281	488	2935	1858

### 3.1.3. MUNICÍPIO DE FERREIRA DO ZÊZERE

Ferreira do Zêzere é um município pertencente ao distrito de Santarém, integrante da sub-região do Médio do Tejo (NUTS III), região Centro (NUTS II). É composto por 7 freguesias, nomeadamente Águas Belas, Beco, Chãos Igreja Nova do Sobral, Ferreira de Zêzere, Nossa Senhora do Pranto e União de Freguesias de Areias e Pias. O município abrange uma área de 190,37 km<sup>2</sup> e totaliza um efetivo populacional de 7801 habitantes (Censos 2021).

## TOPOGRAFIA

O município de Ferreira do Zêzere apresenta uma variação de altitude pouco acentuada (Figura 13), situando-se a cota mais baixa nos 110 metros na ribeira dos Chãos, afluente do rio Nabão, e a cota mais alta nos 451 metros de altitude em dois cumes: na serra de Santa Catarina e serra Alta (Junqueira)

(Anexo 8). A parte Este do município, ao longo das margens da albufeira de Castelo de Bode do rio Zêzere, concentra as cotas mais baixas. A classe hipsométrica predominante varia entre 200 e 300 metros de altitude.

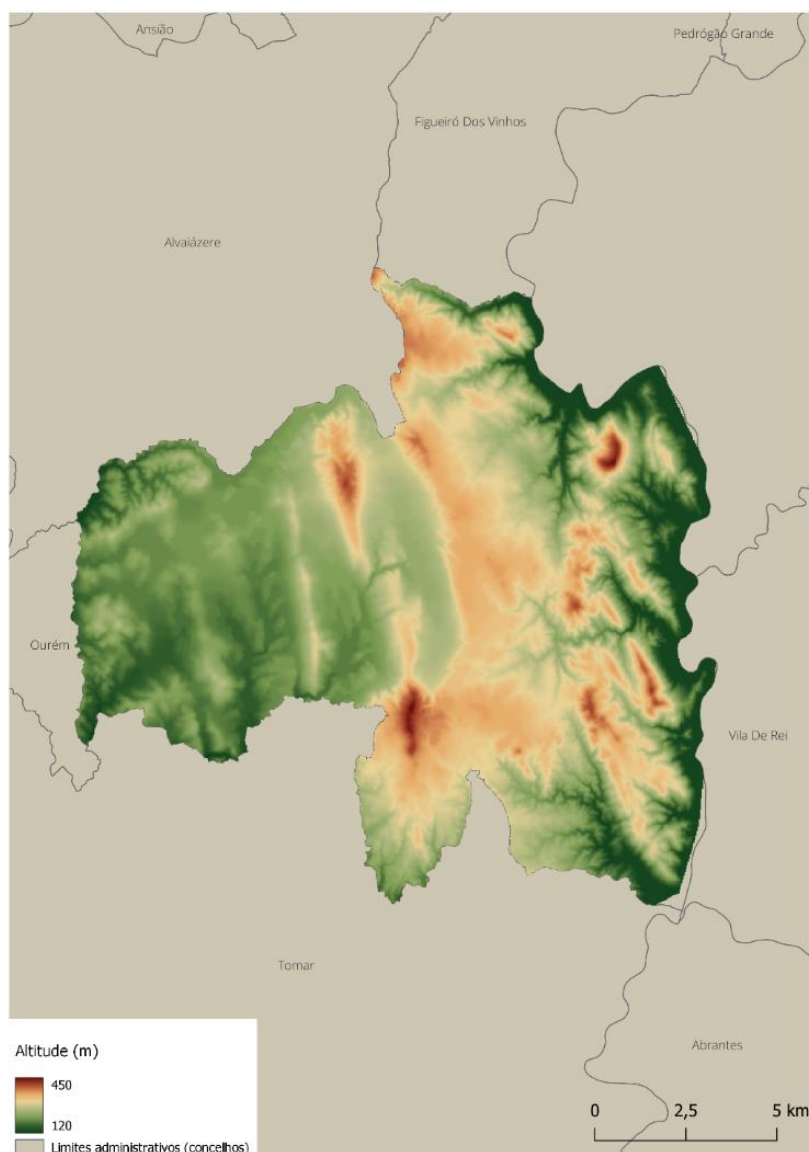


FIGURA 13 – Distribuição da altitude no município de Ferreira do Zêzere (CIGeoE)

Mais de metade do território apresenta zonas de declive inferiores a 10° (aproximadamente 65 %) (Anexo 9), traduzindo um relevo maioritariamente suave, com especial destaque para a zona Oeste e Centro do município, com declives predominantemente inferiores a 5°. No sentido oposto, a Este, registam-se as zonas de declive mais acentuada, podendo esta ser superior a 30° de inclinação nos relevos mais proeminentes do município (Figura 14).

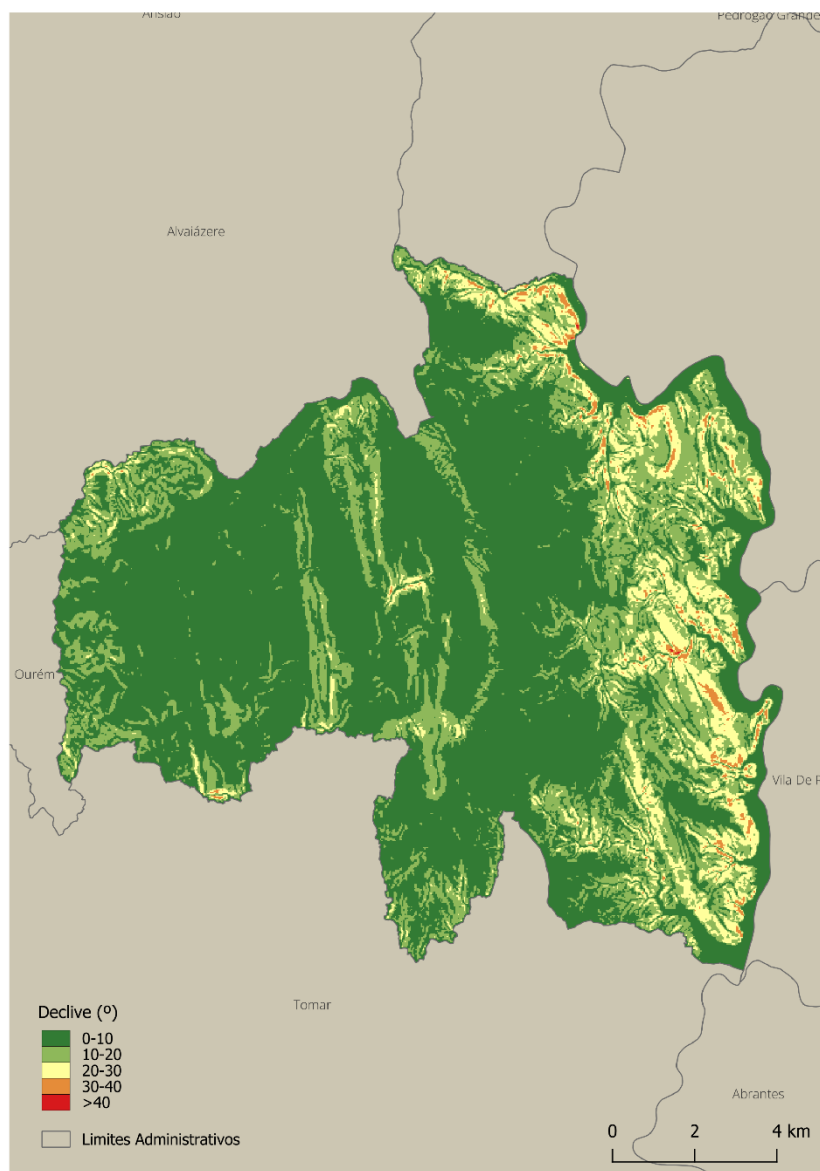


FIGURA 14 - Classes de declive no município de Ferreira do Zêzere (CIGeoE)

## USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

De acordo com a carta de uso e ocupação do solo (COS2018), o território do município de Ferreira do Zêzere é predominantemente ocupado por coberto florestal (Figura 15), compreendendo cerca de 59,81 % da área total do município, seguindo-se os territórios agrícolas (24,1 %) e os matos (6,7 %) (Anexo 10). Na classe de ocupação do solo relativa às áreas de coberto florestal, a floresta de eucalipto abrange quase metade da área do território, com uma extensão de 67,55 km<sup>2</sup> (35,5 %), seguindo-se a floresta de pinheiro-bravo com 24,54 km<sup>2</sup> (12,9 %). Os restantes tipos de floresta apresentam uma expressão pouco significativa, à exceção das florestas de outros carvalhos, com uma ocupação de 9,1 % da área total.

Somente 5,3 % do município corresponde a territórios artificializados, na maioria tecido urbano descontínuo.



FIGURA 15 - Classes de ocupação do solo no município de Ferreira do Zêzere (DGT)

## CLIMA

Ferreira do Zêzere apresenta um clima temperado, caracterizado por verões secos e quentes, e invernos chuvosos (Csb na classificação de Köppen-Geiger). Para a análise dos dados foi considerada a estação meteorológica de Santarém, a mais próxima do município, para o período de 1981-2010.

A temperatura média apresenta uma variação entre os 10,1°C e 23,8°C, correspondendo estes valores aos meses de janeiro e agosto, respetivamente. O período seco compreende os meses de junho, julho e agosto, registando-se no mês de agosto o maior valor médio de temperatura máxima, de 31°C, e o menor valor médio mensal de precipitação, de 4,7 mm (Figura 16).

O período de inverno abrange os meses de dezembro, janeiro e fevereiro, onde se regista o menor valor médio de temperatura mínima, com 5,6°C, no mês de janeiro, e o valor de média mensal de precipitação mais alto neste período, fixa-se nos 97,2 mm. No entanto, é no mês de novembro que se registam os maiores valores de precipitação, com um valor da média mensal de precipitação de 104,2 mm (Figura 17).

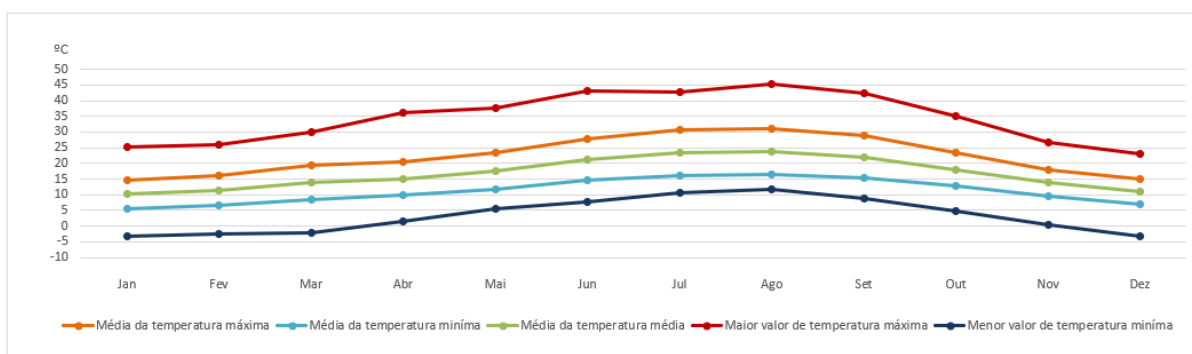
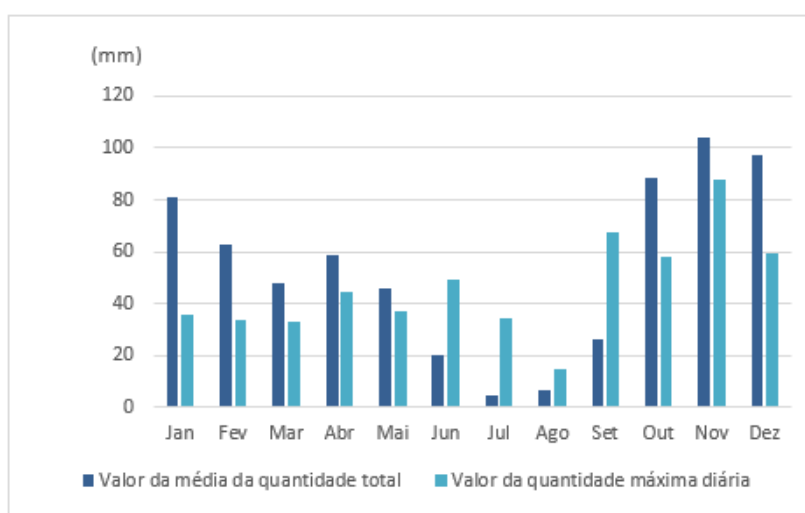


FIGURA 16 - Temperatura do ar no distrito de Santarém (normais climatológicas 1981-2010) (IPMA)



3

FIGURA 17 - Precipitação no distrito de Santarém (normais climatológicas 1981-2010) (IPMA)

## POPULAÇÃO

O município de Ferreira do Zêzere, de acordo com os dados dos censos de 2021 (Tabela 4), totaliza um efetivo populacional de 7800 habitantes, o qual predominantemente do sexo feminino (52,7 %). Quase um terço da população deste município é idosa, perfazendo 32,6 % da mesma (2545 habitantes). Em contrapartida, a faixa etária da população mais jovem representa apenas 10,9 % da população total (853 habitantes). A maior percentagem do efetivo global concentra-se no grupo etário entre os 15 e os 64 anos, constituindo 56,4 % da população. Face aos censos de 1991, Ferreira do Zêzere perdeu cerca de 21 % da população total, apresenta um decréscimo de 50,7 % da população jovem e uma subida de cerca de 6 % da população idosa.

A população ativa do município representa uma percentagem relativamente baixa (37,6 %) do efetivo global, estando inserida 11,8 % da mesma em atividades ligadas ao setor primário, 24,4 % ao setor secundário e 63,8 % ao setor terciário.

TABELA 4 - População por grupo etário no município de Ferreira do Zêzere (Censos 2021, INE)

GRUPO ETÁRIO			
TOTAL	0-14	15-64	65 OU MAIS
7800	853	4402	2545

## TENDÊNCIAS GERAIS DOS MUNICÍPIOS

A tendência populacional reflete grande parte dos territórios rurais de Portugal, onde se assiste ao êxodo rural, ao envelhecimento da população, acompanhada do conseqüente abandono do setor agrícola, criando as condições propícias ao desenvolvimento da vegetação por falta de manutenção dos mesmos.

Todos os municípios verificaram um decréscimo na sua população, bem como o seu envelhecimento, com particular incidência no município de Figueiró dos Vinhos (34 %), que, curiosamente, dos três municípios em estudo, é o mais fustigado por incêndios.

Os tipos de ocupação do solo mais propensos a arder são transversalmente predominantes nos territórios dos três municípios, com a Floresta de eucalipto a predominar no município de Figueiró dos Vinhos (56 %), a Floresta de pinheiro-bravo no município da Sertã (48 %), e os matos no município de Figueiró dos Vinhos (8,3 %). Por sua vez, os territórios agrícolas constituem-se um tipo de ocupação do solo expressivo no município de Ferreira do Zêzere, alcançando quase 25 % da área total do território, o que,

comparativamente aos restantes, se verifica o triplo da área associada a esse tipo de ocupação no município de Figueiró dos Vinhos, e o dobro face ao município da Sertã.

O município de Ferreira do Zêzere é o que apresenta a menor taxa de aumento da população idosa (6 %), e o segundo no qual se verificou o menor decréscimo da população (21 %). É igualmente o município com maior área destinada a territórios agrícolas e o menos afetado dos três municípios em estudo por incêndios rurais.

## 3.2. OS INCÊNDIOS RURAIS NOS MUNICÍPIOS

### 3.2.1. HISTÓRICO DE INCÊNDIOS

A Região Centro é uma das fustigadas pelos incêndios em Portugal, registando incêndios de grandes dimensões com efeitos devastadores para a população e território. Exemplo disso, no ano de 2017, os municípios de Figueiró dos Vinhos e Sertã foram particularmente afetados na vaga de incêndios que assolou o país e que contabilizou 64 vítimas mortais no mês de junho, e quatro meses depois, 51 vítimas no mês de outubro.

Analisando os dados disponibilizados pelo ICNF, desde o ano de 1990 a 2019 registaram-se no município da Sertã a ocorrência de incêndios em 25 dos 30 anos contemplados neste período temporal (Anexo 11), perfazendo um total de 118 incêndios, que, cumulativamente, somaram uma área ardida de 504,74 km<sup>2</sup> (50474,1 hectares), indicando que nestes 30 anos, ardeu o equivalente a 113 % da sua área total (1,13x a área total do território). Grande parte do município já foi afetado por este fenómeno (Figura 18), com exceção das povoações de grande e média dimensão, e respetivas áreas periféricas, que na sua maioria se encontram associadas à prática de atividades agrícolas. Destacam-se ainda as áreas marcadas por baixos declives e as áreas associadas a corpos de água como espaços de resiliência à passagem do fogo. A média de hectares ardidos estabelece-se nos 1740,5 hectares, destacando-se 5 anos acima da mesma, com o ano de 2017 a revelar-se como o ano mais crítico, totalizando 17068 hectares de área ardida.

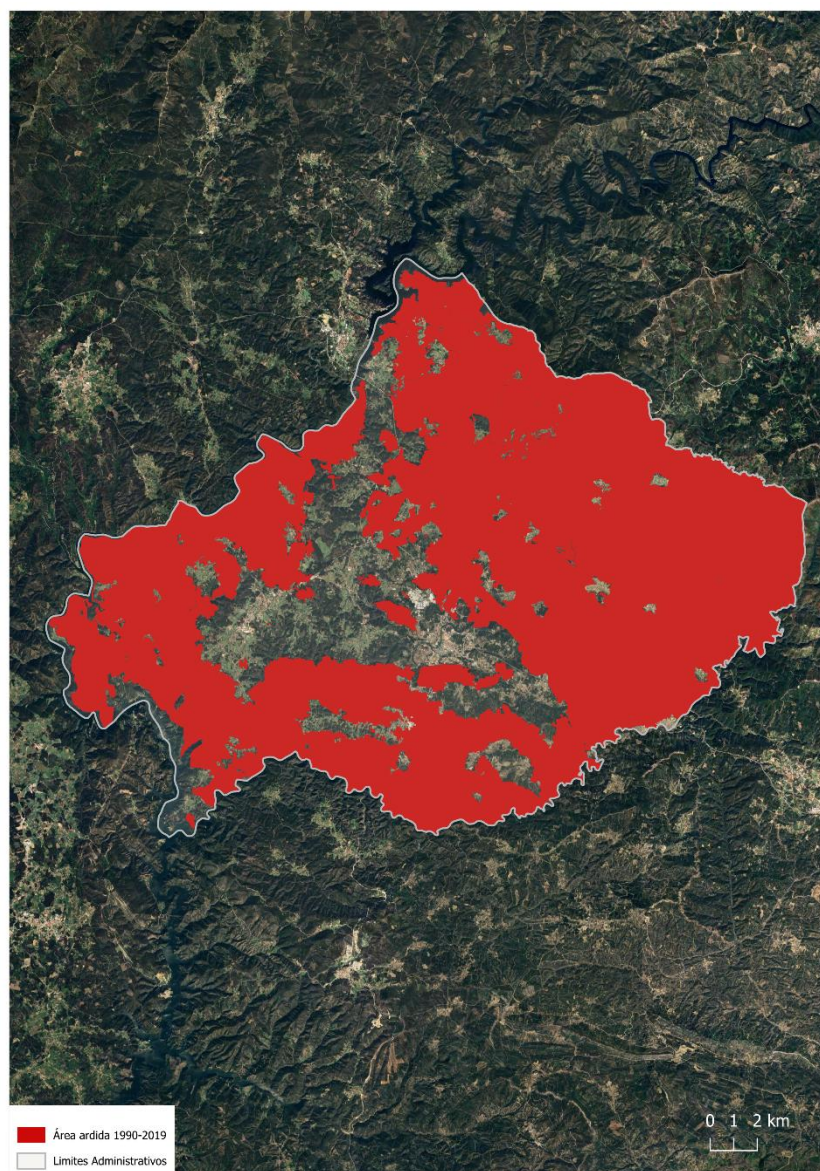


FIGURA 18 - Total de área ardida no município da Sertã (1990-2019)

Por sua vez, o município de Figueiró dos Vinhos registrou a ocorrência de incêndios em 23 anos dos 30 anos analisados, verificando um total de 71 incêndios (Anexo 12), que, cumulativamente, perfizeram um total de 281,02 km<sup>2</sup> (28102 hectares) de área ardida, correspondendo a 162 % da área do seu território (1,62x a área total do município), o que se traduz no equivalente a mais de 1 município e meio ardido. Este é dos três municípios considerados no estudo, o mais afetado por incêndios (Figura 19), podendo-se afirmar que todo o território já ardeu nos últimos 30 anos, com exceção da vila de Figueiró dos Vinhos, as povoações localizadas na extremidade oeste do município, e algumas povoações de pequena dimensão dispersas pela zona norte e sul do mesmo. Ressalva-se que algumas áreas associadas a corpos de água e a pequenas áreas florestais resistiram à passagem do fogo neste período em análise.

No que toca à média da área ardida, a mesma assenta-se nos 936,76 ha, realçando-se 3 anos com valores acima deste, dos quais o ano de 2017, que evidencia o valor máximo, correspondente a 11506,98 hectares no total.

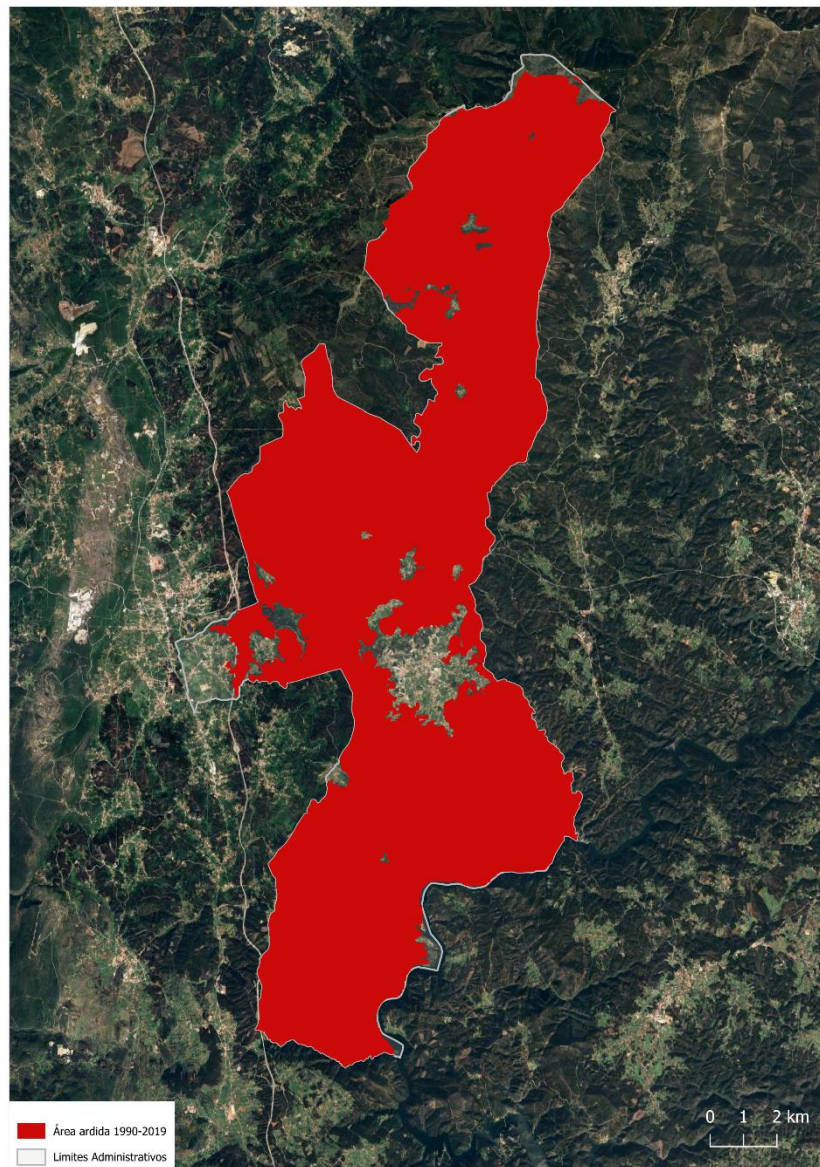


FIGURA 19 - Área ardida no município de Figueiró dos Vinhos (1990-2019)

Relativamente ao município de Ferreira do Zêzere, o cenário é menos crítico face aos restantes municípios, tendo nos 30 anos em causa ardido em 17 deles (Anexo 13), registando um total de 43 incêndios, os quais resultaram numa área ardida cumulativa de 124,97 km<sup>2</sup> (12497 hectares), equivalendo a aproximadamente 66 % da área total do território. Embora com menos severidade que nos municípios supramencionados, a passagem dos incêndios marca a vida destas populações, que já viram mais de metade do seu território arder. As áreas predominantemente afetadas localizam-se nas

extremidades a oeste, sul e este do município (Figura 20). Estas áreas são constituídas por manchas contínuas de territórios florestais e de mato, associadas a declives superiores a 10°. O interior do município regista situações pontuais de incêndios de menor dimensão, podendo esta ausência ser explicada pelas zonas intercalares entre floresta e áreas afetadas à atividade agrícola, bem como a povoações, que impedem a progressão do fogo, e que são alvo de maior vigilância.

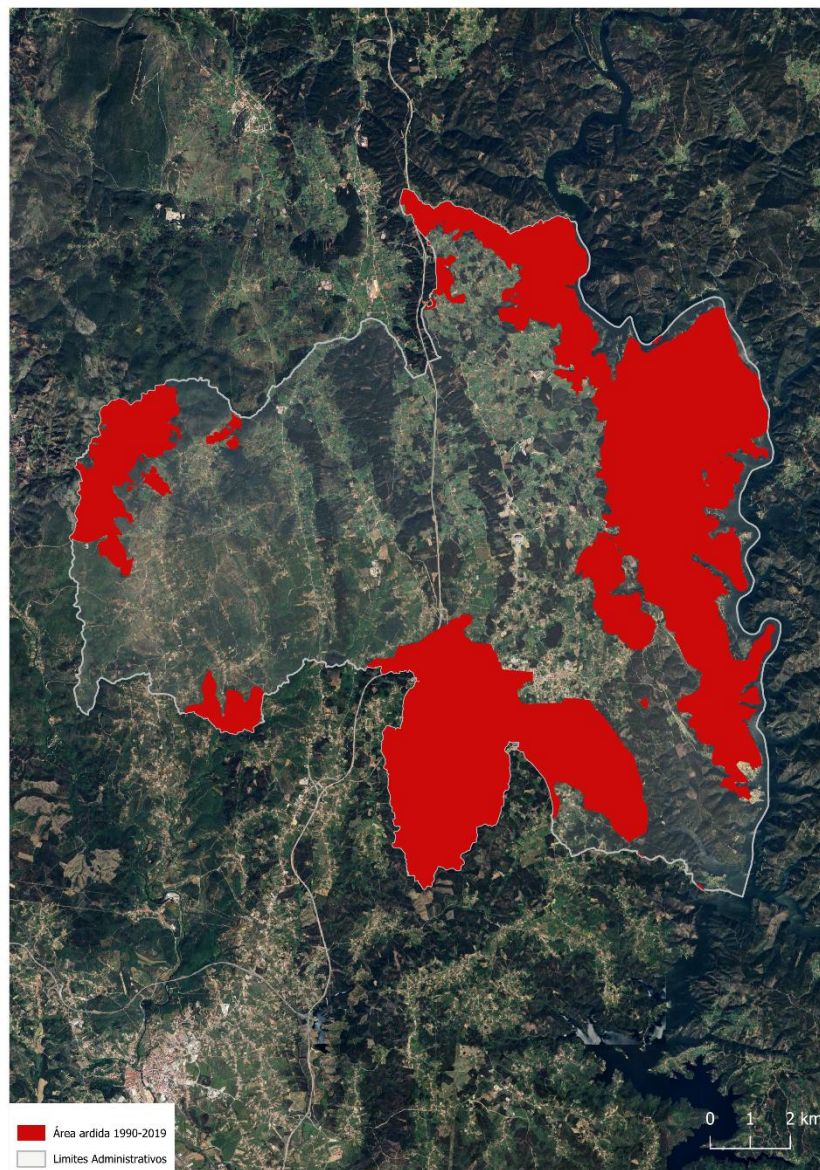


FIGURA 20 - Total de área ardida no município de Ferreira do Zêzere (1990-2019)

No que diz respeito à média de área ardida, a mesma verifica-se de 403,13 hectares, tendo 6 anos registado um valor superior à mesma, sendo o valor mais elevado verificado no ano de 1991, com 4072,04 hectares de área ardida.

### 3.2.2. CARTOGRAFIA DE PERIGOSIDADE ESTRUTURAL

A cartografia de perigosidade revela-se um instrumento fundamental no auxílio à gestão do território, uma vez que permite avaliar a propensão dos diferentes territórios à ocorrência de incêndio, bem como estimar a probabilidade de ocorrências futuras mediante a análise de territórios com características semelhantes (Oliveira et al., 2021). Assim, torna-se uma importante ferramenta de apoio à decisão e gestão, permitindo estabelecer condicionamentos nos territórios mais expostos, ao nível do aumento do valor sujeito a perda, à preparação e aumento de resiliência dos mesmos, e à identificação das áreas prioritárias à redução de carga de combustível (Decreto-Lei n.º 82/2021).

Com a entrada em vigor do Decreto-Lei n.º 82/2021, foi aprovada uma nova metodologia de cálculo da perigosidade estrutural para o território continental. No entanto, alguns municípios viram a sua perigosidade aumentar substancialmente, derivado da adoção de uma nova metodologia e classificação da perigosidade (antes definida por quintis, e atualmente pelas quebras na curva de sucesso), e consequentemente condicionar os mesmos territórios, originando contestação. Como tal, a carta de perigosidade estrutural foi suspensa, mantendo-se nesse período em vigor a carta contemplada nos Planos Municipais de Defesa da Floresta Contra Incêndios (PMDFCI). A intenção é de vigorar novamente a carta de perigosidade estrutural, porém, com alterações efetuadas nas Áreas Prioritárias de Prevenção e Segurança (APPS), correspondentes às classes de perigosidade “alta” e “muito alta”, adaptadas por cada município com base em critérios pré-estabelecidos, e aprovadas em sede de Comissão Sub-Regional de Gestão Integrada de Fogos Rurais, para, posteriormente serem integradas nos planos Sub-Regionais de Ação.

A classificação da perigosidade é obtida por via da conjugação do cálculo da suscetibilidade, que avalia a predisposição de um território a arder, através das suas características físicas, considerando fatores como a topografia e a ocupação do solo, com a probabilidade à ocorrência de incêndios, medida pela recorrência de incêndios, dentro de um intervalo temporal, num determinado território (Oliveira et al., 2021).

Quando são aplicados fatores cujas características se verificam constantes no território a longo prazo, é realizada uma avaliação de forma estrutural. Esta avaliação definida para um longo período temporal permite definir uma estratégia de prevenção para o território, contemplando o planeamento e gestão da ocupação do solo, bem como dos meios e recursos estratégicos na prevenção e combate a incêndios rurais (Oliveira et al., 2021).

Nas figuras, 22, 23 e 24 encontram-se representadas a cartografia de perigosidade estrutural para o município da Sertã, Figueiró dos Vinhos e Ferreira do Zêzere, respetivamente. Analisando a mesma, é possível verificar-se a classificação de grande parte dos territórios dos municípios da Sertã e Figueiró dos Vinhos em perigosidade “alta” e “muito alta”, representando, no caso do município da Sertã, 78,9

% do território classificado, e 93,47 % no caso do município de Figueiró dos Vinhos. Os territórios onde se encontram atribuídas classes de perigosidade mais baixas encontram-se associados a áreas agrícolas e zonas periféricas de territórios artificializados. No que toca ao município de Ferreira do Zêzere, as classes de perigosidade “alta” e “muito alta” abrangem cerca de 46,27 % do território classificado, com uma expressividade de representação bastante idêntica entre elas. Por sua vez, as áreas classificadas nas classes de perigosidade inferiores encontram-se estreitamente associadas a áreas agrícolas e áreas caracterizadas por baixos declives.

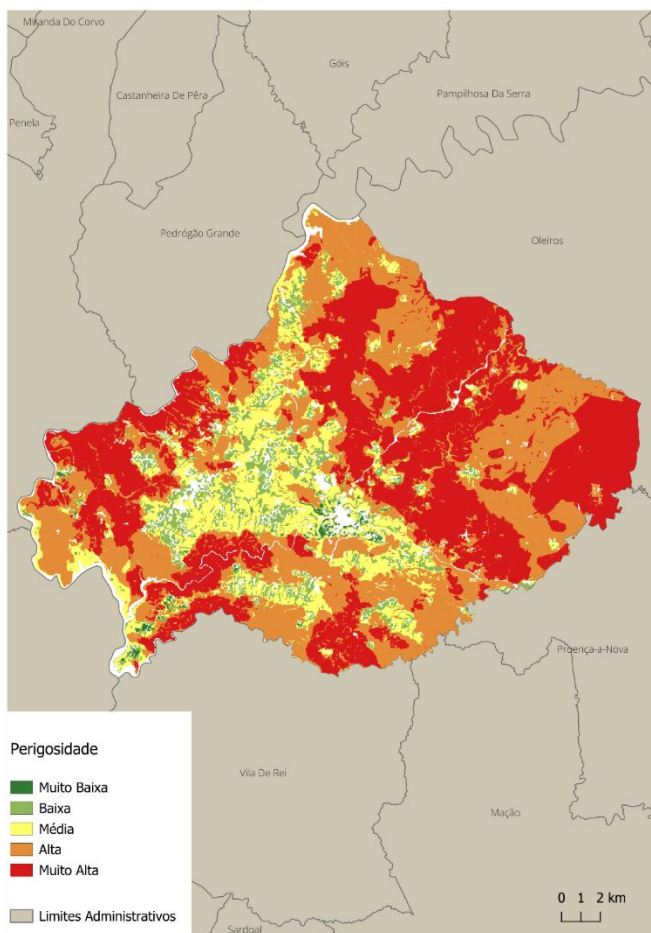


FIGURA 22 - Perigosidade estrutural no município da Sertã (ICNF)

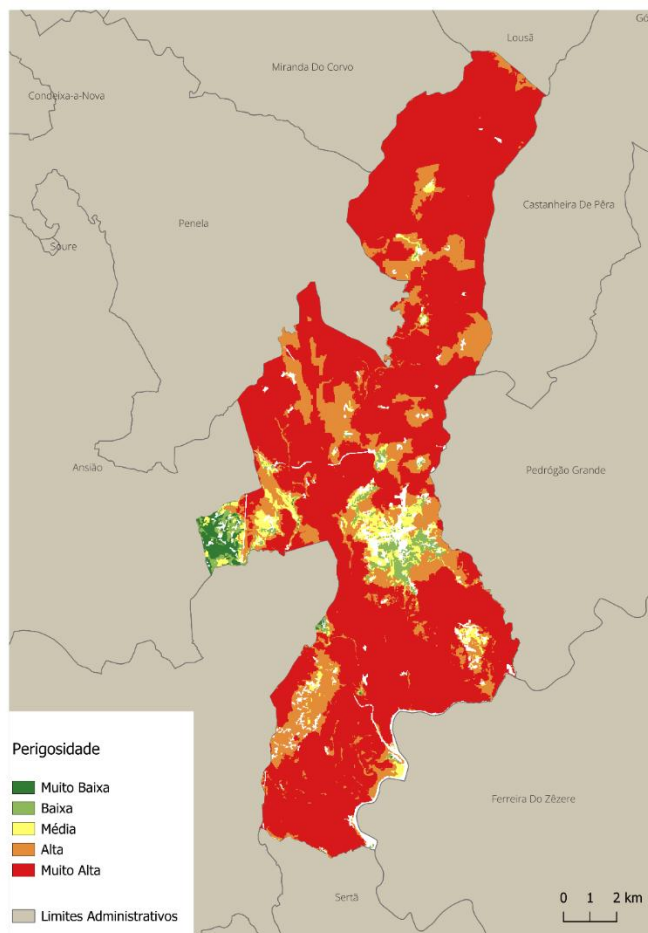


FIGURA 23 - Perigosidade estrutural no município de Figueiró dos Vinhos (ICNF)

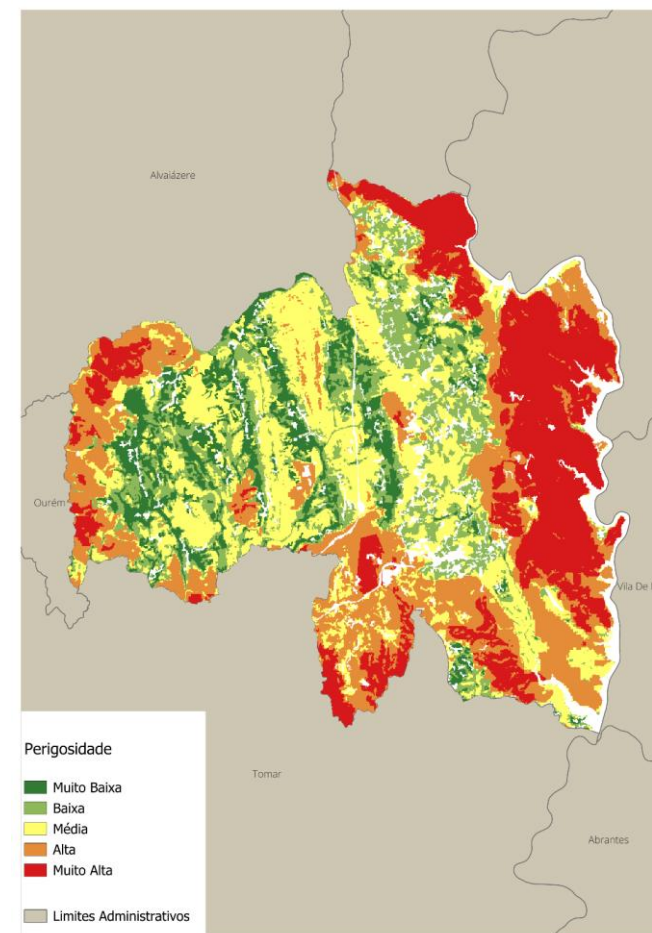


FIGURA 21 - Perigosidade estrutural no município de Ferreira do Zêzere (ICNF)

### 3.3. IMPLEMENTAÇÃO, GESTÃO E MANUTENÇÃO DAS FAIXAS E MOSAICOS

#### 3.3.1 ESTRUTURA DA REDE DE FAIXAS E MOSAICOS DE GESTÃO DE COMBUSTÍVEL

As RFMGC são parte integrante da paisagem dos territórios dos municípios da Sertã, Figueiró dos Vinhos e Ferreira do Zêzere. Porém, apesar do seu planeamento e elaboração se encontrar assente nas orientações estabelecidas pela mesma base legal, a sua estrutura verifica-se bastante díspar entre os municípios.

A entrada em vigor do Decreto-Lei n.º 82/2021 promoveu a reorganização da estrutura inerente à gestão e prevenção dos incêndios rurais, procurando a articulação entre as diversas entidades envolvidas, sob a coordenação da Agência para a Gestão Integrada de Fogos Rurais (AGIF). Como tal, a adaptação à nova legislação requer tempo por parte das diversas entidades, pelo que, atualmente, os trabalhos de adaptação das RFMGC ainda se encontram em elaboração por parte dos grupos de trabalho de cada sub-região.

À luz do Decreto-Lei n.º 124/2006, cada município procedia à elaboração do seu Plano Municipal de Defesa da Floresta contra Incêndios (PMDFCI), no entanto, não obstante a existência de um guia metodológico que procurava uniformizar a informação dos PMDFCI, os resultados na prática verificavam-se dispare, frequentemente fruto da diferença e da falta de informação de base nas quais os planos eram assentes. Desta forma, a informação presente e análises efetuadas nos PMDFCI dificulta a comparação, lado a lado, com as de outros municípios, devido a estas incongruências e falta de uniformização, tornando-se um obstáculo à gestão integrada de territórios.

Deste modo, uma vez que não se encontram publicadas as RFMGC de acordo com a legislação em vigor, foram utilizadas e analisadas as que constam nos PMDFCI de cada município à data dos dados utilizados no desenvolvimento do estudo.

A sua estrutura é composta por Rede Primária, Rede Secundária e Mosaicos de Gestão de Combustível, e assume diferentes dimensões nos três municípios em questão, uma vez que se encontra estreitamente relacionada à quantidade de edificações, aglomerados populacionais e infraestruturas presentes nos territórios. Por sua vez, a instalação de uma rede terciária não foi identificada por nenhum dos municípios (Tabela 5).

TABELA 5 - Estrutura da RFMGC nos 3 municípios

	<b>Município</b>	<b>HA</b>	<b>%</b>
<b>Rede Primária</b>	Sertã	1396,35	11,85
	Figueiró dos Vinhos	576,00	18,60
	Ferreira do Zêzere	0	0
<b>Rede Secundária</b>	Sertã	9689,17	82,24
	Figueiró dos Vinhos	2050,00	66,20
	Ferreira do Zêzere	4990,97	95,03
<b>Rede Terciária</b>	Sertã	0	0
	Figueiró dos Vinhos	0	0
	Ferreira do Zêzere	0	0
<b>Mosaicos de Gestão de Combustível</b>	Sertã	695,93	5,91
	Figueiró dos Vinhos	471,00	15,20
	Ferreira do Zêzere	260,80	4,97

No município da Sertã, a cobertura das RFMGC totaliza cerca de 11781 hectares (117,8 km<sup>2</sup>), perfazendo 26,4 % da área total do município (Figura 24). A maioria desta área encontra-se atribuída à rede secundária (82 %), seguindo-se a rede primária (12 %), e por fim os mosaicos de gestão de combustível (6 %). É a rede viária florestal que compreende uma maior área de cobertura de faixas de gestão (31 %), sucedendo-lhe logo a seguir, com um valor de taxa de cobertura aproximado, as faixas estabelecidas na envolvente dos aglomerados populacionais (28 %) (Anexo 14).

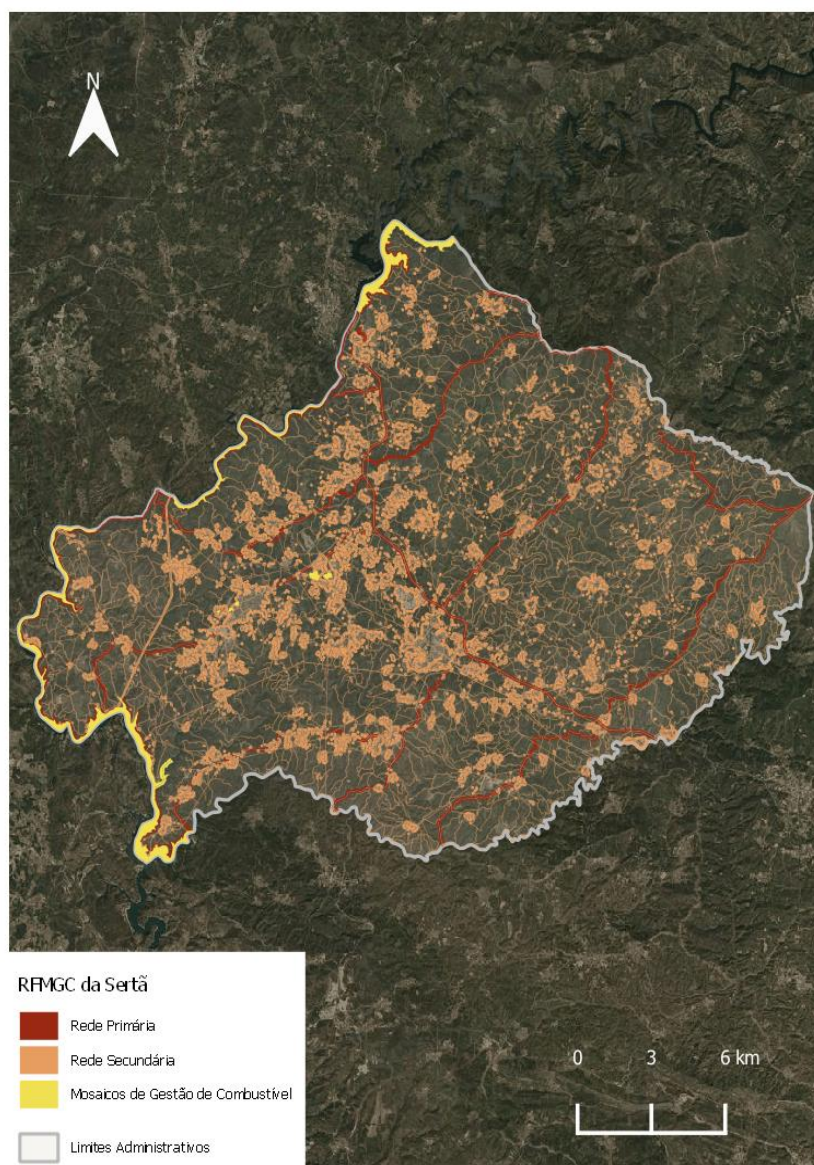


FIGURA 24 - Rede de Faixas e Mosaicos de Gestão de Combustíveis (RFMGC) do município da Sertão

No município de Figueiró dos Vinhos, a RFMGC (PMDFCI 2016-2020) contabiliza uma área total de 3096 hectares (30,96 km<sup>2</sup>), os quais representam 17,85 % da área total do território. A rede secundária é aquela que apresenta uma maior cobertura, correspondendo a mais de metade da área total da RFMGC (66,2 %). Por sua vez, a rede primária equivale a 18,6 % da sua área total, e os mosaicos de gestão de combustível registam uma taxa de cobertura de 15,2 % da mesma.

Comparativamente à informação constante no PMDFCI 2021-2030, a visualização da cartografia da RFMGC deste último, transposta sobre os ortofotomapas, indica a falta de triagem nos dados base utilizados, nomeadamente a utilização dos edifícios na sua globalidade, ao invés da definição de aglomerados populacionais para a definição das FGC na sua envolvente, o que produz áreas de gestão

de combustíveis em espaços dentro do próprio aglomerado. Para além disso, a utilização de todos os edifícios sem a distinção dos aglomerados populacionais da edificação isolada, originou a delimitação de faixas de gestão de 100 metros aplicadas a todas as edificações, sejam elas isoladas ou inseridas em aglomerados, explicando a ausência de valores na categoria de FGC com largura de 50 m, à volta das edificações integradas em espaços rurais (Figura 25).

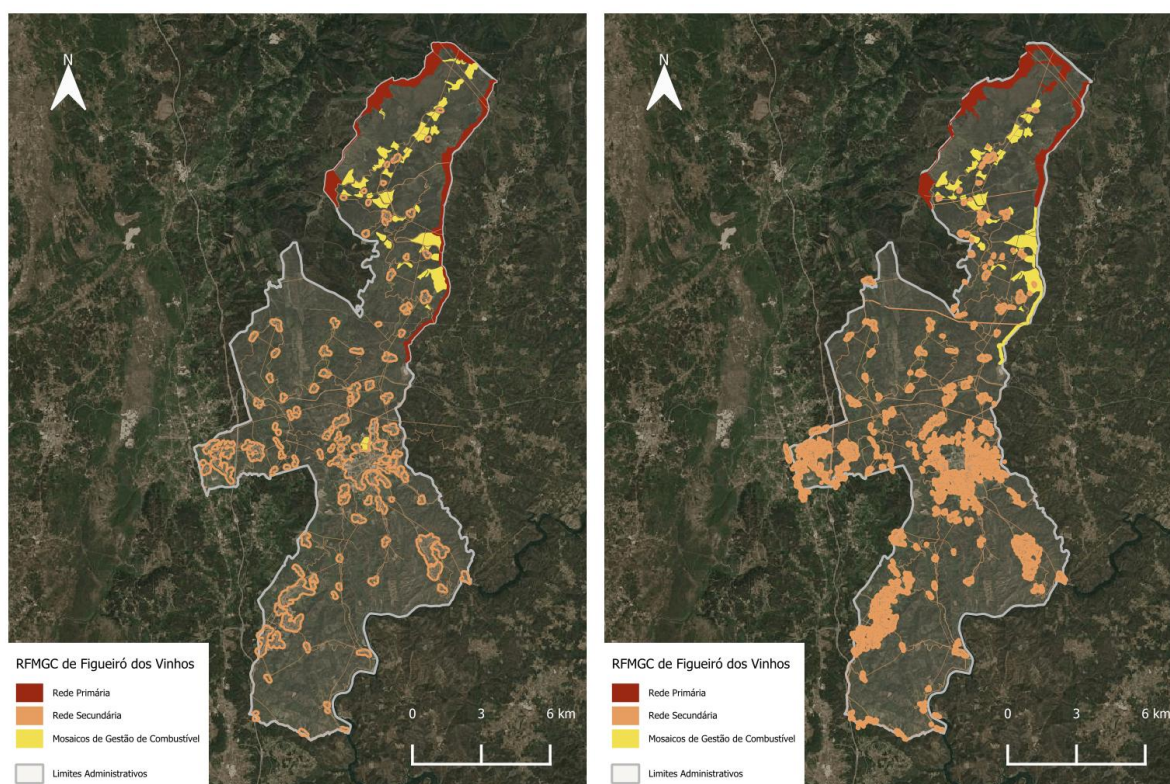


FIGURA 25 - Rede de Faixas e Mosaicos de Gestão de Combustíveis (RFMGC) do município de Figueiró dos Vinhos (à esquerda RFMGC do PMDFCI 2016-2020, e à direita, do PMDFCI 2021-2030)

No que toca ao município de Ferreira do Zêzere, a RFMGC constitui atualmente 10,3 % da sua área total, totalizando 1967,14 hectares (19,67 km<sup>2</sup>). Tal como nos restantes municípios, a rede secundária assume a maior expressividade no território, correspondendo a 95 % da área total da RFMGC, atribuindo-se os restantes 5 % aos mosaicos de gestão de combustível. Relativamente à rede primária, aquando da elaboração do PMDFCI, não foi delineada a sua instalação para o período de vigência do plano. Grande parte das FGC neste município encontram-se atribuídas às áreas envolventes dos aglomerados populacionais, representando 62,29 % da área total da rede secundária (Figura 26 e Anexo 16).

Comparativamente ao PMDFCI 2020-2029, este não possui informação cartográfica relativamente às FGC em torno das edificações integradas em espaços rurais, nem quantifica no plano a sua área efetiva,

fazendo apenas menção às mesmas no capítulo inerente à análise da RFMGC do município, referindo que com a sua integração a RFMGC abrange uma área total de quase 6000 hectares.

No PMDFCI 2013-2017, a RFMGC compreendia a informação cartográfica relativa às FGC à volta das edificações integradas em espaços rurais, no entanto, embora o Decreto-Lei n.º 124/2006 previsse a criação de faixas de 50 metros, o município optou por estabelecer faixas de 100 metros em torno destas edificações.

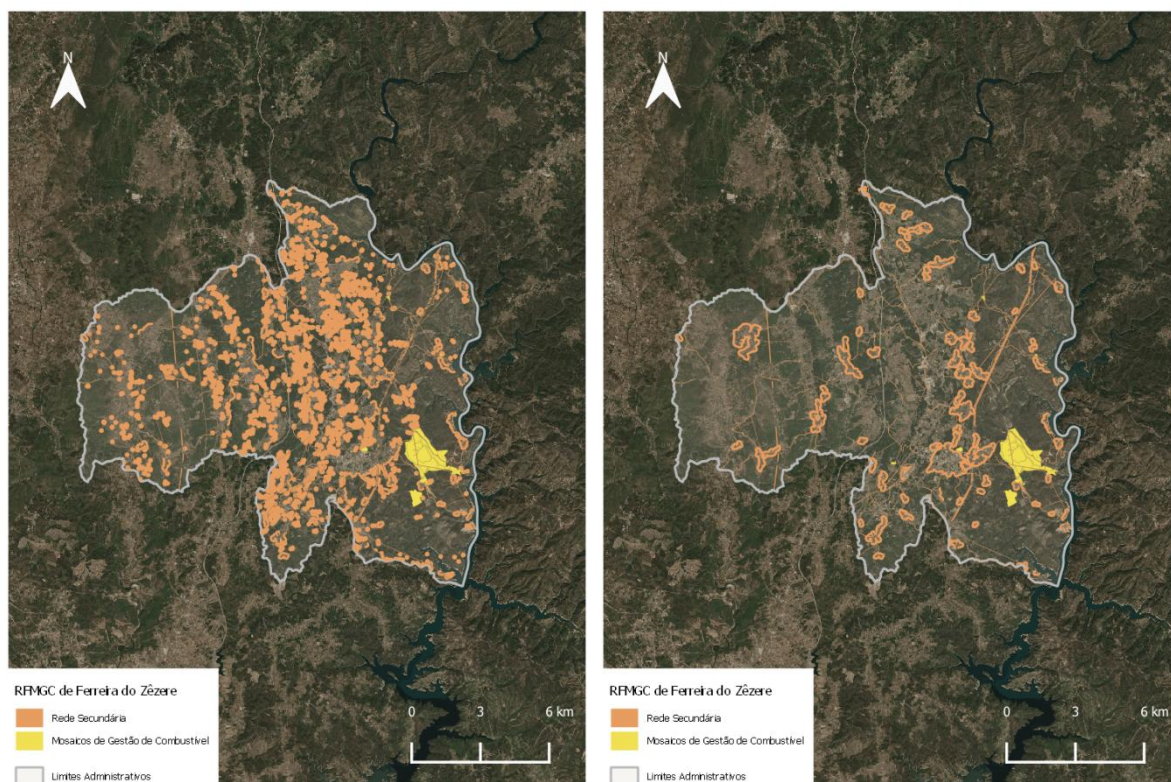


FIGURA 26 - Rede de Faixas e Mosaicos de Gestão de Combustíveis (RFMGC) do município de Ferreira do Zêzere (à esquerda RFMGC do PMDFCI 2013-2017, e à direita do PMDFCI 2020-2029)

### 3. 3. 2. ANÁLISE DA OCUPAÇÃO DO SOLO NAS FGC

A implementação das faixas de gestão de combustível, como caracterizado anteriormente, está inerentemente associada às infraestruturas e edificações presentes no território, bem como a alguns locais estratégicos de relevante interesse para a contenção do fogo.

Como tal, as áreas que nelas integram podem, ou não, ser mais propensas a arder, não tendo necessariamente de ser geridas de igual forma, ou ser geridas de todo. Desta forma, esta secção tem como intuito dar a perceber o tipo de ocupação de solo que as mesmas abrangem, e quantificar a percentagem que recai sobre territórios propensos a arder.

No município da Sertã, mais de metade da RFMGC incide sobre territórios florestais (53,6 %), na sua maioria florestas de pinheiro-bravo (65,86 %) e de eucalipto (24,68 %), estando em grande parte integrados na Rede Secundária (43,9 %) e Rede Primária (9,45 %) do município, e constituindo cerca de 79,6 % da área total da Rede Primária e 53,37 % da área total da Rede Secundária (Figura 27).

A segunda grande classe de ocupação do solo predominante na RFMGC, está associada aos territórios agrícolas, representando 29,78 % da sua área total. A sua maioria encontra-se inserida na Rede Secundária (28,99 %), constituindo cerca de 35,25 % da área da mesma. A sua expressividade deve-se ao facto de, nos territórios rurais, as áreas adjacentes às edificações estarem comumente associadas à prática de atividades agrícolas (Tabela 6).

Por sua vez, os Mosaicos de Gestão de Combustível incidem em grande parte (91,76 %) em massas de água superficiais, nomeadamente nas albufeiras do Cabril, da Bouçã e de Castelo de Bode, integrantes do rio Zêzere, que delimita toda a parte oeste do município.

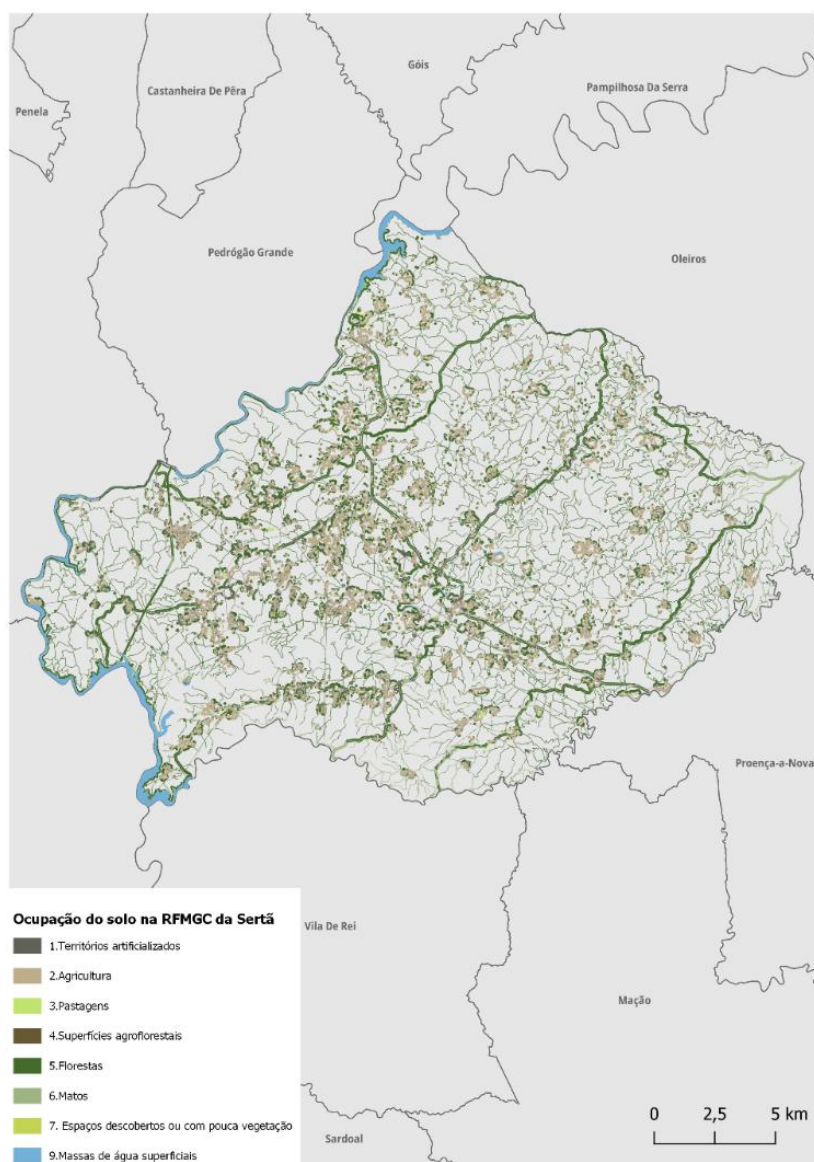


FIGURA 27 - RFMGC do município da Sertão, por tipo de ocupação do solo

No município de Figueiró dos Vinhos, tal como no da Sertão, a floresta verifica-se a ocupação do solo predominante na RFMGC, representando cerca de 63,38 % da sua área, dos quais 39 % na Rede Secundária, 11 % nos Mosaicos de Gestão de Combustível e 5 % na Rede Primária do município, e compreendendo na sua maioria florestas de eucalipto e florestas de pinheiro-bravo (Figura 28 e Anexo 15).

A expressividade dos territórios florestais na RFMGC é notória, principalmente ao nível dos Mosaicos de Gestão de Combustível, uma vez que abrangem 97,2 % da sua área total. Na restante RFMGC, constituem cerca de 58 % da área total da Rede Secundária e 58,4 % da área total da Rede Primária do município (Tabela 6).

Embora mais de metade da área da RPMGC seja abrangida por floresta, a cobertura dos matos, representa um valor bastante expressivo relativamente à área da mesma (41,44 %), o que, somando-os, traduz um grau de incidência de 99,8 % da rede sobre territórios mais propensos a arder.

Face aos valores da RFMGC constantes no PMDFCI 2021-2030, verifica-se que a estrutura da nova RFMGC estabeleceu um aumento na cobertura das classes de ocupação do solo inerentes às florestas (27 %), agricultura (84 %) e territórios artificializados (222 %), podendo o aumento das duas últimas ser explicado pela delimitação das FGC em torno de todas as edificações, ao invés da sua delimitação na envolvente dos aglomerados populacionais, que excluiria grande parte dos territórios artificializados que se encontram abrangidos.

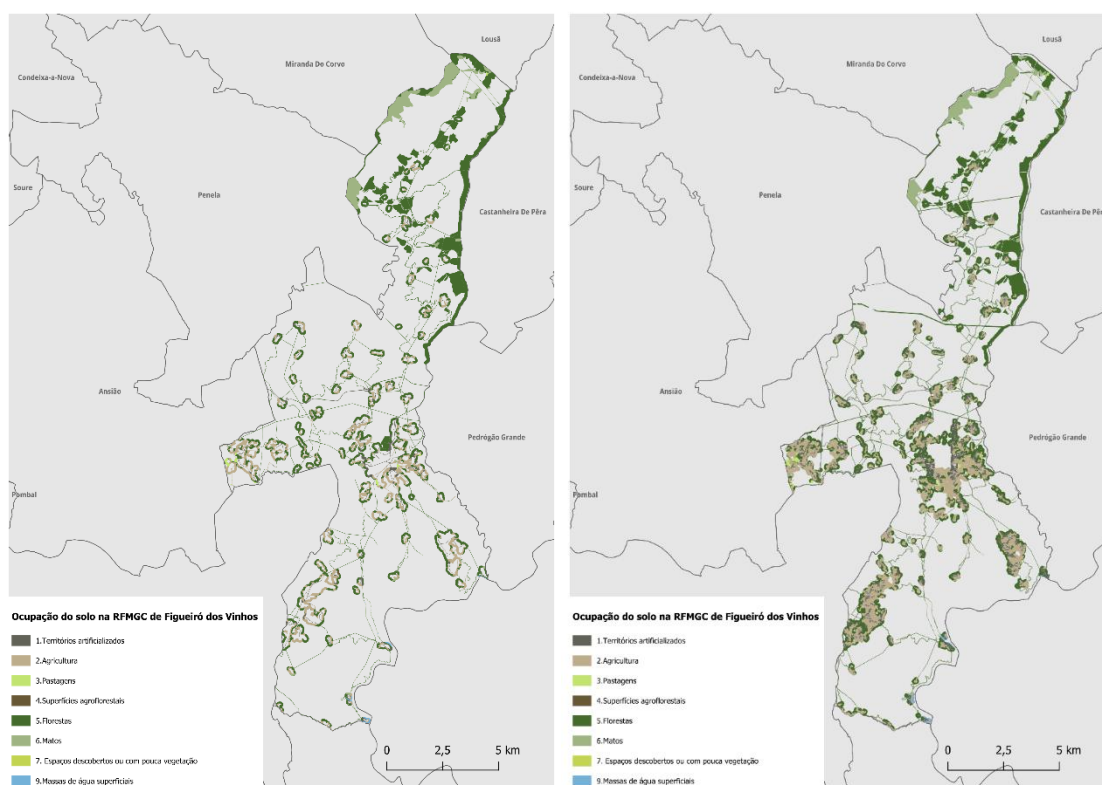


FIGURA 28 - RFMGC do município de Figueiró dos Vinhos, por tipo de ocupação do solo (à esquerda RFMGC do PMDFCI 2016-2020, e à direita, do PMDFCI 2021-2030)

No que toca ao município de Ferreira do Zêzere, a RFMGC encontra-se igualmente implementada predominantemente sobre territórios florestais, correspondendo a 47,9 % da sua área total, em que, desta área, 43,15 % recai sobre a Rede Secundária, e 4,64 % sobre os Mosaicos de Gestão de Combustível (Figura 29).

Tal como no município de Figueiró dos Vinhos, os Mosaicos de Gestão de Combustível foram estrategicamente projetados em áreas florestais, representando 93,49 % da sua área total. Já na RSFGC,

a floresta não atinge um nível tão elevado de expressividade no território, mas o mesmo é considerável, uma vez que esta incide em mais de metade da sua área total (43,2 %).

Por sua vez, a agricultura revela-se como a segunda maior classe de ocupação do solo, tanto no todo da RFMGC, representando 40,5 % da sua área total, como na RSFGC, onde a mesma compreende um valor bastante semelhante, de 42,6 %. O valor não é surpreendente, dada a quantidade de territórios associados à prática de atividades agrícolas, e ao facto de os mesmos se estabelecerem nas proximidades das populações (Tabela 6).

Comparativamente às estatísticas da RFMGC constante no PMDFCI 2020-2029, todas as classes de ocupação do solo viram a sua representatividade no território a diminuir, com exceção das florestas, que passaram a integrar uma maior percentagem de área.

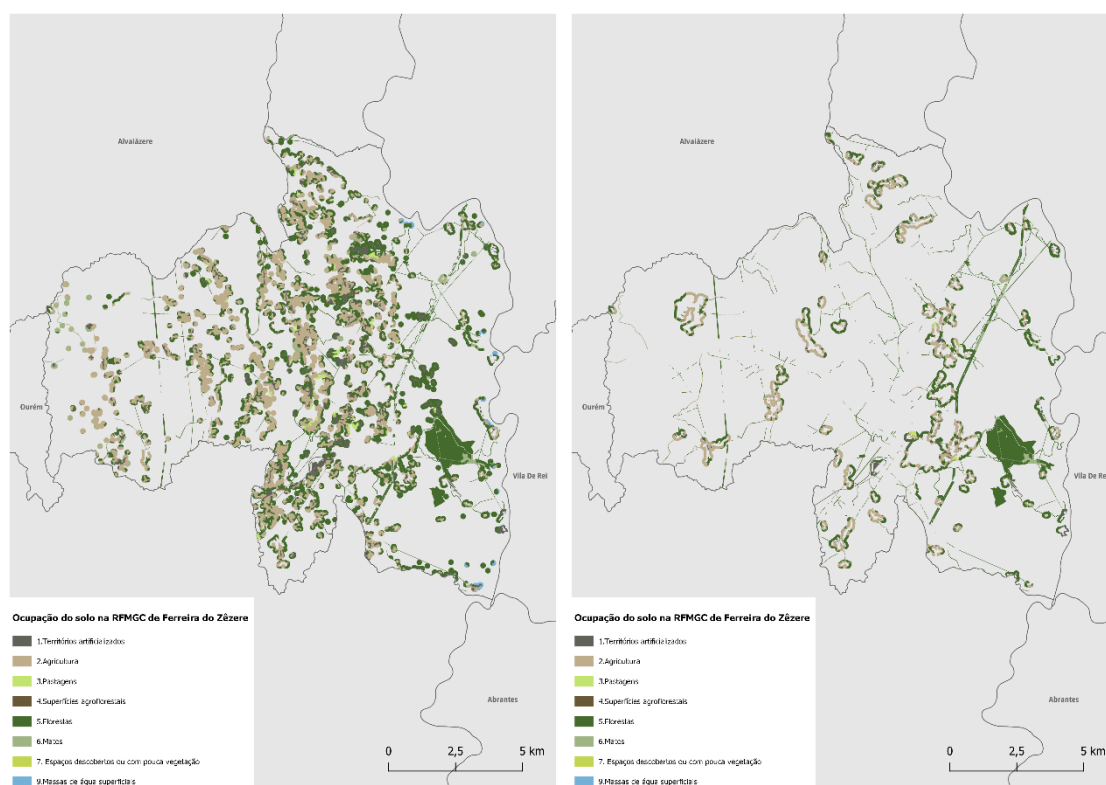


FIGURA 29 - RFMGC do município de Ferreira do Zêzere, por tipo de ocupação do solo (à esquerda RFMGC do PMDFCI 2013-2017, e à direita do PMDFCI 2020-2029)

TABELA 6 - Percentagem de ocupação de cada classe de uso do solo por categoria de RFMGC

	Sertã				Figueiró dos Vinhos				Ferreira do Zêzere			
	RPFGC	RSFGC	MOSAICOS	TOTAL RFMGC %	RPFGC	RSFGC	MOSAICOS	TOTAL RFMGC %	RSFGC	MOSAICOS	TOTAL RFMGC %	
<b>Territórios Artificializados</b>	3,66	6,88	0,14	<b>6,1</b>	-	6,34	0,25	<b>4,21</b>	7,4	0,19	<b>7,1</b>	
<b>Agricultura</b>	5,02	35,25	3,32	<b>29,78</b>	0,07	32,22	0,08	<b>21,19</b>	42,6	0,19	<b>40,5</b>	
<b>Pastagens</b>	0,22	0,52	-	<b>0,45</b>	0,09	0,71	0,17	<b>0,51</b>	1,4	-	<b>1,3</b>	
<b>Superfícies Agroflorestais</b>	-	0,02	-	<b>0,02</b>	-	0,09	-	<b>0,06</b>	0,1	-	<b>0,1</b>	
<b>Florestas</b>	79,63	53,37	4,34	<b>53,6</b>	58,4	58,06	92,17	<b>63,38</b>	45,5	93,49	<b>47,9</b>	
<b>Matos</b>	9,04	3,62	0,14	<b>4,06</b>	41,44	2,05	7,32	<b>10,31</b>	2,4	6,13	<b>2,6</b>	
<b>Espaços descobertos ou com pouca vegetação</b>	0,07	-	0,29	<b>0,03</b>	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Massas de água superficiais</b>	2,37	0,34	91,76	<b>5,96</b>	-	0,52	-	<b>0,34</b>	0,6	-	<b>0,6</b>	

## CAPÍTULO 4. MONITORIZAÇÃO DAS FAIXAS E MOSAICOS DE GESTÃO DE COMBUSTÍVEL

Para que as RFMGC exerçam ação na propagação do fogo, é fundamental a intervenção e gestão dos combustíveis nestas áreas. A remoção da carga de combustível é feita principalmente por via de intervenções mecânicas, e, de forma menos recorrente, através de fogo controlado, ou de ações de pastoreio (Aubard et al., 2020). As intervenções podem ser realizadas até data definida pelo governo a cada ano, por norma antes do início da principal época de incêndios, sendo que a sua não realização encontra-se sujeita a coimas.

Diversas entidades têm a cargo a responsabilidade de manutenção das FGC, e todos os anos planeiam ações para a redução do seu combustível. Devido aos elevados custos associados, as entidades públicas muitas vezes optam por apenas intervencionar anualmente parte das faixas de gestão de combustível a seu cargo, e ir alternando as intervenções em ciclos de 2 a 5 anos.

Para instituições, como ICNF, ou a Proteção Civil, esta estratégia dificulta o planeamento de ações de emergência, e a avaliação e adoção de políticas, uma vez que desconhecem as datas e locais onde o tratamento de combustíveis foi efetuado (Aubard et al., 2020).

Neste sentido, as tecnologias de informação geográfica, nomeadamente o processamento de imagens derivadas de deteção remota, poderão desempenhar um papel preponderante no auxílio a este processo de monitorização.

### 4.1. CONCEITOS E TRABALHOS RELACIONADOS

#### **DETEÇÃO REMOTA**

A deteção remota assenta na obtenção de informação acerca de um objeto sem contacto físico com o mesmo (Elachi et al., 2021). Este processo contempla a recolha, processamento, e interpretação das imagens e respetivos dados nelas compreendidos, que são recolhidos tipicamente através de aeronaves e satélites com sistemas de sensores que, digitalmente, detetam a interação estabelecida entre a energia eletromagnética e o objeto (Sabins et al., 2020). Esta interação é determinada pelas propriedades físicas do objeto e das propriedades físicas da radiação eletromagnética, que é detetada remotamente (Sabins et al., 2020). Isto pode abranger um campo eletromagnético emitido, ou refletido pelo objeto, ondas acústicas refletidas ou perturbadas pelo objeto, ou perturbações da gravidade circundante, ou do potencial campo magnético, devido à presença do objeto (Elachi et al., 2021 – 2021).

Os satélites em órbita da Terra fornecem informações sobre padrões globais e possuem uma capacidade de cobertura rápida e ampla, o que permite a observação de fenômenos em constante mudança. Estes atributos possibilitam, num período temporal de longa duração, a observação de mudanças sazonais, anuais e de longo prazo (Elachi et al., 2021).

As imagens por eles recolhidas são interpretadas e transformadas em informação, tornando-se assim ferramentas fundamentais para um grande espectro de aplicações, como por exemplo, a monitorização do uso e ocupação do solo, de desastres, ou de mudanças climáticas (Phiri et al., 2020).

## **SENTINEL-2**

No âmbito do Programa *Copernicus*, criado pela União Europeia em colaboração com a Agência Espacial Europeia, foram desenvolvidos satélites multiespectrais Sentinel-2, com o intuito de fornecer imagens multiespectrais de alta resolução, obtidas sistematicamente, de forma a monitorizar a superfície da Terra (Phiri et al., 2020; Frampton et al., 2013). Estes satélites integram instrumentos de imagem multiespectral a bordo, que recolhem dados à medida que percorrem a sua órbita, síncrona em relação ao Sol (ESA, 2015). A luz refletida pela superfície e atmosfera da Terra é captada, dividida e focada em dois conjuntos de plano focal: um para bandas visíveis e de infravermelho próximo (VNIR), que integram comprimentos de onda 400-1100 nm, e outro para bandas de infravermelho de ondas curtas (SWIR), que contemplam comprimentos de onda 1.4–3  $\mu\text{m}$  (ESA, 2015; Frampton et al., 2013; Misra et al., 2020).

As imagens multiespectrais do Sentinel-2, contêm uma combinação de 13 bandas, que possuem resoluções espaciais de 10 m, 20 m e 60 m, sendo que, as bandas mais relevantes na análise da vegetação apresentam resoluções de 10 m e 20 m (Frampton et al., 2013).

As imagens captadas pelo Sentinel-2 são ferramentas extremamente úteis e com enormes potencialidades no estudo da vegetação, uma vez que são de acesso aberto, e compreendem uma série de características como a sua alta resolução espacial (10-20 m), a sua ampla cobertura da superfície da Terra (largura de faixa de 290 km), a sua alta resolução temporal (tempo de revisita do mesmo local no mínimo de 5 dias), para além da capacidade multiespectral, ao integrar uma gama de 13 bandas espectrais, das quais 3 bandas *red-edge* e 2 de infravermelho próximo, fundamentais quando aplicadas à deteção de vegetação (Misra et al., 2020; Immitzer et al., 2016; Phiri et al., 2020).

## ÍNDICES DE VEGETAÇÃO – NDVI (*NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX*)

As imagens multiespectrais são utilizadas para obter informações da vegetação na superfície terrestre, através das assinaturas de refletância espectral associadas a diferentes tipos e estados do coberto vegetal. Isto permite a recolha de dados relativos a parâmetros biofísicos da vegetação, determinados pelas suas características químicas e morfológicas (Pôças et al., 2020; Huete 2012; Xue & Su, 2017).

Neste sentido, foram desenvolvidas e adotadas diversas técnicas, entre as quais a aplicação de índices de vegetação, como ferramentas na obtenção de dados dos parâmetros biofísicos da vegetação. Estes índices integram algoritmos simples, que utilizam um determinado número de bandas com a finalidade de acentuar as características espectrais de um determinado elemento, como pigmentos da planta, água e outros compostos, permitindo assim, realizar avaliações quantitativas e qualitativas da vegetação (Xue & Su, 2017; Pôças et al., 2020; Huang et al., 2021; Huete, 2012).

O NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) é o índice de vegetação mais utilizado nos estudos de deteção remota aplicados à análise da vegetação (Huang et al., 2021). Este índice avalia a presença de atividade fotossintética, estabelecida pela absorção, por parte das folhas da planta, de radiação de comprimentos de onda na banda espectral do vermelho e reflexão no infravermelho próximo (Piragnolo et al., 2018; GiuseppeFigliomeni, & Parente, 2021).

Este índice é particularmente apelativo, uma vez que é relativamente simples de calcular, capaz de identificar rapidamente a vegetação, bem como de processar dados de satélite de alta resolução (Savchenko et al., 2020). O seu espectro de potencialidades é bastante vasto, quando correlacionado com dados recolhidos de variáveis biofísicas da vegetação, podendo ser aplicado, por exemplo, para diferenciar vários tipos de cobertura vegetal, florestas perenifólias de florestas caducifólias, propriedades da vegetação, concentração de clorofila nas folhas, quantidade de biomassa presente na vegetação, produtividade da planta, entre outras aplicações (Huang et al., 2021).

O NDVI consiste então na razão normalizada entre a banda do vermelho, ou visível (RED) (comprimento de onda: 664,6 nm) e no infravermelho próximo (NIR) (comprimento de onda: 832,8 nm), sendo calculado através da seguinte fórmula:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Os resultados variam entre os valores -1 e 1, onde, quanto mais elevados e próximos de 1, mais densa e saudável é a vegetação (uma planta com um maior teor de clorofila tende a ter maiores níveis de

refletância no espectro do infravermelho próximo (GiuseppeFigliomeni, & Parente, 2021). Por sua vez, valores negativos estão associados a corpos de água, nuvens e neve, e valores próximos a 0 à ausência de vegetação ou áreas de construção (Huang et al., 2021; Piragnolo et al., 2018).

Assim, a partir da leitura destes valores, é possível estabelecer uma classificação dos objetos orgânicos e não orgânicos, bem como determinar a densidade de vegetação presente na superfície (Savchenko et al., 2020).

## **ESTUDOS DE MONITORIZAÇÃO DE FAIXAS DE GESTÃO DE COMBUSTÍVEL**

Dada a dimensão que as RFMGC podem assumir, compreendendo milhares de hectares, o processo de monitorização por fotointerpretação verifica-se moroso e dispendioso. Neste sentido, o desenvolvimento de metodologias semi-automáticas e automáticas capazes de monitorizar automaticamente estas áreas revela-se fundamental para a identificação das áreas que necessitam de intervenção (Afonso et al., 2020).

Ao longo dos últimos anos, a maior disponibilidade de dados provenientes de satélites tem promovido o surgimento de diferentes metodologias para a monitorização da vegetação baseadas em deteção remota (Pereira-Pires et al., 2021).

Existem alguns estudos dedicados à monitorização das RFMGC, no entanto esta é uma matéria que apenas começou a ser recentemente explorada.

Aubard *et al.* (2020), desenvolveram um sistema de monitorização das FGC, que permite detetar onde, e quando, os tratamentos de combustível foram realizados, de forma automática, através de dados de deteção remota.

Os autores utilizaram cinco troços de rede primária, localizados de norte a sul de Portugal, e integraram imagens multiespectrais do satélite Sentinel-2, e dois índices de vegetação: NDVI e *Modified Excess of Green* (MExG), com o intuito de detetar diminuições repentinas na cobertura da vegetação.

Foram posteriormente aplicados dois algoritmos, um tendo por base uma classificação supervisionada, utilizando diferenças mensais na composição das imagens, e outro baseado na deteção de diferenças estatísticas significativas, ao longo das séries temporais dos dados de satélite analisados.

Os resultados demonstraram um bom desempenho de ambos os algoritmos, sendo referidas algumas limitações dos métodos utilizados. O primeiro requer polígonos de amostras confiáveis, enquanto o segundo, apesar de ser totalmente automático, requer mais recursos de processamento, o que pode ser facilitado pelo uso da plataforma *Google Earth Engine*.

Por sua vez, Pereira-Pires et al., (2020), seguindo o mesmo propósito, desenvolveram duas metodologias que permitem a identificação de áreas onde os combustíveis foram intervencionados, e da altura do ano em que as intervenções tiveram lugar. Para isso foram utilizadas imagens multiespectrais do Sentinel-2 e aplicados os índices de vegetação NDVI, MExG e *Excess of Red* (ExR).

As metodologias apresentadas seguem duas abordagens, uma baseada na classificação de imagens tendo em conta polígonos de amostragem de áreas geridas, e outra baseada nas diferenças espectrais estabelecidas ao nível dos pixéis.

Ambas as metodologias são semi-automáticas e encontram-se sujeitas a supervisão. Estes algoritmos correlacionam erros de geolocalização entre as áreas/imagens de referência introduzidas no algoritmo e as composições mensais da série temporal, identificando onde se deu a deslocação ao nível do pixel.

Já Afonso et al. (2020) propuseram uma metodologia assente na combinação de dados extraídos de imagens de satélite multiespectrais e índices de vegetação, processados por algoritmos de *machine-learning* (algoritmos de *machine-learning* têm a capacidade de aplicar automaticamente cálculos matemáticos complexos, repetitivamente e cada vez mais rápido), com o intuito de detetar onde ocorreram intervenções, e quando, através da comparação da vegetação dentro das FGC com a vegetação nas áreas adjacentes às mesmas (por via de buffers), de forma a identificar variações.

Os autores utilizaram dados de satélite do Sentinel-1 e Sentinel-2, combinados com os índices de vegetação NDVI, *Soil-Adjusted Vegetation Index* (SAVI), *Simple Ratio* (SR), *Inverted Red-Edge Chlorophyll Index* (IRECI) e *Normalized Difference Water Index* (NDWI), aos quais aplicaram os seguintes algoritmos de *machine-learning*: *Support vector machine* (SVM), *Random Forest* (RF), *Extreme Gradient Boosting* (XGBoost) e *K-nearest neighbors* (KNN).

Assim foram testados neste estudo diferentes conjuntos de dados multiespectrais, aplicados a diferentes janelas temporais (uma data específica *versus* série temporal) e diferentes algoritmos de classificação, de forma a avaliar o seu desempenho na identificação das áreas onde se procedeu ao tratamento do combustível.

Numa ótica diferente, Pereira-Pires et al. (2021) estabeleceram uma metodologia para estimar quando é que uma FGC necessita de intervenção. A partir da aplicação do NDVI a uma série temporal mensal de imagens multiespectrais obtidas do Sentinel-2, compreendida entre 2015 e 2020, os autores estimaram o estado de intervenção das FGC, através da comparação entre a carga de combustíveis pós-tratamento da vegetação e pré-tratamento da vegetação, e, a partir daí avaliaram o tempo de crescimento da vegetação até necessitar de ser intervencionada.

## 4.2. MÉTODOS

Foi testada neste trabalho a possibilidade de utilizar imagens de satélite de acesso aberto para monitorizar a implementação e estado das faixas, no que concerne à gestão da vegetação existente, através da aplicação de um índice de vegetação (NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index*).

### RECOLHA E TRATAMENTO DE DADOS

Numa primeira fase foram criados polígonos de amostragem de áreas geridas/não geridas, tendo para tal sido utilizada como cartografia de base a informação vetorial das RFMGC previstas para cada município (Sertã PMDFCI 2015-2020, Figueiró dos Vinhos PMDFCI 2016-2020 e Ferreira do Zêzere PMDFCI 2013-2017), disponível na base de dados de planos municipais de defesa da floresta contra incêndios (PMDFCI), do Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF). Foi também utilizada a cartografia de uso e ocupação do Solo (COS2018) e ortofotomapas (2018; resolução 25 cm), estes últimos obtidos através da Direção-Geral do Território (DGT).

Neste estudo foi adotada uma abordagem de análise estática, tendo sido considerado para o efeito a utilização de informação de dados de satélite relativos a uma data. Como tal, foi selecionada uma imagem multiespectral do satélite Sentinel-2 (resolução 10 m), obtida através do site da Agência Espacial Europeia, para agosto de 2018, período que pressupõe que a gestão dos combustíveis se encontre efetuada, de acordo com os prazos legais estabelecidos para a realização destas ações, que se fixam antes do início da época crítica de incêndios.

Para o cálculo do NDVI, foram utilizadas as bandas espectrais 4 e 8, tendo todo o processamento sido desenvolvido em ambiente SIG, nomeadamente através do programa *Open Source QGIS*.

### MÉTODOS

Para determinar a gestão da vegetação dentro das RFMGC, e conseqüentemente a sua implementação, utilizou-se o município da Sertã como área de teste para a formulação de uma metodologia aplicável a este e outros municípios em estudo.

Como tal, procedeu-se ao levantamento detalhado da densidade e tipo de vegetação existente, pelas categorias de ocupação do solo mais suscetíveis a arder (Florestas e Matos), a partir de fotografia aérea (DGT, 25cm), delimitando-se assim amostras de áreas geridas e não geridas, distinguíveis pelas

intervenções visíveis na vegetação, face às áreas onde a intervenção se verifica nula, pois a densidade de vegetação é maior.

A amostragem consistiu inicialmente na delimitação de 3909 polígonos, dos quais 257 correspondentes a áreas limpas (33 hectares) e 3652 a áreas não limpas (1415 hectares), totalizando uma área de 1447 hectares (Figura 31). No entanto, após análise dos primeiros resultados, optou-se pela redução da área de amostra das áreas não geridas para 39 hectares, com o intuito de comparar dois conjuntos de amostras com áreas semelhantes.

A delimitação dos polígonos de amostra de áreas geridas foi particularmente desafiante, uma vez que a mesma incidia na recolha de amostras de todos os tipos de ocupação do solo compreendidos nas classes de Florestas e Matos, que, por norma, são áreas que não costumam ser alvo de grandes intervenções ao nível do combustível, e, quando o são, as mesmas verificam-se maioritariamente ao nível do estrato arbustivo e não arbóreo, o que não é detetável por via de fotointerpretação. Deste modo, a área total da amostragem foi condicionada pela sua falta de representatividade no território.

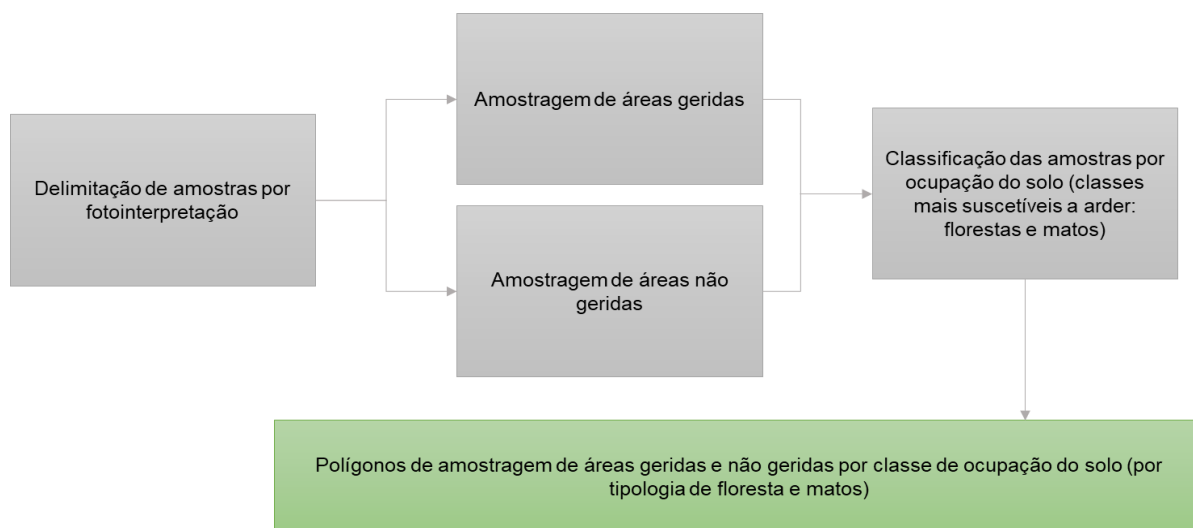


FIGURA 30 - Delimitação de polígonos de amostras de áreas geridas e não geridas, por tipo de ocupação do solo



FIGURA 31 - Delimitação das amostras de áreas geridas (verde) e não geridas (vermelho) nas classes de ocupação do solo florestas e matos

Posto isto, procedeu-se ao cálculo do NDVI para os polígonos de amostra (áreas geridas e não geridas), por tipo de uso e ocupação do solo.

Os valores de NDVI obtidos por cada classe de ocupação do solo e gestão/não gestão, permitem diferenciar níveis de densidade de vegetação distintos, que indicam o estado de intervenção e gestão de faixas. Estes valores variam entre -1 e 1, sendo que quanto mais baixo o valor do pixel, menor a densidade de vegetação, e vice-versa.

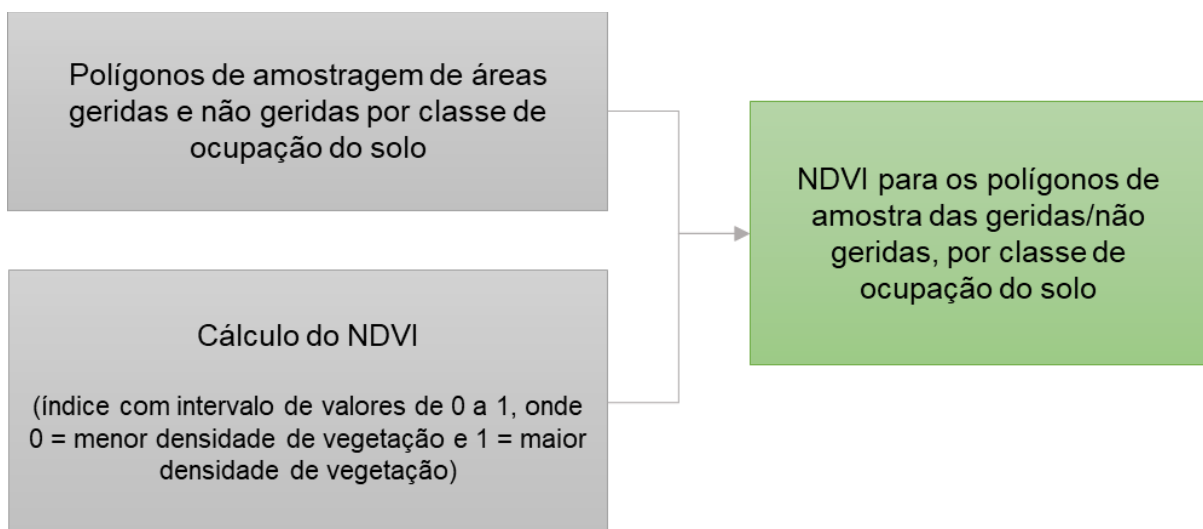


FIGURA 32 - Metodologia para a criação de polígonos de amostra das áreas geridas e não geridas

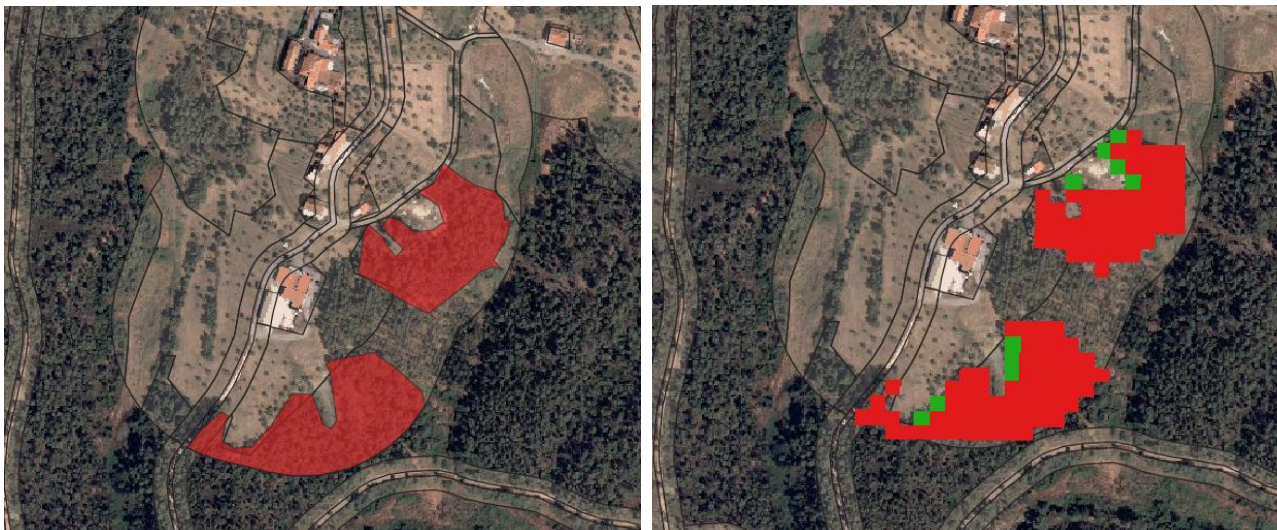


FIGURA 33 - Polígonos de amostra de área não gerida (floresta de pinheiro-bravo) em relação a resultados da classificação dos pixels das áreas de amostra quando aplicado o valor limiar de NDVI de 0,5

A partir deste procedimento, decidiu-se estabelecer diversos valores limiares de NDVI, consoante o tipo de uso e ocupação do solo, com o intuito de distinguir as áreas geridas das não geridas.

Estes valores serviram para a classificação das células das áreas de amostra. Todos aqueles que eram classificados abaixo do limiar, eram considerados como áreas geridas, e os que ficassem acima deste, como áreas não geridas.

Para tal, foram apuradas as áreas e respetiva percentagem dos polígonos de amostragem, tanto das áreas geridas, como das não geridas, para cada tipo de uso e ocupação do solo (alguns destes foram agregados, devido à sua falta de expressão no território). O cálculo destes dois parâmetros serviu como termo de comparação, para avaliar o desempenho da classificação dos diversos valores limiares testados, quando aplicados ao NDVI para essas mesmas áreas de amostra (Figura 34).

Começou-se por testar como primeiro limiar a média dos valores de NDVI para cada tipo de uso e ocupação do solo, de forma a avaliar o seu desempenho, e a partir daí ajustar os valores limiares de NDVI, até obter o que apresenta desempenho mais ajustado às condições no terreno.

Aplicando os valores que verificaram a melhor taxa de acerto (Tabela 7), para o NDVI extraído para cada classe de uso e ocupação do solo, nas RFMGC dos restantes municípios, obteve-se o resultado, com a classificação das áreas geridas e não geridas, para todo o universo das RFMGC.

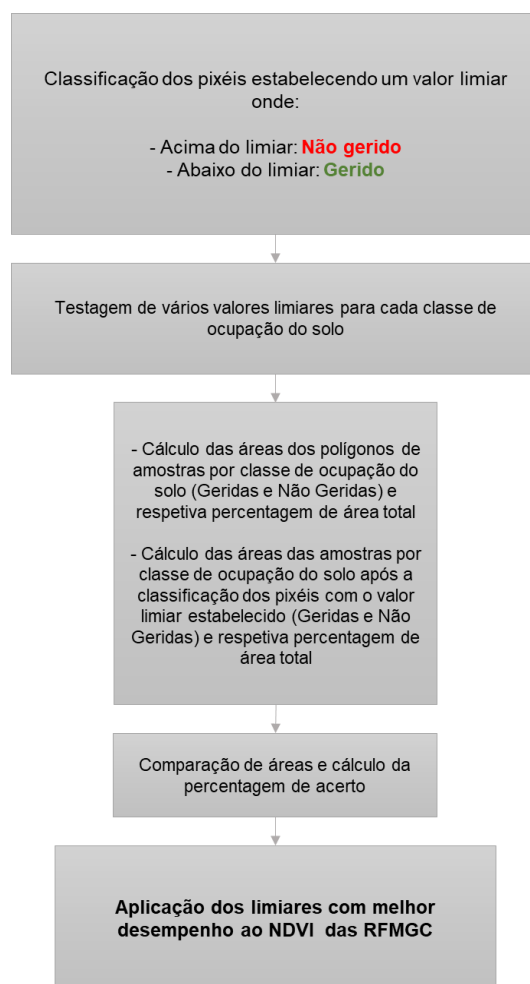


FIGURA 34 - Metodologia desenvolvida para a monitorização das faixas e mosaicos de gestão de combustível

TABELA 7 - Valores limiares com a melhor taxa de acerto para cada classe de uso do solo

Classe de Uso do Solo	Valor Limiar	Taxa de Acerto
Florestas de Pinheiro-bravo	0.5	93 %
Florestas de Sobreiro	0.5	95 %
Florestas de Eucalipto	0.4	87 %
Florestas de Espécies Invasoras	0.4	96 %
Matos	0.4	95 %
Florestas de Castanheiros e Outras Folhosas	0.5	91 %
Florestas de Pinheiro Manso e Outras Resinosas	0.4	99 %

Foram ainda assinalados um conjunto de locais, classificados pelo modelo como áreas geridas e não geridas, distribuídos pelas várias tipologias de RFMGC nos vários municípios (Figura 35), com o intuito de perceber o desempenho, observando os locais, e identificando possíveis tipos de constrangimentos no tipo de classificação atribuído aos territórios.



FIGURA 35 - Faixa correspondente à projeção vertical dos cabos condutores exteriores das linhas de transporte e distribuição de energia elétrica em média tensão, na RFMGC do município de Ferreira do Zêzere

### 4.3. RESULTADOS

O modelo permite desta forma facilitar o processo de monitorização das RFMGC ao fornecer uma metodologia cuja aplicação pode ser feita a diversas escalas espaciais, a partir de uma abordagem remota, evidenciando as áreas que necessitam de intervenção à data da imagem selecionada para o efeito (Figura 31). O seu desempenho foi avaliado através do cálculo da média das taxas de acerto das amostras, para cada tipo de uso e ocupação do solo, traduzindo um valor médio de acerto de 94 %.

Os melhores desempenhos registados verificaram-se nas classes de uso do solo das “Florestas de Pinheiro Manso e Outras Resinosas”, com uma taxa de acerto de 99 %, e nas “Florestas de Espécies Invasoras”, com 96 % respetivamente. Com um desempenho ainda acima de 90 %, constataram-se as classes das “Florestas de Sobreiro”, dos “Matos” (ambas com 95 %), das “Florestas de Pinheiro-bravo”

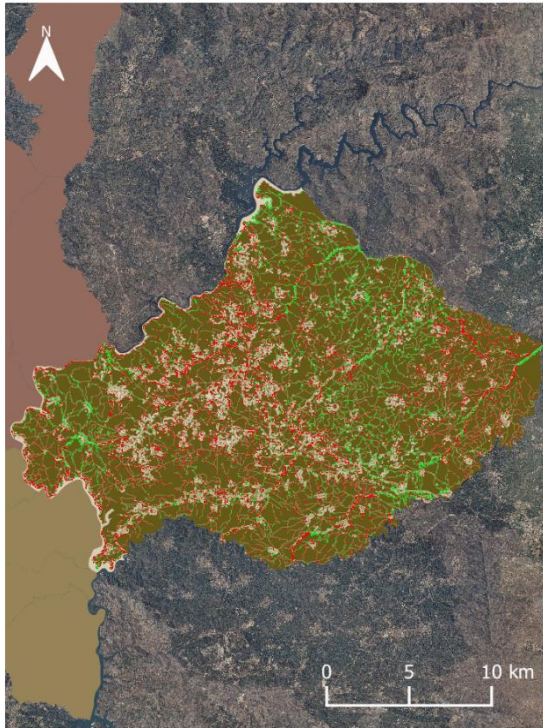
(93 %) e das “Florestas de Castanheiros e Outras Folhosas” (91 %). O pior resultado foi registado na classe das “Florestas de Eucalipto”, que ficou aquém dos 90 %, com um valor de 87 %.

Segundo o modelo (Figura 36), fica demonstrado que, face às propostas apresentadas nos PMDFCI para a implementação das RFMGC em cada município, cerca de 72,36 % da área correspondente às categorias de uso e ocupação do solo mais suscetíveis a arder não se encontra concretizada no território à data de 18 de agosto de 2018 (63,83 % na Sertã, 72,76 % em Figueiró dos Vinhos e 80,51 % em Ferreira do Zêzere).

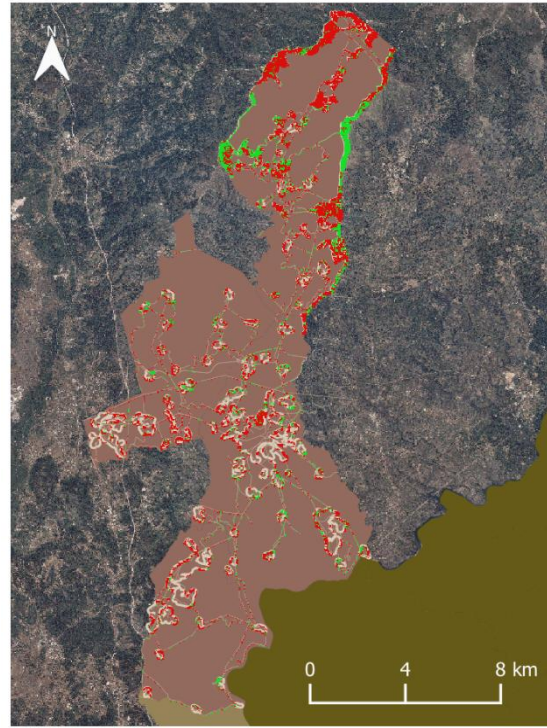
Grande parte da área que se encontra identificada como gerida no município da Sertã verifica uma estreita relação com o padrão espacial das áreas ardidadas mais recentes (zonas que arderam ou que estiveram bastante próximas do contacto com o fogo). No município de Figueiró dos Vinhos as áreas geridas coincidem com setores da Rede Primária e Mosaicos de Gestão de Combustíveis, os quais estão a cargo de entidades gestoras como o ICNF e a ZIF FICAPE (Cooperativa Agrícola do Norte do Distrito de Leiria), mas também com alguns troços de Rede Secundária associadas a redes de distribuição de energia, cuja entidade gestora se verifica a E-REDES. Verificam-se ainda algumas áreas identificadas como geridas, inseridas nos aglomerados rurais, com a responsabilidade de gestão a título dos proprietários. Já no município de Ferreira do Zêzere, as áreas geridas em parte demonstram apresentar uma relação com o histórico das áreas ardidadas no território, uma vez que o padrão das áreas ardidadas nos últimos 29 anos se cinge sobretudo a Este do município. As mesmas correspondem na sua maioria a Mosaicos de Gestão de Combustível a cargo da autarquia, bem como a setores da Rede Secundária inerentes a redes de distribuição de energia, com principal destaque para as de muito alta tensão. Verifica-se ainda que a grande parte das áreas geridas da responsabilidade de privados estão associadas à atividade turística.

Face a esta análise, entende-se que a gestão dos combustíveis está inerentemente relacionada à existência de capital que possibilite a sua realização, ou rentabilidade da propriedade que justifique o investimento, uma vez que as entidades supramencionadas são na sua maioria financiadas por dinheiros ou fundos públicos, e as que não o são, possuem maior facilidade em suportar os custos de gestão através da rentabilização das atividades económicas associadas às faixas de gestão de combustível.

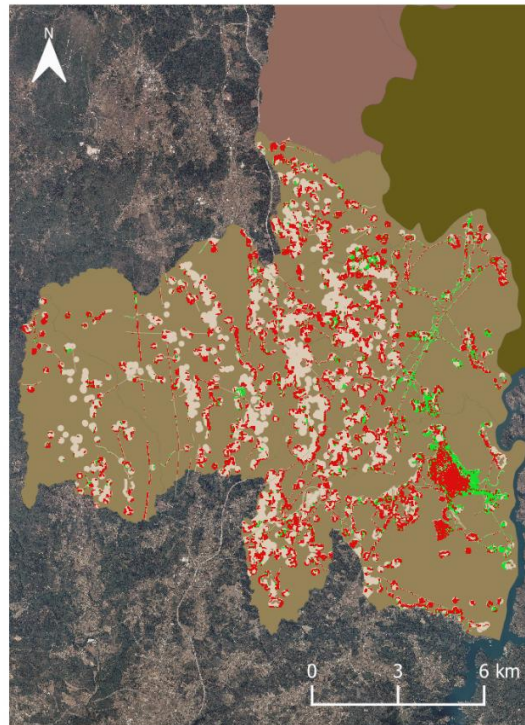
Porém, o modelo revelou alguns aspetos limitantes, nomeadamente ao nível dos anos disponíveis para os dados, uma vez que nem toda a informação de base utilizada é atualizada anualmente (como por exemplo a COS ou os ortofotomapas). O trabalho de campo por sua vez, também demonstrou uma certa dificuldade do modelo em identificar como áreas geridas aquelas que permitam, conforme a legislação, manter um certo nível de matéria combustível, sendo exemplo as linhas elétricas ou as florestas de Sobreiro.



(A)



(B)



(C)

Estado de Intervenção	RFMGC da Sertão	Ferreira do Zêzere
Gerido	RFMGC de Figueiró dos Vinhos	Figueiró dos Vinhos
Não Gerido	RFMGC de Ferreira do Zêzere	Sertão

FIGURA 36 - Áreas geridas e não geridas para os municípios em estudo: (a) – Sertão; (b) – Figueiró dos Vinhos; (c) – Ferreira do Zêzere

## CAPÍTULO 5. A INFLUÊNCIA DAS FAIXAS E MOSAICOS DE GESTÃO DE COMBUSTÍVEL NAS CARACTERÍSTICAS DAS ÁREAS ARDIDAS

As redes de faixas e mosaicos de gestão de combustíveis desempenham um papel preponderante na estratégia de mitigação e combate a incêndios rurais, atuando como estruturas de defesa, que contribuem na redução de ignições e respetiva propagação, mas principalmente, por influenciarem o comportamento do fogo, reduzindo a sua intensidade, e proporcionarem a alocação de meios de combate, aumentando a probabilidade de supressão e diminuição do seu impacto (Ortega et al., 2024; Weise et al., 2023; Baijnath-Rodino et al., 2023; Gannon et al., 2023; Stratton, 2004; Agee et al., 2000; Stratton, 2004).

Para que cumpram os seus objetivos, é fundamental o planeamento de uma Rede de Faixas e Mosaicos de Gestão de Combustíveis eficaz e otimizada, que justifique o investimento financeiro na sua manutenção e execução, e simultaneamente preste auxílio à tomada de decisões operacionais, e orçamentais, no que toca à sua gestão (Ortega et al., 2024).

No entanto, embora haja consenso científico de que as interrupções e tratamento de combustíveis produzem efeitos no comportamento do fogo sob determinadas condições, são limitados os estudos que quantifiquem a sua eficácia, sobretudo após a ocorrência de eventos de incêndio (Baijnath-Rodino et al., 2023; Ortega et al., 2024; Gannon et al., 2023; McKinney et al., 2022). Aliado às restrições orçamentais das entidades gestoras, o planeamento e instalação das Redes de Faixas e Mosaicos de Gestão de Combustíveis podem ser mal concebidos, priorizados e otimizados, o que, conseqüentemente, origina taxas de sucesso abaixo do idealizado, abrindo um precedente de desmotivação e desinteresse na sua gestão e manutenção, dado o elevado custo do investimento associado (Ortega et al., 2024).

Grande parte dos estudos desenvolvidos nesta temática, avaliam a eficácia das RFMGC no comportamento potencial do fogo, testando metodologias assentes em simulações de ocorrência e propagação do fogo, em diversos cenários (Ortega et al., 2024; Gannon et al., 2023). Os cenários aplicados contemplam uma vasta gama de fatores que podem condicionar o comportamento do fogo, como diferentes tipo de paisagens e respetivos regimes de fogo associados; características inerentes à interrupção de combustível, nomeadamente a sua largura, quantidade/densidade ou tipo de combustível presente, bem como o tipo de manutenção realizado (fogo controlado, ações mecanizadas, etc.); as características da vegetação envolvente; e condições meteorológicas, em circunstâncias regulares, ou sob eventos meteorológicos extremos (Agee et al., 2000; Ortega et al., 2024).

Embora esteja comprovado que as interrupções de combustíveis produzem efeitos no comportamento do fogo e na sua propagação, alguns estudos demonstraram a sua ineficácia, principalmente em circunstâncias de condições meteorológicas extremas, grandes frentes de incêndio, ou fenómenos

conectivos e *downburst* (Weatherspoon & Skinner, 1996; Agee et al, 2000; Duguy *et al.*, 2007; Moreira et al., 2011; Syphard et al., 2011, via Ortega *et. al.*, 2024).

Por outro lado, um pequeno número de estudos aborda a sua eficácia num regime pós-incêndio, considerando observações *in-situ*, imagens aéreas e de satélite, ou utilizando conjuntos de dados cartográficos referentes às áreas ardidas (Bajjnath-Rodino et al., 2023; Ortega et al., 2024; Gannon et al., 2023). Ortega *et al.* (2024) quantificaram a eficácia das faixas de gestão de combustível, partindo da premissa que o sucesso das FGC está dependente de fatores como a topografia, condições meteorológicas, características dos combustíveis, características de *design*, atividades de supressão e atributos do comportamento do fogo, estabelecendo assim correlação entre 23 variáveis condicionantes e as áreas ardidas dos incêndios ocorridos no Sul de Espanha entre 2011 e 2018. Os resultados deste estudo concluíram que 46,9 % das FGC analisadas obtiveram sucesso na contenção do fogo, atribuindo como principais fatores determinantes da sua eficácia as atividades de supressão executadas, salientando que a alocação de meios de combate aumenta substancialmente a probabilidade de contenção do fogo; o comprimento da chama, que por sua vez, influencia negativamente o seu êxito; e o ângulo de interceção do fogo sob a faixa de gestão de combustível, que, quanto menor se verifica, maior probabilidade tem de garantir o seu sucesso.

Por sua vez, seguindo a mesma ótica, Weise *et al.* (2023), aferiram a eficácia da extensão de um conjunto de redes de faixas e mosaicos de gestão de combustíveis localizadas na zona Oeste dos Estados Unidos, ao longo de 12 estados norte americanos. Neste estudo, os autores analisaram a exposição das FGC a incêndios ocorridos entre 1985 e 2018, intersectando-as com os perímetros de incêndio compilados, para os anos após a sua instalação. Foram ainda quantificados um conjunto de fatores que potencialmente impactaram o sucesso das interrupções de combustível, nomeadamente as características das FGC, como o tipo de tratamento, a sua manutenção, e a sua acessibilidade aos meios de combate; as características da paisagem, avaliada por um conjunto de métricas inerentes a variáveis topográficas e componentes da vegetação; e as características físicas dos incêndios, tal como a sua dimensão, bem como um conjunto de variáveis climáticas associadas, compreendendo a temperatura, precipitação, velocidade do vento e humidade, registadas próximas à data de cada evento. Os resultados demonstraram que 58 % das FGC foram eficazes na redução da propagação do fogo, com a taxa de sucesso a aumentar para 63 %, no caso em que se verificavam geridas. A eficácia pode revelar-se ainda maior quando utilizadas ativamente por meios de combate a incêndios, no entanto não foi possível quantificar este fator. Os autores apontam como fatores como o clima, topografia, e características dos combustíveis como sendo os principais impulsionadores da sua eficácia.

Já Bajjnath-Rodino et al. (2023), avaliaram a eficácia de um único segmento de interrupção de combustíveis, exposto ao grande incêndio denominado por “Creek Fire”, no centro da Califórnia, em 2020, analisando nas áreas ardidas o grau de severidade com que o fogo alcançou a vegetação,

quantificando a variação da sua intensidade ao atingir o intervalo da faixa de gestão de combustíveis, por via de observações e recolha de dados no local, bem como por imagens obtidas por deteção remota. Os resultados concluíram que a FGC não foi eficaz na contenção da propagação do incêndio. Os autores associaram a sua ineficácia ao facto de não ter sido possível posicionar meios de combate no local, e por sua vez, não terem sido realizadas atividades de supressão. No entanto, relataram que a presença da FGC alterou o comportamento do fogo, diminuindo a sua intensidade, uma vez que no intervalo de gestão de combustíveis a vegetação ainda se apresentava intacta, contrariamente à vegetação na sua envolvente, onde a mesma se encontrava severamente danificada.

No presente capítulo, analisa-se o efeito da presença das faixas e mosaicos de gestão de combustível nas características das áreas ardidas, tendo por base um conjunto de parâmetros descritivos dos padrões espaciais de área ardida, através da comparação de áreas ardidas pré- e pós-instalação da RFMGC.

## 5.1. MÉTRICAS DE CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS ARDIDAS E RELAÇÃO COM AS RFMGC

### 5.1.1. RECOLHA DE DADOS

A caracterização das áreas ardidas foi realizada com base na informação cartográfica das mesmas para o período temporal de 1990 a 2019, disponível no geocatálogo do Instituto da Conservação da Natureza e Florestas (ICNF), assim como na cartografia de Uso e Ocupação do Solo (COS) para os anos de 1995, 2007, 2010, 2015 e 2018, disponibilizada através do Sistema Nacional de Informação Geográfica (SNIG) da Direção Geral do Território (DGT).

### 5.1.2. MÉTODOS

A propagação do fogo é determinada em parte pela disponibilidade de combustível no território. Como tal, presume-se que as discontinuidades de combustível na paisagem, bem como o tipo de ocupação do solo, influenciem a ocorrência e propagação de incêndios (Lloret et al., 2002).

Desta forma, a análise e comparação do padrão espacial e configuração das áreas ardidas entre os anos antecedentes e os anos posteriores à instalação das RFMGC permite compreender melhor as consequências da gestão do combustível no território.

Com o intuito de perceber a influência das RFMGC nas áreas ardidas, foram selecionados diversos parâmetros fundamentais à caracterização destas últimas, de forma a identificar padrões quando

estabelecida a comparação dos anos pré-implementação das RFMGC com os anos pós-implementação. As métricas selecionadas permitem recolher informações que ajudam a compreender a existência de possíveis perturbações nos padrões da área ardida.

Como tal, para o efeito foram recolhidos os dados para cada ano compreendido no período 1990-2019, referentes ao total de área ardida, ao número de polígonos de incêndio, às suas áreas e perímetros, bem como, às classes do uso do solo ardidas e suas respectivas áreas. Estes dados permitiram ainda o cálculo de parâmetros como a sinuosidade, a fragmentação e o índice *likelihood ratio* (propensão de uma classe de uso de ocupação do solo a arder), os quais possibilitaram realizar uma análise quanto à forma, fragmentação e preferência por tipo de uso solo das áreas ardidas.

As áreas e perímetros dos polígonos de área ardida, bem como a sua contagem total, foram obtidos através do software ArcGIS, enquanto os restantes parâmetros foram calculados através do software Microsoft Excel, aplicando-se as fórmulas representadas na Figura 37.

A comparação dos dois períodos em análise teve como propósito perceber se após a instalação das RFMGC se verificou uma redução do total de área ardida, do número de polígonos de incêndio, da superfície percorrida pelos mesmos, bem como verificar as diferenças estabelecidas nas classes de uso do solo mais afetadas. Através destas métricas básicas, calcularam-se ainda parâmetros relativos à forma das áreas ardidas, como a sinuosidade e fragmentação. A sinuosidade fornece informações quanto à complexidade da forma do polígono de área ardida. A complexidade da forma de um polígono pode indicar se houve ou não barreiras de atuação à propagação do fogo, uma vez que a menor complexidade da forma de um polígono de área ardida pode derivar da diminuição de combustível, ou possível alocação de meios de supressão junto da frente de fogo, que impediram a sua propagação (Rollins *et al.*, 2001).

Por sua vez, a fragmentação indica-nos a capacidade de propagação do fogo (Bergonse *et al.*, 2022). A presença de descontinuidades na distribuição espacial dos combustíveis pode condicionar a capacidade do fogo para se propagar, dando expectavelmente origem a um padrão de área ardida mais disperso, com polígonos de menores dimensões (Curt *et al.*, 2013).

As características dos tipos de combustíveis revelam-se igualmente um indicador importante na compreensão do padrão das áreas ardidas, uma vez que, os incêndios tendem a propagar-se menos facilmente em certos tipos de ocupação do solo (Curt *et al.*, 2013; Hellberg *et al.*, 2004). Desta forma, calculou-se o índice *likelihood ratio* para cada ano de área ardida no período 1990-2019, e posteriormente a média destes valores, no sentido de perceber eventuais alterações na propensão de cada classe de ocupação do solo para arder.

Total de área ardida	• Superfície total de área ardida
Nº de Polígonos	• Número de polígonos de área ardida
Área e Perímetro	• Média da superfície de cada polígono de área ardida • Comprimento médio do perímetro de cada polígono de área ardida
Área ardida por ocupação do solo	• Total de área ardida em cada classe de ocupação do solo
Fragmentação	• Rácio entre o nº de polígonos de área ardida e o total de área ardida
Sinuosidade	• Razão entre o perímetro e a raiz quadrada da área dos polígonos → Calculada a sinuosidade média dos polígonos
<i>Likelihood Ratio</i>	• Avalia a propensão de uma classe de ocupação do solo para arder em relação à área que a classe ocupa
$Lri = \frac{Si/S}{Ni/N}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lri – Likelihood Ratio</li> <li>• Si – Total de hectares ardidos na classe de ocupação do solo</li> <li>• S – Total de hectares de área ardida</li> <li>• Ni – Área total da classe de ocupação do solo</li> <li>• N – Área Total</li> </ul>

FIGURA 37 - Parâmetros selecionados para a avaliação das características das áreas ardidas para o período 1990-2019, e respetiva forma de cálculo

### 5.1.3. RESULTADOS

Desde 1990 a 2019 é visível a mudança nos padrões dos incêndios à escala de cada município. Numa primeira análise é possível verificar uma tendência geral, embora irregular, da diminuição da área ardida nos três municípios, principalmente a partir do ano de 2007 (Figuras 38, 39 e 40). Contudo, esta evolução é bastante marcada nos anos mais recentes com o acentuado aumento da área ardida para valores recordes no ano atípico dos grandes incêndios de 2017. Houve igualmente um decréscimo relativamente ao número de incêndios, nos municípios de Ferreira do Zêzere, principalmente a partir de 2009 (Figura 43), e de Figueiró dos Vinhos a partir de 2007, no entanto de forma mais conturbada, com destaque para um aumento acentuado entre os anos de 2012 e 2013 (Figura 42). Por outro lado, no município da Sertã a tendência verificada foi exatamente a oposta, com a subida a registar-se a partir de 2012 (Figura 41). No entanto, este aumento é acompanhado por uma maior fragmentação dos incêndios a partir do ano de 2009 (com exceção em 2017 e 2019) (Figura 44), indicando a forte possibilidade que este se deve às discontinuidades da paisagem, que, por sua vez, atuaram como

barreira à propagação do fogo (Tedim *et al.*, 2018). Nos restantes municípios a fragmentação assume uma variação distinta, com Ferreira do Zêzere a registar uma tendência também ela positiva, a partir do ano de 2006 (Figura 46), embora mais discreta face ao município anterior, enquanto no caso de Figueiró dos Vinhos esta vem assumindo a tendência inversa, com um decréscimo a partir do ano de 2004 (Figura 45). A sinuosidade, por sua vez, apresenta uma tendência decrescente nos três municípios a partir de 2006 (Figuras 47, 48 e 49), sofrendo um aumento abrupto no ano de 2017, e novamente em 2019 na Sertã (Figura 47). Esta tendência decrescente aponta para a menor complexidade das formas das áreas ardidadas, possivelmente conferidas pelos meios de supressão de incêndios junto das frentes do fogo (Rollins *et al.*, 2001).

Esta evolução começa por mostrar os primeiros sinais positivos logo a partir do início do período de 2006-2011 (anos de transição entre a publicação do Decreto-Lei n.º 124/2006 e do guia metodológico para a realização dos PMDFCI) ao nível da fragmentação, diminuição nos hectares ardidados, número de incêndios e sinuosidade. Após este período transitório, e comparando aos anos de 1990 a 2005, os anos de 2012 a 2019 registaram, uma evolução positiva das características das áreas ardidadas (à exceção do ano de 2017), evidenciada pela diminuição da área ardidada, diminuição da sinuosidade, do n.º de polígonos, e aumento da fragmentação, acentuando assim as evidências da possível influência das RFMGC, visível sobretudo ao nível do município da Sertã, onde esta tendência se verificou em todos os parâmetros, a partir de 2012.

A análise elaborada às áreas ardidadas demonstra ainda que existem variações na preferência do fogo pelos vários tipos de uso e ocupação do solo. Espécies como o pinheiro-bravo ou o eucalipto são transversalmente propensas a arder nos três municípios, apresentando valores de *Likelihood Ratio* a variar entre 1.01 e 1.22 no primeiro caso, e 1.27 e 1.36 no segundo caso. Os matos, por sua vez, verificam o mesmo padrão em dois dos três municípios (Sertã e Ferreira do Zêzere), com valores entre 2.33 e 3.15, respetivamente (Tabela 8).

Excepcionalmente, as florestas de outras resinosas, no município de Figueiró dos Vinhos (1.78) e as florestas de sobreiro, no município da Sertã (2.41), apresentaram uma propensão relativamente elevada para arder, tendo como possível explicação a existência de sub-bosque e falta da gestão do mesmo.

Todos os outros tipos de uso e ocupação do solo apresentam valores abaixo de 1, indicando menor propensão para arder.

**Total de área ardida**

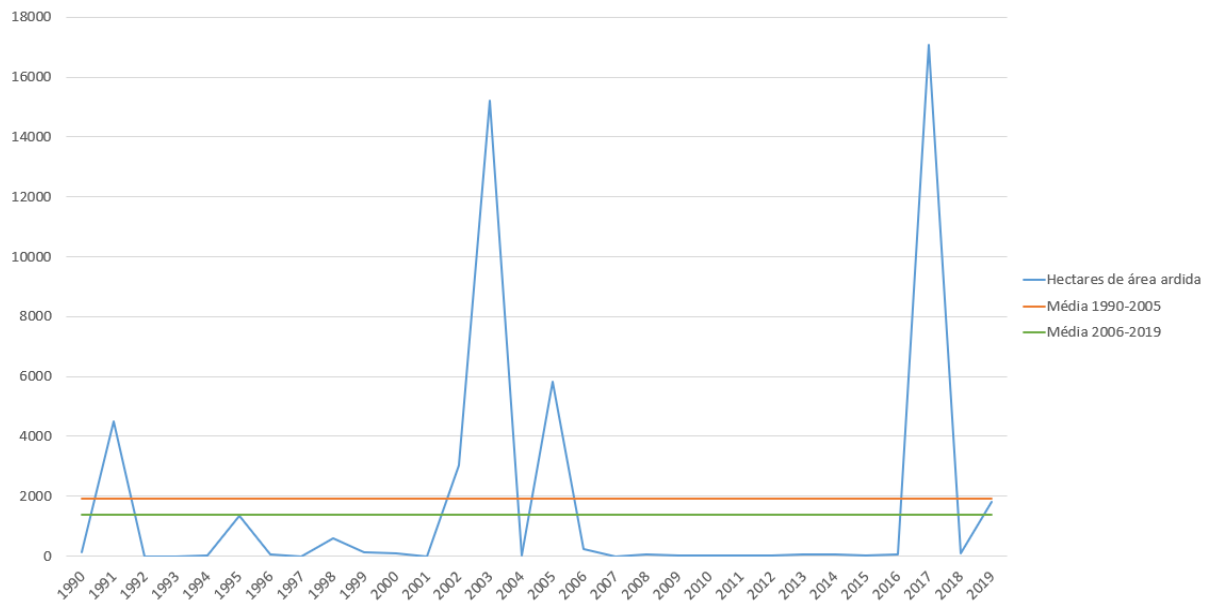


FIGURA 38 - Total área ardida (ha) por ano, no município da Sertão

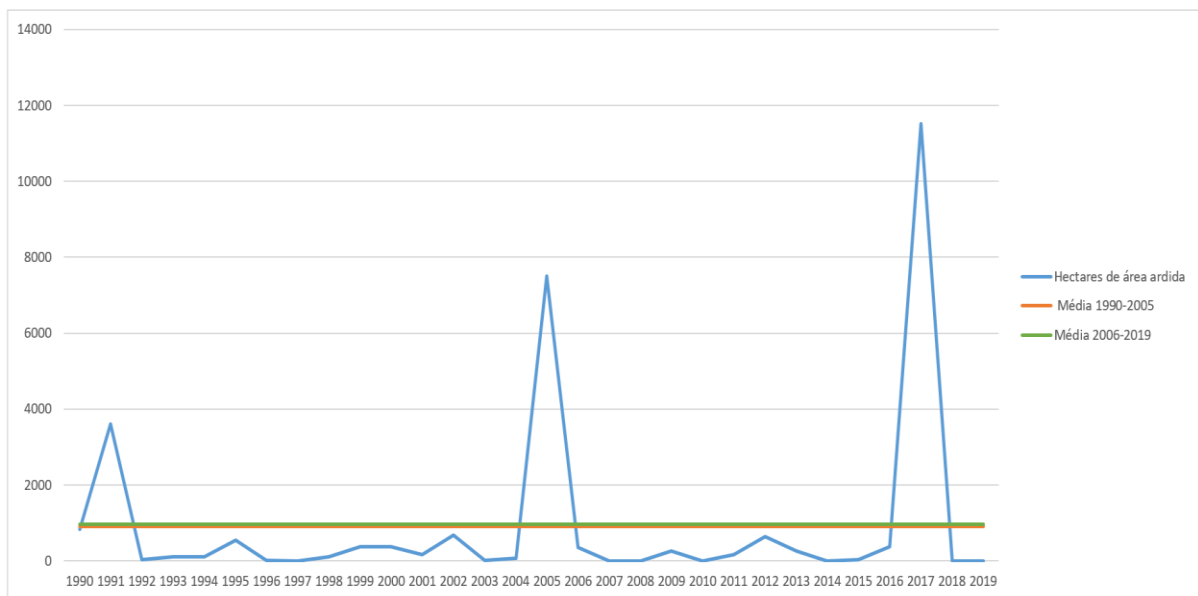


FIGURA 39 - Total área ardida (ha) por ano, no município de Figueiró dos Vinhos

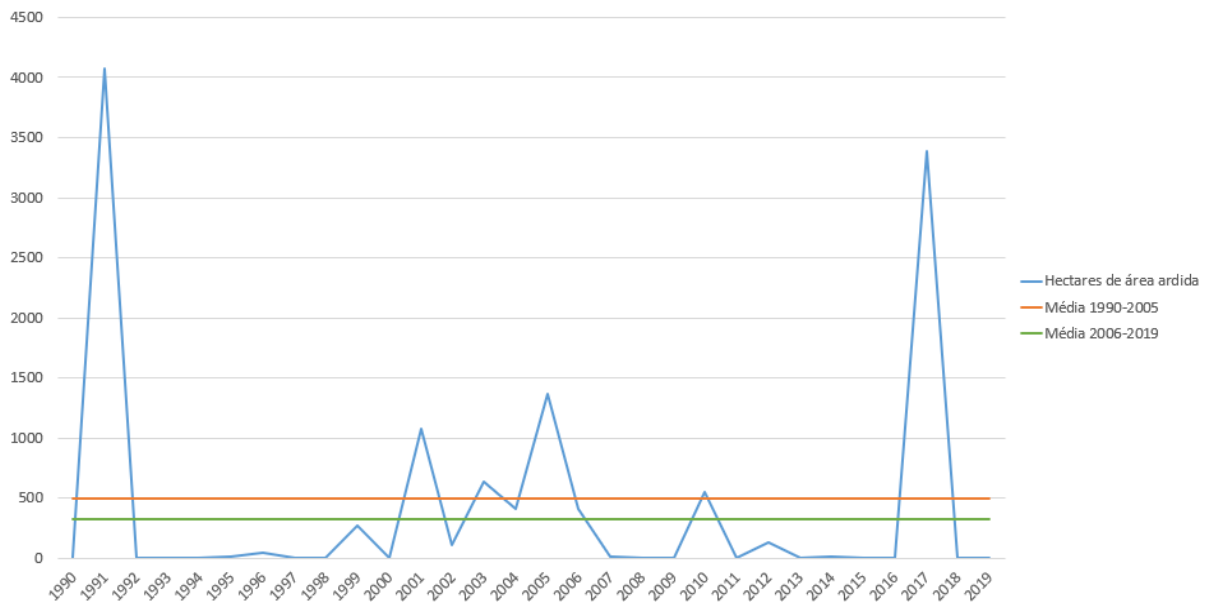


FIGURA 40 - Total área ardida (ha) por ano, no município de Ferreira do Zêzere

### N.º de incêndios

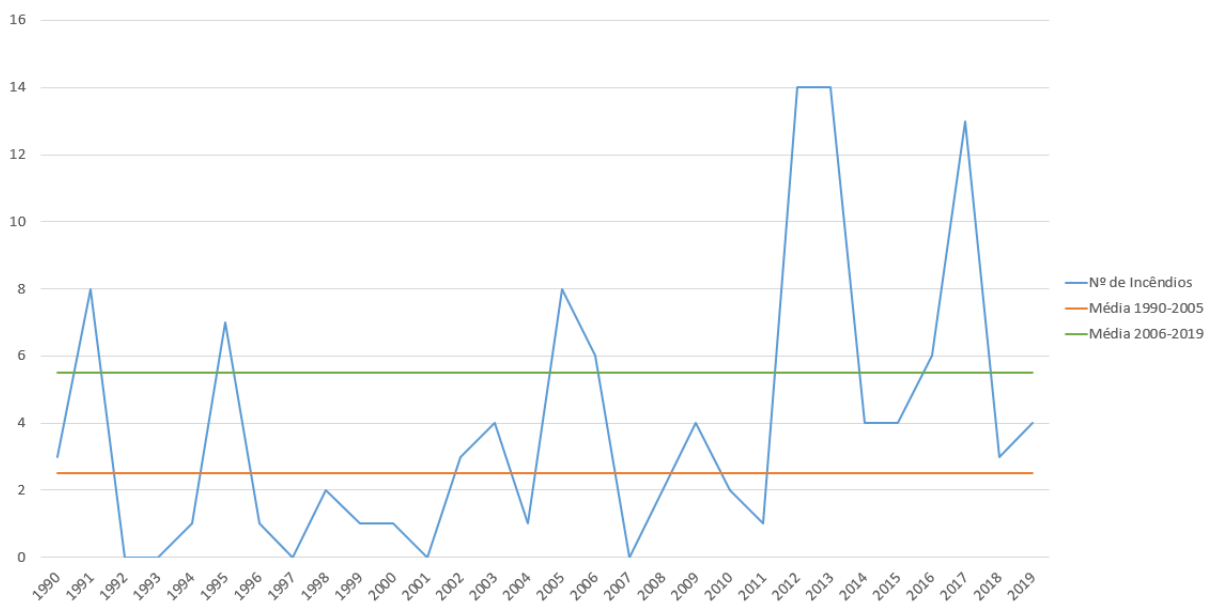


FIGURA 41 - Total n.º de incêndios por ano, no município da Sertã

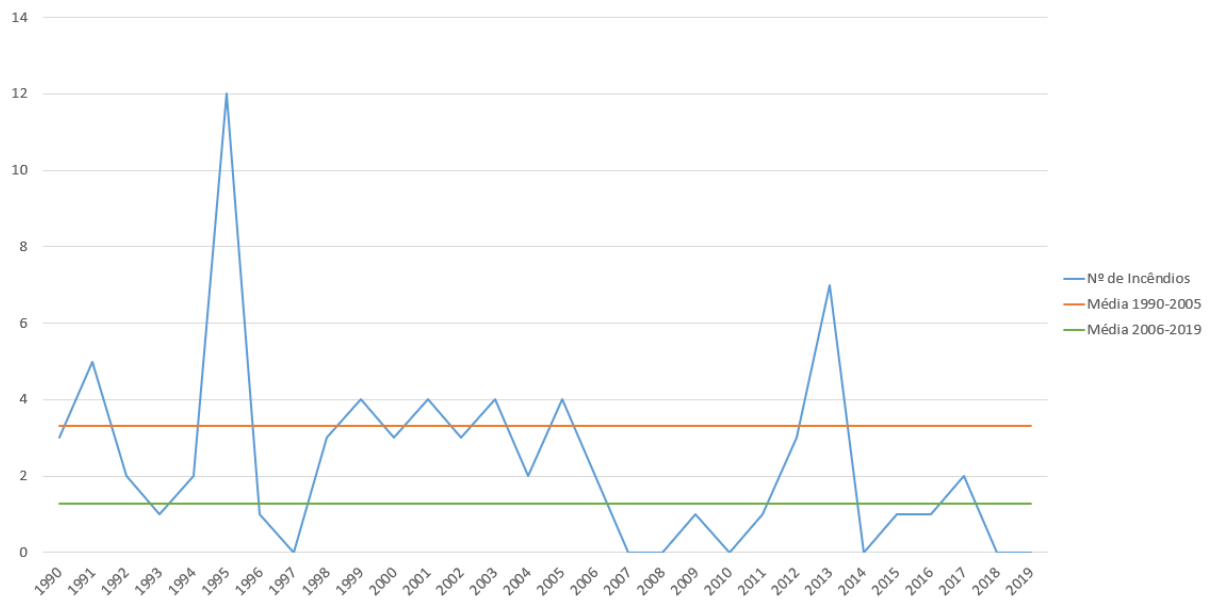


FIGURA 42 - Total n.º de incêndios por ano, no município de Figueiró dos Vinhos

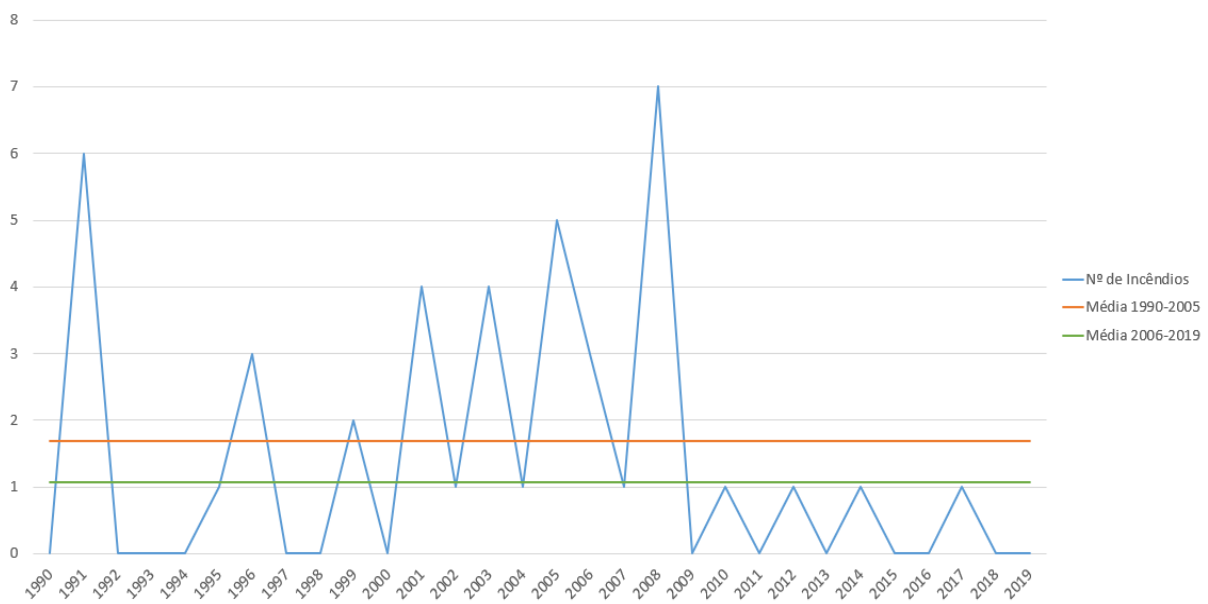


FIGURA 43 - Total n.º de incêndios por ano, no município de Ferreira do Zêzere

## Fragmentação

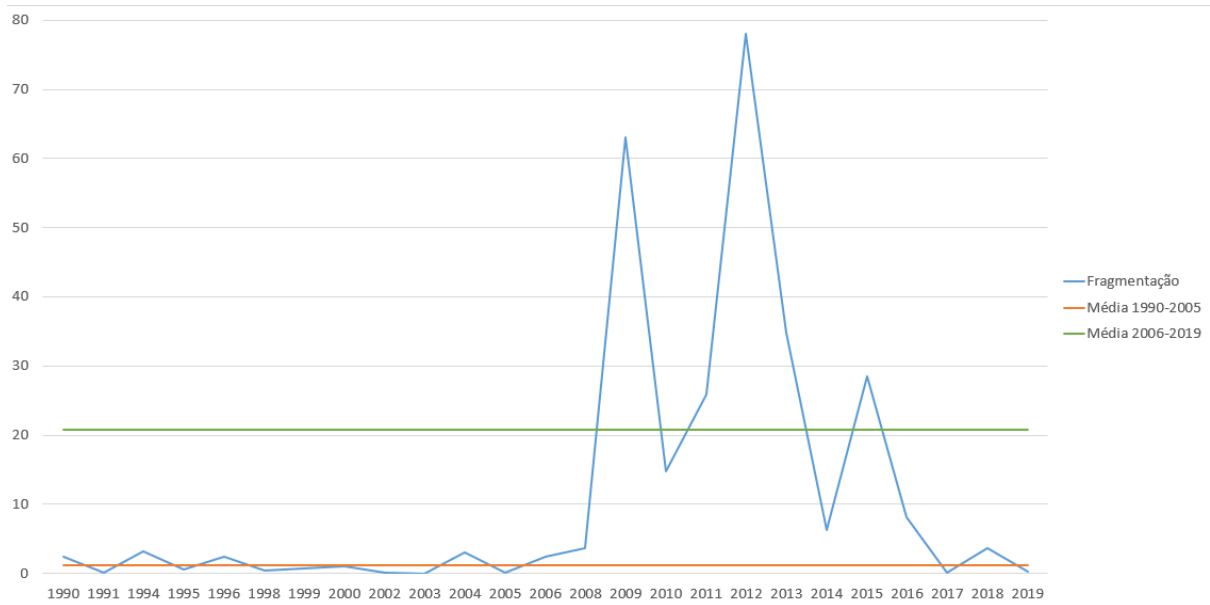


FIGURA 44 - Fragmentação no município da Sertão

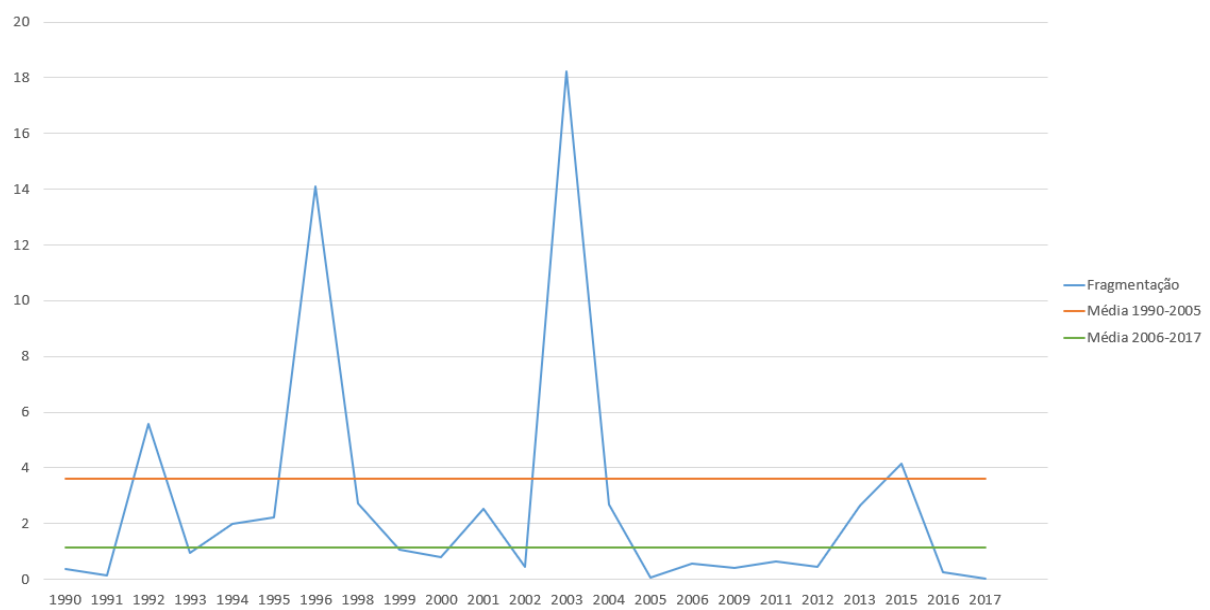


FIGURA 45 - Fragmentação no município de Figueiró dos Vinhos

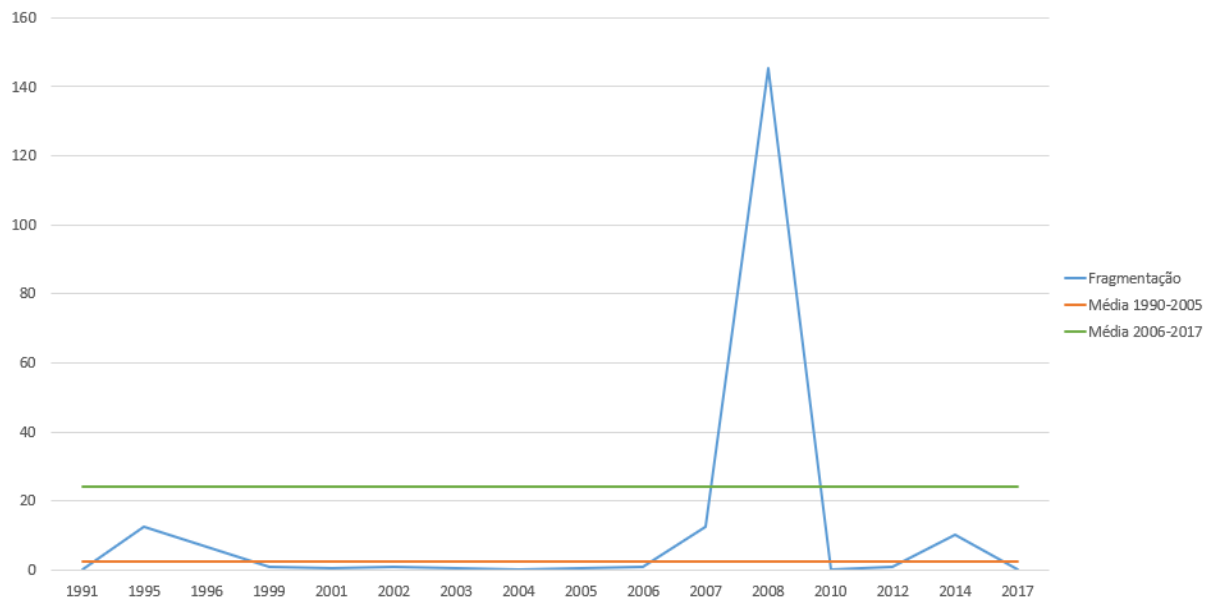


FIGURA 46 – Fragmentação no município de Ferreira do Zêzere

### Sinuosidade

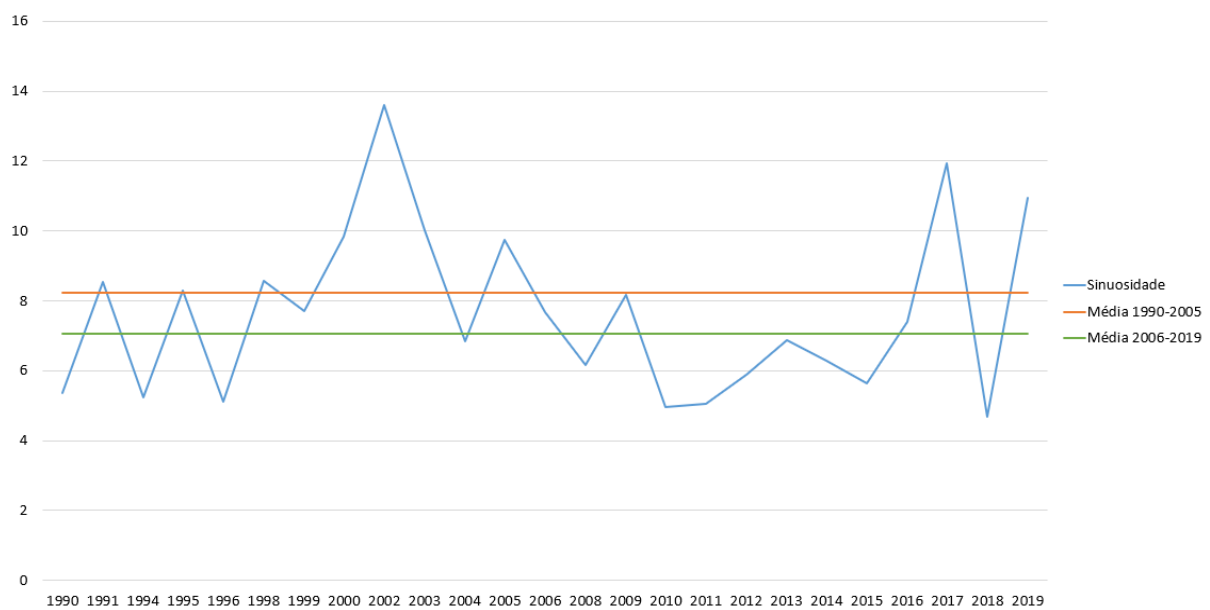


FIGURA 47 - Sinuosidade no município da Sertã

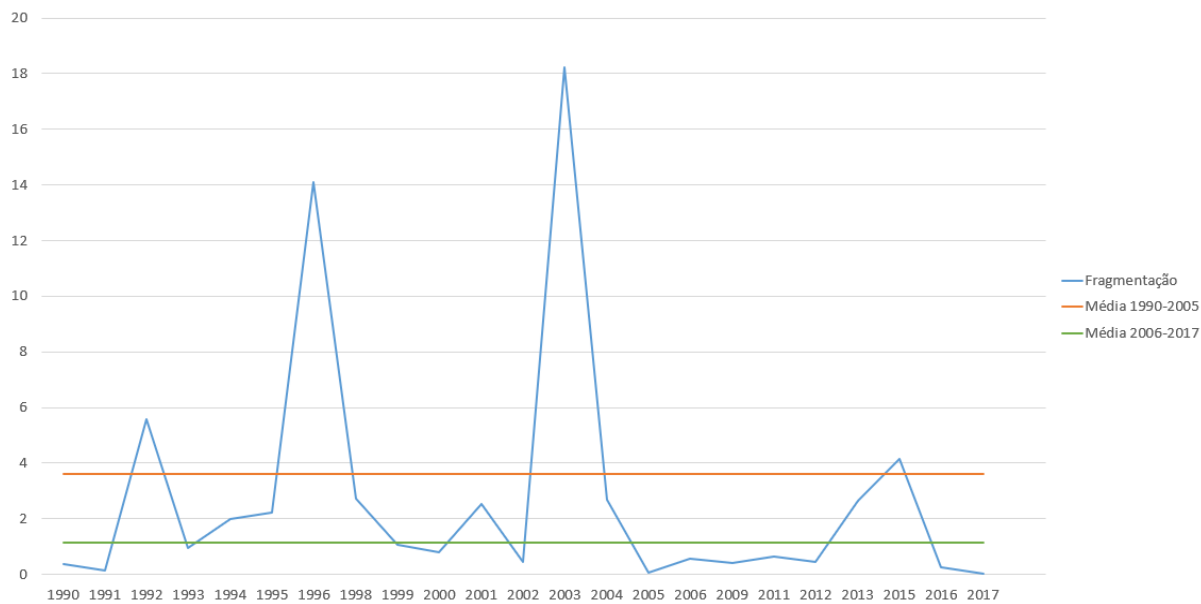


FIGURA 48 - Sinuosidade no município de Figueiró dos Vinhos

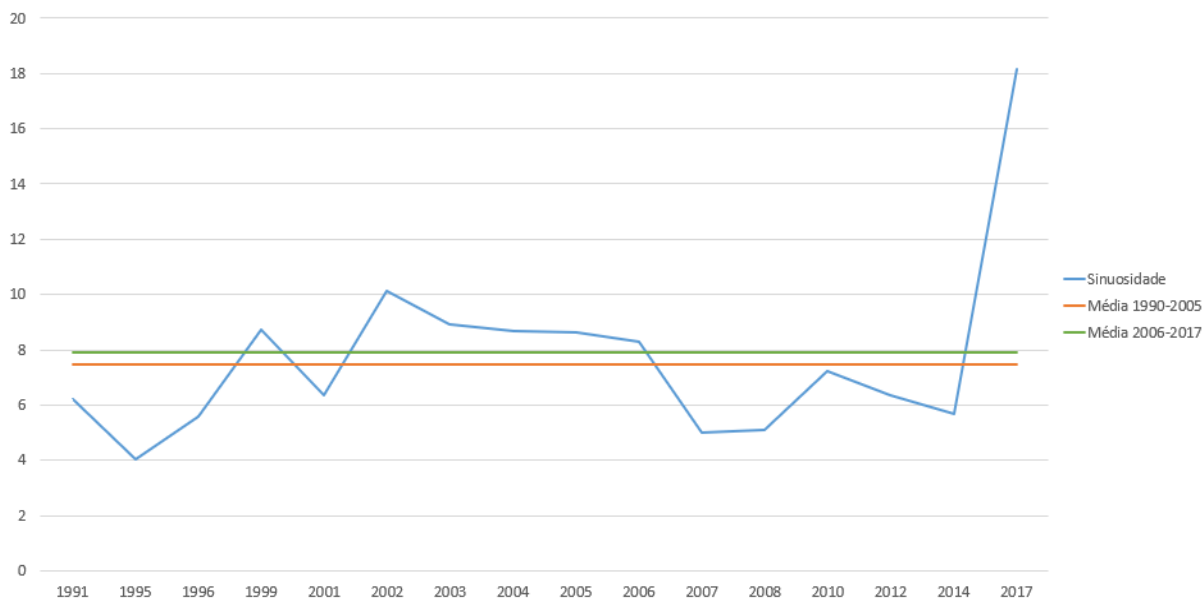


FIGURA 49 - Sinuosidade no município de Ferreira do Zêzere

*Likelihood Ratio*

TABELA 8 – Resultados do *likelihood ratio* por categoria de uso e ocupação do solo, nos três municípios

	Florestas de Pinheiro Bravo	Florestas de Eucalipto	Matos	Florestas de Sobreiro	Pinheiro Manso e outras resinosas	Castanheiros, Carvalhos e outras folhosas	Invasoras
Sertã	1,01	1,33	2,33	2,41	0,23	0,67	0,03
Figueiró dos Vinhos	1,22	1,27	0,55	-	1,78	0,69	0,2
Ferreira do Zêzere	1,88	1,36	3,15	0,14	0,02	0,64	0,13

## CAPÍTULO 6. O EFEITO DA GESTÃO E DA DISTÂNCIA ÀS FAIXAS E MOSAICOS NAS ÁREAS ARDIDAS

### 6.1. RECOLHA DE DADOS

Foi utilizada a cartografia das RFMGC de cada município (Sertã PMDFCI 2015-2020, Figueiró dos Vinhos PMDFCI 2016-2020 e Ferreira do Zêzere PMDFCI 2013-2017), disponível em formato vetorial na base de dados de planos municipais de defesa da floresta contra incêndios (PMDFCI), do Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF), a cartografia de Uso e Ocupação do Solo (COS), assim como a informação cartográfica das áreas ardidas para os períodos 2002-2005 e 2016-2019 no município da Sertã; 2004-2005 e 2016-2017 no município de Figueiró dos Vinhos; e para os anos 2004, 2005, 2014 e 2017 no município de Ferreira do Zêzere

### 6.2. MÉTODOS

Para compreender o impacto que as RFMGC exerceram na propagação do fogo, e determinar a influência das mesmas nos padrões das áreas ardidas, estabeleceram-se dois tipos de comparação: uma entre áreas geridas e não geridas, contemplando unicamente os anos de área ardida compreendidos durante o período em vigor dos PMDFCI de cada município (Sertã - 2016, 2017, 2018, 2019; Figueiró dos Vinhos - 2016 e 2017; Ferreira do Zêzere - 2014 e 2017); e outra entre o período pré-instalação e pós-instalação da RFMGC, tendo sido considerado para o primeiro o número de anos de área ardida equiparados ao período pós-instalação, anteriores a 2006 (áreas ardidas pré-instalação RFMGC: Sertã - 2002, 2003, 2004, 2005; Figueiró dos Vinhos - 2004 e 2005; Ferreira do Zêzere - 2004 e 2005), e para o segundo os anos estabelecidos na comparação anterior.

Estabeleceram-se áreas de influência de 100 metros, 500 metros e 1000 metros em torno de cada classe de ocupação do solo das áreas geridas e não geridas das RFMGC de cada município, onde foram recolhidas as métricas relativas às características de cada incêndio dentro de cada intervalo (0-100 metros, 100-500 metros, e 500-1000 metros), através da sua interseção com as áreas ardidas inerentes ao período em análise (Figura 50).

Aplicou-se a mesma metodologia para a segunda comparação efetuada, com a diferença de que as áreas de influência foram estabelecidas em torno de cada classe de ocupação do solo na sua globalidade, e intersetadas com as áreas ardidas do período pré-instalação e pós-instalação das mesmas (Figura 51). O propósito das duas comparações é verificar se existem diferenças no padrão dos incêndios entre cada intervalo de área de influência e perceber se a gestão das RFMGC influenciou a propagação do fogo (exemplo na figura 52).

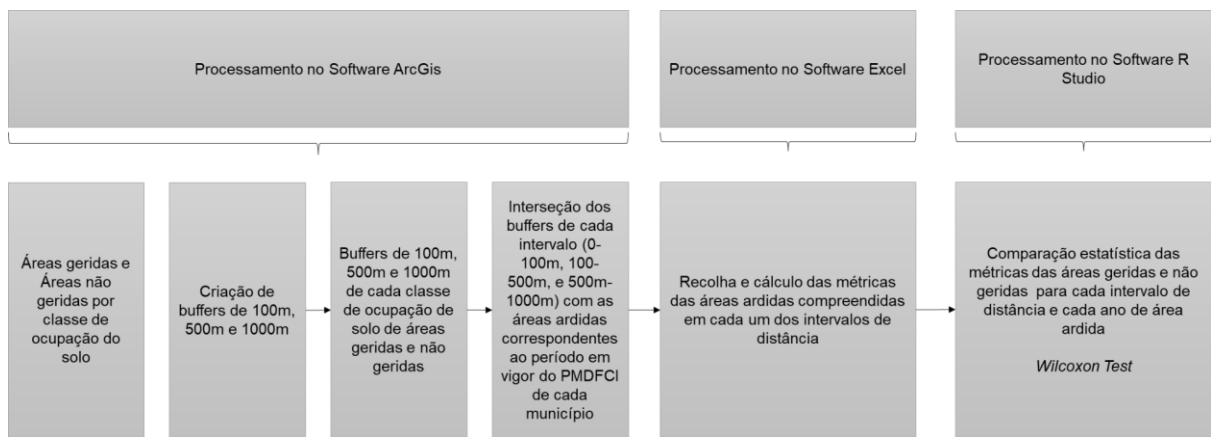


FIGURA 50 - Metodologia aplicada na comparação estatística entre as áreas geridas e não geridas

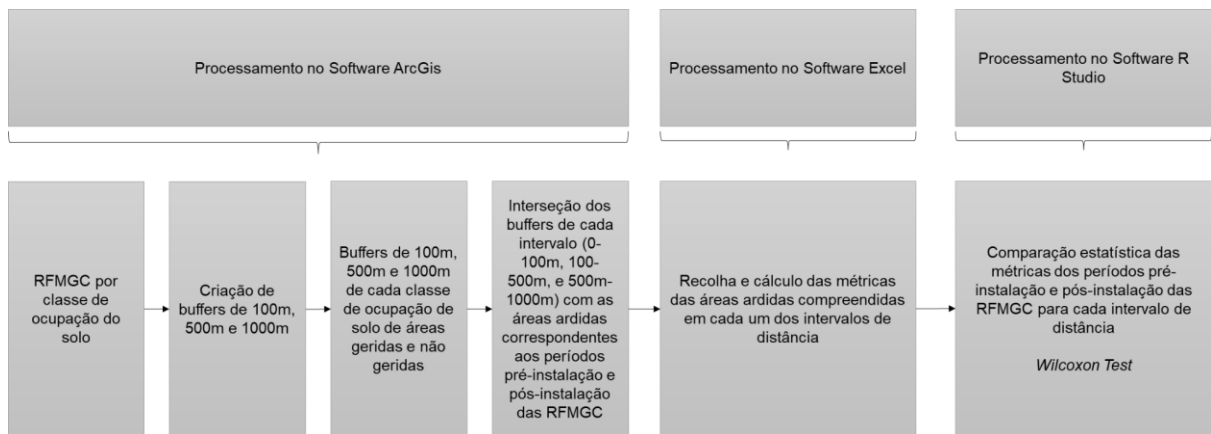


FIGURA 51 - Metodologias aplicadas na comparação estatística entre os períodos pré-instalação e pós-instalação das RFMGC

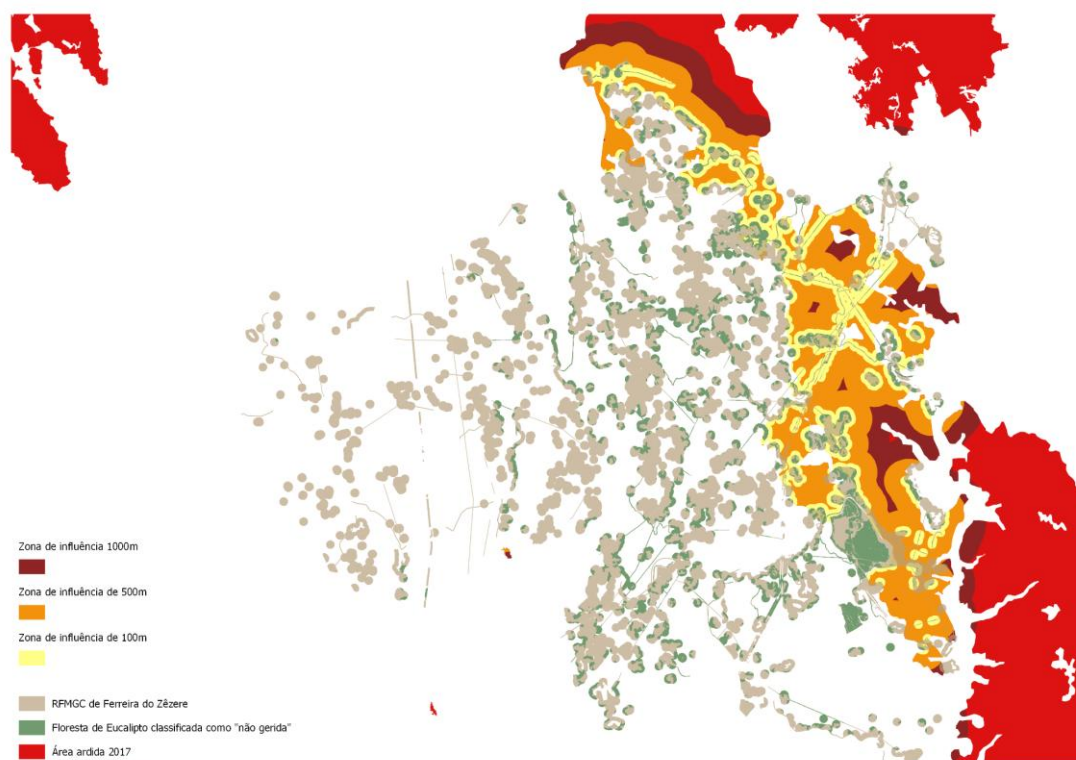


FIGURA 52 - Exemplo de áreas de influência de 100 metros, 500 metros e 1000 metros em torno das áreas classificadas como floresta de eucalipto não gerida, na RFMGC de Ferreira do Zêzere

TABELA 9 - Valores dos parâmetros calculados para as áreas de influência de 100 metros, 500 metros e 1000 metros em torno das áreas classificadas como geridas, na RFMGC de Ferreira do Zêzere

		GERIDO						
Classe de Ocupação do Solo		Área (ha)	Área (m <sup>2</sup> )	Perímetro (m)	Simuosidade	Nº Polígonos	Fragmentação	
2014	100m	Eucalipto	0	0	0	0	0	0
		Pinheiro Bravo	6,422	64216,6	1657,82	6,542	1	15,572
		Sobreiro	0	0	0	0	0	0
		Castanheiros, Carvalhos e Outras Folhosas	0	0	0	0	0	0
		Pinheiro Manso e Outras Resinosas	1,232	12318,1	722,57	6,510	1	81,181
	500m	Matos	5,998	59981,7	1254,24	5,121	1	16,672
		Invasoras	0	0	0	0	0	0
		Eucalipto	9,719	97191,6	1775,97	5,697	1	10,289
		Pinheiro Bravo	3,381	16905,5	589,52	4,534	2	59,152
		Sobreiro	0	0	0	0	0	0
	1000m	Castanheiros, Carvalhos e Outras Folhosas	8,554	85538,2	1636,34	5,595	1	11,691
		Pinheiro Manso e Outras Resinosas	8,571	85709,4	1515,00	5,175	1	11,667
		Matos	3,805	38045,9	1340,57	6,873	1	26,284
		Invasoras	0	0	0	0	0	0
		Eucalipto	0,084	836	127,79	4,420	1	1196,201
2017	100m	Pinheiro Bravo	0	0	0	0	0	0
		Sobreiro	0	0	0,00	0	0	0
		Castanheiros, Carvalhos e Outras Folhosas	1,249	12489,4	811,39	7,260	1	80,068
		Pinheiro Manso e Outras Resinosas	0	0	0	0	0	0
		Matos	0	0	0	0	0	0
	500m	Invasoras	0	0	0	0	0	0
		Eucalipto	1118,974	174839,06	2017,66	4,825	64	5,720
		Pinheiro Bravo	663,770	118530,36	1491,34	4,332	56	8,437
		Sobreiro	0	0,00	0,00	0	0	0
		Castanheiros, Carvalhos e Outras Folhosas	169,009	46946,94	789,65	3,644	36	21,301
	1000m	Pinheiro Manso e Outras Resinosas	6,332	21107,23	756,11	5,204	3	47,377
		Matos	208,493	86872,08	1128,49	3,829	24	11,511
		Invasoras	0	0	0	0	0	0
		Eucalipto	1924,464	5249855,14	4314,62	1,883	37	1,923
		Pinheiro Bravo	1773,908	466817,89	3751,24	5,490	38	2,142
2017	500m	Sobreiro	7,650	76503,30	1852,78	6,699	1	13,071
		Castanheiros, Carvalhos e Outras Folhosas	1111,061	505027,73	3992,23	5,618	22	1,980
		Pinheiro Manso e Outras Resinosas	73,066	730668,00	6127,06	7,168	1	1,369
		Matos	1214,715	433826,79	3359,57	5,101	28	2,305
		Invasoras	0	0	0	0	0	0
	1000m	Eucalipto	663,280	617306,67	2359,50	3,003	24	3,618
		Pinheiro Bravo	1330,638	782728,24	4886,35	5,523	17	1,278
		Sobreiro	63,688	636875,00	7097,47	8,894	1	1,570
		Castanheiros, Carvalhos e Outras Folhosas	1163,057	505676,96	3173,78	4,463	23	1,978
		Pinheiro Manso e Outras Resinosas	185,784	185174,00	2021,30	4,697	10	5,383
2017	1000m	Matos	1481,536	773863,16	4252,89	4,835	19	1,282
		Invasoras	0	0	0	0	0	0

TABELA 10 - Valores dos parâmetros calculados para as áreas de influência de 100 metros, 500 metros e 1000 metros em torno das áreas classificadas como não geridas, na RFMGC de Ferreira do Zêzere

		NÃO GERIDO						
Classe de Ocupação do Solo		Área (ha)	Área	Perímetro (m)	Simuosidade	Nº Polígonos	Fragmentação	
2014	100m	Eucalipto	0	0	0	0	0	0
		Pinheiro Bravo	6,11	30535	889,625	5,09	2	32,75
		Sobreiro	0	0	0	0	0	0
		Castanheiros, Carvalhos e Outras Folhosas	0	1022,5	136,636	4,27	0	0
		Pinheiro Manso e Outras Resinosas	0,41	51200	1004,70	4,44	4	978,00
		Matos	5,12	0	0	0	1	19,53
	500m	Invasoras	0	95515,8	1757,25	5,69	0	0
		Eucalipto	9,55	36950	1412,49	7,35	1	10,47
		Pinheiro Bravo	3,70	0	0	0	1	27,06
		Sobreiro	0	80126	1624	5,74	0	0
		Castanheiros, Carvalhos e Outras Folhosas	8,01	93940	1690,49	5,52	1	12,48
		Pinheiro Manso e Outras Resinosas	9,39	46830	1674	7,74	1	10,65
	1000m	Matos	4,68	0	0	0	1	21,35
		Invasoras	0	1255,5	114,3175	3,23	0	0
		Eucalipto	0,25	0	0	0	2	796,26
		Pinheiro Bravo	0	0	0	0	0	0
		Sobreiro	0	0	0	0	0	0
		Castanheiros, Carvalhos e Outras Folhosas	1,79	17906	872,16	6,52	1	55,85
2017	100m	Pinheiro Manso e Outras Resinosas	0	0	0	0	0	0
		Matos	0	0	0	0	0	0
		Invasoras	0	0	0	0	0	0
		Eucalipto	1212,97	237837,25	2675,53	5,49	51	4,20
		Pinheiro Bravo	558,21	90034,52	1333,33	4,44	62	11,11
		Sobreiro	0	0	0	0	0	0
	500m	Castanheiros, Carvalhos e Outras Folhosas	213,32	57655,14	915,20	3,81	37	17,34
		Pinheiro Manso e Outras Resinosas	1,30	6490,00	442,07	5,49	2	154,08
		Matos	178,03	74177,08	1075,44	3,95	24	13,48
		Invasoras	3	34119,30	808,35	4,38	1	29,31
		Eucalipto	1713,91	357064,58	3045,75	5,10	48	2,80
		Pinheiro Bravo	1879,39	696071,11	5305,70	6,36	27	1,44
	1000m	Sobreiro	8,80	87963,70	1986,53	6,70	1	11,37
		Castanheiros, Carvalhos e Outras Folhosas	1010,49	404295,00	3389,36	5,33	25	2,47
		Pinheiro Manso e Outras Resinosas	61,01	305053,50	2698,93	4,89	2	3,28
		Matos	1236,67	426439,31	3386,14	5,19	29	2,34
		Invasoras	69,88	698841,00	4752,78	5,69	1	1,43
		Eucalipto	691,29	363838,21	2751,21	4,56	19	2,75
2017	1000m	Pinheiro Bravo	1363,14	681568,00	4281,25	5,19	20	1,47
		Sobreiro	67,72	677211,00	7104,54	8,63	1	1,48
		Castanheiros, Carvalhos e Outras Folhosas	1194,24	663467,22	3354,95	4,12	18	1,51
		Pinheiro Manso e Outras Resinosas	261,23	373185,71	3226,57	5,28	7	2,68
		Matos	1754,83	762968,70	4961,30	5,68	23	1,31
		Invasoras	145	724955,00	5531,50	6,50	2	1,38

Como tal, recorrendo ao software R, procedeu-se à aplicação do teste *Wilcoxon* para a realização da comparação estatística entre os grupos “áreas geridas” e “áreas não geridas”, e “pré-RFMGC” e “pós-RFMGC”. O teste *Wilcoxon* é um teste não-paramétrico, utilizado para a comparação de dois conjuntos de amostras, apurando se elas são significativamente diferentes entre si respetivamente à variável de interesse (Stevens, 2013; Noether, 1992).

Face às características dos conjuntos de dados que, não seguem uma distribuição normal (ou Gaussiana), possuem uma amostra de pequena dimensão, e envolvem a comparação de dois conjuntos de amostras, considerou-se para o estudo a aplicação do teste *Wilcoxon* por melhor se adaptar às características dos mesmos.

O teste *Wilcoxon* possui duas versões: o teste *Wilcoxon rank sum* (ou teste Mann-Whitney), sendo aplicado quando as amostras são independentes; e o teste *Wilcoxon signed-rank*, sendo aplicado quando as amostras são dependentes.

No presente estudo foram ambos aplicados, o primeiro para a realização da comparação estatística entre o período pré e pós instalação das RFMGC, uma vez que foram comparados diferentes conjuntos de dados (os períodos pré e pós instalação não contemplam o mesmo conjunto de anos de área ardida - onde, dando o exemplo do município de Ferreira do Zêzere, os dados relativos aos anos de área ardida

de 2004 e 2005 foram comparados aos dos anos de área ardida de 2014 e 2017); por sua vez, o teste *Wilcoxon signed-rank* foi aplicado para a comparação estatística entre as áreas geridas e não geridas, dado que os anos de área ardida comparados eram os mesmos em cada conjunto de dados.

Nestes testes é formulada uma hipótese nula, e uma hipótese alternativa, onde o valor obtido de *p-value* ajuda a determinar a importância dos resultados em relação à hipótese nula. Um *p-value* igual ou inferior ao nível de significância (0,05), indica que o resultado é estatisticamente significativo, revelando que os dados analisados fornecem uma forte evidência contra a hipótese nula.

Desta forma, estabeleceram hipóteses nulas na comparação estatística das características das áreas ardidadas entre as áreas geridas e não geridas, onde foram testadas as seguintes hipóteses:

### **Comparação das características das áreas ardidadas nos intervalos de distância às áreas geridas e não geridas**

**H0:** Não existem diferenças nas características das áreas ardidadas, entre as áreas geridas e não geridas, no intervalo de distância de X metros

**H1:** Existem diferenças nas características das áreas ardidadas, entre as áreas geridas e não geridas, no intervalo de distância de X metros

### **Comparação das características das áreas ardidadas de determinado ano, nos intervalos de distância às áreas geridas e não geridas**

**H0:** Não existem diferenças nas características das áreas ardidadas do ano X, entre as áreas geridas e não geridas, no intervalo de distância de X metros

**H1:** Existem diferenças nas características das áreas ardidadas do ano X, entre as áreas geridas e não geridas, no intervalo de distância de X metros

### **Comparação das características das áreas ardidadas nos intervalos de distância estabelecidos às classes de ocupação do solo mais propensas a arder, das áreas geridas e não geridas**

**H0:** Não existem diferenças nas características das áreas ardidadas, entre as áreas geridas e não geridas, nas classes de ocupação do solo mais propensas a arder, no intervalo de distância de X metros

**H1:** Existem diferenças nas características das áreas ardidadas, entre as áreas geridas e não geridas, nas classes de ocupação do solo mais propensas a arder, no intervalo de distância de X metros

### **Comparação das características das áreas ardidas nos intervalos de distância estabelecidos às classes de ocupação do solo geridas e não geridas, mais propensas a arder, sem a contabilização da área ardida do ano de 2017**

**H0:** Não existem diferenças nas características das áreas ardidas, entre as áreas geridas e não geridas, nas classes de ocupação do solo mais propensas a arder, sem o ano de 2017, no intervalo de distância de X metros

**H1:** Existem diferenças nas características das áreas ardidas, entre as áreas geridas e não geridas, nas classes de ocupação do solo mais propensas a arder, sem o ano de 2017, no intervalo de distância de X metros

Na comparação estatística entre o período pré-RFMGC e pós-RFMGC, foram testadas as seguintes hipóteses:

### **Comparação das características das áreas ardidas nos intervalos de distância às RFMGC**

**H0:** Não existem diferenças nas características das áreas ardidas no intervalo de distância de X metros, após a instalação das RFMGC

**H1:** Existem diferenças nas características das áreas ardidas no intervalo de distância de X metros, após a instalação das RFMGC

Comparação das características das áreas ardidas nos intervalos de distância estabelecidos às classes de ocupação do solo mais propensas a arder na RFMGC

**H0:** Não existem diferenças nas características das áreas ardidas nas classes de ocupação do solo mais propensas a arder, no intervalo de distância de X metros, após a instalação das RFMGC

**H1:** Existem diferenças nas características das áreas ardidas nas classes de ocupação do solo mais propensas a arder, no intervalo de distância de X metros, após a instalação das RFMGC

## **5.3. RESULTADOS**

Foram analisados diferentes conjuntos de amostras nas comparações realizadas entre as áreas geridas e não geridas, bem como entre os períodos pré-instalação e pós-instalação das RFMGC, tendo compreendido um total de 324 observações, das quais 168 no município da Sertã, 72 no município de Figueiró dos Vinhos, e 84 no município de Ferreira do Zêzere.

Os vários parâmetros de dados calculados e análises posteriormente realizadas, incidiram em diferentes números de amostra de polígonos de área ardida, tendo as mesmas compreendido os números de polígonos apresentados nas tabelas em infra.

TABELA 11 - Nº de polígonos de áreas ardidas, por ano, nos intervalos de distância às áreas geridas e não geridas

	SERTÃ												FIGUEIRÓ DOS VINHOS						FERREIRA DO ZÊZERE					
	2016			2017			2018			2019			2016			2017			2014			2017		
	100	500	1000	100	500	1000	100	500	1000	100	500	1000	100	500	1000	100	500	1000	100	500	1000	100	500	1000
Geridas	37	37	9	996	1106	352	16	20	3	125	130	51	26	18	11	518	352	176	3	6	2	183	127	94
Não Geridas	40	42	13	1291	1323	374	21	15	5	117	138	51	33	17	12	454	412	213	7	5	3	177	133	90

TABELA 12 - Nº de polígonos de áreas ardidas nos intervalos de distância às áreas geridas e não geridas

	SERTÃ		FIGUEIRÓ DOS VINHOS		FERREIRA DO ZÊZERE	
	Geridas	Não Geridas	Geridas	Não Geridas	Geridas	Não Geridas
100m	1174	1469	544	487	186	184
500m	1293	1518	370	429	133	138
1000m	415	443	187	225	96	93

TABELA 13 - Nº de polígonos de áreas ardidas nos intervalos de distância às áreas geridas e não geridas das classes de ocupação de solo mais propensas a arder

	Tipos de ocupação do solo mais propensos a arder					
	SERTÃ		FIGUEIRÓ DOS VINHOS		FERREIRA DO ZÊZERE	
	Geridas	Não Geridas	Geridas	Não Geridas	Geridas	Não Geridas
100m	1039	1313	428	364	146	141
500m	1130	1343	302	351	107	108
1000m	256	259	137	166	61	66

\*Tipos de ocupação do solo considerados como mais propensos a arder: Florestas de Eucalipto, Florestas de Pinheiro-Bravo, Matos e Invasoras

TABELA 14 - Nº de polígonos de áreas ardidas nos intervalos de distância às áreas geridas e não geridas das classes de ocupação de solo mais propensas a arder, sem o ano de 2017

	Tipos de ocupação do solo mais propensos a arder, sem o ano de 2017					
	SERTÃ		FIGUEIRÓ DOS VINHOS		FERREIRA DO ZÊZERE	
	Geridas	Não Geridas	Geridas	Não Geridas	Geridas	Não Geridas
100m	173	170	20	22	2	3
500m	144	179	16	15	4	3
1000m	47	51	7	6	1	2

TABELA 15 - Nº de polígonos das áreas ardidas nos intervalos de distância às RFMGC, pré e pós instalação

	SERTÃ		FIGUEIRÓ DOS VINHOS		FERREIRA DO ZÊZERE	
	Pós-RFMGC	Pré-RFMGC	Pós-RFMGC	Pré-RFMGC	Pós-RFMGC	Pré-RFMGC
100m	1122	999	444	262	171	79
500m	1584	1632	423	242	137	99
1000m	511	323	224	85	70	44

TABELA 16 - Nº de polígonos das áreas ardidas nos intervalos de distância às RFMGC, nas classes de ocupação do solo mais propensas a arder, pré e pós instalação

	Tipos de ocupação do solo mais propensos a arder					
	SERTÃ		FIGUEIRÓ DOS VINHOS		FERREIRA DO ZÊZERE	
	Pós-RFMGC	Pré-RFMGC	Pós-RFMGC	Pré-RFMGC	Pós-RFMGC	Pré-RFMGC
100m	961	910	322	197	129	59
500m	1411	1524	344	188	109	73
1000m	301	208	165	63	44	35

## ÁREAS GERIDAS E ÁREAS NÃO GERIDAS

Os resultados observados para as áreas de influência estabelecidas a 100 metros, 500 metros e 1000 metros, entre áreas geridas e não geridas, destacam a existência de diferenças significativas ( $p\text{-value} < 0,05$ ) nas características nas áreas ardidas:

- Estabelecidas ao nível dos perímetros de incêndio ( $p\text{-value} = 0,01856$ ), sinuosidade ( $p\text{-value} = 0,007$ ) e nº de polígonos de incêndio ( $p\text{-value} = 0,04321$ ), numa distância a 100 metros das mesmas, no município da Sertã (Tabela 17);

TABELA 17 -  $P\text{-values}$  obtidos quando comparadas as características das áreas ardidas nos intervalos de distância às áreas geridas e não geridas, no município da Sertã

Buffer	Sertã				
	Área ardida	Perímetro	Sinuosidade	Fragmentação	Nº de Polígonos
100 m	0,1119	<b>0,01856</b>	<b>0,007</b>	0,3652	<b>0,04321</b>
500 m	0,3604	0,2873	0,8666	0,4898	1
1000 m	0,7628	0,4326	0,888	0,8248	0,6038

- No parâmetro da sinuosidade ( $p\text{-value} = 0,03763$ ) no intervalo de distância 100-500 metros, bem como no total de área ardida ( $p\text{-value} = 0,009152$ ) no intervalo de distância 500-1000 metros, no município de Ferreira do Zêzere (Tabela 18);

TABELA 18 -  $P\text{-values}$  obtidos quando comparadas as características das áreas ardidadas nos intervalos de distância às áreas geridas e não geridas, no município de Ferreira do Zêzere

Ferreira do Zêzere					
Buffer	Variáveis				
	Área ardida	Perímetro	Sinuosidade	Fragmentação	Nº de Polígonos
100 m	0,7223	1	0,1235	0,05802	0,4911
500 m	0,367	0,367	<b>0,03763</b>	0,367	0,2276
1000 m	<b>0,009152</b>	0,3433	0,5536	0,1551	0,7344

- No município de Figueiró dos Vinhos, o parâmetro da sinuosidade, embora tenha registado um valor superior a 0,05 ( $p\text{-value} = 0,05593$ ) no intervalo de distância 100-500 metros, o mesmo não deixa de indicar que existe uma relação significativa entre o padrão das áreas ardidadas e o respetivo parâmetro em questão (Tabela 19).

TABELA 19 -  $P\text{-values}$  obtidos quando comparadas as características das áreas ardidadas nos intervalos de distância às áreas geridas e não geridas, no município de Figueiró dos Vinhos

Figueiró dos Vinhos					
Buffer	Variáveis				
	Área ardida	Perímetro	Sinuosidade	Fragmentação	Nº de Polígonos
100 m	0,4148	0,1029	0,1536	0,4755	0,3291
500 m	0,1973	0,4498	0,05593	0,8939	0,3604
1000 m	0,4498	0,7557	0,6248	1	0,1056

Por sua vez, quando estabelecida a comparação entre as áreas geridas e não geridas de cada ano de área ardida, os valores indicam a existência de diferenças significativas no ano de 2017, ao nível:

- Da sinuosidade ( $p\text{-value} = 0,01563$ ), num intervalo de distância a 100 metros das mesmas, bem como no total de área ardida ( $p\text{-value} = 0,03125$ ) no intervalo de distância 100-500 metros, no município da Sertã (Tabela 20);

TABELA 20 - *P-values* obtidos quando comparadas as características das áreas aridas de um determinado ano, nos intervalos de distância às áreas geridas e não geridas, no município da Sertã

Anos	Sertã					
	Buffer	Variáveis				
		Área arida	Perimetro	Simuosidade	Fragmentação	Nº de Poligonos
2016	100 m	0,1003	0,1003	0,2012	0,8551	0,7127
	500 m	1	1	0,4185	1	0,1736
	1000 m	0,4227	0,4227	0,4227	1	1
2017	100 m	0,9375	0,1094	<b>0,01563</b>	0,2969	0,05917
	500 m	<b>0,03125</b>	0,1563	0,8125	0,8125	0,7995
	1000 m	0,2969	0,2188	0,4688	1	0,6115
2018	100 m	0,2012	0,1003	0,1003	0,8551	0,4227
	500 m	0,5839	0,8551	1	0,5839	0,3711
	1000 m	0,2012	0,5839	0,5839	0,2012	0,3458
2019	100 m	0,2012	0,8551	0,5839	0,8551	0,7893
	500 m	0,5839	0,8551	0,8551	0,2012	1
	1000 m	0,2807	0,2807	0,1056	0,5896	1

- Diferenças significativas foram também constatadas para o ano de 2017, no total de área arida (*p-value* = 0,02249), no município de Ferreira do Zêzere, no intervalo de distância de 500-1000 metros (Tabela 21).

TABELA 21 - *P-values* obtidos quando comparadas as características das áreas aridas de um determinado ano, nos intervalos de distância às áreas geridas e não geridas, no município de Ferreira do Zêzere

Anos	Ferreira do Zêzere					
	Buffer	Variáveis				
		Área arida	Perimetro	Simuosidade	Fragmentação	Nº de Poligonos
2014	100m	0.1814	0.4227	0.7893	0.1814	0.3711
	500m	0.4185	0.2807	0.1056	0.2807	1
	1000m	0.3711	1	1	0.3711	1
2017	100m	1	0.8339	0.1422	0.2945	1
	500m	1	1	0.2969	0.4469	0.3387
	1000m	<b>0.02249</b>	0.5541	0.375	0.5541	0.5982

Quando comparadas as áreas geridas e não geridas, ao nível dos tipos de ocupação do solo mais propensos a arder, foram identificadas diferenças estatisticamente significativas no:

- Parâmetro da sinuosidade (*p-value* = 0,03028), bem como no total de hectares aridos sem a contabilização do ano de área arida de 2017 (*p-value* = 0,009152), no intervalo de distância a 100 metros, no município da Sertã (Tabela 22);

TABELA 22 - *P-values* obtidos quando comparadas as características das áreas ardidas, com e sem a contabilização do ano de 2017, nos intervalos de distância estabelecidos às classes de ocupação do solo mais propensas a arder, das áreas geridas e não geridas, no município da Sertão

Ocupação do Solo	Buffer	Sertão				
		Área ardida	Perímetro	Variáveis		
				Sinuosidade	Fragmentação	Nº de Polígonos
Tipo de ocupação do solo mais propensos a arder	100 m	0,1422	0,05917	<b>0,03028</b>	0,9443	0,0999
	500 m	0,442	0,6247	0,442	0,8339	0,6441
	1000 m	0,7557	0,9645	0,9645	0,8939	1
Tipo de ocupação do solo mais propensos a arder sem 2017	100 m	<b>0,009152</b>	0,0972	0,2361	0,2361	0,7211
	500 m	0,4069	0,8127	0,5536	0,8127	1
	1000 m	0,4469	0,3525	0,5541	0,9326	1

\*Tipos de ocupação do solo considerados como mais propensos a arder: Florestas de Eucalipto, Florestas de Pinheiro-Bravo, Matos e Invasoras

Os restantes valores indicam que as diferenças estabelecidas entre áreas geridas e não geridas não são estatisticamente significativas (Tabelas, 23, 24 e 25).

TABELA 23 - *P-values* obtidos quando comparadas as características das áreas ardidas de um determinado ano, nos intervalos de distância às áreas geridas e não geridas, no município de Figueiró dos Vinhos

Anos	Buffer	Figueiró dos Vinhos				
		Área ardida	Perímetro	Variáveis		
				Sinuosidade	Fragmentação	Nº de Polígonos
2016	100 m	0,7874	0,5896	0,2807	0,1775	0,2785
	500 m	0,5896	0,5896	0,5896	0,5896	0,7728
	1000 m	1	1	0,5896	0,2807	0,7728
2017	100 m	0,2807	0,1056	0,4185	0,2807	0,8923
	500 m	0,4017	0,675	0,1563	0,5294	0,4185
	1000 m	0,3125	1	0,8438	0,09349	0,1056

TABELA 24 - *P-values* obtidos quando comparadas as características das áreas ardidas, com e sem a contabilização do ano de 2017, nos intervalos de distância estabelecidos às classes de ocupação do solo mais propensas a arder, das áreas geridas e não geridas, no município de Figueiró dos Vinhos

Ocupação do Solo	Buffer	Figueiró dos Vinhos				
		Área ardida	Perímetro	Variáveis		
				Sinuosidade	Fragmentação	Nº de Polígonos
Tipo de ocupação do solo mais propensos a arder	100 m	0,7998	0,2719	0,6726	0,7998	0,932
	500 m	0,6726	1	0,1508	0,9326	0,6741
	1000 m	1	0,7998	0,7998	0,4469	0,2807
Tipo de ocupação do solo mais propensos a arder sem 2017	100 m	0,7893	1	1	0,4227	0,7893
	500 m	0,6727	1	0,1508	0,9326	0,6741
	1000 m	1	0,7998	1	0,4469	0,2807

\*Tipos de ocupação do solo considerados como mais propensos a arder: Florestas de Eucalipto, Florestas de Pinheiro-Bravo, Matos e Invasoras

TABELA 25 - *P-values* obtidos quando comparadas as características das áreas ardidas, com e sem a contabilização do ano de 2017, nos intervalos de distância estabelecidos às classes de ocupação do solo mais propensas a arder, das áreas geridas e não geridas, no município de Ferreira do Zêzere

Ferreira do Zêzere						
Ocupação do Solo	Buffer	Variáveis				
		Área ardida	Perímetro	Sinuosidade	Fragmentação	Nº de Polígonos
Tipo de ocupação do solo mais propensos a arder	100 m	0,675	1	0,2084	0,05917	0,8539
	500 m	0,3525	0,3525	0,7593	0,7998	0,8902
	1000 m	0,675	0,2807	0,05906	1	0,5896
Tipo de ocupação do solo mais propensos a arder sem 2017	100 m	0,3711	1	1	0,3711	1
	500 m	0,4227	0,4227	0,4227	0,4227	1
	1000 m	1	1	1	1	1

### PERÍODO PRÉ-INSTALAÇÃO E PERÍODO PÓS-INSTALAÇÃO DAS RFMGC

Os resultados entre as diferenças estabelecidas nos períodos pré-instalação e pós-instalação das RFMGC, por sua vez, demonstraram ser mais significativos.

No município da Sertã, ao nível do total de área ardida, os intervalos de distância de 100-500 metros (*p-value* = 0,0399) e 500-1000 metros (*p-value* = 0,01291), registaram-se diferenças significativas nas características das áreas ardidas entre os dois períodos em questão (Tabela 26).

Todos os parâmetros, à exceção do número de polígonos de incêndio, verificaram diferenças significativas, no intervalo 500-1000 metros no município da Sertã (*p-values* = 0,01291 [ha]; 0,01291 [perímetro]; 0,01291 [sinuosidade]; 0,01554 [fragmentação]) (Tabela 26), e no município de Figueiró dos Vinhos, com exceção da sinuosidade (*p-values* = 0,03921 [ha]; 0,04781 [perímetro]; 0,03196 [fragmentação]; 0,03479 [n.º de polígonos]) (Tabela 27).

Por sua vez, ainda neste último município, foram identificados valores de *p-value* <0,05 no intervalo de distância de 100 metros, nos parâmetros da sinuosidade (*p-value* = 0,04379) e n.º de polígonos de incêndio (*p-value* = 0,03943) (Tabela 27). Já no município de Ferreira do Zêzere, constatou-se uma diferença significativa no parâmetro da fragmentação (*p-value* = 0,04834), no intervalo de distância de 100-500 metros (Tabela 28).

TABELA 26 - *P-values* obtidos quando comparadas as características das áreas ardidas nos intervalos de distância às RFMGC, no município da Sertã, pré e pós instalação

Sertã					
Buffer	Variáveis				
	Área ardida	Perímetro	Sinuosidade	Fragmentação	Nº de Polígonos
100 m	0,05093	0,8031	0,5597	0,1376	0,6053
500 m	<b>0,0399</b>	0,06835	0,08485	0,4663	0,149
1000 m	<b>0,01291</b>	<b>0,01291</b>	<b>0,01291</b>	<b>0,01554</b>	0,05093

TABELA 27 - *P-values* obtidos quando comparadas as características das áreas ardidas nos intervalos de distância às RFMGC, no município de Figueiró dos Vinhos, pré e pós instalação

Figueiró dos Vinhos					
Buffer	Variáveis				
	Área ardida	Perímetro	Sinuosidade	Fragmentação	Nº de Polígonos
100 m	0,09194	0,109	<b>0,04379</b>	0,8443	<b>0,03943</b>
500 m	0,09194	0,08568	0,598	0,7494	0,07751
1000 m	<b>0,03921</b>	<b>0,04781</b>	0,06979	<b>0,03196</b>	<b>0,03479</b>

TABELA 28 - *P-values* obtidos quando comparadas as características das áreas ardidas nos intervalos de distância às RFMGC, no município de Ferreira do Zêzere, pré e pós instalação

Ferreira do Zêzere					
Buffer	Variáveis				
	Área ardida	Perímetro	Sinuosidade	Fragmentação	Nº de Polígonos
100m	0,7416	0,6419	0,6911	0,7416	0,6653
500m	0,3948	0,3948	0,4326	<b>0,04834</b>	0,1679
1000m	0,7691	0,7183	0,7691	0,8734	0,7174

Já a análise às espécies mais propensas a arder, verificou-se diferença significativa em todos os parâmetros, com exceção do n.º de polígonos e total de área ardida (0,04064 [perímetro], 0,03409 [sinuosidade], 0,02278 [fragmentação]), a uma distância de 100 metros no município da Sertã (Tabela 29).

TABELA 29- *P-values* obtidos quando comparadas as características das áreas ardidas nos intervalos de distância estabelecidos às classes de ocupação do solo mais propensas a arder na RFMGC, no município da Sertã, pré e pós instalação

Sertã						
Ocupação do Solo	Buffer	Variáveis				
		Área ardida	Perímetro	Sinuosidade	Fragmentação	Nº de Polígonos
Tipos de ocupação do solo mais propensos a arder	100 m	0,05697	<b>0,04064</b>	<b>0,03409</b>	<b>0,02278</b>	0,4315
	500 m	0,1174	0,1656	0,05073	0,2781	0,1778
	1000 m	0,5073	0,6857	0,8296	0,3055	0,9202

\*Tipos de ocupação do solo considerados como mais propensos a arder: Florestas de Eucalipto, Florestas de Pinheiro-Bravo, Matos e Invasoras

Os restantes valores indicam que as diferenças estabelecidas entre o período pré-instalação e pós-instalação das RFMGC não são estatisticamente significativas (Tabelas 30, 31 e 32).

TABELA 30 - *P-values* obtidos quando comparadas as características das áreas ardidas nos intervalos de distância estabelecidos às classes de ocupação do solo mais propensas a arder na RFMGC, no município de Figueiró dos Vinhos, pré e pós instalação

Figueiró dos Vinhos						
Ocupação do Solo	Buffer	Variáveis				
		Área ardida	Perímetro	Sinuosidade	Fragmentação	Nº de Polígonos
Tipos de ocupação do solo mais propensos a arder	100 m	0,2057	0,2057	0,117	0,117	0,1348
	500 m	0,2652	0,2652	0,8354	0,7765	0,3737
	1000 m	0,2331	0,179	0,1348	0,2331	0,1337

TABELA 31 - *P-values* obtidos quando comparadas as características das áreas ardidas nos intervalos de distância estabelecidos às classes de ocupação do solo mais propensas a arder na RFMGC, no município de Ferreira do Zêzere, pré e pós instalação

Ferreira do Zêzere						
Ocupação do Solo	Buffer	Variáveis				
		Área ardida	Perímetro	Sinuosidade	Fragmentação	Nº de Polígonos
Tipo de ocupação do solo mais propensos a arder	100	0,6595	0,6595	0,6595	0,5526	0,5514
	500	0,4136	0,4136	0,4136	0,1146	0,2275
	1000	0,8312	0,8312	0,9536	0,9536	0,7711

#### 6.4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As RFMGC têm como principal objetivo criar descontinuidades de combustível que originem uma menor intensidade e propagação do fogo, bem como alteração do comportamento do mesmo reunindo melhores condições para a sua contenção/supressão (Agee et al., 2000). Nesta ótica, pretendeu-se perceber as mudanças estabelecidas nas características das áreas ardidas em diferentes intervalos de distância em torno das RFMGC. Partiu-se da premissa que através da análise de métricas relativas às formas das áreas ardidas podemos estabelecer relações com os padrões de propagação do fogo e perceber se os mesmos foram influenciados.

Steel et al. (2018), por exemplo, observaram uma tendência de aumento da densidade de polígonos de área ardida (fragmentação) em unidades de gestão com atividades recorrentes de supressão de incêndios rurais, bem como uma maior complexidade das formas de área ardidas em unidades de gestão florestais, quando comparadas a unidades de gestão com atividades recorrentes de supressão de incêndios.

Uma vez que se estabeleceram comparações entre áreas geridas e não geridas, bem como entre um período pré-implementação e um pós-implementação das RFMGC, esperou-se poder registar diferenças nas características das formas das áreas ardidas, nomeadamente ao nível da redução de área, diminuição dos perímetros de incêndio, diminuição da sinuosidade, bem como na diminuição do n.º de polígonos de incêndio, ou aumento, se acompanhado de um aumento da fragmentação.

Os resultados obtidos indicam que houve alteração, embora ténue, nos padrões da forma das áreas ardidadas ao nível de certos parâmetros de caracterização, no entanto não foi possível estabelecer um padrão concreto em que pudéssemos afirmar que a partir de/ou até uma distância de 100/500/1000 metros deixaríamos, ou passaríamos, a verificar a possível influência das RFMGC nos padrões das áreas ardidadas. O mais aproximado dessa conclusão foi registado no intervalo de distância dos 500-1000 metros, onde, após a instalação das RFMGC, se verificam diferenças significativas nos padrões das áreas ardidadas em praticamente todas as métricas analisadas, nos municípios da Sertã e Figueiró dos Vinhos.

No entanto, apesar disso, existem métricas nas quais se registaram mais frequentemente diferenças estatísticas significativas nas comparações estabelecidas, nomeadamente ao nível da sinuosidade. A diminuição da sinuosidade, como anteriormente descrito, pode indicar a existência de barreiras de atuação à propagação do fogo, uma vez que a menor complexidade da forma de um polígono de área ardidada pode derivar da diminuição de combustível, ou possível alocação de meios de supressão junto da frente de fogo, que impediram a sua propagação (Rollins et al., 2001).

Embora as métricas relativas às formas das áreas ardidadas nos indiquem informações da possível influência das RFMGC na propagação do fogo, as mesmas não são suficientes na avaliação da sua eficácia, uma vez que vários fatores influenciam o seu sucesso. Variáveis topográficas (exemplo: declive), condições climáticas, tipos de combustíveis, intensidade e comportamento do fogo, atividades de supressão, *design*, manutenção e acessos são algumas daquelas que podem influenciar o sucesso das RFMGC (Ortega et al., 2024; Syphard et al., 2011). Estudos realizados na quantificação da eficácia das RFMGC demonstraram que as principais variáveis que determinam o sucesso de uma faixa de gestão de combustível prendem-se com as condições climáticas (ex: humidade, vento), com o comportamento do fogo (ex: ângulo de interseção), e com a existência de atividades de supressão (meios de combate terrestres ou aéreos) (Ortega et al., 2024; Syphard et al., 2011).

Os resultados obtidos podem ter sofrido constrangimentos derivado do tamanho da amostra do número de anos comparados, os quais se verificaram apenas 2 nos municípios de Figueiró dos Vinhos e Ferreira do Zêzere, dos quais um deles inerente ao ano atípico de 2017 em matéria de incêndios. Uma análise que compreendesse um maior número de anos de área ardidada poderia ter originado resultados mais consistentes, tendo tal sido verificado no caso do município da Sertã. Outra hipótese seria agregando um conjunto alargado de municípios, passando a compreender muitos polígonos como unidades de análise, que, permitiriam realizar comparações estatísticas mais sólidas. Por sua vez, as áreas geridas e não geridas, obtiveram áreas de influência bastante semelhantes entre elas, dado que a classificação das mesmas está assente ao nível do pixel das imagens de satélite, de resolução 10 metros, o que produz pequenas áreas dispersas de pequena relevância.

## CAPÍTULO 7. DA TEORIA À PRÁTICA – EXPERIÊNCIA PROFISSIONAL NUM GABINETE TÉCNICO FLORESTAL

É de conhecimento geral que muitas vezes existe um desfasamento entre a teoria e planeamento, face ao que é realmente a sua aplicação. Com a entrada do Decreto-Lei n.º 82/2021 em vigor, as entidades precisaram de se adaptar ao novo quadro jurídico, e foi precisamente nessa mesma fase que ingressei profissionalmente num Gabinete Técnico Florestal. Com esta experiência pude acompanhar o funcionamento e aplicação do Decreto-Lei n.º 82/2021, na sua componente prática, ao nível das competências atribuídas às autarquias municipais, e com isso, perceber os muitos desafios e constrangimentos à sua aplicação.

### **Burocracia**

Os procedimentos burocráticos que, em algumas situações, poderiam prolongar-se meses até à sua conclusão, diziam respeito, em grande parte, às notificações dirigidas aos proprietários em situação de incumprimento do dever de gestão de combustível nas faixas de gestão inerentes à rede secundária, ou a áreas urbanas, ao abrigo do regulamento municipal.

Exemplificando concretamente esta questão, após o término do prazo concedido aos proprietários para a gestão dos seus terrenos, o gabinete desencadeava os procedimentos legais de resposta às participações recebidas por falta de manutenção de combustível. Com isto, procedia-se a uma inspeção ao local, com o intuito de averiguar a situação, e, no caso do proprietário se encontrar efetivamente em incumprimento, notificar-se formalmente o mesmo. À data do aviso de receção da notificação, o proprietário dispunha de 30 dias para proceder à realização da gestão dos materiais combustíveis. Paralelamente a GNR, ou a PSP, conforme a área de atuação, eram igualmente informadas sobre o incumprimento, procedendo os próprios às respetivas diligências. Ao fim dos 30 dias, era realizada nova deslocação ao local a fim de averiguar se a gestão dos combustíveis tinha sido efetuada, e no caso de o mesmo não se constatar, era realizada uma segunda notificação, dispondo o proprietário de mais 30 dias para o efeito. No decorrer deste processo já se contabilizam cerca de 2 meses, e duas deslocações ao terreno.

As autarquias nestas situações podem substituir-se aos proprietários e posteriormente imputar-lhes as despesas, no entanto, a verba prevista nos contratos estabelecidos para a manutenção e limpeza de terrenos prevê um número limitado de hectares destinado para o efeito, que muitas vezes, não se revela suficiente para executar a limpeza coerciva de todas as propriedades que se encontrem na referida situação.

A esta problemática acresce-se o facto de em numerosos casos não ser possível identificar os proprietários, e de, conseqüentemente, não ser possível de imputar custos ou aplicar coimas.

Este processo multiplicado por centenas de participações junto do Gabinete dificulta uma resposta mais célere e torna o processo moroso.

### **Falta de informação acerca dos proprietários**

Grande parte da gestão da Rede Secundária está sob a responsabilidade de proprietários privados. No entanto, a identificação dos proprietários nem sempre é possível de se realizar, por falta de informação atualizada (nomes ou moradas), ou, por não existir informação relativa à identificação do terreno (inexistência de cadastro predial urbano até novembro de 2023).

A maioria das situações reportadas, onde não haja possibilidade de identificar o proprietário, acabam por transitar de ano para ano, sem resolução. Esta situação é um problema transversal a inúmeras Câmaras Municipais e amplamente debatido.

### **Custos de manutenção**

Os custos associados aos trabalhos de gestão do combustível são dos maiores constrangimentos inerentes à gestão das RFMGC. Consultando as tabelas CAOF 2022, verifica-se que o custo de uma operação de controlo da vegetação espontânea total, varia entre os 444,8€/ha e os 1334,4€/ha, conforme as condições do terreno. Considerando a realidade das famílias portuguesas, o envelhecimento da população nos territórios rurais, e o custo de vida atual, a possibilidade de poder suportar os custos de manutenção de um terreno verifica-se insustentável. Mesmo para as entidades públicas, e considero neste caso, as autarquias locais, os custos respetivos à execução anual da totalidade da RFMGC à sua responsabilidade, verifica-se bastante dispendioso, e face ao seu peso no orçamento, acaba por ser opção priorizar e executar apenas parte da mesma.

Isto expõe a falta de rentabilidade associada às propriedades, onde a manutenção dos combustíveis se verifica uma despesa, e não um investimento com retorno associado.

### **Lei da Proteção de Dados Pessoais**

A Lei da Proteção de Dados Pessoais estabelece-se como um obstáculo à partilha de informação entre entidades. Novamente recaímos na questão da informação relativa à identificação dos proprietários. As

autarquias locais possuem uma maior facilidade em proceder à identificação de proprietários de terrenos. No entanto, outras entidades englobadas no SGIFR não possuem essa facilidade. Nesse sentido, as entidades recorrem às autarquias para solicitar esses dados, de forma a poderem notificar os proprietários respetivamente às ações de gestão combustível a realizar. Por sua vez, as mesmas encontram-se condicionadas pela proteção de dados, não podendo fornecer essa informação.

### **Falta de acesso aos terrenos**

Abordando novamente a questão das limpezas coercivas por parte das autarquias locais, outro constrangimento verificado estabelece-se com a falta de acessos a terrenos vedados para a execução coerciva da gestão de combustíveis. O Decreto-Lei n.º 82/2021, nestes casos prevê a possibilidade de pedir auxílio da força pública em caso de falta de acesso aos terrenos, no entanto, quando solicitada, apenas só pode ser facultada mediante ordem do tribunal, o que reflete a falta de agilidade na resolução de situações, e contribui para que o processo acabe por não prosseguir em frente.

### **Carência e sobrecarga dos técnicos**

As competências a cargo das autarquias locais no âmbito do Decreto-Lei n.º 82/2021 compreendem uma série funções associadas, fora as que estão atribuídas aos Gabinetes Técnicos Florestais noutros domínios. No entanto, existe falta, por parte dos decisores políticos, de perceção relativamente às funções que lhes estão atribuídas, e que não reforçar as equipas de técnicos compromete seriamente a aplicação do Decreto-Lei n.º 82/2021 no território. Pode presenciar a nível sub-regional a realidade neste domínio relativamente a outras autarquias. Todos os técnicos integravam outras divisões das Câmaras Municipais, bem como tinham mais que um GTF sob a sua responsabilidade. Isto compromete seriamente todos os trabalhos desenvolvidos e solicitados no âmbito dos projetos a aplicar no território, previstos no PNA, que por muitas vezes sofriam atrasos ou não eram executados.

## CAPÍTULO 8. CONCLUSÕES

A redução e tratamentos de combustível são a chave para diminuir a propagação e intensidade do fogo, facilitando a supressão quando implementados a uma grande escala. Como tal, para que as RFMGC cumpram os seus objetivos, é fundamental uma gestão eficaz da vegetação das mesmas.

Neste sentido, pretendeu-se com este estudo avaliar em que medida os padrões espaciais dos incêndios foram influenciados pelo estabelecimento das Redes de Faixas e Mosaicos de Gestão de Combustível e pelas suas características, bem como o grau de implementação das mesmas ao nível do território. Os municípios da Sertã, de Figueiró dos Vinhos e Ferreira do Zêzere foram selecionados como área de estudo e de teste, por serem frequentemente afetados por incêndios rurais.

Face às variadas dimensões que as RMFGC podem tomar, a sua monitorização é complexa, morosa e dispendiosa. Desta forma, foi desenvolvida neste estudo uma metodologia simples, com base em dados de acesso aberto, e que pode ajudar a contribuir para facilitar este processo. O modelo apresentado permite distinguir as áreas geridas e não geridas nas RFMGC com base no combustível existente, colocando em evidência as áreas que necessitam de intervenção. Porém, o mesmo revelou algumas limitações, nomeadamente ao nível dos anos disponíveis para os dados, uma vez que nem toda a informação de base utilizada é atualizada anualmente (como por exemplo a COS ou os ortofotomapas). O trabalho de campo, por sua vez, também demonstrou uma certa dificuldade do modelo em identificar como áreas geridas aquelas que, conforme a legislação, podem manter um certo nível de matéria combustível, sendo exemplo disso as florestas de sobreiro.

Os resultados apontam assim para uma fraca gestão das RFMGC nos municípios analisados, com um grau de intervenção nas classes de uso e ocupação do solo mais suscetíveis a arder de cerca de 36,17 % na Sertã, 27,24 % em Figueiró dos Vinhos e 19,49 % em Ferreira do Zêzere. Realça-se que, das áreas geridas identificadas, grande parte apresenta uma estreita relação com o padrão espacial das mais recentes áreas ardidadas (zonas que arderam ou que estiveram bastante próximas do contacto com o fogo); com setores da Rede Primária e Mosaicos de Gestão de Combustível cuja responsabilidade de gestão se encontra a cargo de entidades públicas, ou financiadas por fundos públicos; ou estão associadas a atividades económicas.

O envelhecimento da população, o decréscimo da população, e os elevados custos dos trabalhos de manutenção das RFMGC, aliado à falta de agilidade e recursos por parte das entidades públicas responsáveis pela sua fiscalização, são fatores que contribuem para o cenário acima descrito no que toca à implementação das RFMGC no território. Isto salienta a importância em rentabilizar economicamente os territórios rurais, de forma que estes não caiam no abandono, e justifiquem o investimento na sua manutenção.

No que toca à influência exercida pelas RFMGC nas características das áreas ardidas, antes e depois da implementação das RFMGC, para o período de 1990-2019, demonstrou-se que todos os municípios registaram uma evolução positiva, com maior ênfase para o da Sertã. Neste município verificou-se que em todos os parâmetros analisados houve sinais desta influência, visíveis através da diminuição do número de hectares ardidos e da sinuosidade, acompanhado de um aumento do número de incêndios e fragmentação. Os resultados alcançados neste município podem derivar do facto do mesmo possuir uma RFMGC muito mais densa e um nível de intervenção no território maior, exemplificando que mesmo sem estar implementada a 100 %, as áreas que foram geridas permitiram alterar as características das áreas ardidas neste conjunto de anos.

Ficou ainda demonstrado que a preferência do fogo tende para as classes de uso do solo referentes ao pinheiro-bravo e eucalipto, seguindo-se a dos matos. Excecionalmente, as florestas de outras resinosas (no município de Figueiró) e as florestas de sobreiro (no município da Sertã), apresentaram uma propensão relativamente elevada para arder, tendo como possível explicação a existência de sub-bosque e falta da gestão do mesmo.

Embora esteja comprovado que as interrupções de combustíveis produzem efeitos no comportamento do fogo e na sua propagação, alguns estudos demonstraram igualmente a sua ineficácia, sob certas condições. De forma a compreender o impacto que as RFMGC exerceram na propagação do fogo, e determinar a sua influência nos padrões das áreas ardidas, foram definidos intervalos de distância de 100 metros, 500 metros e 1000 metros às mesmas, com o intuito de analisar e comparar estatisticamente as métricas calculadas para os polígonos de área ardida em cada intervalo de distância, e assim apurar diferenças estatísticas estabelecidas entre áreas geridas e não geridas, bem como entre os períodos pré-instalação e pós-instalação definidos (anos de área ardida compreendidos no período em vigor dos PMDFCI seleccionados para o estudo).

Os resultados obtidos indicam que houve alteração, embora ténue, nos padrões da forma das áreas ardidas ao nível de certos parâmetros de caracterização, no entanto não foi possível estabelecer um padrão concreto em que pudéssemos afirmar que a partir de/ou até uma distância de 100/500/1000 metros deixaríamos, ou passaríamos a verificar a possível influência das RFMGC nos padrões das áreas ardidas. O mais aproximado dessa conclusão foi registado no intervalo de distância dos 500m-1000m, onde, após a instalação das RFMGC, se verificam diferenças significativas nos padrões das áreas ardidas em praticamente todas as métricas analisadas, nos municípios da Sertã e Figueiró dos Vinhos.

Importa salientar que os resultados obtidos podem ter sofrido constrangimentos derivado do tamanho da amostra do número de anos comparados, os quais se verificaram apenas 2 nos municípios de Figueiró dos Vinhos e Ferreira do Zêzere, dos quais um deles inerente ao ano atípico de 2017 em matéria de incêndios. Uma análise que compreendesse um maior número de anos de área ardida poderia ter

originado resultados mais consistentes, tendo tal sido verificado no caso do município da Sertã. Outra hipótese seria agregando um conjunto alargado de municípios à análise, passando a compreender muitos polígonos como unidades de análise, que, permitiriam realizar comparações estatísticas mais sólidas. Por sua vez, as áreas geridas e não geridas, obtiveram áreas de influência bastante semelhantes entre elas, dado que a classificação das mesmas está assente ao nível do pixel das imagens de satélite, de resolução 10 m, o que produz pequenas áreas dispersas de pequena relevância.

Assim, embora as métricas relativas às formas das áreas ardidas nos indiquem informações da possível influência das RFMGC na propagação do fogo, as mesmas não são suficientes na avaliação da sua eficácia, uma vez que vários fatores influenciam e contribuem para o seu sucesso.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Afonso, R., Neves, A., Viegas Damásio, C., Moura Pires, J., Birra, F., & Santos, M. Y. (2020). Assessment of interventions in fuel management zones using remote sensing. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(9), 533.

Agee, J. K., Bahro, B., Finney, M. A., Omi, P. N., Sapsis, D. B., Skinner, C. N., Wagtendonk J.W., Weatherspoon, C. P. (2000). The use of shaded fuelbreaks in landscape fire management. *Forest ecology and management*, 127(1-3), 55-66.

Ager, A., Day, M., Finney, M., Vance-Borland, M., Vaillant, N. (2014). Analyzing the transmission of wildfire exposure on a fire-prone landscape in Oregon, USA. *Forest Ecology and Management* 334 (2014) 377–390.

Baijnath-Rodino, J. A., Martinez, A., York, R. A., Foufoula-Georgiou, E., AghaKouchak, A., & Banerjee, T. (2023). Quantifying the effectiveness of shaded fuel breaks from ground-based, aerial, and spaceborne observations. *Forest Ecology and Management*, 543, 121142.

Beighley, M., & Hyde, A. C. (2018). Portugal Wildfire Management in a New Era Assessing Fire Risks. *Resources and Reforms*.

Bergonse, R., Oliveira, S., Zêzere, J. L., Moreira, F., Ribeiro, P. F., Leal, M., & e Santos, J. M. L. (2022). Biophysical controls over fire regime properties in Central Portugal. *Science of The Total Environment*, 810, 152314.

Calheiros, T., Benali, A., Pereira, M., Silva, J., & Nunes, J. (2022). Drivers of extreme burnt area in Portugal: fire weather and vegetation. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 22(12), 4019-4037.

Carreiras, M., Ferreira, A. J. D., Valente, S., Fleskens, L., Gonzales-Pelayo, Ó., Rubio, J. L., Soof C.R., Coelho C.O.A., Ferreira C.S.S., Ritsema, C. J. (2014). Comparative analysis of policies to deal with wildfire risk. *Land Degradation & Development*, 25(1), 92-103.

Comissão Técnica Independente, Coord. Guerreiro, J.; Fonseca, C.; Salgueiro, A.; Fernandes, P.; Lopez Iglésias, E.; de Neufville, R.; Mateus, F.; Castellnou Ribau, M.; Sande Silva, J.; Moura, J. M.; Castro Rego, F.; Caldeira, D. N. (2022) Avaliação dos incêndios ocorridos entre 14 e 16 de outubro de 2017 em Portugal continental – Relatório final, Lisboa: Assembleia da República.

Comissão Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios de Ferreira do Zêzere (2013). Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios – Cadernos I e II, Ferreira do Zêzere.

Comissão Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios de Figueiró dos Vinhos (2016). Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios – Cadernos I e II, Figueiró dos Vinhos.

Comissão Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios da Sertã (2015). Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios – Cadernos I e II, Sertã.

Curt, T., Borgniet, L., & Bouillon, C. (2013). Wildfire frequency varies with the size and shape of fuel types in southeastern France: Implications for environmental management. *Journal of environmental management*, 117, 150-161.

Damianidis, C., Santiago-Freijanes, J. J., den Herder, M., Burgess, P., Mosquera-Losada, M. R., Graves, A., Papadopoulos, A., Pisanelli, A., Camilli, F., Rois-Díaz, M., Kay, S., Palma J., & Pantera, A. (2021). Agroforestry as a sustainable land use option to reduce wildfires risk in European Mediterranean areas. *Agroforestry Systems*, 95, 919-929.

Decreto-Lei nº 82/2021. D.R. 1ª Série. 199 (13-10-2021) 2-47. Disponível em WWW: <<https://files.dre.pt/1s/2021/10/19900/0000200047.pdf> >

Dupuy, J.-L.; Maréchal, J. (2011). Slope effect on laboratory fire spread: contribution of radiation and convection to fuel bed preheating. *International Journal of Wildland Fire*, 20(2), 289.

Elachi, C., & Van Zyl, J. J. (2021). Introduction to the physics and techniques of remote sensing. John Wiley & Sons.

ESA (2015). SENTINEL-2 User Handbook. European Space Agency.

Fernandes, P. (2006). Silvicultura preventiva e gestão de combustíveis: opções e optimização. Incêndios rurais em Portugal-Characterização, impactes e prevenção. ISApress, Lisboa.

Frampton, W. J., Dash, J., Watmough, G., & Milton, E. J. (2013). Evaluating the capabilities of Sentinel-2 for quantitative estimation of biophysical variables in vegetation. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 82, 83-92.

Gannon, B., Wei, Y., Belval, E., Young, J., Thompson, M., O'Connor, C., Calkin D., Dunn, C. (2023). A quantitative analysis of fuel break effectiveness drivers in Southern California National Forests. *Fire*, 6(3), 104.

GiuseppeFigliomeni, F., & Parente, C. (2021). GIS based approach for NDVI application to Landsat 7 ETM+ imagery and thematic accuracy evaluation. *IOSR Journal of Applied Geology and Geophysics (IOSR-JAGG)*, Volume 9, Issue 5 Ser. I (Sep. – Oct. 2021), PP 34-40

- Hellberg, E., Niklasson, M., & Granström, A. (2004). Influence of landscape structure on patterns of forest fires in boreal forest landscapes in Sweden. *Canadian Journal of Forest Research*, 34(2), 332-338.
- Hesseln, H. (2018). Wildland fire prevention: A review. *Current Forestry Reports*, 4, 178-190.
- Huang, S., Tang, L., Hupy, J. P., Wang, Y., & Shao, G. (2021). A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. *Journal of Forestry Research*, 32(1), 1-6. ISO 690
- Huete, A. R. (2012). Vegetation indices, remote sensing and forest monitoring. *Geography Compass*, 6(9), 513-532.
- Immitzer, M., Vuolo, F., & Atzberger, C. (2016). First experience with Sentinel-2 data for crop and tree species classifications in central Europe. *Remote sensing*, 8(3), 166.
- Lloret, F., Calvo, E., Pons, X., & Díaz-Delgado, R. (2002). Wildfires and landscape patterns in the Eastern Iberian Peninsula. *Landscape Ecology*, 17, 745-759.
- Marques, S., Borges, J. G., Garcia-Gonzalo, J., Moreira, F., Carreiras, J. M. B., Oliveira, M. M., B. Botequim., Pereira, J. M. C. (2011). Characterization of wildfires in Portugal. *European Journal of Forest Research*, 130, 775-784.
- McKinney, S. T., Abrahamson, I., Jain, T., & Anderson, N. (2022). A systematic review of empirical evidence for landscape-level fuel treatment effectiveness. *Fire Ecology*, 18(1), 21.
- Misra, G., Cawkwell, F., & Wingler, A. (2020). Status of phenological research using Sentinel-2 data: A review. *Remote Sensing*, 12(17), 2760.
- Noether, G.E. (1992). Introduction to Wilcoxon (1945) Individual Comparisons by Ranking Methods. In: Kotz, S., Johnson, N.L. (eds) *Breakthroughs in Statistics*. Springer Series in Statistics. Springer, New York, NY. [https://doi.org/10.1007/978-1-4612-4380-9\\_15](https://doi.org/10.1007/978-1-4612-4380-9_15)
- Oliveira, S., Gonçalves, A., & Zêzere, J. L. (2021). Reassessing wildfire susceptibility and hazard for mainland Portugal. *Science of the total environment*, 762, 143121.
- Oliveira, S., Gonçalves, A., Benali, A., Sá, A., Zêzere, J. L., & Pereira, J. M. (2020). Assessing risk and prioritizing safety interventions in human settlements affected by large wildfires. *Forests*, 11(8), 859.
- Oliveira, S., Zêzere, J. L., Queirós, M., & Pereira, J. M. (2017). Assessing the social context of wildfire-affected areas. The case of mainland Portugal. *Applied Geography*, 88, 104-117.

Oliveira, T. M., Barros, A. M., Ager, A. A., & Fernandes, P. M. (2016). Assessing the effect of a fuel break network to reduce burnt area and wildfire risk transmission. *International Journal of Wildland Fire*, 25(6), 619-632.

Ortega, M., Silva, F. R. Y., & Molina, J. R. (2024). Modeling fuel break effectiveness in southern Spain wildfires. *Fire Ecology*, 20(1), 40.

Ortega, M., Silva, F. R. Y., & Molina, J. R. (2024). Modeling fuel break effectiveness in southern Spain wildfires. *Fire Ecology*, 20(1), 40.

Pereira-Pires, J. E., Aubard, V., Ribeiro, R. A., Fonseca, J. M., Silva, J. M., & Mora, A. (2021, July). Fuel Break Vegetation Monitoring with Sentinel-2 NDVI Robust to Phenology and Environmental Conditions. In *2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS* (pp. 6264-6267). IEEE.

Pereira-Pires, J. E., Aubard, V., Silva, J. M., Ribeiro, R. A., Pereira, J. M., Fonseca, J. M., Campagnolo M.L., Mora, A. (2020, July). Pixel-based and object-based change detection methods for assessing fuel break maintenance. In *2020 International Young Engineers Forum (YEF-ECE)* (pp. 49-54). IEEE.

Phiri, D., Simwanda, M., Salekin, S., Nyirenda, V. R., Murayama, Y., & Ranagalage, M. (2020). Sentinel-2 data for land cover/use mapping: A review. *Remote Sensing*, 12(14), 2291.

Piragnolo, M., Lusiani, G., & Pirotti, F. (2018). Comparison of vegetation indices from RPAS and Sentinel-2 imagery for detecting permanent pastures. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 1381-1387.

Plano municipal de defesa da floresta contra incêndios do município de Ferreira do. Disponível em: [ftp://fogos.icnf.pt/pmdfci/14\\_Santarem/1411/2G/Caderno\\_I/Texto/PMDFCI\\_FerreiraDoZezere\\_Caderno\\_I.pdf](ftp://fogos.icnf.pt/pmdfci/14_Santarem/1411/2G/Caderno_I/Texto/PMDFCI_FerreiraDoZezere_Caderno_I.pdf)

Pôças, I., Calera, A., Campos, I., & Cunha, M. (2020). Remote sensing for estimating and mapping single and basal crop coefficients: A review on spectral vegetation indices approaches. *Agricultural Water Management*, 233, 106081.ISO 690

Resolução do Conselho de Ministros n.º 45-A/2020. D.R. 1ª Série. 115 (16-06-2020) 23-(2). Disponível em WWW: <<https://files.diariodarepublica.pt/1s/2020/06/11501/0000200145.pdf>>

Rollins, M. G., Swetnam, T. W., & Morgan, P. (2001). Evaluating a century of fire patterns in two Rocky Mountain wilderness areas using digital fire atlases. *Canadian Journal of Forest Research*, 31(12), 2107–2123.

Sabins Jr, F. F., & Ellis, J. M. (2020). *Remote sensing: Principles, interpretation, and applications*. Waveland Press.

Salis, M., Del Giudice, L., Arca, B., Ager, A. A., Alcasena-Urdirroz, F., Lozano, O., Bacciu V., Spano D., Duce, P. (2018). Modeling the effects of different fuel treatment mosaics on wildfire spread and behavior in a Mediterranean agro-pastoral area. *Journal of environmental management*, 212, 490-505.

Salis, M., Ager, A. A., Finney, M. A., Arca, B., & Spano, D. (2014). Analyzing spatiotemporal changes in wildfire regime and exposure across a Mediterranean fire-prone area. *Natural Hazards*, 71(3), 1389–1418.

San-Miguel-Ayanz, J., Moreno, J. M., & Camia, A. (2013). Analysis of large fires in European Mediterranean landscapes: Lessons learned and perspectives. *Forest Ecology and Management*, 294, 11-22.

Savchenko, Y. Y., Goleva, O. G., Korchagina, I. A., Lobanova, Y. S., & Borzhikov, T. S. (2020, April). GIS approaches to creating maps based on vegetation indices for forest management. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 828, No. 1, p. 012021). IOP Publishing.

Shinneman, D. J., Germino, M. J., Pilliod, D. S., Aldridge, C. L., Vaillant, N. M., & Coates, P. S. (2019). The ecological uncertainty of wildfire fuel breaks: examples from the sagebrush steppe. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 17(5), 279-288.

Silva, J. S., Vaz, P., Moreira, F., Catry, F., & Rego, F. C. (2011). Wildfires as a major driver of landscape dynamics in three fire-prone areas of Portugal. *Landscape and Urban Planning*, 101(4), 349-358.

Stevens, James P. 2013. *Intermediate Statistics: A Modern Approach*. Routledge.

Stratton, R. D. (2004). Assessing the effectiveness of landscape fuel treatments on fire growth and behavior. *Journal of Forestry*, 102(7), 32-40.

Steel, Z. L., Koontz, M. J., & Safford, H. D. (2018). The changing landscape of wildfire: burn pattern trends and implications for California's yellow pine and mixed conifer forests. *Landscape Ecology*, 33, 1159-1176.

Syphard, A. D., Keeley, J. E., & Brennan, T. J. (2011). Comparing the role of fuel breaks across southern California national forests. *Forest Ecology and Management*, 261(11), 2038-2048.

Tedim, F., Royé, D., Bouillon, C., Correia, F. J.M., Leone, V. (2018). Understanding unburned patches patterns in extreme wildfire events: a new approach. *Advances in Forest Fire Research 2018 - D. X. Viegas (Ed.) Chapter 3 – Fire Management*.

Viegas, D. X. (2018). Wildfires in Portugal. *Fire Research*, 2(1).

Viegas, Domingos X. (2004). *International Journal of Wildland Fire*, 13(2), 143.

Weise, C. L., Brussee, B. E., Coates, P. S., Shinneman, D. J., Crist, M. R., Aldridge, C. L., Heinrichs, J. L. & Ricca, M. A. (2023). A retrospective assessment of fuel break effectiveness for containing rangeland wildfires in the sagebrush biome. *Journal of Environmental Management*, 341, 117903.

Xue, J., & Su, B. (2017). Significant remote sensing vegetation indices: A review of developments and applications. *Journal of sensors*, 2017(1), 1353691.ISO 690

## ANEXOS

Anexo 1 - N.º de Incêndios em Portugal, por ano (1990-2023)

ANOS	N.º incêndios			%		Total área ardida (ha)
	<1	>100	Total	<1	>100	
2023	6453	39	7635	85	0,5	34420
2022	8526	100	10323	83	1,0	109910
2021	6163	30	7452	83	0,4	27129
2020	7926	64	9182	86	0,7	65823
2019	8921	62	10528	85	0,6	41850
2018	10027	25	11451	88	0,2	44078
2017	15271	270	19104	80	1,4	537131
2016	12185	205	14980	81	1,4	166185
2015	15387	101	18945	81	0,5	66795
2014	7814	30	9095	86	0,3	22544
2013	18053	219	21917	82	1,0	157327
2012	20418	144	25107	81	0,6	110136
2011	21490	112	26128	82	0,4	67594
2010	18567	183	24630	75	0,7	130956
2009	18405	113	28440	65	0,4	84922
2008	11708	13	13730	85	0,1	15501
2007	16639	36	20316	82	0,2	20299
2006	16945	127	20444	83	0,6	76018
2005	27631	318	35823	77	0,9	338593
2004	17096	168	22165	77	0,8	129331
2003	20896	222	26219	80	0,8	425770
2002	19996	213	26488	75	0,8	124411
2001	20203	174	26942	75	0,6	110928
2000	25307	283	34109	74	0,8	159604
1999	21063	114	25477	83	0,4	70613
1998	25842	241	34676	75	0,7	158369
1997	17860	37	23497	76	0,2	30535
1996	21063	159	28626	74	0,6	88867
1995	23917	275	34116	70	0,8	169612

<b>1994</b>	13360	158	19983	67	0,8	77323
<b>1993</b>	12338	76	16101	77	0,5	49963
<b>1992</b>	11311	77	14954	76	0,5	57012
<b>1991</b>	9530	200	14327	67	1,4	182486
<b>1990</b>	5399	206	10745	50	1,9	137252
<b>MÉDIA</b>	15697	141	20402	77	0,7	120273

Anexo 2 - Classes de altitude município da Sertã

ALTITUDE (M)	ÁREA DA CLASSE (km <sup>2</sup> )	ÁREA DA CLASSE (%)
100-200	26,21	5,87
200-300	88,08	19,73
300-400	147,77	33,10
400-500	90,54	20,28
500-600	45,13	10,11
600-700	24,97	5,59
700-800	14,03	3,14
800-900	6,43	1,44
900-1080	3,27	0,73

Anexo 3 - Classes de declive município da Sertã

DECLIVE (°)	ÁREA DA CLASSE (km <sup>2</sup> )	ÁREA DA CLASSE (%)
0-5	91,48	20,49
5-10	120,37	26,96
10-20	176,66	39,57
20-30	52,49	11,76
30-49,31	5,43	1,22

Anexo 4 - Classes de Uso e Ocupação do Solo (2018) no município da Sertã

CLASSES DE OCUPAÇÃO E USO DO SOLO	HECTARES	%
Floresta de pinheiro-bravo	21434,3	48,0
Floresta de eucalipto	11111,4	24,9
Matos	3307,35	7,4
Agricultura	5688,14	12,7
Floresta de sobreiro	51,23	0,1

Floresta de invasoras	24,59	0,1
Floresta de pinheiro manso	6,82	0,02
Floresta de outras resinosas	17,20	0,04
Floresta de outras folhosas	571,44	1,3
Floresta de castanheiros	7,08	0,02
Floresta de outros carvalhos	1,01	0,002
Pastagens	158,14	0,35
Superfícies agroflorestais	2,15	0,005
Espaços descobertos ou com pouca vegetação	2,96	0,01
Massas de água	824,43	1,85
Territórios artificializados	1464,95	3,3

Anexo 5 - Classes de altitude no município de Figueiró dos Vinhos

ALTITUDE (M)	ÁREA DA CLASSE (km <sup>2</sup> )	ÁREA DA CLASSE (%)
100-200	7,97	4,59
200-300	26,02	15,00
300-400	43,30	24,96
400-500	43,76	25,23
500-600	20,77	11,97
600-700	13,52	7,79
700-800	8,75	5,04
800-900	6,86	3,95
900-1000	2,51	1,45

Anexo 6 - Classes de declive no município de Figueiró dos Vinhos

DECLIVE (°)	ÁREA DA CLASSE (km <sup>2</sup> )	ÁREA DA CLASSE (%)
0-5	24,55	14,15
5-10	34,09	19,65
10-20	73,92	42,62
20-30	36,32	20,94
30-49,31	4,58	2,64

Anexo 7 - Classes de Uso e Ocupação do Solo no município de Figueiró dos Vinhos

CLASSES DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	HECTARES	%
Floresta de pinheiro-bravo	2862,17	16,5
Floresta de eucalipto	9862,06	56,9
Matos	1414,92	8,2
Agricultura	1442,01	8,3
Floresta de invasoras	28,50	0,2
Floresta de castanheiros	32,69	0,2
Floresta de outras resinosas	106,66	0,6
Floresta de outras folhosas	781,21	4,5
Espaços descobertos ou com pouca Vegetação	14,77	0,1
Floresta de outros carvalhos	133,31	0,8
Pastagens	38,50	0,2
Superfícies agroflorestais	2,20	0,01
Massas de água	120,96	0,7
Territórios artificializados	504,05	2,9

Anexo 8 - Classes de altitude no município de Ferreira do Zêzere

ALTITUDE (M)	ÁREA DA CLASSE (km <sup>2</sup> )	ÁREA DA CLASSE (%)
100-200	46,31	24,56
200-300	91,76	48,65
300-400	50,52	26,79
400-450	0,004	0,002

Anexo 9 - Classes de declive no município de Ferreira do Zêzere

DECLIVE (°)	ÁREA DA CLASSE (km <sup>2</sup> )	ÁREA DA CLASSE (%)
0-5	72,25	38,31
5-10	49,85	26,43
10-20	47,89	25,39
20-30	16,71	8,86
30-45,43	1,89	1,00

Anexo 10 - Classes de Ocupação do solo no município de Ferreira do Zêzere

CLASSES DE OCUPAÇÃO E USO DO SOLO	HECTARES	%
Floresta de pinheiro-bravo	2454,38	12,9
Floresta de eucalipto	6755,28	35,5
Matos	1273,24	6,7
Agricultura	4590,54	24,1
Floresta de invasoras	29,47	0,2
Floresta de sobreiro	60,39	0,3
Floresta de outras resinosas	1,02	0,01
Floresta de outras folhosas	327,01	1,7
Floresta de pinheiro manso	27,77	0,1
Floresta de outros carvalhos	1728,42	9,1
Pastagens	188,05	1,0
Superfícies agroflorestais	9,00	0,05
Massas de água	575,56	3,0
Territórios artificializados	1017,91	5,3

Anexo 11 - Área ardida no município da Sertã (1990-2019)

ANO	HECTARES
1990	124,11
1991	<b>4503,5</b>
1992	0
1993	0
1994	30,64
1995	1350,97
1996	41,2
1997	0
1998	589,78
1999	129,83
2000	95,14
2001	0
2002	<b>3039,18</b>
2003	<b>15221,37</b>

2004	33,36
2005	<b>5836,86</b>
2006	241,45
2007	0
2008	53,78
2009	6,35
2010	13,48
2011	3,87
2012	17,93
2013	40,24
2014	64,45
2015	14,01
2016	73,37
2017	<b>17068,04</b>
2018	83,61
2019	<b>1797,58</b>

Anexo 12 - Área ardida no município de Figueiró dos Vinhos (1990-2019)

ANO	HECTARES
1990	840,03
1991	<b>3606,18</b>
1992	35,84
1993	105,1
1994	99,82
1995	543,68
1996	7,09
1997	0
1998	109,41
1999	376,34
2000	379,27
2001	158,56
2002	676,48
2003	21,96
2004	73,99
2005	<b>7502</b>

2006	350
2007	0
2008	0
2009	253,8
2010	0
2011	159,15
2012	644,71
2013	263,26
2014	0
2015	24,15
2016	365,18
2017	<b>11506,98</b>
2018	0
2019	0

Anexo 13 - Área ardida no município de Ferreira do Zêzere (1990-2019)

ANO	HECTARES
1990	0
1991	<b>4072,04</b>
1992	0
1993	0
1994	0
1995	8,05
1996	45,77
1997	0
1998	0
1999	271,93
2000	0
2001	<b>1071,84</b>
2002	111,17
2003	<b>633,05</b>
2004	411,1
2005	<b>1367,09</b>
2006	409,26
2007	7,99

2008	4,82
2009	0
2010	<b>550,79</b>
2011	0
2012	134,44
2013	0
2014	9,8
2015	0
2016	0
2017	<b>3384,3</b>
2018	0
2019	0

Anexo 14 - Estrutura da RFMGC do município da Sertã

		HA	KM <sup>2</sup>	%
Rede Primária		1396,35	13,96	11,85
SERTÃ	Faixa, com largura de 50 m, à volta das edificações integradas em espaços rurais	2181,41	21,81	18,52
	Faixa, com largura mínima não inferior a 100 m, na envolvente dos aglomerados populacionais	3315,25	33,15	28,14
	Faixa, com largura mínima não inferior a 100 m, na envolvente das infraestruturas e estabelecimentos mencionados no n.º 13, do artigo n.º 15, do DL n.º 124/2006	60,66	0,6	0,51
	Faixas, com uma largura padrão de 10 m, laterais à rede viária florestal	3646,4	36,46	30,95
	Faixas, com uma largura padrão de 10 m, laterais à rede ferroviária	0	0	0
	Faixa associada à rede de transporte de gás	0	0	0
	Faixa correspondente à projeção vertical dos cabos condutores exteriores das linhas de transporte e distribuição de energia elétrica em muito alta tensão, acrescidos de uma faixa de largura não inferior a 10 m para cada um dos lados	72,77	0,72	0,62
	Faixa correspondente à projeção vertical dos cabos condutores exteriores das linhas de transporte e distribuição de energia elétrica em média tensão, acrescidos de uma faixa de largura não inferior a 7 m para cada um dos lados	349,25	3,49	2,96
	Rede Secundária			

	Faixa de proteção sem obstáculos, num raio mínimo de 30 m, contabilizado a partir do limite externo dos pontos de água, com exceção dos planos de água cuja dimensão permita o abastecimento aéreo em condições de segurança	23,62	0,23	0,2
	Faixa correspondente à projeção vertical dos cabos condutores exteriores das linhas de transporte e distribuição de energia elétrica em alta tensão, acrescidos de uma faixa de largura não inferior a 10 m para cada um dos lados	39,76	0,39	0,34
	Rede Terciária	0	0	0
	Mosaicos de Gestão de Combustível	695,925	6,92	5,91

Anexo 15 - Estrutura da RFMGC do município de Figueiró dos Vinhos

		HA	KM <sup>2</sup>	%	
Rede Primária		520	5,2	10,9	
FIGUEIRÓ DOS VINHOS	Rede Secundária	Faixa, com largura de 50 m, à volta das edificações integradas em espaços rurais	0	0	0
		Faixa, com largura mínima não inferior a 100 m, na envolvente dos aglomerados populacionais	3034	30,34	63,5
		Faixa, com largura mínima não inferior a 100 m, na envolvente das infraestruturas e estabelecimentos mencionados no n.º 13, do artigo n.º 15, do DL n.º 124/2006	14	0	0,4
		Faixas, com uma largura padrão de 10 m, laterais à rede viária florestal	484,47	4,84	10,1
		Faixas, com uma largura padrão de 10 m, laterais à rede ferroviária	0	0	0
		Faixa associada à rede de transporte de gás	0	0	0
		Faixa correspondente à projeção vertical dos cabos condutores exteriores das linhas de transporte e distribuição de energia elétrica em muito alta tensão, acrescidos de uma faixa de largura não inferior a 10 m para cada um dos lados	31	0,3	0,6
		Faixa correspondente à projeção vertical dos cabos condutores exteriores das linhas de transporte e distribuição de energia elétrica em média tensão, acrescidos de uma faixa de largura não inferior a 7 m para cada um dos lados	173,18	1,73	3,6
		Faixa de proteção sem obstáculos, num raio mínimo de 30 m, contabilizado a partir do limite externo dos pontos de água, com exceção dos planos de água cuja dimensão permita o abastecimento aéreo em condições de segurança	7,67	0,07	0,2

	Faixa correspondente à projeção vertical dos cabos condutores exteriores das linhas de transporte e distribuição de energia elétrica em alta tensão, acrescidos de uma faixa de largura não inferior a 10 m para cada um dos lados	0	0	0
	Rede Terciária	0	0	0
	Mosaicos de Gestão de Combustível	510,23	5,10	10,7

Anexo 16 - Estrutura da RFMGC do município de Ferreira do Zêzere

		HA	km <sup>2</sup>	%
Rede Primária		0	0	0
FERREIRA DO ZÊZERE	Faixa, com largura de 50 m, à volta das edificações integradas em espaços rurais	4112,98	41,13	-
	Faixa, com largura mínima não inferior a 100 m, na envolvente dos aglomerados populacionais	1225,25	12,25	62,29
	Faixa, com largura mínima não inferior a 100 m, na envolvente das infraestruturas e estabelecimentos mencionados no n.º 13, do artigo n.º 15, do DL n.º 124/2006	17,44	0,17	0,89
	Faixas, com uma largura padrão de 10 m, laterais à rede viária florestal	220,78	2,21	11,22
	Faixas, com uma largura padrão de 10 m, laterais à rede ferroviária	0	0	0
	Faixa associada à rede de transporte de gás	0	0	0
	Faixa correspondente à projeção vertical dos cabos condutores exteriores das linhas de transporte e distribuição de energia elétrica em muito alta tensão, acrescidos de uma faixa de largura não inferior a 10 m para cada um dos lados	112,78	1,13	5,73
	Faixa correspondente à projeção vertical dos cabos condutores exteriores das linhas de transporte e distribuição de energia elétrica em média tensão, acrescidos de uma faixa de largura não inferior a 7 m para cada um dos lados	105,3	1,05	5,35

	Faixa de proteção sem obstáculos, num raio mínimo de 30 m, contabilizado a partir do limite externo dos pontos de água, com exceção dos planos de água cuja dimensão permita o abastecimento aéreo em condições de segurança	0	0	0
	Faixa correspondente à projeção vertical dos cabos condutores exteriores das linhas de transporte e distribuição de energia elétrica em alta tensão, acrescidos de uma faixa de largura não inferior a 10 m para cada um dos lados	22,14	0,2	1,13
	Rede Terciária	0	0	0
	Mosaicos de Gestão de Combustível	263,45	2,6	13,39