

FILIPPE MATEUS PEREIRA

Identificação de áreas suscetíveis a perdas de solo após incêndio florestal. Caso de estudo: Serra de Monchique



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Faculdade de ciências e Tecnologia

2020

FILIFE MATEUS PEREIRA

Identificação de áreas suscetíveis a perdas de solo após incêndio florestal. Caso de estudo: Serra de Monchique

Projeto de Geomática para obtenção do Grau de Mestre

Trabalho efetuado sob a orientação de:

Professor Doutor Fernando Martins

Professora Doutora Helena Fernandez



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Faculdade de ciências e Tecnologia

2020

III

Agradecimentos

Apesar da conclusão da presente dissertação ser meramente a conclusão de mais um ciclo académico, existiram diversos contributos para a sua elaboração de várias naturezas que não posso deixar de realçar. Por esse motivo expresso aqui estes agradecimentos.

Em primeiro lugar não posso deixar de aproveitar esta oportunidade para agradecer a minha esposa Telma Viegas, que nos momentos mais difíceis me ajudou e incentivou a concluir este projeto.

Aos meus orientadores Professor Doutor Fernando Martins e Professora Doutora Helena Fernandez, por toda a ajuda disponibilizada, por todas as indicações e partilhas de conhecimentos que me foram transmitidos ao longo deste meu percurso.

À minha família, pelo apoio e compreensão que me dedicaram e pelo tempo que não estive presente.

Agradeço também ao grupo de colegas “especiais”, por me acompanharem neste percurso da minha vida que teve bons momentos, bem como pela amizade e camaradagem.

Um grande obrigado a todos os docentes, colegas e amigos que conheci durante estes anos passados na Universidade do Algarve.

Obrigado a todos!

Resumo

Os desequilíbrios e os problemas do território não são recentes, há estudos que confirmam a degradação de recursos naturais importantes, como é o caso da erosão do solo. O solo é a parte superficial da crosta terrestre, sendo um componente complexo, vivo, dinâmico e não renovável, pois numa escala temporal de uma geração não conseguimos visualizar a sua formação. Os solos devem ser reconhecidos e valorizados pelas suas capacidades, nomeadamente, na produção de alimentos, na segurança alimentar e para na manutenção de serviços essenciais dos ecossistemas. O abandono deste recurso natural e a alteração da exploração florestal, contribui para o aumento dos incêndios florestais a nível nacional. O aumento das áreas queimadas e da intensidade dos incêndios florestais, está a tornar-se num grave problema ambiental, principalmente ao nível de danos no solo. Após os incêndios florestais, no início das primeiras chuvas a água arrasta o solo deixando as superfícies esqueléticas. Neste sentido, torna-se extremamente importante estudar o fenómeno da destruição dos solos após os incêndios e desenvolver mecanismos e formas de mitigar os seus efeitos, tornando-se cada vez mais importante adotar práticas que estimulem a sua preservação e o seu aproveitamento sustentável. Esta mudança global pode se verificar através dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030, onde faz referência nos Objetivos 2, 3, 12 e 15. No Objetivo 2 – Erradicar a fome – assegurar sistemas sustentáveis de produção de alimentos que melhorem progressivamente a qualidade da terra e do solo. No Objetivo 3 – Saúde de qualidade – reduzir o número de mortes e doenças devido a químicos perigosos por contaminação e poluição do solo. No objetivo 12 – Produção e consumos sustentáveis – alcançar a gestão sustentável e o uso eficiente dos recursos naturais. No objetivo 15 – Vida na Terra – assegurar a conservação, recuperação e uso sustentável de ecossistemas terrestres e os seus serviços, em especial florestas.

O trabalho de investigação desenvolvido intitulado “Identificação de áreas suscetíveis a perdas de solo após incêndio florestal. Caso de estudo: Serra de Monchique” pretende mostrar as técnicas que poderão ser utilizadas para avaliar as perdas de solo em cenários pós incêndios e desta forma ser possível minimizar essas perdas. Pretende também evidenciar as potencialidades que as novas tecnologias têm na gestão e ordenamento do território, nomeadamente, a Deteção Remota e os Sistemas

de Informação Geográfica. A área de estudo trata se da serra de Monchique (Algarve) que nos últimos anos tem sido bastante fustigada por grandes incêndios florestais.

Palavras-chave: Sistema de Informação Geográfica, Detecção Remota, Perda de solo, Restauo, Incêndio Florestal.

Abstract

The imbalances and problems of the territory are not recent, there are studies that confirm the degradation of important natural resources, such as soil erosion. The soil is the superficial part of the earth's crust, being a complex, living, dynamic and non-renewable component, because in a time scale of a generation we cannot visualize its formation. Soils must be recognized and valued for their capabilities, namely in food production, food security and maintenance of essential ecosystem services. The abandonment of this natural resource and the alteration of forest exploitation, contributes to the increase of forest fires at national level. The increase in burned areas and the intensity of forest fires is becoming a serious environmental problem, mainly in terms of soil damage. After forest fires, at the beginning of the first rains, water drags the soil, leaving skeletal surfaces. In this sense, it is extremely important to study the phenomenon of soil destruction after fires and to develop mechanisms and ways to mitigate its effects, making it increasingly important to adopt practices that encourage their preservation and sustainable use. This global change can be seen through the Sustainable Development Goals of the 2030 Agenda, where it refers to Goals 2, 3, 12 and 15. In Goal 2 - Eradicate hunger - ensure sustainable food production systems that progressively improve the quality of food. earth and soil. In Objective 3 - Quality health - reduce the number of deaths and diseases due to hazardous chemicals due to contamination and soil pollution. In objective 12 - Sustainable production and consumption - achieve sustainable management and efficient use of natural resources. In objective 15 - Life on Earth - ensure the conservation, recovery and sustainable use of terrestrial ecosystems and their services, in particular forests.

The research work carried out entitled "Identification of areas susceptible to soil loss after forest fire. Case study: Serra de Monchique" intends to show the techniques that can be used to assess soil losses in post-fire scenarios and thus be able to minimize those losses. It also intends to highlight the potential that new technologies have in land management and planning, namely Remote Sensing and Geographic Information Systems. The study area is the Serra de Monchique (Algarve), which in recent years has been heavily attacked by large forest fires.

Keywords: Geographic Information System, Remote Detection, Loss of soil, Restoration, Forest Fire

Índice

Agradecimentos.....	V
Resumo	VI
Abstract	VIII
Siglas e Acrónimos.....	XVII
1. Introdução	1
2. Estrutura da dissertação	5
3. Área de Estudo	8
3.1. Dados Meteorológicos.....	10
3.2. Fatores Ambientais.....	18
3.2.1. Relevo	18
3.2.2. Declives.....	20
3.2.3. Exposições e Orientações.....	21
3.2.4. Geologia.....	23
3.2.5. Litologia.....	24
3.2.6. Solos e Capacidade de Uso.....	26
3.2.7. Ocupação do Solo.....	29
3.2.8. Rede Hidrográfica	31
3.3. Unidades de Paisagem	32
4. Metodologia	33
4.1. Sistema de Projeção Cartográfica e softwares utilizados.....	36
4.2. Aquisição de informação	37
4.3. Determinação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada	38
4.4. Determinação do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo.....	40
4.5. Determinação da Razão de Queima Normalizada e da Diferença da Razão de Queima Normalizada.....	41
4.6. Risco de Incêndio.....	43
4.6.1. Probabilidade	43
4.6.2. Suscetibilidade.....	45
4.6.3. Vulnerabilidade	46
4.6.4. Valor económico	48
4.6.5. Perigosidade.....	50
4.6.6. Dano Potencial.....	50
4.6.7. Risco de Incêndio	50
4.7. Estimativa do Risco de Erosão.....	51

4.8. Recuperação de Áreas ardidadas e Técnicas de Mitigação.....	57
4.9. Caso Experimental	60
5. Resultados	67
5.1. Índices de vegetação NDVI e SAVI	67
5.2. Determinação da razão de queima normalizada e da diferença da razão de queima normalizada antes e após incêndio florestal.....	73
5.3. Probabilidade do Risco de Incêndio	75
5.4. Suscetibilidade do Risco de Incêndio	76
5.5. Perigosidade de Risco de Incêndio	77
5.6. Dano Potencial	78
5.7. Risco de incêndio Florestal	79
5.8. Identificação das áreas de intervenção	80
5.9. Estimativa da Erosão.....	81
5.10. Caso experimental para a monitorização e recuperação da erosão do solo das áreas ardidadas.....	85
6. Conclusões e Recomendações	87
7. Bibliografia	90
8. Anexos	95

Índice de Figuras

Figura 2.1 – Modelo conceitual. Fonte: Autor.....	5
Figura 2.2 – Website da EARTHDATA. Fonte: https://search.earthdata.nasa.gov/search	6
Figura 2.3 – Website da USGS. Fonte: https://earthexplorer.usgs.gov/	6
Figura 3.1 – Localização da área de estudo. Fonte: Autor	8
Figura 3.2 – População Residente por faixa etária. Fonte: Autor	9
Figura 3.3 – Total da Área Ardida Anual no Concelho de Monchique. Fonte: Autor ..	9
Figura 3.4 – Evolução do incêndio florestal de Monchique (2018). Fonte: Autor.....	10
Figura 3.5 – Carta de Temperatura média do ar (°C), do Atlas do Ambiente no período 1931 a 1960. Fonte: Autor (Adaptado do Atlas do Ambiente Digital)	11
Figura 3.6 – Carta da Precipitação total anual (mm), do Atlas do Ambiente no período 1931 a 1960. Fonte: Autor (Adaptado do Atlas do Ambiente Digital)	12
Figura 3.7 – Localização das Estações meteorológicas. Fonte: Autor	13
Figura 3.8 - Carta da Temperatura (1971 a 2007). Fonte: Autor	14
Figura 3.9 – Carta da Precipitação (1971 a 2007). Fonte: Autor	15
Figura 3.10 – Precipitação e Temperatura média mensal da área de estudo (1971-2007). Fonte: Autor.....	16
Figura 3.11 – Precipitação total anual (mm) da área de estudo 1971-2018. Fonte: Autor	17
Figura 3.12 – Temperatura média anual (°C) da área de estudo. Fonte: Autor.....	18
Figura 3.13 – Classes hipsométricas na área de estudo. Fonte: Autor	19
Figura 3.14 – Classes de Declives da área de estudo. Fonte: Autor.....	20
Figura 3.15 – Frequência dos declives. Fonte: Autor	21
Figura 3.16 – Carta das exposições e orientações das Encostas da área de estudo. Fonte: Autor.....	22
Figura 3.17 – Frequência dos declives. Fonte: Autor	23
Figura 3.18 – Mapa Geológico da área de estudo. Fonte: Autor (Adaptado de carta geológica de Portugal do Atlas do Ambiente Digital à escala 1:500 000).....	24
Figura 3.19 – Carta litológica da área de estudo. Fonte: Autor (Adaptado de a carta litológica de Portugal do Atlas do Ambiente Digital à escala 1:1 000 000)	25
Figura 3.20 – Carta de solos da área de estudo. Fonte: Autor (adaptado da carta de solos de Portugal à escala 1:1 000 000)	27

Figura 3.21 – Carta de Capacidade de Uso do Solo da área de estudo. Fonte: Autor	28
Figura 3.22 – Carta de ocupação do solo. Fonte: Autor (Adaptado do COS 2015)..	30
Figura 3.23 – Carta hidrográfica da área de estudo. Fonte: Autor.....	31
Figura 3.24 – Carta das unidades de paisagem. Fonte: Autor (adaptado da Carta de Unidades de Paisagem de Portugal Continental)	32
Figura 4.1 – VANT Phantom 3 Advanced e rádio controlo. Fonte: Autor	34
Figura 4.2 – Camara com o sensor Nir-G-B Canon S100. Fonte: Autor.....	35
Figura 4.3 – Plano de voo. Fonte: Autor	35
Figura 4.4 – Metodologia Conceptual. Fonte: Autor	36
Figura 4.5 – Imagens Landsat 8 da área de estudo a) Antes b) Após o incêndio. Fonte: Autor	38
Figura 4.6 - Valores de L. Fonte: (Huete 1988)	40
Figura 4.7 – Intensidade versus severidade do incêndio. Fonte: U.S. Forest Service	41
Figura 4.8 – Componentes do modelo de Risco. Fonte: AFN (2012).	43
Figura 4.9 – Histórico da área ardida desde 1990 até 2003. Fonte: Autor (adaptado do ICNF).....	44
Figura 4.10 – Histórico da área ardida desde 2004 até 2018. Fonte: Autor (adaptado do ICNF).....	44
Figura 4.11 – Componentes do modelo de Risco. Fonte: AFN (2012)	51
Figura 4.12 – Cartograma da erosividade da precipitação. Fonte: SNIAmb.....	52
Figura 4.13 – Ciclo Hidrológico. Fonte: (Moreira et al., 2010)	57
Figura 4.14 – Fases sequenciais de uma estratégia de intervenção. Fonte: Moreira et al., (2010)	58
Figura 4.155 – Incêndio florestal de Monchique 2018. Fonte: Arquivo de Susana Gonçalves, 2018.....	61
Figura 4.16 – Chapas de ferro para construção das parcelas. Fonte: Bento & Viera, 2018	62
Figura 4.17 – Chapa de ligação. Fonte: Bento & Viera, 2018.....	62
Figura 4.18 – Fotografia da Chapa de ligação. Fonte: Bento & Viera, 2018	62
Figura 4.19 – Caixa de erosão observada de parte lateral, frontal e posterior.	63
Figura 4.20 – Fotografia da caixa de erosão. Fonte: Autor	63

Figura 4.21 – Caixa pluviométrica observada de parte lateral e topo, e respetiva tampa	63
Figura 4.22 – Fotografia da Caixa pluviométrica. Fonte: Autor.....	64
Figura 4.23 – Fotografia do dataloger, bidão e mangueira. Fonte: Autor	64
Figura 4.24 – Parcela implementada. Fonte: Arquivo Granja-Martins F.M., 2018....	65
Figura 4.25 – Mulch. Fonte: https://www.ruralking.com/suncoast-tiger-hammock-cypress-mulch-blend	65
Figura 5.1 – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada da área de estudo a) pré e b) pós o Incêndio florestal. Fonte: Autor	67
Figura 5.2 – Reclassificação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada da área de estudo a') pré e b') pós o Incêndio florestal. Fonte: Autor	68
Figura 5.3 – Índice NDVI antes e após incêndio. Fonte: Autor	69
Figura 5.4 – Índice de Vegetação Ajustado ao Solo da área de estudo a) pré e b) pós o Incêndio florestal. Fonte: Autor	70
Figura 5.5 – Reclassificação do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo da área de estudo a') pré e b') pós o Incêndio florestal. Fonte: Autor	71
Figura 5.6 – Índice SAVI pré e após incêndio. Fonte: Autor	72
Figura 5.7 – Índices de Severidade: a) dNBR b) dNDVI).	73
Figura 5.8 – Índice dNBR e dNDVI. Fonte: Autor	74
Figura 5.9 – Probabilidade do Risco de Incêndio Florestal. Fonte: Autor	75
Figura 5.10 – Suscetibilidade de Risco de Incêndio Florestal. Fonte: Autor.....	76
Figura 5.11 – Mapa da Perigosidade de Risco de Incêndio Florestal. Fonte: Autor .	77
Figura 5.12 – Mapa do Dano Potencial de Risco de incêndio. Fonte: Autor	78
Figura 5.13 – Mapa do Risco de Incêndio Florestal. Fonte: Autor	79
Figura 5.14 – Localização das áreas para implementação das áreas de ensaio. Fonte: Autor.....	80
Figura 5.15 – Fator R da USLE – Mapa da erodibilidade da precipitação. Fonte: Autor	81
Figura 5.16 – Fator K da USLE – Mapa da erodibilidade dos solos. Fonte: Autor....	82
Figura 5.17 – Fator LS da USLE – Mapa do comprimento de encosta e declividade. Fonte: Autor.....	82
Figura 5.18 – Fator C da USLE – Classes de ocupação do solo.....	83
Figura 5.19 – Carta da estimativa de erosão do solo. Fonte: Autor.....	84

Figura 5.20 – Montagem do sistema de recolha de sedimentos e água da parcela de ensaio.....	85
Figura 5.21 – Montagem dos componentes da caixa pluviométrica. Fonte: Autor ...	86
Figura 5.22 – Quantificação da água no recipiente basculante. Fonte: Autor	86

Índice de Tabelas

Tabela.3.1 – Localização de 13 estações meteorológicas	13
Tabela 3.2 – Distribuição das classes hipsométricas pela área de estudo.....	20
Tabela 3.3 – Distribuição das Classe de Declives pela área de estudo	21
Tabela 3.4 – Distribuição das classes de exposição pela área de estudo.....	23
Tabela 3.5 - Distribuição da Litologia pela área de estudo.	26
Tabela 3.6 – Distribuição do tipo de Solos pela área de estudo.....	27
Tabela 3.7 – Classificação das classes de capacidade de usos do Solo pela área de estudo.....	28
Tabela 3.8 – Distribuição das classes de capacidade de usos do Solo pela área de estudo.....	29
Tabela 3.9 - Distribuição da ocupação do solo pela área de estudo.	30
Tabela 3.10 – Unidades de Paisagem da área de estudo.....	33
Tabela 4.1 – Características do sistema de projeção PT-TM06/ETRS89. Fonte: Direção-geral do Território (2013).	37
Tabela 4.2 – Software mais utilizados. Fonte: Autor	37
Tabela 4.3 – Bandas utilizadas das imagens de Landsat 8.....	38
Tabela 4.4 - Valores do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada.	39
Tabela 4.5 – Classificação do Índice de Severidade	42
Tabela 4.6 – Reclassificação dos Declives, Usos do Solo e das Exposições.	46
Tabela 4.7 – Valores de referência para a vulnerabilidade. Fonte: (AFN, 2012).	47
Tabela 4.8 – Valores económicos de referência. Fonte: (AFN, 2012)	49
Tabela 4.9 – Classes de Perigosidade. Fonte: AFN (2012)	50
Tabela 4.10 – Valores do Fator da erodibilidade do solo para cada família de solos.	53
Tabela 4.11 – Valores do expoente (m).	55
Tabela 4.12 – Valores do Fator C para cada classe de ocupação do solo.....	56
Tabela 4.13 – Técnicas de mitigação para estabilização de emergência. Fonte: Moreira et al., (2010)	59
Tabela 4.14 – Técnicas de reabilitação. Fonte: Moreira et al., 2010	60
Tabela 4.15 - Técnicas de reabilitação. Fonte: Moreira et al., (2010).....	60
Tabela 4.16 – Técnicas de mitigação para estabilização de emergência do caso de estudo.....	66
Tabela 5.1 – Comparação dos valores de NDVI pré e após incêndio Florestal.....	69

Tabela 5.2 – Comparação dos valores de SAVI pré e após incêndio Florestal.	71
Tabela 5.3 – Comparação dos valores estatísticos do NDVI e do SAVI	72
Tabela 5.4 – Ocupação do dNBR e do dNDVI. Fonte: Autor	74
Tabela 5.5 – Ocupação da Probabilidade de Risco de Incêndio	76
Tabela 5.6 – Ocupação da Perigosidade de Risco de Incêndio. Fonte: Autor	78
Tabela 5.7 – Ocupação da estimativa da erosão do solo. Fonte: Autor	84

Siglas e Acrónimos

AFN	Autoridade Florestal Nacional
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
CHDK	Canon Hack Development Kit
COS	Carta Ocupação do Solo
DFCI	Defesa Florestal Contra Incêndios
DGRF	Direção Geral dos Recursos Florestais
dNBR	Differenced Normalized Burn Ratio
DR	Deteção Remota
DRAPA	Direção Regional de Agricultura e Pescas do Algarve
ETRS89	European Terrestrial Reference System 1989
ENF	Estratégia Nacional Florestal
FAO	Food and Agriculture organization of the United Nations
GIF	Grandes Incêndios Florestais
GPS	Global Positioning System
ICNF	Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas
IGT	Instrumentos de Gestão Territorial
IVM	Infravermelho Médio
IVP	Infravermelho Próximo
LAI	Leaf Area Index
MDT	Modelo Digital de Terreno
MPX	Megapixéis
NBR	Normalized Burn Ratio
ND	Níveis Digitais
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
OLI	Operational Land Imager
PAP/RAC	Priority Actions Programme/Regional Activity Centre
PEIF	Plano Específico de Intervenção Florestal
PGF	Plano de Gestão Florestal
PMDFCI	Plano Municipal Defesa Florestal Contra Incêndios
PROF	Plano Regional de Ordenamento Florestal
PSRN 2000	Plano Sectorial da Rede Natura 2000
RGB	Red-Green-Blue (Sistema de cores)

RH8	Região Hidrográfica das Ribeiras do Algarve
RUSLE	Revised Universal Soil Loss Equation
SAVI	Soil-adjusted Vegetation Index
SI	Sistema Internacional
SIG	Sistema Informação Geográfica
SNIAmb	Sistema Nacional de Informação do Ambiente
SNIRH	Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos
SROA	Serviço de Reconhecimento e de Ordenamento Agrário
TIFF	Tagged Image File Format
TIRS	Thermal Infrared Sensor
USGS	United States Geological Survey
USLE	Universal Soil Loss Equation
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado
ZIF	Zona de Intervenção Florestal

1. Introdução

Os incêndios florestais e a recuperação das áreas ardidadas têm vindo a demonstrar a necessidade da multidisciplinaridade para responder à caracterização e extensão das questões levantadas sobre o tema. Em Portugal, os incêndios florestais constituem um problema de natureza ambiental e socioeconómica, sendo a ação humana em conjunto com as mudanças climáticas e o deficiente planeamento florestal, fatores determinantes para o aumento da sua frequência (Pereira *et al.* 2006). Nos últimos anos tem-se verificado um aumento das áreas fustigadas pelos incêndios florestais em Portugal Continental, e os seus efeitos negativos têm suscitado interesse à comunidade académica e científica, particularmente ao nível da erosão e degradação do solo. Diversos são os autores que têm desenvolvido investigações nesta problemática (Shakesby & Doerr, 2006; Wohlgemuth *et al.* 2009; Bento-Gonçalves & Vieira, 2013).

Nos incêndios florestais, com a destruição da vegetação, os solos ficam sem proteção e por isso mais vulneráveis aos efeitos da erosão, dado que, são removidos os seus nutrientes e os componentes orgânicos e minerais (Pausas, 2012).

Diversos estudos têm sido realizados nas áreas florestais de Portugal, nomeadamente, os relacionados com as perdas de fertilidade do solo após-fogo, os que abordam as estratégias para prevenir incêndios florestais e outros que tratam das medidas e das técnicas para mitigar e reverter processos de degradação das áreas queimadas (Raviña *et al.*, 2010; Moreira *et al.*, 2010; Ferreira *et al.*, 2016).

De acordo com Bento-Gonçalves & Vieira (2013), a destruição contínua do solo ano após ano devido aos incêndios florestais recorrentes, justifica a implementação urgente de medidas de proteção e de recuperação das áreas queimadas, para mitigar os efeitos prejudiciais dos incêndios no solo e na vegetação.

Em Portugal existe legislação que faz referência às medidas de mitigação e recuperação das áreas ardidas, tais como:

- I. Plano Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios – Resolução do Conselho de Ministros n.º 65/2006, de 26 de maio – preconiza uma atuação articulada e estruturada em cinco estratégias principais:
 - 1ª – Aumento da resiliência do território aos incêndios florestais;
 - 2ª – Redução da incidência dos incêndios;
 - 3ª – Melhoria da eficácia do ataque e da gestão dos incêndios;
 - 4ª – Recuperação e reabilitação dos ecossistemas e das comunidades;
 - 5ª – Adaptação de uma estrutura orgânica funcional e eficaz.

- II. Sistema de Defesa da Floresta Contra Incêndios – Decreto-Lei n.º 124/2006, de 28 de junho, com a redação dada pelo Decreto-Lei n.º 17/2009, de 14 de janeiro – faz algumas disposições relativas à recuperação de áreas ardidas como a cartografia de incêndios, fogo controlado e remoção de materiais queimados.

- III. Regime Jurídico do Planeamento Florestal – Decreto-Lei n.º 16/2009, de 28 de janeiro e o despacho n.º 20124/2009, de 7 de setembro – regulamenta a elaboração, aprovação e execução dos planos Florestais (PROF, PGF e PEIF), e introduz a figura inovadora do Plano Específico de Intervenção Florestal (PEIF), aplicável à recuperação de áreas ardidas com a estabilização de emergência e reabilitação.

- IV. Regime Jurídico aplicável às Ações de Arborização e Rearborização – Decreto-Lei n.º 96/2013, de 19 de julho – concentra o procedimento de autorização e do quadro sancionatório aplicável às arborizações e rearborizações, reforçando o seu acompanhamento em todas as áreas ardidas, permite ainda o conhecimento das ações de alteração do uso do solo ou de ocupação florestal.

Segundo Mataix-Solera *et al.* (2011), Reyes, Jordán & Zavala, (2013) e García *et al.* (2018), o processo de destruição do solo depende da recorrência, da intensidade, da severidade e da variabilidade espacial da hidrofobicidade do solo, bem como das

características físicas das áreas afetadas, nomeadamente, o declive, a exposição, o clima e a composição geológica. No que respeita à severidade dos incêndios diversos índices têm sido utilizados, como é o caso do Índice da Taxa de Queima Normalizada (*Normalized Burn Ratio* - NBR) (Epting *et al.*, 2005; Miller *et al.*, 2009; Harris *et al.*, 2011).

No que concerne ao tratamento das áreas ardidas, várias práticas têm sido realizadas nomeadamente, o uso de *mulch*.

A utilização de agulhas de pinheiro, palha ou restos de madeira ardida, são fundamentais na redução do risco de erosão, principalmente nos períodos fortes de chuva logo após os incêndios florestais. Diversos autores Vallejo (2006); Pereira *et al.* (2006); Vega *et al.* (2013) e Wohlgemuth *et al.* (2009), enumeram algumas vantagens de alguns dos tratamentos, argumentando que a técnica do *mulch* aumenta imediatamente a cobertura do solo, dando uma proteção efetiva para os primeiros eventos de chuva após o incêndio. O uso da palha, estilha e pedaços de madeira são frequentemente considerados eficazes, e também são fáceis de obter porque na maioria das vezes encontram-se disponíveis na área.

Segundo Fox *et al.* (2009), a utilização de troncos de madeira queimada colocados perpendicularmente à inclinação das vertentes reduz a erosão. No entanto, esta técnica apresenta algumas desvantagens, nomeadamente, a recuperação do solo é mais lenta e nem todas as áreas têm sobrantes de madeira queimada, o que implica que é necessário proceder ao transporte de madeira para estas áreas e isto acarreta custos. As folhas do pinheiro que caem após os incêndios nas áreas queimadas fornecem uma proteção dos solos produzindo uma cobertura na superfície do solo. Esta cobertura reduz o impacto da gota de chuva e encurta o escoamento superficial. A sua presença significa que não há necessidade de importar materiais não presentes na floresta para esforços de mitigação pós-incêndio. Estas técnicas de cobertura morta (palha e agulhas de pinheiro) foram testadas com sucesso no norte de Portugal (Bento-Gonçalves & Vieira, 2013).

Segundo (Fox *et al.* 2009), devido ao alto custo de quase todas as medidas de mitigação, antes de determinar quais as técnicas a adotar para cada situação específica, é necessário determinar as áreas prioritárias. Para selecionar essas áreas

de atuação é de extrema importância a avaliação antes e após, e *in situ*. Neste sentido, é necessário desenvolver planos e medidas de mitigação de forma a apoiar uma série de ações a desenvolver no pós-incêndio. A implementação destas técnicas nas últimas décadas mostrou, uma grande variabilidade na eficácia. Neste sentido, deve-se analisar a relação custo-eficácia de cada técnica em cada região.

Apesar dos incêndios florestais em Portugal constituírem um problema grave, poucos estudos têm sido elaborados para desenvolver as melhores formas da recuperação da paisagem após o fogo. O trabalho a desenvolver nesta investigação consiste na aplicação dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e da Deteção Remota (DR), no que concerne à identificação das áreas suscetíveis às maiores perdas de solo devido à ação da chuva após o incêndio florestal. Estas áreas são selecionadas com base na suscetibilidade ao risco de incêndio e nos índices de severidade do incêndio. Os índices de severidade de incêndios são indicadores do nível de perturbação sofrida pelo solo, quer ao nível da magnitude quer ao nível das alterações sofridas nas propriedades físicas, químicas e biológicas. Para monitorizar as perdas de solo durante períodos de precipitação, serão implementadas em áreas classificadas suscetíveis a incêndios, estruturas de metal com uma área mínima de 16 m² (8 m x 2 m). Uma estrutura terá uma cobertura de *mulch* (composto por resíduos vegetais da zona) e uma outra sem proteção, por forma a quantificar a erosão do solo e a recuperação da vegetação com e sem *mulch*. O caso de estudo deste projeto foi na serra de Monchique onde têm ocorrido vários incêndios florestais, nomeadamente, os dois grandes incêndios de 11 de setembro de 2003 e o de 3 de agosto de 2018.

Os objetivos propostos para concretizar este trabalho de dissertação foram:

- a) Produção de modelos de índices de severidade e de suscetibilidade ao risco de incêndio;
- b) Identificação das áreas mais vulneráveis a incêndios e seleção da área de estudo;
- c) Caracterização fisiográfica da área selecionada e de implementação de estruturas *in situ*, de forma a poder quantificar a perda de solo.
- d) Aplicação de técnicas de *mulch* para mitigar as perdas de solo perante cenários de precipitação.

2. Estrutura da dissertação

O trabalho de investigação proposto baseia-se em três estratégias conceituais (Analisar, Adaptar e Mitigar). Analisar, consiste em entender e interpretar o funcionamento do território através da sua génese. Adaptar, reside na identificação de soluções alternativas a adotar para responder aos impactos provocados pelos grandes incêndios florestais, na degradação do solo. Mitigar, diz respeito ao resultado das medidas adotadas para prevenir a perda de solo pós-incêndios florestal.

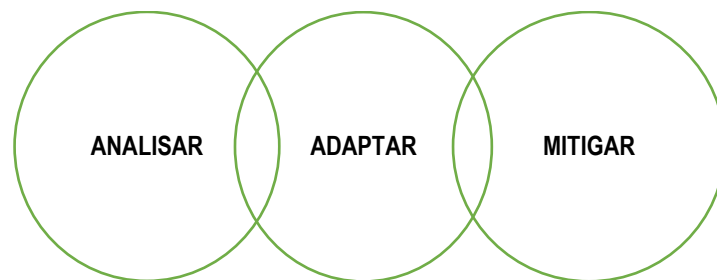


Figura 2.1 – Modelo conceitual. Fonte: Autor

A sua estrutura esta dividida nos seguintes itens:

- I. Caracterização dos fatores ambientais que estão relacionados com a problemática e a elaboração de cartografia, nomeadamente, da temperatura, da precipitação, da altimetria, dos declives, das exposições e das orientações, da geologia, da litologia, dos solos, da capacidade de uso e da ocupação do solo, da hidrografia e das unidades de paisagem. Os dados para concretizar esta tarefa foram todos obtidos em *open source*, nos formatos vetoriais e raster.
- II. Aquisição de informação, nomeadamente, o Modelo Digital do Terreno (MDT), obtido através do ASTER GDEM dos serviços da NASA com uma resolução espacial de 25 m, (Figura 2.2), imagens de satélite *Landsat 8 OLI/TIRS* obtidas

partir do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) com uma resolução espacial de 30 m (Figura 2.3).

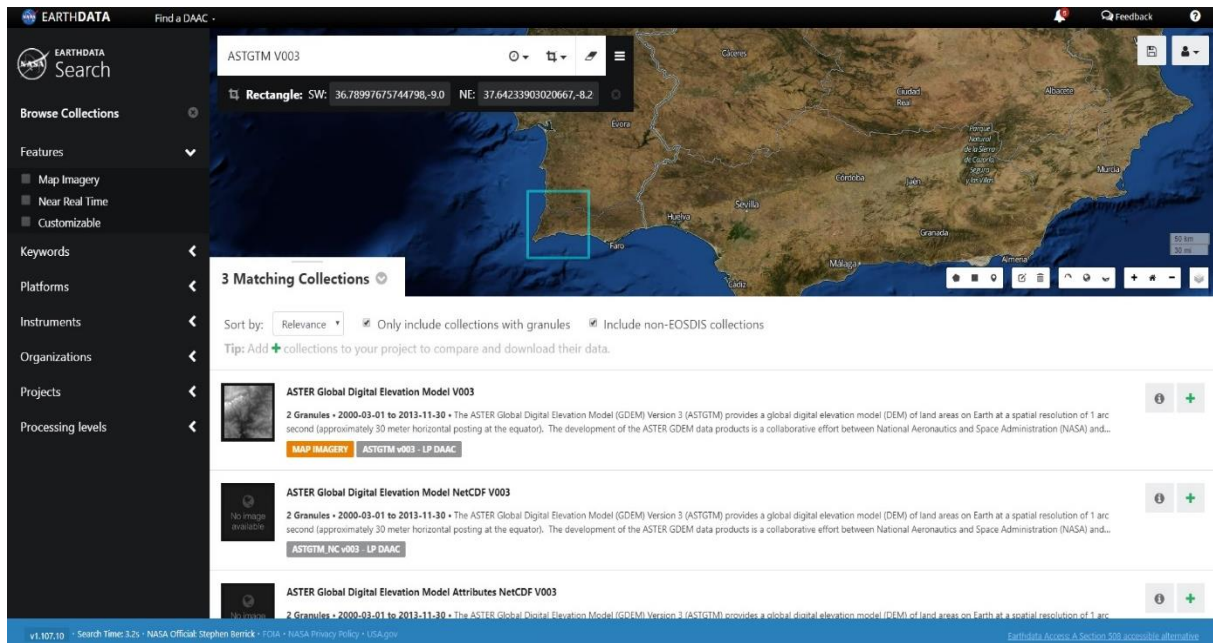


Figura 2.2 – Website da EARTHDATA. Fonte: <https://search.earthdata.nasa.gov/search>

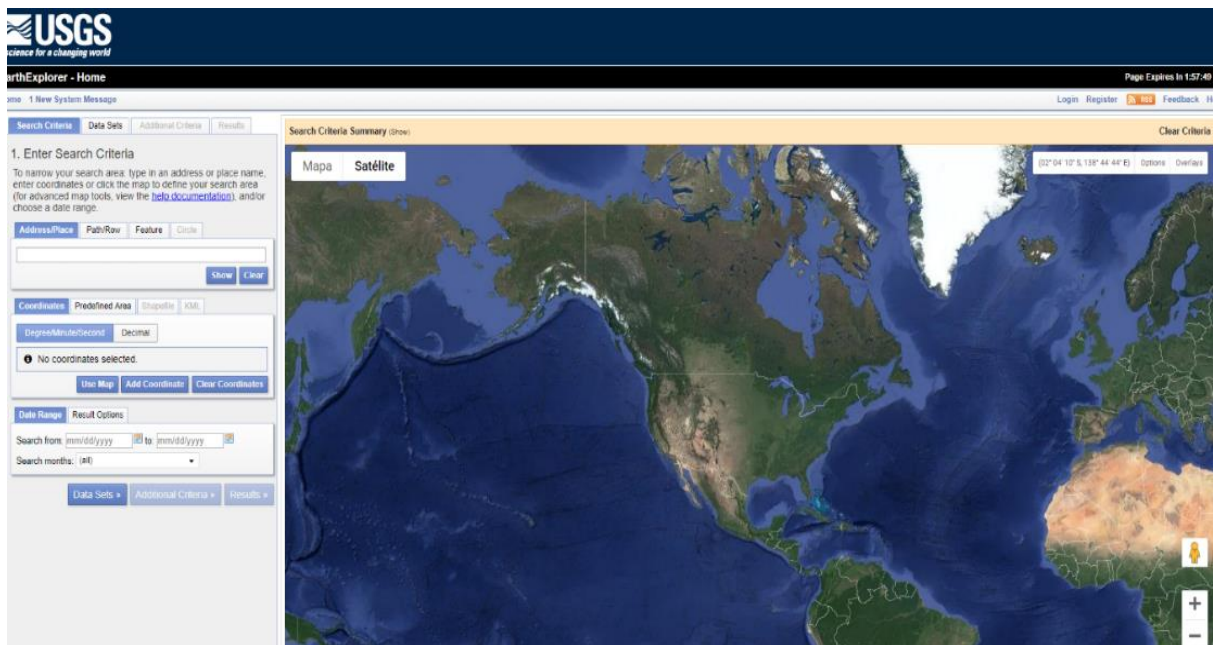


Figura 2.3 – Website da USGS. Fonte: <https://earthexplorer.usgs.gov/>

- III. Determinação de índices de vegetação e de severidade, nomeadamente, *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), o *Soil-Adjusted Vegetation Index* (SAVI), o *Normalized Burnt Ratio* (NBR), *Difference Normalized Burnt Ratio* (dNBR), com base nas diferentes bandas das imagens *Landsat 8*, da área de estudo para os períodos, antes e após incêndio.
- IV. Elaboração da carta de risco de erosão hídrica do solo.
- V. Identificação das áreas mais vulneráveis em termos de perdas de solo pós incêndios, por forma a implementar as estruturas experimentais para a mitigação da degradação do solo.
- VI. Conclusões.

3. Área de Estudo

O trabalho de investigação proposto foi realizado na serra de Monchique onde têm ocorrido incêndios florestais de grande dimensão desde 2003. Monchique é uma vila portuguesa que se situa no distrito de Faro (sul de Portugal), no extremo ocidental da Europa, com coordenadas WGS84 37°19'08"N e 8°33'22"W.

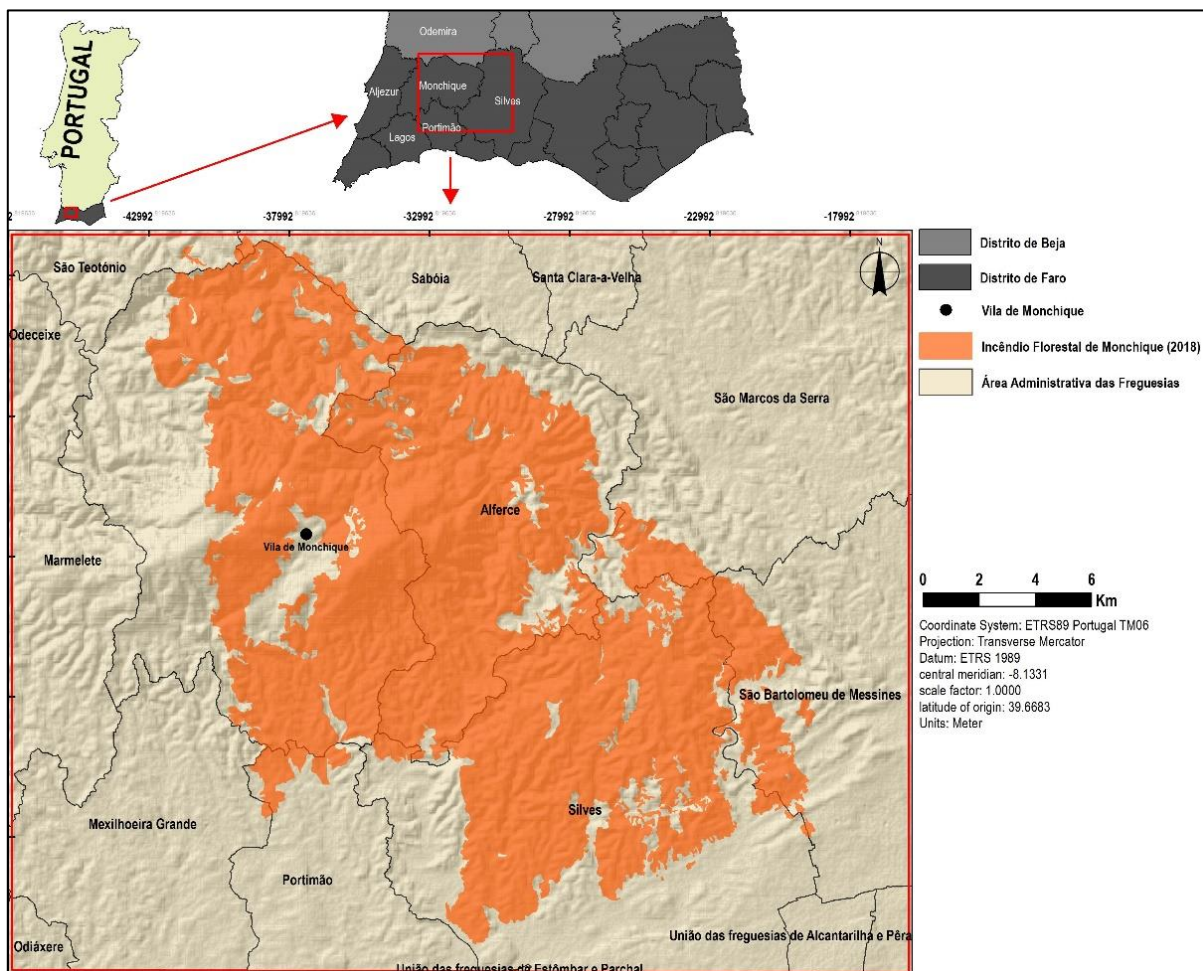


Figura 3.1 – Localização da área de estudo. Fonte: Autor

O concelho de Monchique, com uma área aproximadamente de 395 km², é limitado a Norte pelo município de Odemira, a Este por Silves, a Sul por Portimão e a Oeste por Aljezur. Do concelho de Monchique fazem parte as freguesias de Monchique, Alferce e Marmeleite (Figura 3.1). Segundo *Köppen–Geiger*, o clima na área de é Csb, apresenta uma temperatura média de 14.8 °C e uma pluviosidade média anual de 624 mm. De acordo os Censos 2011 (INE, 2018), o concelho de Monchique, apresenta uma população aproximadamente de 5 243 habitantes, com uma densidade populacional de 13,3 habitantes/km². É constituída principalmente por uma população

envelhecida, em que cerca 40% está incluída na faixa etária superior a 60 anos de idade (Figura 3.2).

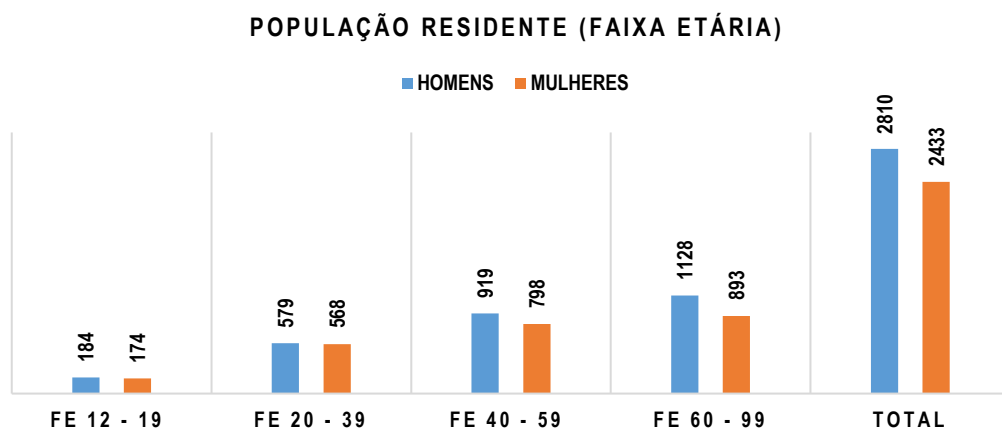


Figura 3.2 – População Residente por faixa etária. Fonte: Autor

Com base nos dados estatísticos do Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF, 2016), foi efetuado um balanço de todos os incêndios florestais e rurais que ocorreram no Concelho de Monchique para no período de 1980 até 2018, não tendo sido considerados os incêndios em que a área ardida foi inferior a 30 ha.

Constata-se que a dimensão da área ardida tem aumentado à medida que os anos avançam, tendo-se verificado que em 2003 ocorreu o máximo de área ardida com aproximadamente 40 000 ha (Figura 3.3).

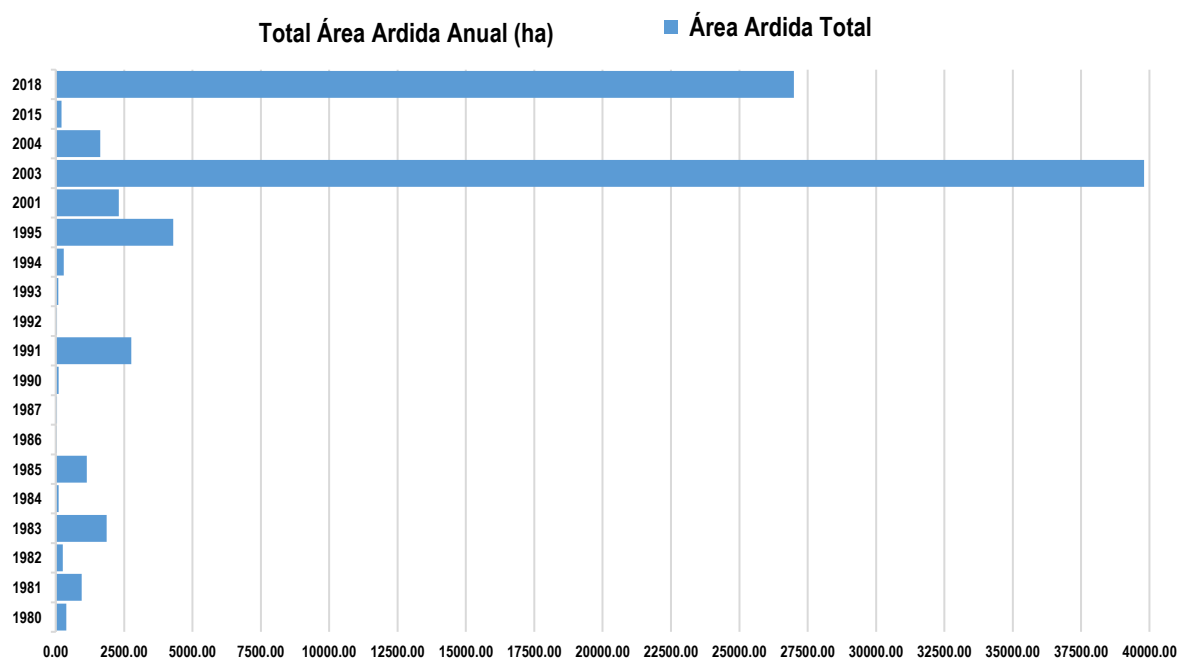


Figura 3.3 – Total da Área Ardida Anual no Concelho de Monchique. Fonte: Autor

O último grande incêndio florestal em Monchique, ocorreu em 2018. Teve início na freguesia de Monchique, perto da localidade de Perna Negra por volta das, 13 horas do dia 3 de agosto e foi extinto 14 dias depois, no dia 17 de agosto.

A Figura 3.4 mostra onde se iniciou o incêndio e a sua evolução durante os vários dias que esteve ativo. O incêndio atingiu quatro concelhos do distrito do Algarve (Monchique, Silves e Portimão) e um concelho do Baixo Alentejo (Odemira). A área ardida contabilizou cerca de 280km² tendo ardido cerca de 68,35% da área do Concelho de Monchique.

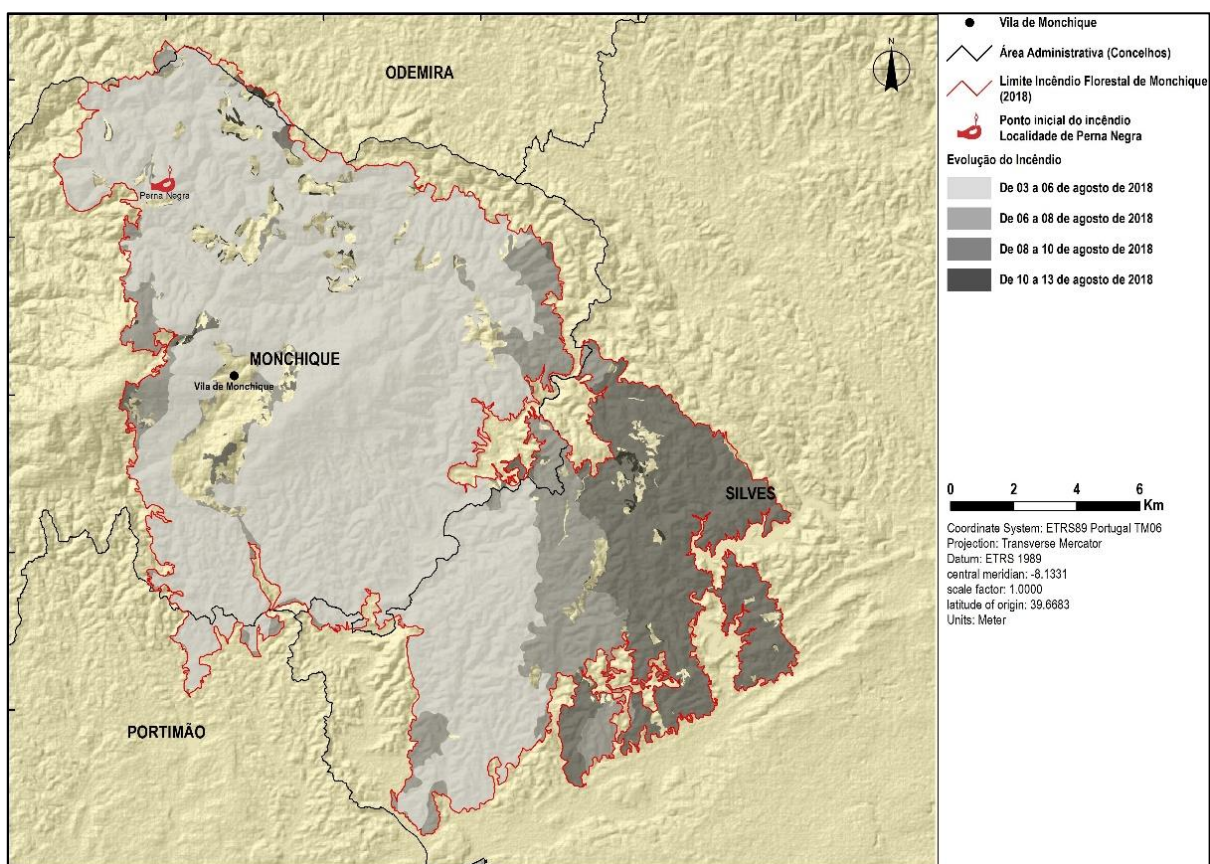


Figura 3.4 – Evolução do incêndio florestal de Monchique (2018). Fonte: Autor

3.1. Dados Meteorológicos

De acordo com a classificação climática de *Köppen–Geiger*, a maioria da região do Algarve possui um clima temperado com invernos chuvosos e verões secos e quentes (Csa). A serra de Monchique apresenta, no entanto, um clima com influência oceânica,

sendo por isso classificada como Csb (clima temperado com inverno chuvoso e verão seco e pouco quente).

A caracterização espacial do clima da área do caso de estudo, é importante uma vez que trata de fatores, que interatuam com a problemática, nomeadamente, a temperatura e a precipitação.

Para realizar a caracterização espacial da temperatura e da precipitação da área de estudo, foram elaboradas cartas de temperatura e de precipitação com base no Atlas do Ambiente Digital no período de 1931 a 1960.

A Figura 3.5 mostra as temperaturas médias anuais (°C) da área de estudo. Verifica-se uma faixa superior a 17,5°C, que se localiza mais a sul. Os valores mais baixos, no intervalo 12,5° a 15,0° localizam-se a norte, nas zonas mais elevadas da serra de Monchique.

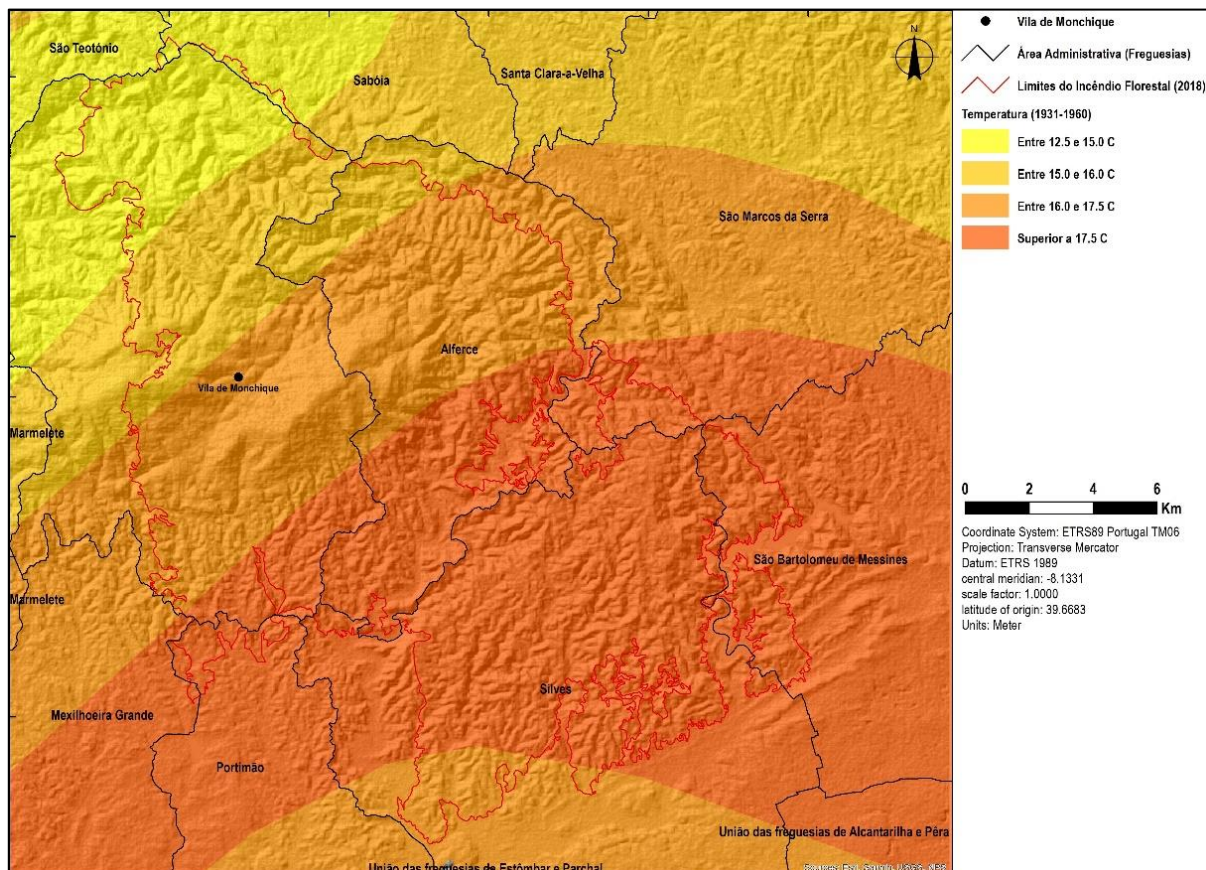


Figura 3.5 – Carta de Temperatura média do ar (°C), do Atlas do Ambiente no período 1931 a 1960.

Fonte: Autor (Adaptado do Atlas do Ambiente Digital)

A Figura 3.6 mostra as precipitações médias anuais (mm) da área de estudo. Observa-se que os valores mais elevados ocorrem nas zonas de maior altitude da serra de Monchique e que diminui na direção sul (litoral).

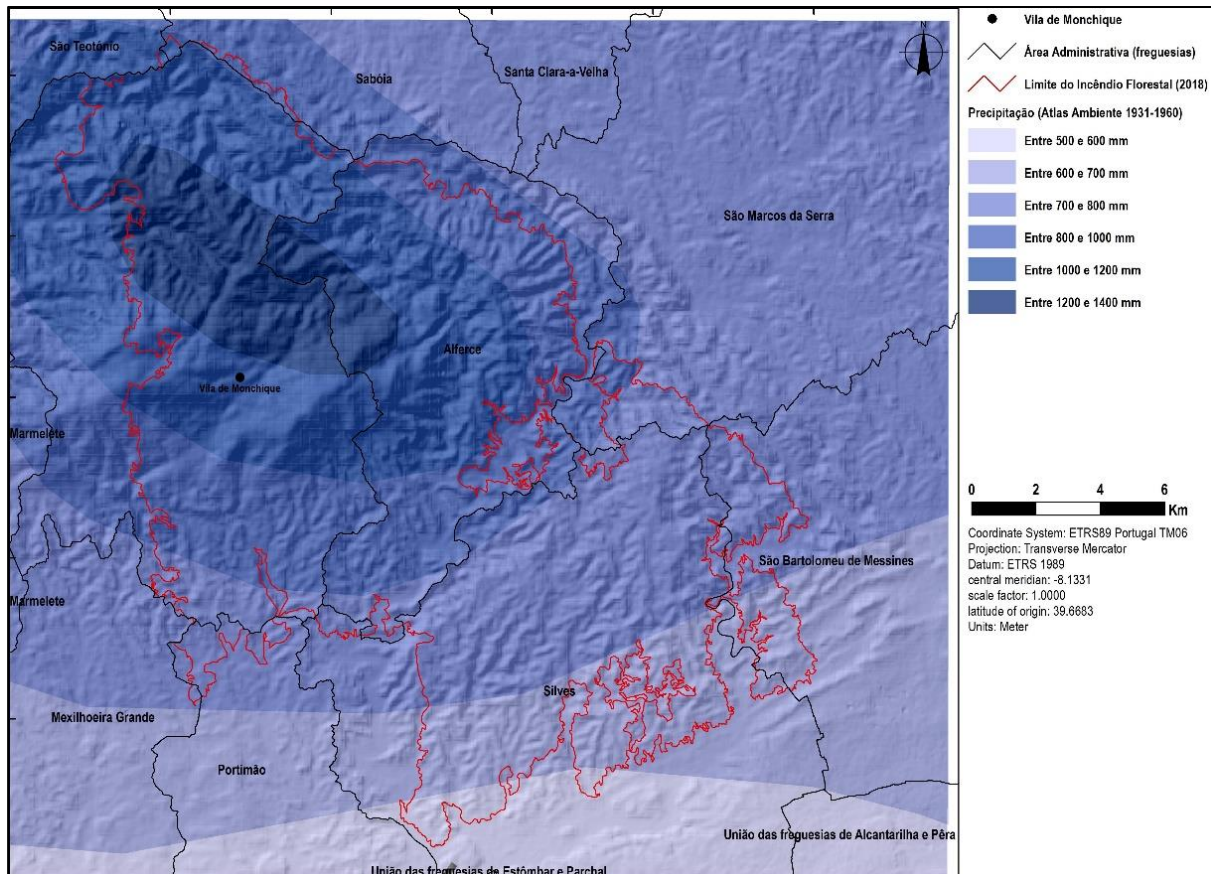


Figura 3.6 – Carta da Precipitação total anual (mm), do Atlas do Ambiente no período 1931 a 1960.

Fonte: Autor (Adaptado do Atlas do Ambiente Digital)

Uma vez que os dados do Atlas do Ambiente Digital fazem referência a um período com mais de 58 anos, optou-se por efetuar normais climatológicas mais atualizadas.

Neste sentido, de forma a caracterizar o clima da área de estudo e o comportamento dos parâmetros climáticos temperatura e precipitação, foram efetuadas normais climatológicas para o período de 1971 a 2007. Para isso, foram selecionadas estações meteorológicas localizadas em torno do perímetro da área ardida do incêndio florestal de 2018, conforme a Tabela 3.1.

Tabela.3.1 – Localização de 13 estações meteorológicas

Nome	Concelho	Alt. (m)	Lat. (N)	Long.(W)	Entidade
Alferce	Monchique	325	37.3333	-8.4906	SNIRH
Arrochelas	Silves	50	37.1758	-8.4467	DRAPA
Barragem do Arade	Silves	58	37.2380	-8.3750	SNIRH
Barragem da Bravura	Lagos	64	37.1970	-8.6990	SNIRH
Barragem de Mira	Odemira	62	37.5101	-8.4433	SNIRH
Marmelete	Monchique	351	37.3109	-8.6705	SNIRH
Messines	Silves	166	37.2770	-8.2377	DRAPA
Monchique	Monchique	792	37.3228	-8.5946	SNIRH
Norinha	Silves	15	37.2055	-8.4065	DRAPA
Portimão	Portimão	41	37.1507	-8.5586	SNIRH
S. Marcos da Serra	Silves	130	37.3667	-8.3810	SNIRH
Serominheiro	Aljezur	91	37.3569	-8.7721	DRAPA
Vidigal	Portimão	45	37.2060	-8.6020	SNIRH

Das 13 estações meteorológicas selecionadas, nove delas são do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH) e quatro são da rede meteorológica da Direção Regional de Agricultura e Pescas do Algarve (DRAP Algarve). A Figura 3.7 mostra a localização das estações meteorológicas.

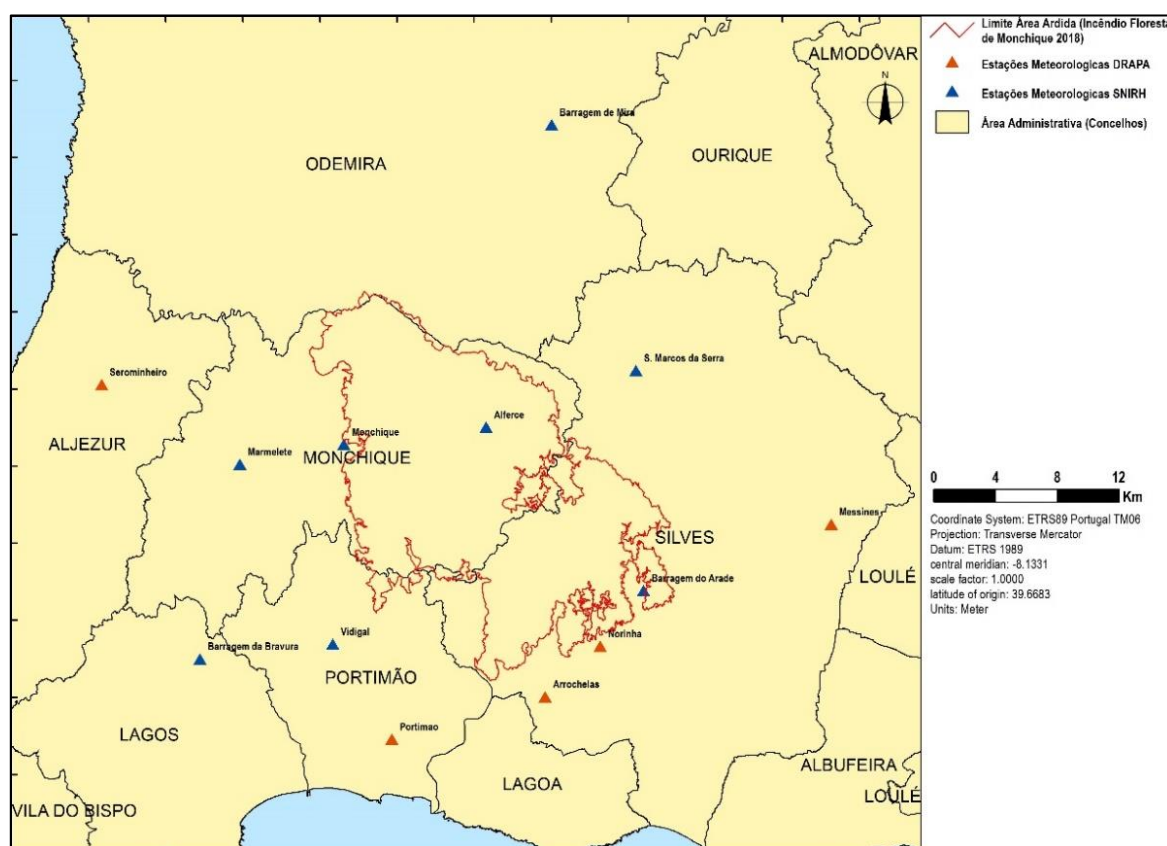


Figura 3.7 – Localização das Estações meteorológicas. Fonte: Autor

Após a recolha dos dados das várias estações meteorológicas foram interpolados pelo método do Inverso do Quadrado da Distância os valores de temperatura e da precipitação para o referido período (Figura 3.8 e Figura 3.9).

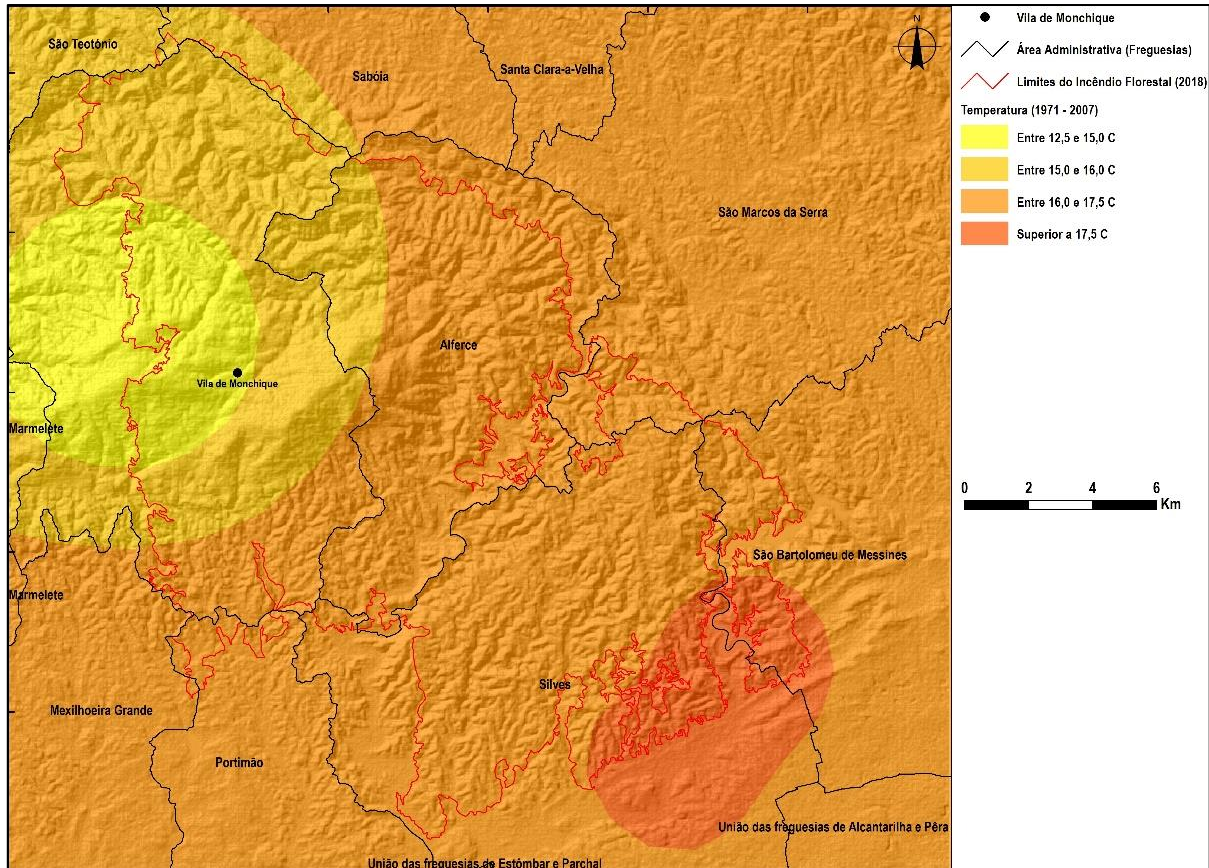


Figura 3.8 - Carta da Temperatura (1971 a 2007). Fonte: Autor

Comparando as cartas de temperatura dos períodos 1931-1960 e 1971-2007, verificou-se que no intervalo 1971-2007 houve um aumento da área com temperaturas mais elevadas (entre os 16,0 e 17,5°C). As temperaturas mais baixas continuaram associadas às zonas mais elevadas da serra.

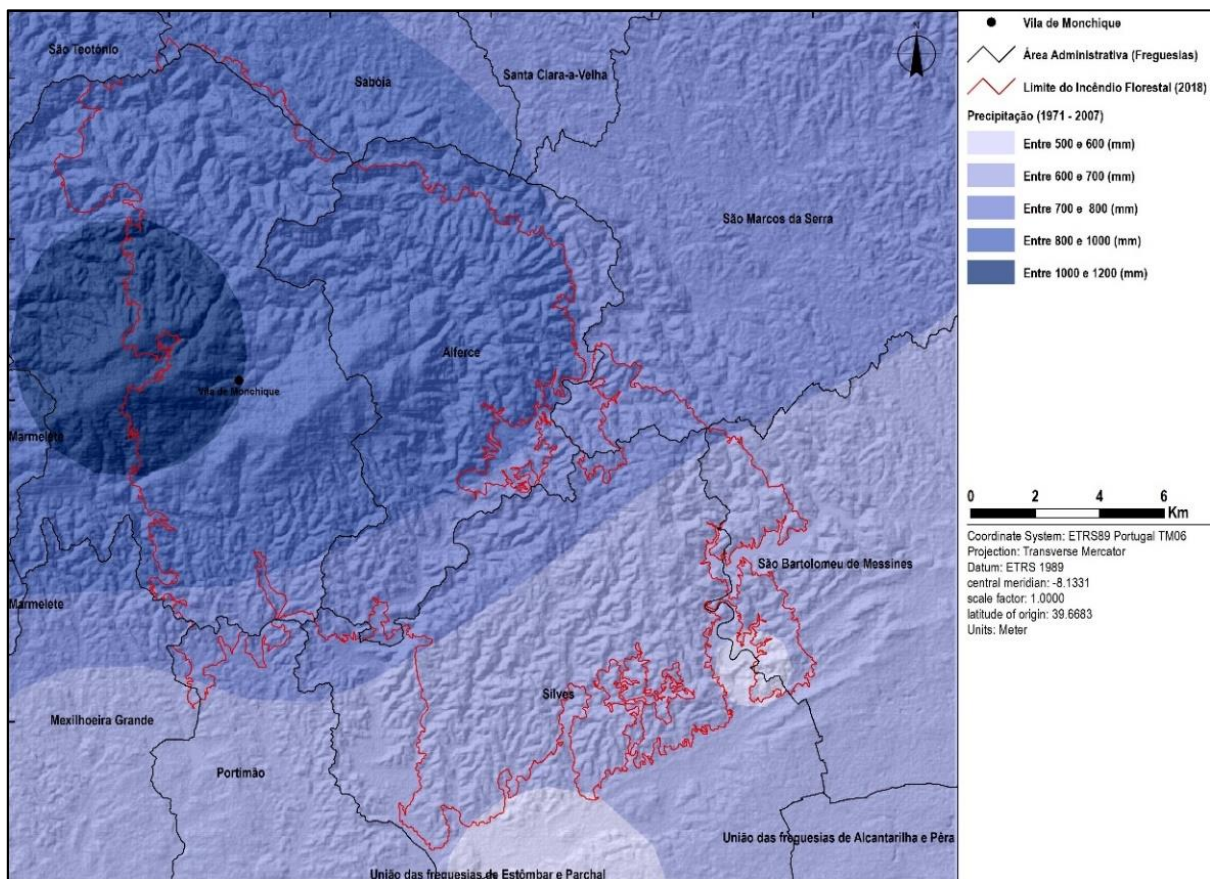


Figura 3.9 – Carta da Precipitação (1971 a 2007). Fonte: Autor

Em termos de precipitação verificou-se que no período 1971-2007 existe uma diminuição da precipitação, pois não foram detetados valores de precipitação entre 1200 e 1400 mm conforme no atlas do Ambiente de 1931-1960, e que os valores mais elevados são observados na zona mais elevada da serra. Estes fatores são importantes como condicionantes à ocorrência de incêndios florestais.

Com os dados recolhidos das várias estações meteorológicas foi efetuado uma análise do clima mensal no período 1971-2007 (Figura 3.10).

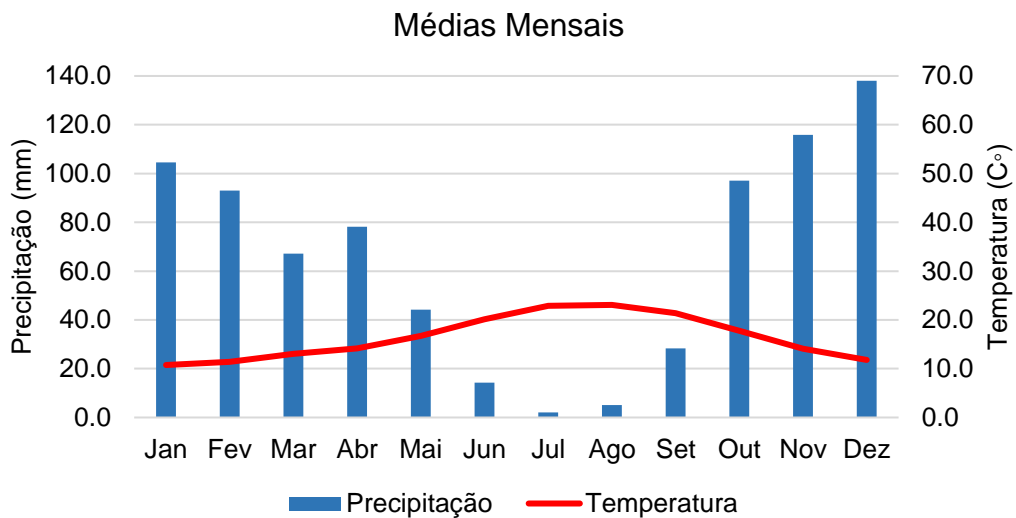


Figura 3.10 – Precipitação e Temperatura média mensal da área de estudo (1971-2007). Fonte: Autor

Pela análise da Figura 3.10, referente à temperatura do ar e à precipitação da área de estudo, observa-se que os valores médios mais elevados de temperatura ocorreram nos meses de junho, julho, agosto e setembro (aproximadamente 23°C). A temperatura média mais baixa ocorre em janeiro com um valor de 10,8°C. Quanto à precipitação, ela distribuiu-se entre os meses de setembro a maio, concentrando-se nos meses de outubro a abril e apresenta maior incidência em dezembro com 138,1 mm. De julho a agosto regista-se um período de seca (valores inferiores a 5 mm) e nos meses de maio e de setembro observa-se uma transição entre o período de seca e das chuvas.

Foi realizado um estudo da precipitação total anual no período de 1971 até 2018, da área de estudo (Figura 3.11).

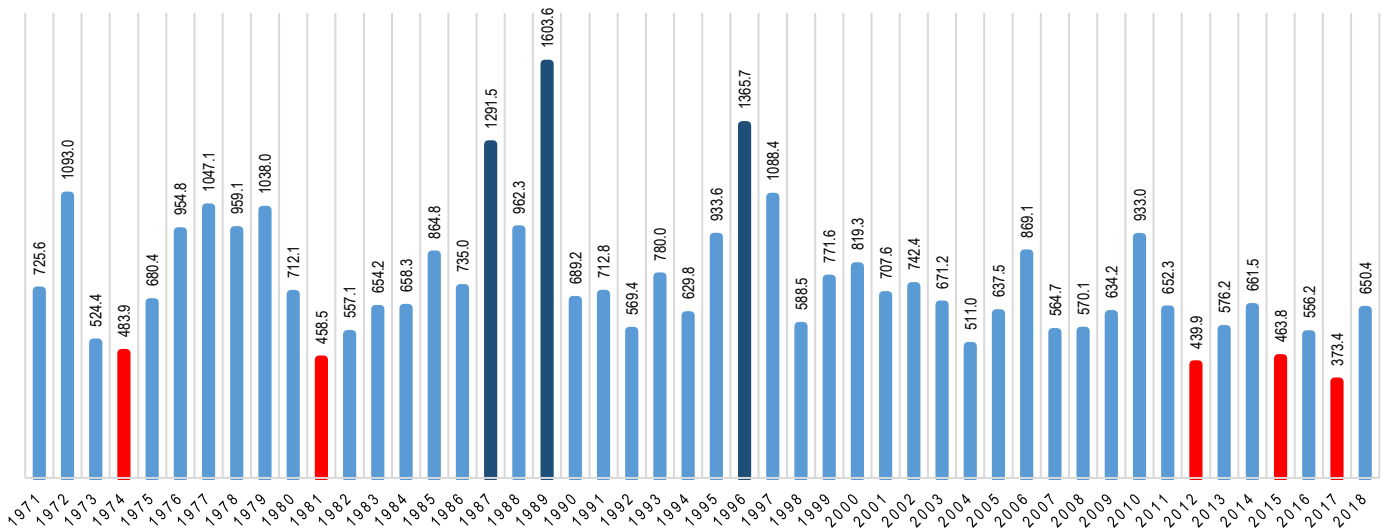


Figura 3.11 – Precipitação total anual (mm) da área de estudo 1971-2018. Fonte: Autor

Os anos mais secos (valores de precipitação inferiores a 500 mm) ocorreram nos anos 1974, 1981, 2012, 2015 e 2017. Os anos mais húmidos (valores de precipitação superiores a 1200 mm) aconteceram em 1987, 1989 e 1996. Verifica-se que desde 1996 a precipitação apresenta uma tendência de decréscimo, tendo-se acentuado a partir de 2012, com intervalos curtos de anos secos (2012, 2015 e 2017). Para entender a precipitação efetiva da área de estudo, foi calculado o valor médio anual acumulado de precipitação para os últimos 47 anos, tendo-se obtido o valor de 753 mm.

Para conhecer a temperatura média para o período de 1971-2018 da área de estudo, foi elaborado o gráfico da Figura 3.12.

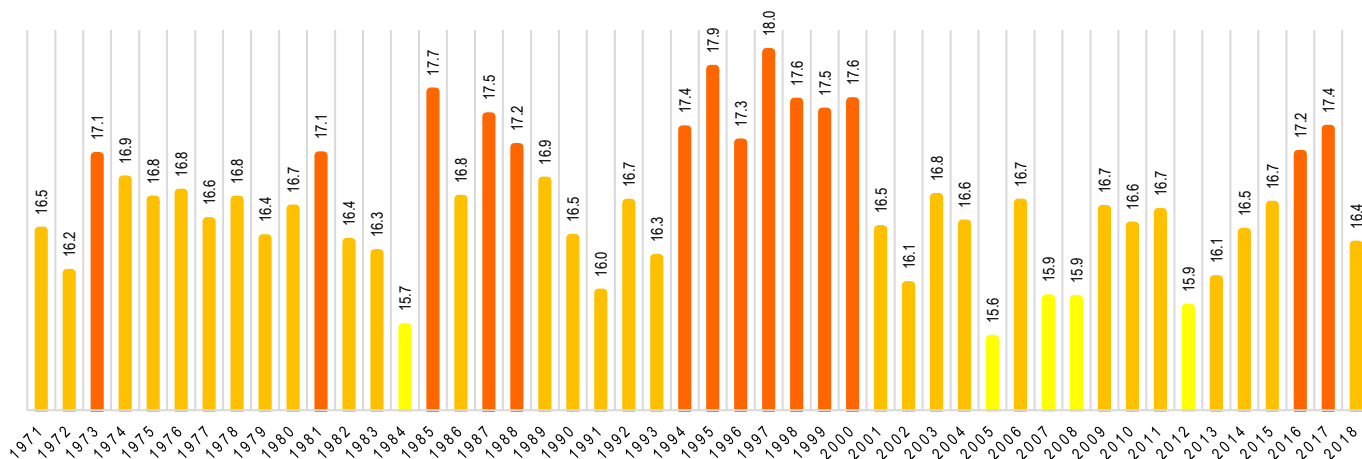


Figura 3.12 – Temperatura média anual (°C) da área de estudo. Fonte: Autor

Verifica-se uma tendência de valores elevados de temperatura média entre os anos de 1994 e 2000. Entre os anos 2013 a 2017 ocorreu um aumento gradual da temperatura conjugado com uma diminuição de precipitação, o que poderá reunir as condições propícias à ocorrência de incêndios, como aconteceu em 2018.

3.2. Fatores Ambientais

Segundo Magalhães (2001), o estudo do ambiente físico e biológico é fundamental na elaboração de estudos da paisagem, quer pelas das engenharias quer pela arquitetura paisagista. Na caracterização e interpretação da paisagem a grande escala é essencial conhecimento dos diversos fatores ambientais (Magalhães *et al.* 2007).

Os fatores ambientais utilizados neste estudo foram o relevo, os declives, as exposições e orientações, a geologia, a litologia, os solos e a sua capacidade de uso, ocupação do solo, a rede hidrográfica e as unidades de paisagem.

3.2.1. Relevo

Monchique é um concelho do interior algarvio, sendo que o relevo da área de estudo reflete uma orografia bem marcada pela sua sucessão de serras e dos respetivos vales que as separam (Câmara Municipal de Monchique, 2019). A carta hipsométrica (Figura 3.13), foi criada com base no MDT obtido através do ASTER GDEM dos

serviços da NASA. Foram utilizadas classes hipsométricas com uma equidistância de 100 m de altitude.

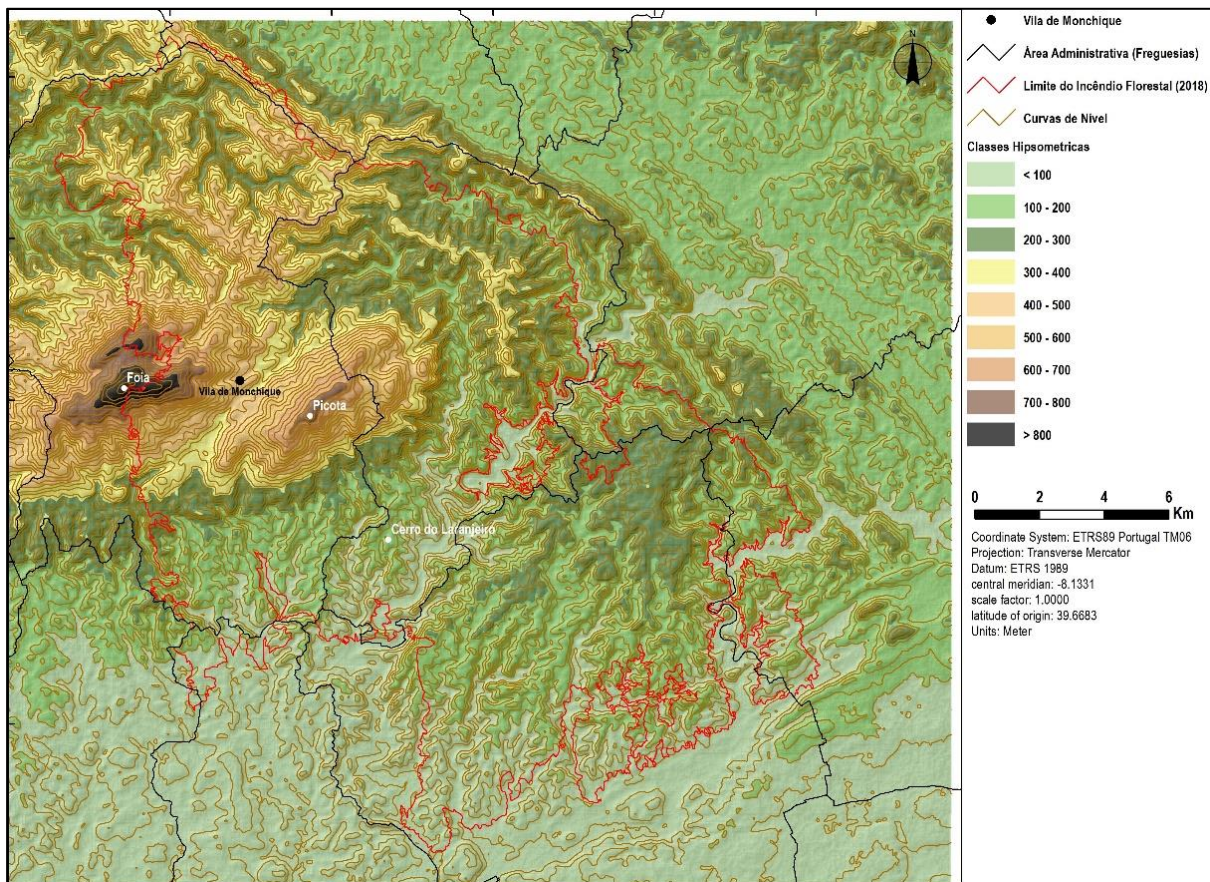


Figura 3.13 – Classes hipsométricas na área de estudo. Fonte: Autor

Podemos observar que a área de estudo, é composta por dois pontos de maior altitude, a Foia que fica localizado mais a ocidental com uma altitude de 902 m e a Picota com uma altitude de 774 m. Os pontos mais baixos, aproximadamente com 40 m de altitude, localizam-se a sul da área de estudo. Verifica-se que as classes hipsométricas mais predominantes são as que se situam entre 100-200 m e 200-300 m, com 31% e 23% de ocupação, respetivamente. A classe menos predominante é a superior a 800m com uma representatividade de 0,3% (Tabela 3.2).

Tabela 3.2 – Distribuição das classes hipsométricas pela área de estudo

Classe Hipsométrica	Área (ha)	Ocupação (%)
< 100	4651,4	16,2
100 – 200	9045,4	31,4
200 – 300	6576,5	22,9
300 – 400	4234,2	14,7
400 – 500	2258,9	7,9
500 – 600	1039,3	3,6
600 – 700	614,8	2,1
700 – 800	263,7	0,9
> 800	76,9	0,3

3.2.2. Declives

A área de estudo é bem marcada pela orografia das serras e das suas respetivas encostas, com declives acentuados, conforme se poderá observar na Figura 3.14. Para a elaboração do mapa de declives (Figura 3.14), utilizaram-se as classes recomendadas por PAP/RAC (PAP/RAC, 1997).

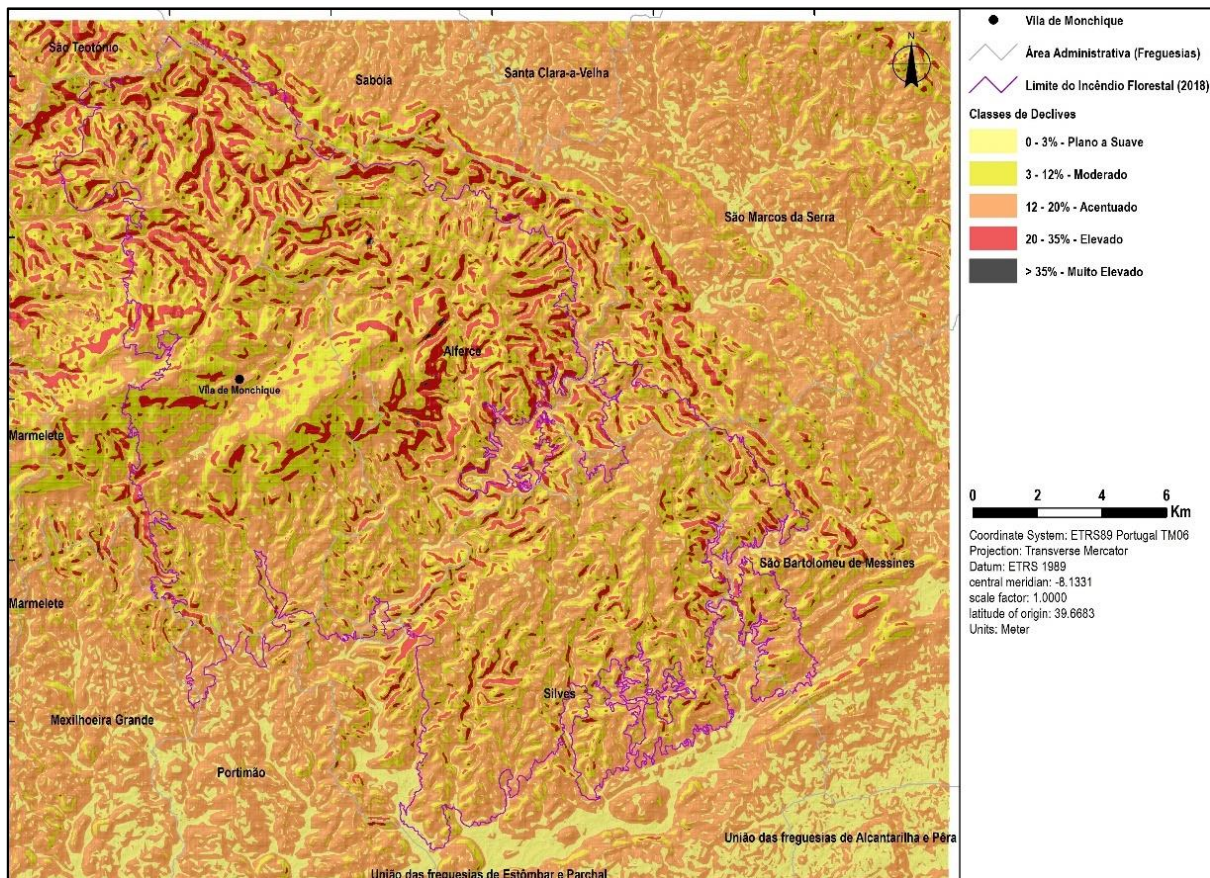


Figura 3.14 – Classes de Declives da área de estudo. Fonte: Autor

De forma a melhor perceber os declives da área de estudo foi elaborado um gráfico da frequência relativa dos declives (Figura 3.15).

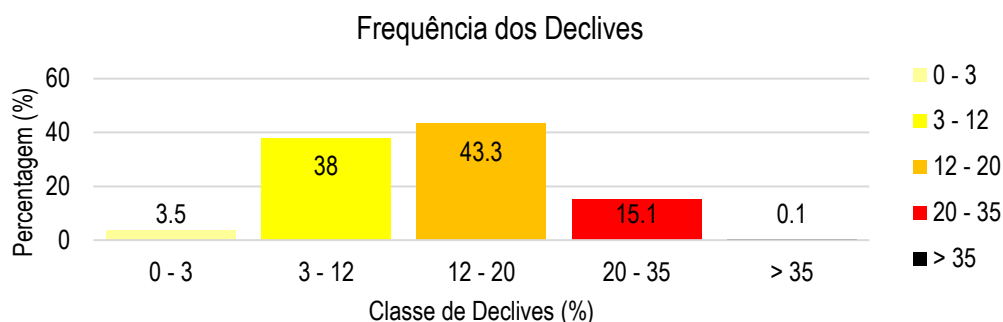


Figura 3.15 – Frequência dos declives. Fonte: Autor

As zonas de maior declive coincidem com as encostas das serras e as zonas com menores declives coincidem com os vales das linhas de água. Verifica-se que os maiores declives situam se a norte da área de estudo. A classe de declive entre os 12-20% é a mais representativa, com cerca de 43,3% de ocupação, enquanto que, os declives superiores a 35% são os menos predominantes com apenas 0,1% de ocupação. As áreas com declives mais suaves, entre 3-12%, estão representadas em 38% da área, (Tabela 3.3).

Tabela 3.3 – Distribuição das Classe de Declives pela área de estudo

Declive (%)	Classe	Área (ha)	Ocupação (%)
0 – 3	Plano a Suave	1020,6	3,5
3 – 12	Moderado	10924,3	38,0
12 – 20	Acentuado	12457,2	43,3
20 – 35	Elevado	4339,2	15,1
> 35	Muito Elevado	20,0	0,1

3.2.3. Exposições e Orientações

As exposições têm grande influência nas condições edafo-climáticas quer para o desenvolvimento das plantas, quer para o comportamento do fogo. Segundo Magalhães *et al.* (2007) na elaboração do mapa das exposições (Figura 3.16), é necessário proceder à caracterização das orientações das encostas e à influência térmica através da radiação solar recebida para cada exposição (Magalhães *et al.* 2019).

As encostas expostas a Norte e a Nordeste são normalmente mais frias e húmidas, mais aptas para espécies de vegetação mais atlânticas, enquanto que as encostas orientadas a Oeste e a Sudoeste são mais quentes e secas, mais aptas para espécies de vegetação mais adaptadas a condições mediterrânicas. A vegetação localizada nas vertentes orientadas a Sul, Sudoeste e oeste tem normalmente teores de humidades mais baixos, fazendo com que os incêndios florestais aumentem a sua velocidade de propagação.

A vegetação da serra de Monchique é demarcada por espécies de carvalhais tais como, o sobreiro (*Quercus suber*), o carvalho de Monchique (*Quercus canariensis*), a azinheira (*Quercus rotundifolia*), o castanheiro (*Castanea sativa*), o loureiro (*Laurus nobilis*), o azevinho (*Llex aquifolium*) e o medronheiro (*Arbutus unedo*) (D`Abreu et al. , 2004). Decorrente da gestão e da sobre exploração agroflorestal, esta vegetação tem vindo a ser substituída, por grandes áreas de pinhal e eucaliptal.

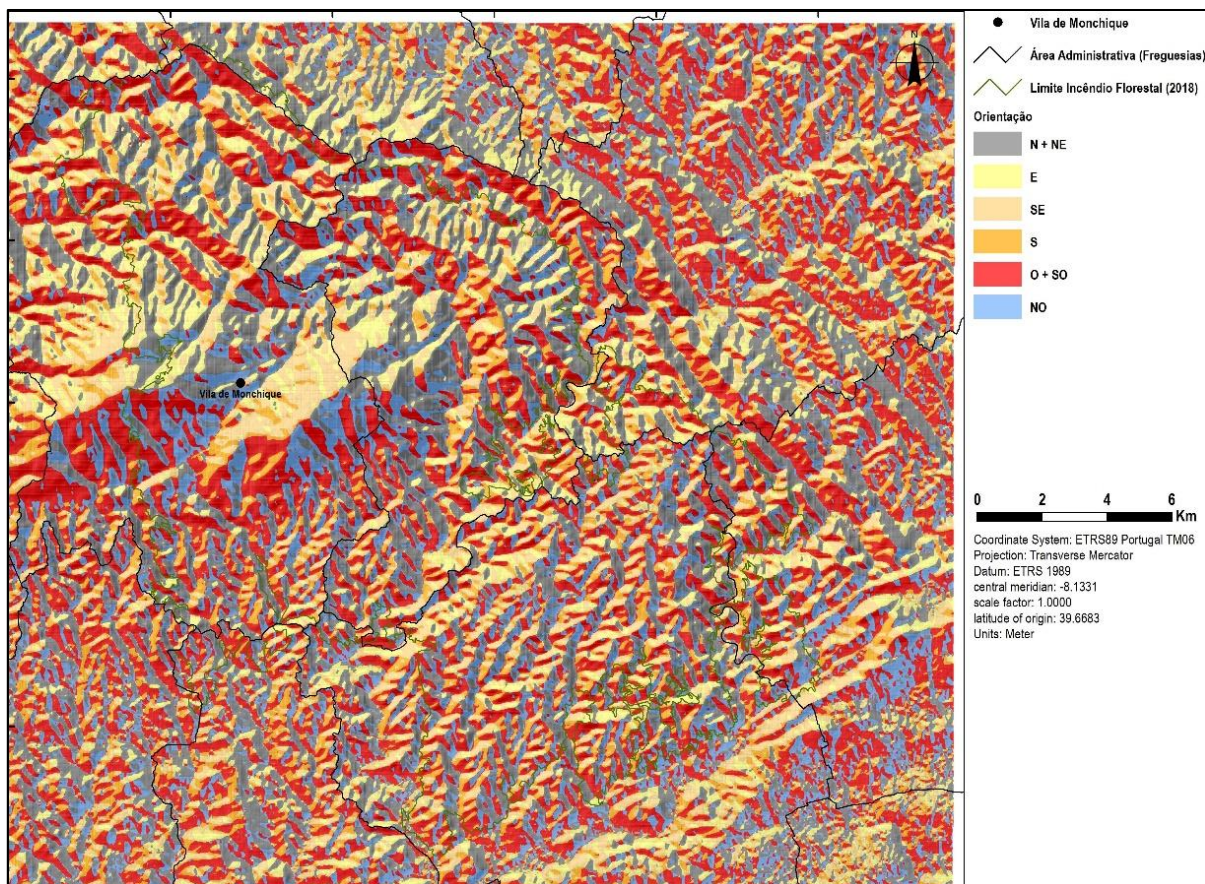


Figura 3.16 – Carta das exposições e orientações das Encostas da área de estudo. Fonte: Autor

Por forma a entender melhor as exposições e orientações da área de estudo foi elaborado um gráfico da frequência das exposições das vertentes (Figura 3.17).

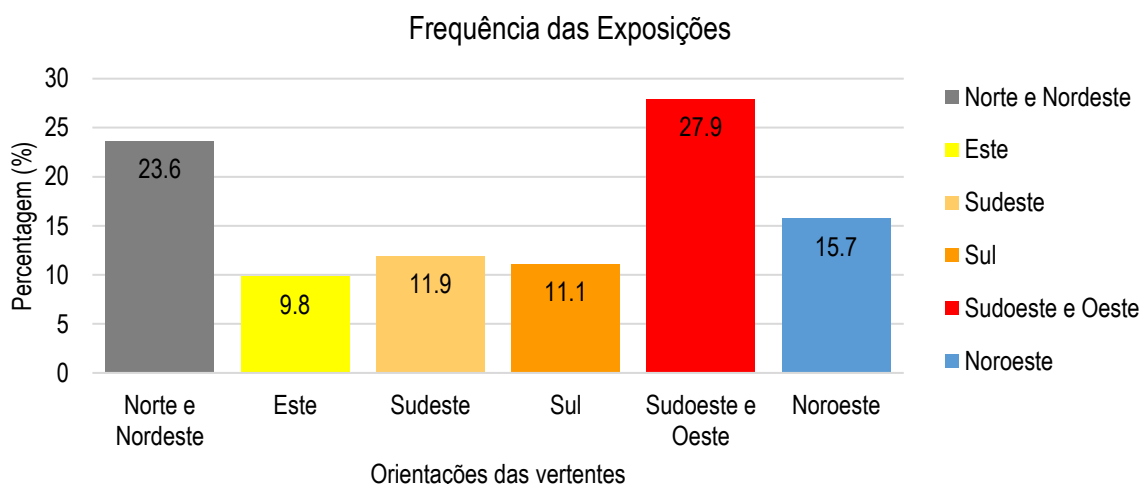


Figura 3.17 – Frequência dos declives. Fonte: Autor

As exposições dominantes, são as encostas orientadas a Sudoeste e a Oeste com 27.9% de ocupação e as orientadas a Norte e Nordeste com 23.6% de ocupação (Tabela 3.4). Nestas vertentes predominam as espécies, *Arbutus unedo* e o *Quercus rotundifolia*.

Tabela 3.4 – Distribuição das classes de exposição pela área de estudo.

Orientação	Quadrante	Exposição	Área (ha)	Ocupação (%)
Norte e Nordeste (N+NE)	337,5° - 67,5°	Exposição muito fria	6788,6	23,6
Noroeste (NO)	292,5° - 337,5°	Exposição fria	4523,9	15,7
Este (E)	67,5° - 112,5°	Exposição temperada	2806,1	9,8
Sudeste (SE)	112,5° - 157,5°	Exposição temperada-quente	3415,2	11,9
Sul (S)	157,5° - 202,5°	Exposição quente	3205,4	11,1
Oeste e Sudoeste (O+SO)	202,5° - 292,5°	Exposição muito quente	8021,9	27,9

3.2.4. Geologia

O mapa representado na Figura 3.18 foi elaborado com base na carta geológica de Portugal do Atlas do Ambiente Digital à escala 1:500 000, editada em 1972 pelos Serviços Geológicos de Portugal (Real, 1987).

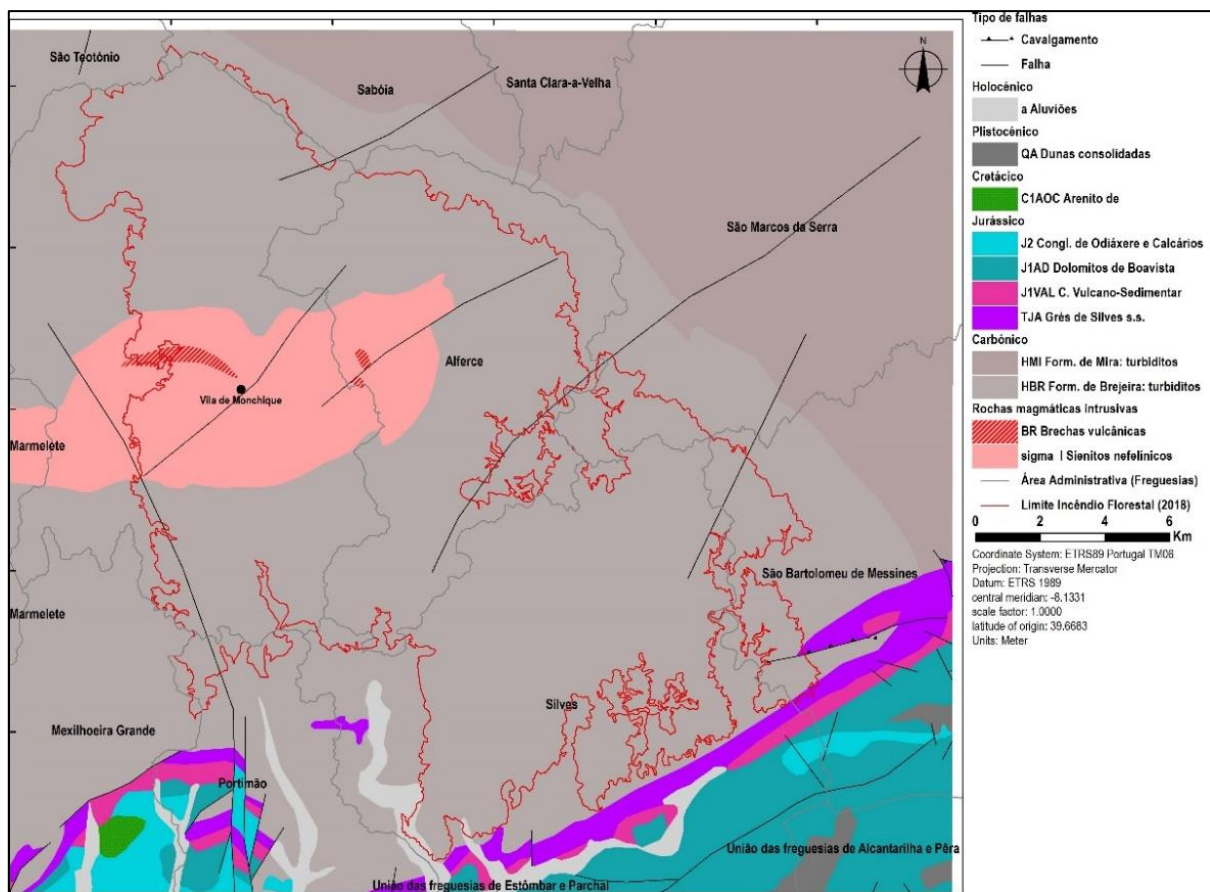


Figura 3.18 – Mapa Geológico da área de estudo. Fonte: Autor (Adaptado de carta geológica de Portugal do Atlas do Ambiente Digital à escala 1:500 000)

No mapa (Figura 3.18) estão representados os elementos sobre a geologia superficial e os acidentes tectónicos mais importantes. A área de estudo apresenta uma geologia complexa onde se identificam vários momentos, que marcaram o território desde a Era do Paleozoico à do Mesozoico.

O Norte apresenta-se, quase na sua totalidade, como pertencente ao período Carbónico, enquanto que a sul, as formações mais recentes estão classificadas como pertencentes ao período Jurássico. Verifica-se também alguns afloramentos de rochas magmáticas, nos pontos mais elevados da serra de Monchique, sendo ainda notável as várias falhas da região (Figura 3.18).

3.2.5. Litologia

A carta litológica tem a finalidade de fornecer elementos sobre a superfície terrestre, onde a rocha mãe assume um papel importante na formação do solo. Através da

litologia é possível verificar as principais características físicas das rochas no que concerne à dureza, fratura e ao comportamento sob a ação do fogo.

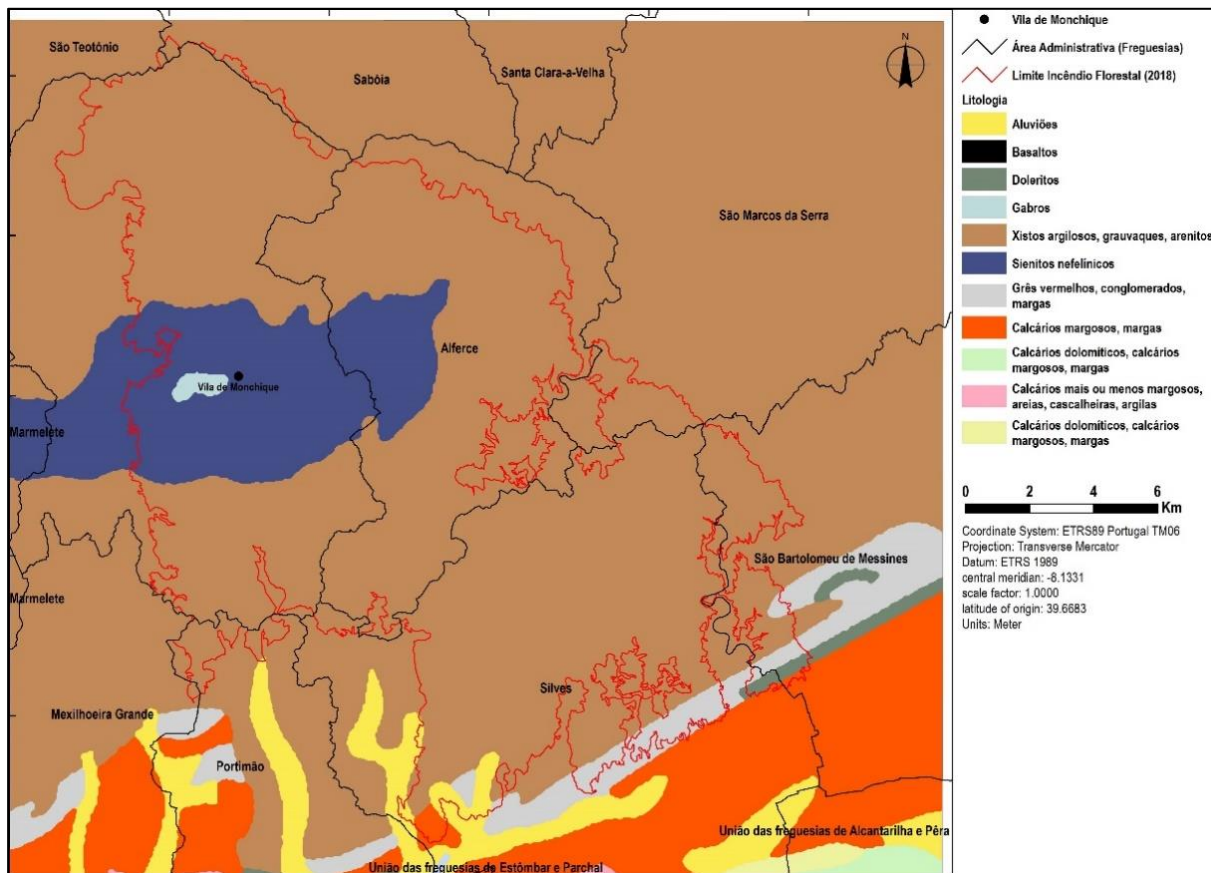


Figura 3.19 – Carta litológica da área de estudo. Fonte: Autor (Adaptado de a carta litológica de Portugal do Atlas do Ambiente Digital à escala 1:1 000 000)

A produção cartográfica da litologia da área de estudo, teve como base a carta litológica de Portugal do Atlas do Ambiente Digital à escala 1:1 000 000 (Figura 3.19). A área de estudo apresenta a norte, rochas argiláceas consolidadas e eruptivas, enquanto que a sul, rochas calcárias e sedimentares.

Os dois principais conjuntos de rochas na área de estudo são os xistos argilosos, grauvaques e arenitos com 81% de área de ocupação e os sienitos nefelínicos com 15% de ocupação (Tabela 3.5).

Tabela 3.5 - Distribuição da Litologia pela área de estudo.

Tipo de rocha	Área (ha)	Ocupação (%)
Xistos argilosos, grauvaques, arenitos	23290,5	81,0
Sienitos nefelínicos	4405,2	15,3
Grés vermelhos, conglomerados, margas	537,8	1,9
Aluviões	225,8	0,8
Gabros	108,5	0,4
Calcários, calcários dolomíticos, calcários margosos, margas	107,4	0,3
Doleritos	86,1	0,3

3.2.6. Solos e Capacidade de Uso

Segundo Kopp *et al.* (2000), da formação geológica resultam substratos originas e relativamente pobres em nutrientes, sendo que a história da formação de cada um dos solos determinam as suas características. A carta de solos foi elaborada com base na carta de solos de Portugal do Atlas do Ambiente Digital à escala 1:1 000 000 (Figura 3.20).

Na classificação dos solos da área de estudo, foi utilizada a mesma classificação do Serviço de Reconhecimento e Ordenamento Agrário (SROA). Pela Figura 3.20, verifica-se a existência de dois afloramentos rochosos, na Foia e na Picota.

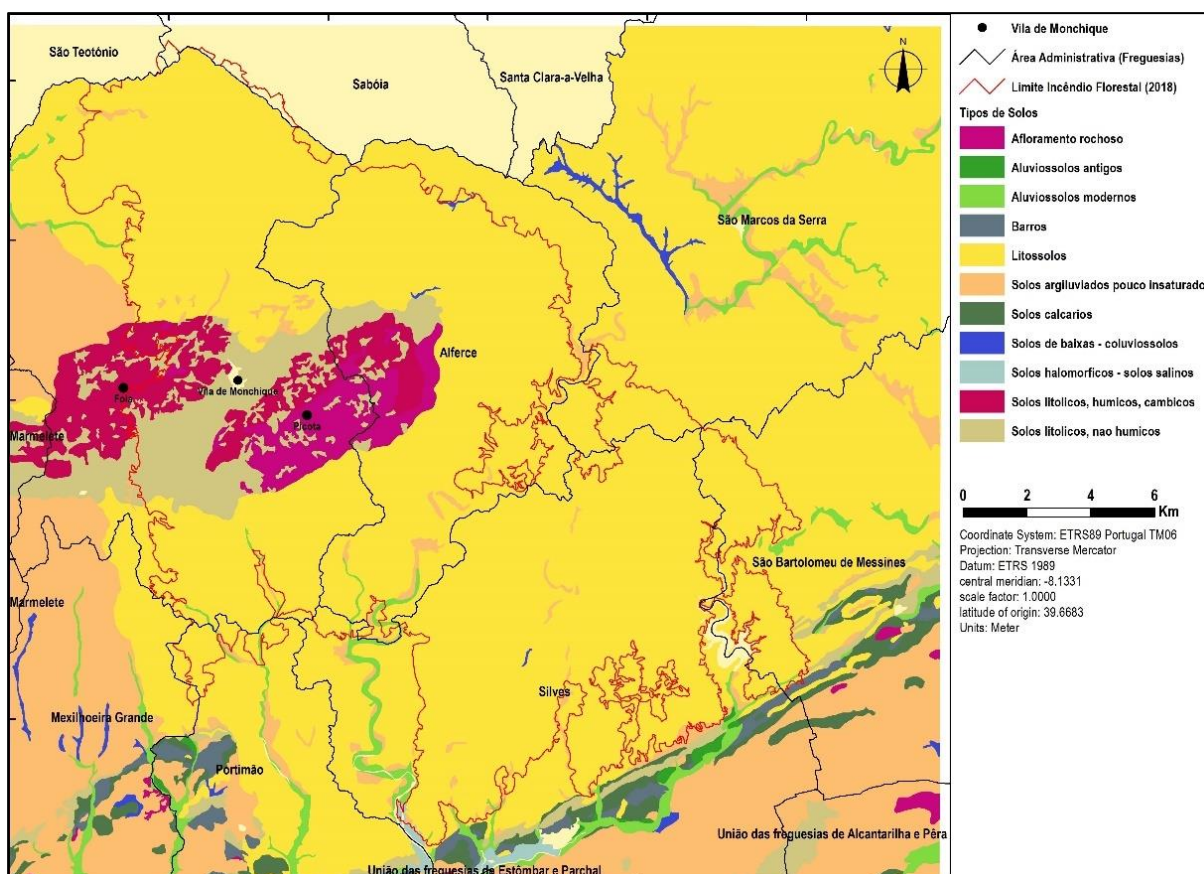


Figura 3.20 – Carta de solos da área de estudo. Fonte: Autor (adaptado da carta de solos de Portugal à escala 1:1 000 000)

Os solos predominantes dentro do perímetro da área ardida, são os Litossolos com 82,0% de ocupação e os menos predominantes são os Solos halomórficos – solos salinos com 0,2% de representatividade (Tabela 3.6).

Tabela 3.6 – Distribuição do tipo de Solos pela área de estudo

Tipo de Solo	Área (ha)	Ocupação (%)
Litossolos	23566,6	82,0
Solos litólicos, não húmicos	2227,4	7,8
Solos litólicos, húmicos, cambícos	1225	4,3
Afloramento rochoso	1129,7	3,9
Solos argiluvitados pouco insaturados	323	1,1
Aluviossolos modernos	95,3	0,4
Solos de baixas – coluviossolos	20	0,3
Solos halomórficos – solos salinos	15,5	0,2

Os solos foram classificados por classes de capacidade de uso (Tabela 3.7), ou seja, foram agrupados de acordo com as suas potencialidades a nível de uso, segundo, na

nota explicativa da carta de usos do solo de Portugal (Loureiro, 2016). A Figura 3.21 ilustra a carta de capacidade de uso do solo, onde os solos foram classificados por classes de capacidade de uso.

Tabela 3.7 – Classificação das classes de capacidade de usos do Solo pela área de estudo.

Classe	Principal característica
Classe A	- Poucas ou nenhuma limitações, sem riscos de erosão ou com riscos ligeiros; - Suscetível de utilização agrícola intensiva.
Classe B	- Limitações moderadas, riscos de erosão no máximo moderados; - Suscetível de utilização agrícola moderadamente intensiva.
Classe C	- Limitações acentuadas, riscos de erosão no máximo elevados; - Suscetível de utilização agrícola pouco intensiva.
Classe D	- Limitações moderadas, riscos de erosão no máximo elevados a muito elevados; - Não suscetível de utilização agrícola, salvo casos muito especiais; - Poucas ou moderadas limitações para pastagens, exploração de matos e exploração florestal.
Classe E	- Limitações severas, riscos de erosão muito elevados; - Não suscetível de utilização agrícola; - Severas a muito severas limitações para pastagens, matos e exploração florestal; - Ou servindo apenas para vegetação natural, floresta de proteção ou de recuperação; - Não suscetível de qualquer utilização.

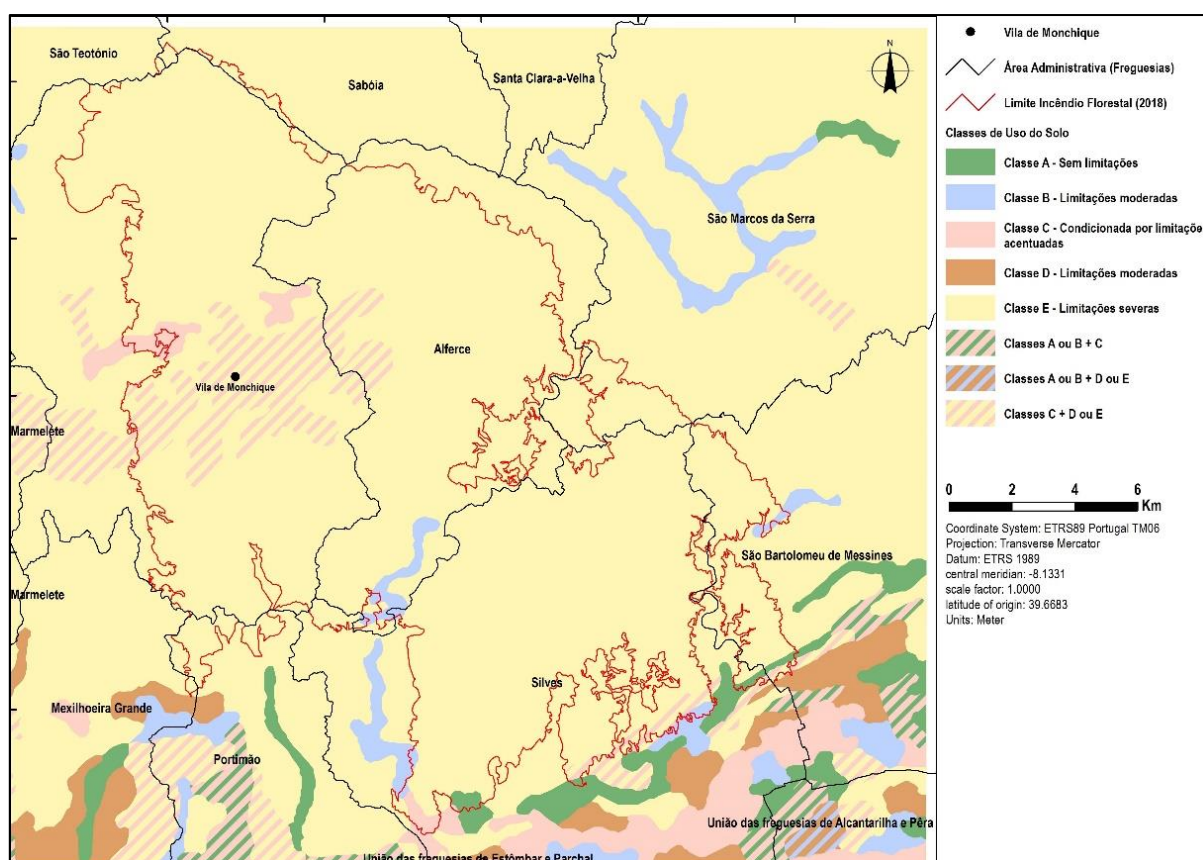


Figura 3.21 – Carta de Capacidade de Uso do Solo da área de estudo. Fonte: Autor

Verifica-se que a grande parte da área de estudo está inserida na classe “E”, que é inadequada às práticas agrícolas e de pastagens. A Vila de Monchique localiza-se na classe “C+E”.

A Tabela 3.8 quantifica a distribuição das classes de capacidade de uso do solo.

Tabela 3.8 – Distribuição das classes de capacidade de usos do Solo pela área de estudo.

Classes	Área (ha)	Ocupação (%)
Classe A	105,7	0,4
Classe B	261,5	1,0
Classe C	314,2	1,1
Classe D	0,9	0
Classe E	25350,4	88,1
Classe C+E	2476,6	8,6
Corpos de água	244,6	0,9

3.2.7. Ocupação do Solo

O conhecimento da ocupação do solo é bastante relevante na medida em que ajuda a entender a estrutura da paisagem contribuindo para melhorar o planeamento da Defesa Florestal Contra Incêndios (DFCI). A alteração da ocupação do solo pode provocar vários impactes, quer a nível ecológico, ambiental e socioeconómico. A figura 3.22 ilustra o mapa da ocupação do solo da área de estudo.

A carta de ocupação do solo, foi criada com base a Carta de Ocupação do Solo (COS) de 2015. A COS 2015 possui 48 classes de ocupação com unidade mínima 1ha e uma série temporal com quatro anos de referência. A ocupação e o uso do solo da área de estudo têm uma matriz agroflorestal, onde os usos florestais e os matos são predominantes em toda a paisagem. Contudo, verifica-se um tecido urbano disperso.

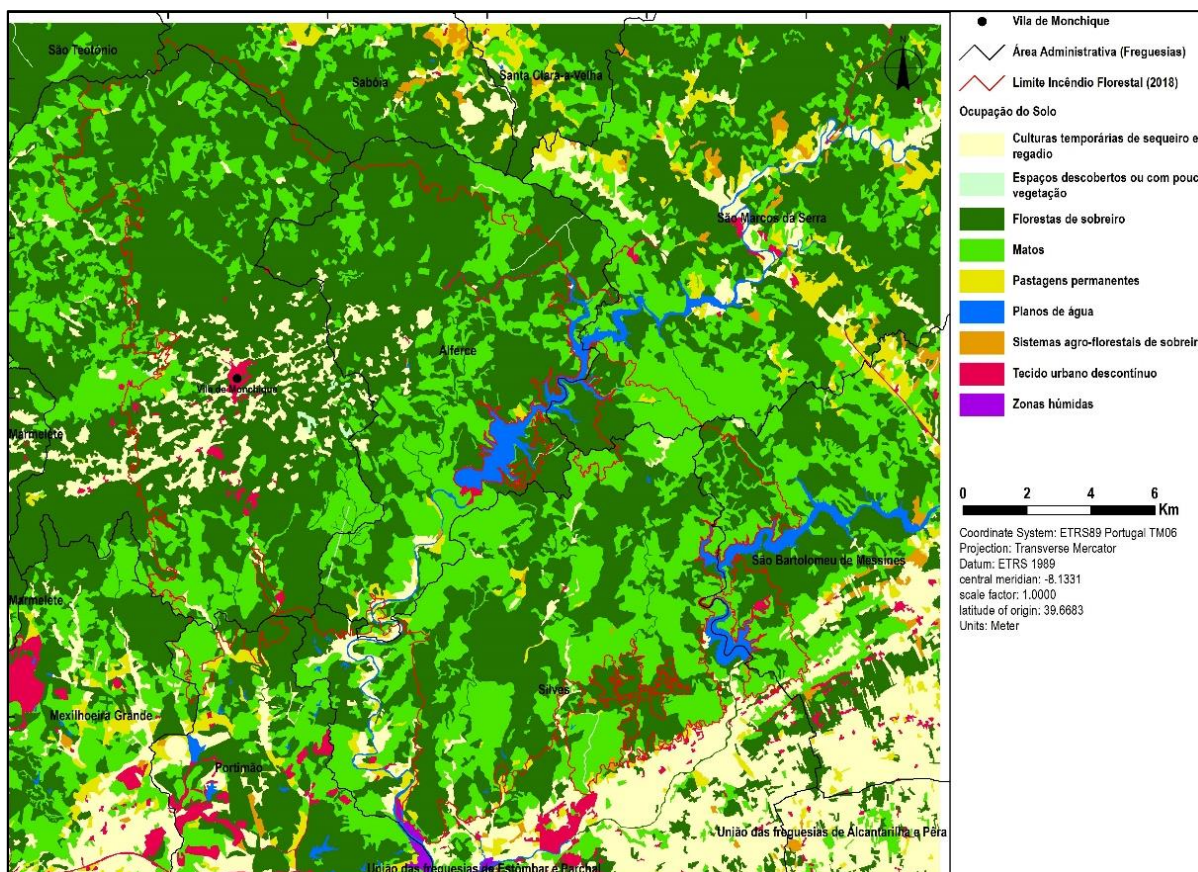


Figura 3.22 – Carta de ocupação do solo. Fonte: Autor (Adaptado do COS 2015)

Na área de estudo as ocupações predominantes, com aproximadamente 60%, são as florestas de sobreiro. Os matos ocupam 33,5% da área de estudo. A ocupação menos predominante são as zonas húmidas com 0,1% da ocupação (Tabela 3.9).

Tabela 3.9 - Distribuição da ocupação do solo pela área de estudo.

Tipo de Ocupação do Solo	Área (ha)	Percentagem (%)
Florestas de sobreiro	17211,2	59,2
Matos	9640,4	33,5
Culturas temporárias de sequeiro e regadio	1381,5	4,5
Tecido urbano descontínuo	185,9	0,8
Pastagens permanentes	183,0	0,7
Espaços descobertos ou com pouca vegetação	69,5	0,5
Planos de água	63,4	0,4
Sistemas agroflorestais de sobreiro	17,3	0,3
Zonas húmidas	8,9	0,1

Segundo Loureiro (2017) e o Plano Sectorial da Rede Natura 2000 (Instituto da Conservação da Natureza, 2006), na área de estudo, tem-se vindo a verificar uma alteração do tipo de floresta mediterrânea, o que significa que as áreas de sobreiro

3.3. Unidades de Paisagem

Segundo D'Abreu *et al.* (2004), as unidades de paisagem são áreas com características relativamente homogêneas, tendo como fatores de distinção a morfologia, a natureza geológica, os usos do solo ou a combinação de vários fatores. Neste sentido, podemos considerar a paisagem um sistema dinâmico, em constante alteração, podendo os incêndios florestais serem preconizadores desse dinamismo. Foi elaborada a carta de unidades de paisagem adaptada da carta de unidades de paisagem em Portugal Continental (Figura 3.24).

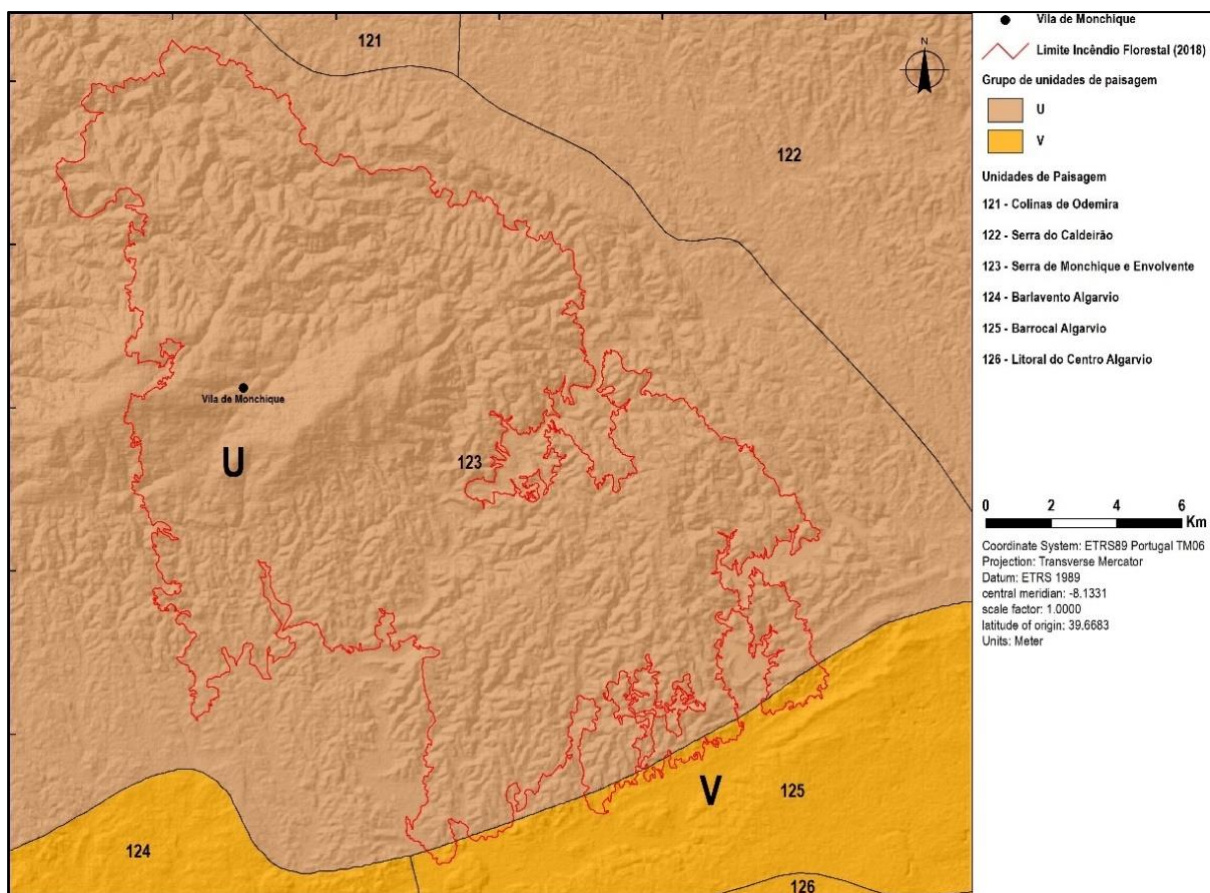


Figura 3.24 – Carta das unidades de paisagem. Fonte: Autor (adaptado da Carta de Unidades de Paisagem de Portugal Continental)

A área de estudo está inserida maioritariamente no grupo de unidades de paisagem U que corresponde às serras do Algarve e do Litoral Alentejano, mais propriamente a unidade de paisagem 123 que corresponde à Serra de Monchique e envolventes. A zona sul está inserida na unidade de paisagem V que corresponde à unidade 124 (barlavento algarvio), 125 (barrocal algarvio) e 126 (litoral do centro algarvio) (Figura 3.24 e Tabela 3.10).

Tabela 3.10 – Unidades de Paisagem da área de estudo

Grupo	Unidade	Descrição
U	121	Colinas de Odemira
	122	Serra do Caldeirão
	123	Serra de Monchique e envolvente
V	124	Barlavento Algarvio
	125	Barrocal Algarvio
	126	Litoral do Centro Algarvio

4. Metodologia

Neste trabalho de investigação são identificadas e classificadas as áreas onde o incêndio florestal de Monchique de 2018 teve maior ou menor poder destrutivo, classificadas as áreas de risco de incêndio e realizada a estimativa da erosão do solo pós incêndio com base na equação de Universal da Perda do Solo (USLE).

Para identificar e classificar as áreas afetadas pelo incêndio foi produzida a cartografia dos índices de vegetação da Diferença Normalizada e do Ajustado ao Solo (NDVI e SAVI) e dos índices da severidade do incêndio, a Diferença da Razão de Queima Normalizada (dNBR) e a Diferença do Índice de NDVI (dNDVI). A produção desta cartografia teve como base imagens Landsat 8 antes e pós incêndio.

A cartografia do risco de incêndio que resultou da integração da cartografia dos danos potenciais com a cartografia da perigosidade do incêndio. Os elementos de base para produzir esta cartografia foram, o Modelo Digital do Terreno (MDT), a Carta de Ocupação do Solo de 2015 (COS 2015) e a cartografia nacional de áreas ardidas do período 1990-2017 do Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF).

A cartografia da estimativa da erosão do solo pós incêndio foi determinado com base no mapa da erosividade da chuva disponibilizada pelo Sistema Nacional de Informação do Ambiente (SNIAmb), fator de erodibilidade do solo (K) obtido pela carta de solos de Portugal do Atlas do Ambiente Digital, o fator da cultura (C) aplicado à COS 2015, o comprimento da encosta (L) e o declive (S) baseado nos modelos derivados do MDT.

Depois de identificadas as áreas de maior risco foi selecionada uma área a qual esteve sujeita a um incêndio controlado e onde irão ser implementadas duas parcelas experimentais com condições topográficas semelhantes para monitorizar a erosão do solo e avaliar as medidas de mitigação. Numa das parcelas será colocada uma cobertura de palha e folhagem de pinheiro e na outra nenhuma cobertura.

Para produzir a cartografia de monitorização serão efetuados voos periódicos para obter uma cobertura fotogramétrica da área de estudo ao longo do tempo. Será utilizado um veículo aéreo não tripulado (VANT), da marca DJI, com o modelo Phantom 3 ADV (Figura 4.1).



Figura 4.1 – VANT *Phantom 3 Advanced* e rádio controlo. Fonte: Autor

No VANT será acoplado o sensor RGB da Canon S100 (Figura 4.2). Este sensor pesa 215 gramas e tem como dimensões 10 x 6 cm. Tem uma resolução de 12.1 megapixéis (Mpx), possui uma distância focal de 5,2 – 26 mm com GPS incorporado, o qual é de extrema importância para a localização das imagens e para a sua georreferenciação. Este equipamento possui um sensor modificado, NIR-GREEN-BLUE.



Figura 4.2 – Camara com o sensor Nir-G-B Canon S100. Fonte: Autor

Desta forma a banda do NIR corresponde à banda de maior refletância da imagem e a do Blue, que seria o vermelho, corresponde à banda de maior absorção. O equipamento tem instalado um software que permite o disparo automático, neste caso foi de 2 segundos, permitindo que durante o voo se recolha bastantes imagens, usando posteriormente as que são dotadas de maior qualidade.

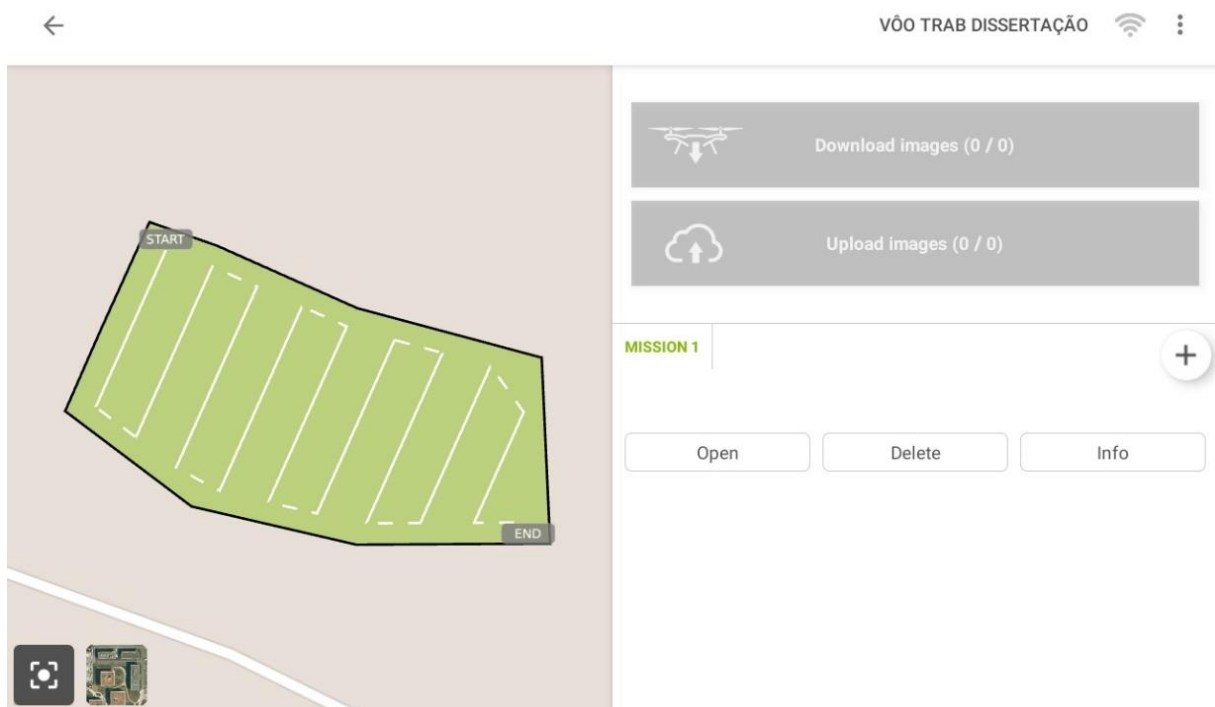


Figura 4.3 – Plano de voo. Fonte: Autor

Foi realizado um plano de voo com uma sobreposição longitudinal e transversal de 75% (Figura 4.3). As fotografias serão posteriormente georreferenciadas com base nas coordenadas obtidas com dois recetores de GNSS da TOPOCOM em tempo real conectados à estação de RENEP, com uma precisão centimétrica de posicionamento. Os voos serão realizados a uma altura de 35 metros, obtendo-se uma resolução espacial de 1,53 cm/px.

Para se poder efetuar o voo com o VANT é necessário solicitar uma autorização de à Autoridade Aeronáutica Nacional (Anexo 1). Para isto foi necessário efetuar a inscrição online no site <https://backoffice.aan.pt/checklogin>.

A Figura 4.4 mostra a estrutura metodológica utilizada neste trabalho de investigação.

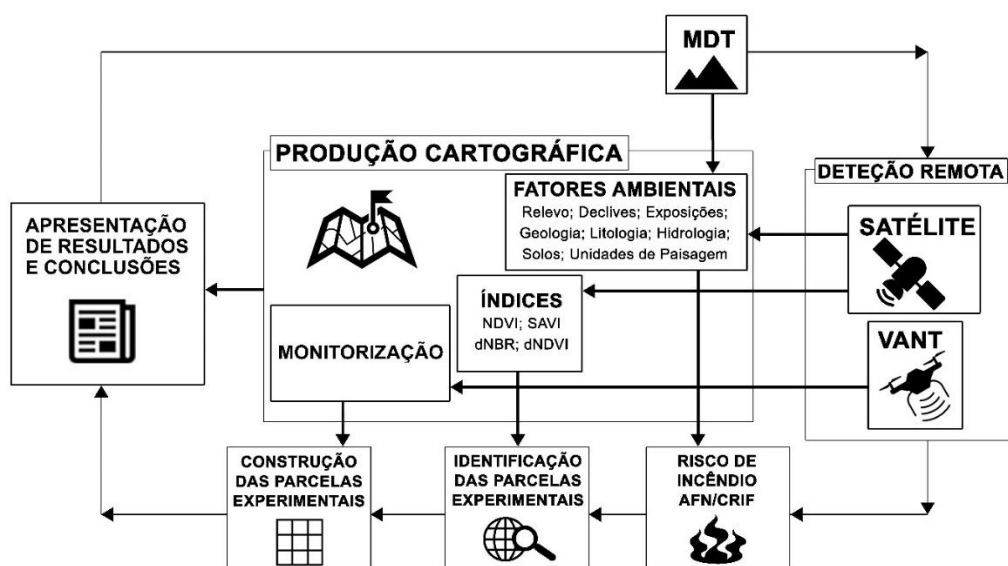


Figura 4.4 – Metodologia Conceptual. Fonte: Autor

4.1. Sistema de Projeção Cartográfica e softwares utilizados

O sistema de coordenadas utilizado neste trabalho de dissertação foi o PT-TM06/ETRS89. Trata-se de um sistema global de referência recomendado pela *European Reference Frame* (EUREF). O estabelecimento do PT-TM06/ETRS89 em Portugal Continental foi efetuado com base em campanhas internacionais, que tiveram como objetivo ligar convenientemente a rede portuguesa à rede europeia

(Direção Geral do Território, 2013), sendo caracterizado pelo conjunto de parâmetros, descritos na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Características do sistema de projeção PT-TM06/ETRS89. Fonte: Direção-geral do Território (2013).

EPSG	3767
Datum	ETRS89
Elipsoide de referência	GRS80
Projeção cartográfica	Transversa de Mercator
Ponto Central	39° 40' 05.73"N 8° 07' 59.19"W
Falsa Origem	Em M = 0 m Em P = 0 m

A componente prática desta dissertação foi desenvolvida utilizando diversos softwares (Tabela 4.2).

Tabela 4.2 – Software mais utilizados. Fonte: Autor

FUNÇÃO	SOFTWARE
Análise de dados Geográficos	ArcGIS 10.2.1 / Qgis 2.18/ Idrisi 17 Selva
Cartografia	ArcGIS 10.2.1
Plano de Voo	DJI GO / Pix4Dcapture
Automatização de disparo do sensor	CHDK 1.0.0.2

4.2. Aquisição de informação

Do site *USGS* foi realizado o download de duas imagens do *Landsat 8* com o sensor OLI com uma resolução espacial de 30 m (Figura 4.5):

- a) Antes da ocorrência do incêndio (29 de julho de 2018);
- b) Após a ocorrência do incêndio (30 de agosto de 2018).

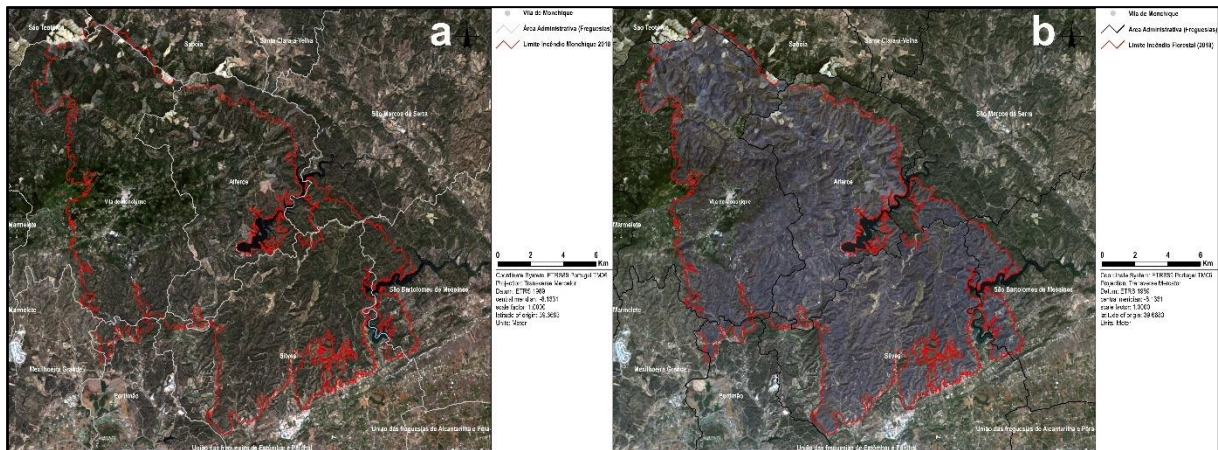


Figura 4.5 – Imagens *Landsat 8* da área de estudo a) Antes b) Após o incêndio. Fonte: Autor

Para determinar os índices NDVI, SAVI e NBR, foram escolhidas as bandas referidas na tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Bandas utilizadas das imagens de *Landsat 8*

Satélite	Sensor	Bandas	Resolução (m)	Data aquisição	Observações
Landsat 8	OLI	Banda 2 – Azul	30	29-07-2018 e 30-08-2018	Pré e pós incêndio
		Banda 3 – Verde			
		Banda 4 – Vermelho			
		Banda 5 – Infravermelho próximo			
		Banda 6 – Infravermelho médio			

As bandas das imagens são fornecidas em Níveis Digitais (ND) pelo que foi necessário transformar os ND em refletâncias (ρ_k) (Equação 1).

$$\rho_k = \frac{M_p \times ND + A_p}{\cos\theta} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde, M_p é o fator de reescalonamento multiplicativo, A_p o fator de reescalonamento aditivo e θ o ângulo zenital do sol (graus). Os valores M_p , A_p , e θ são fornecidos no ficheiro txt que vem associado às imagens descarregadas do *Site USGS*. Só após as correções radiométricas das imagens obtidas do *Landsat 8* foi possível efetuar o cálculo do NDVI, do SAVI e do NBR.

4.3. Determinação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI, *Normalized Difference Vegetation Index*) foi desenvolvido nos anos 70 por Rouse *et al.* (1973), com o objetivo

de medir a intensidade da clorofila nas plantas a partir da informação espectral do Landsat MSS. Este índice permite fazer uma análise do coberto vegetal a diversas escalas, de uma determinada região, distinguindo o crescimento ativo da vegetação a partir do contexto envolvente (CCRS, 1982). Baseia-se no comportamento radiométrico da vegetação ao longo do espectro, em que uma vegetação saudável apresenta uma grande diferença entre a banda do vermelho e do infravermelho próximo. O vermelho é absorvido pelos pigmentos fotossintetizantes e o infravermelho próximo é refletido devido à estrutura foliar (Chuvieco, 2010). Esta diferença, permite distinguir a vegetação saudável da vegetação que sofre algum tipo de stress em que existe menos reflexão no infravermelho próximo (Karnieli *et al.*, 2010).

O NDVI é calculado relacionando os valores de refletância nas faixas do espectro eletromagnético do vermelho (ρ_{RED}) e do infravermelho próximo (ρ_{NIR}). O valor deste índice pode variar entre -1 e 1, de acordo com a densidade de clorofila. Quanto maior a densidade de clorofila, maiores serão os valores de NDVI, enquanto que a ausência de folhas verdes ou de vegetação, corresponde a valores de NDVI próximos de zero. Os valores negativos indicam ocupação urbana e corpos de água.

A Equação 2 traduz o cálculo do NDVI.

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}} \quad (\text{Equação 2})$$

O NDVI foi calculado para os cenários pré incêndio (29-07-2018), e pós incêndio (30-08-2018). A Tabela 4.4 mostra as classes de valores de NDVI e a sua respetiva caracterização de ocupação de solo adaptado de Barbosa *et al.* (2017).

Tabela 4.4 - Valores do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada.

Fonte: Adaptado de Barbosa *et al.* (2017)

Intervalo de Valores (Pixel)	Descrição
-1 a 0	Corpos de água
0 a 0,1	Áreas estéreis de rocha, areia ou neve
0,1 a 0,3	Vegetação pouco densa
0,3 a 0,8	Vegetação densa
0,8 a 1	Vegetação muito densa

4.4. Determinação do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo

O Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI, *Soil Adjusted Vegetation Index*) proposto por Huete (1988), pretende minimizar os efeitos do solo sobre a reflexão da vegetação, inserindo um fator de ajuste do solo L na equação do NDVI, ou seja, o L varia conforme as características da refletância do solo (cor e brilho). A Equação 3 traduz o cálculo do SAVI.

$$SAVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED} + L} \times (1 + L) \quad (\text{Equação 3})$$

Onde, ρ_{NIR} é a refletância do infravermelho próximo, ρ_{RED} a refletância do vermelho e L o fator de ajuste do solo. Os valores obtidos estão escalados de -1 a 1, e com a mesma interpretação do NDVI.

Segundo Huete (1988), o fator L é escolhido conforme a densidade da vegetação que se deseja analisar e está linearmente correlacionado com o Índice de Área Foliar (LAI, *Leaf Area Index*) (Figura 4.6).

Nos casos da vegetação pouco densa, sugere o uso do fator L=1, para uma vegetação com uma densidade intermédia o uso do fator L=0,5 e para elevadas densidades o uso do fator L=0,25.

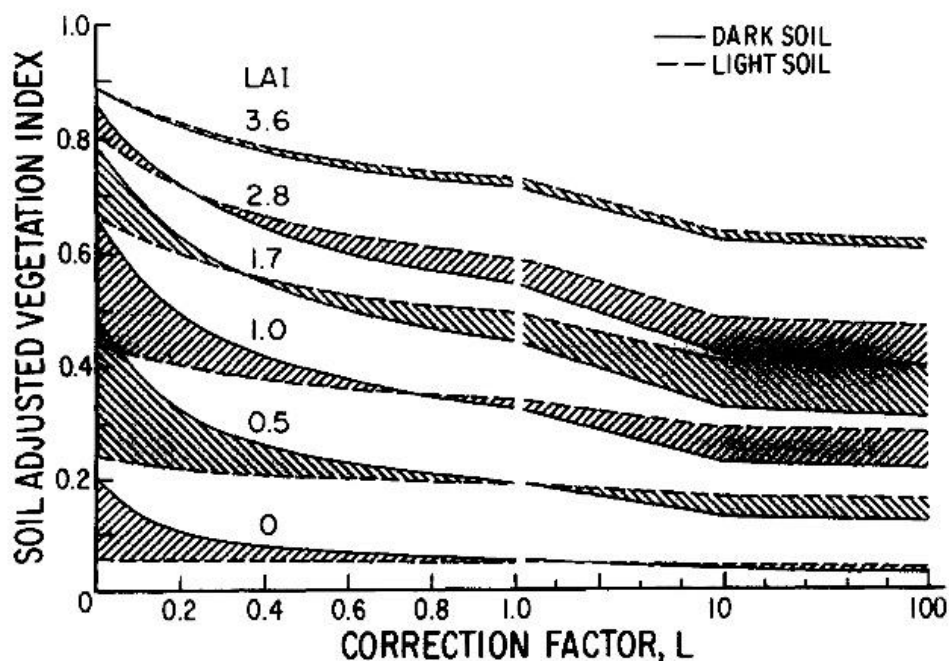


Figura 4.6 - Valores de L. Fonte: (Huete 1988)

Na área de estudo, antes da ocorrência do incêndio foi utilizado o fator $L=0,5$ e após o incêndio o fator $L=1$.

O SAVI foi calculado para os cenários pré incêndio (29-07-2018), e pós incêndio (30-08-2018), e classificados em cinco classes adaptado de Barbosa *et al.* (2017).

4.5. Determinação da Razão de Queima Normalizada e da Diferença da Razão de Queima Normalizada

Segundo Castillo *et al.* (2019), a severidade dos incêndios florestais é caracterizado pelos danos causados no ambiente, através do impacto causado pela elevada quantidade de energia (calor) libertada, estando muitas vezes relacionada com a temperatura do solo e com a destruição dos combustíveis. Contudo Baker (2018), diferencia a intensidade da severidade do incêndio. A intensidade está relacionada com a quantidade de energia libertada em forma de calor por unidade de tempo, que ocorre durante o incêndio. A severidade é o grau de mortalidade da vegetação, normalmente relacionado com o aquecimento do solo e a grande destruição dos combustíveis (vegetação) (Figura 4.7).

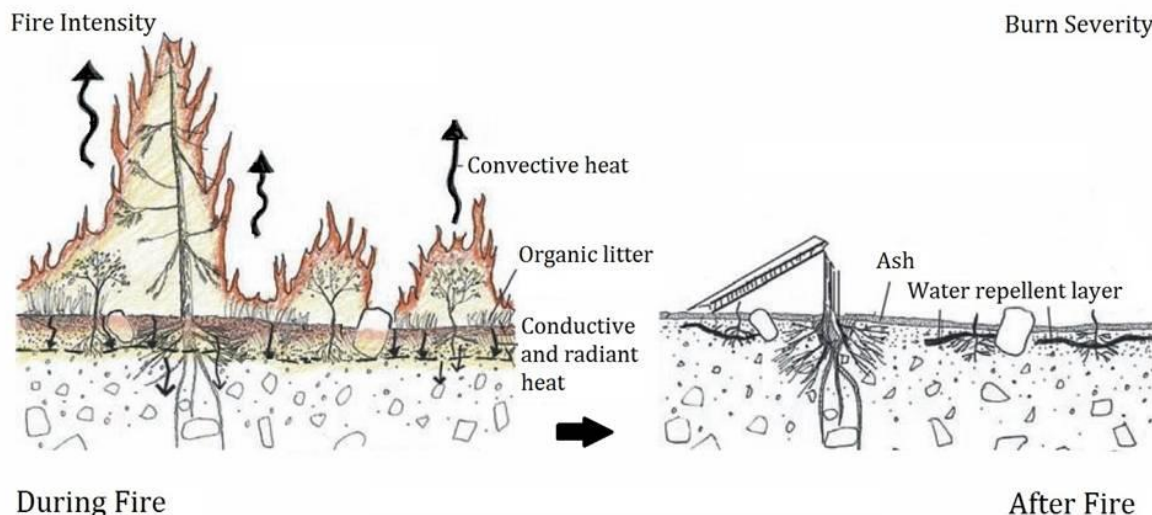


Figura 4.7 – Intensidade versus severidade do incêndio. Fonte: U.S. Forest Service

Segundo Moreira *et al.* (2010), um dos fatores que mais pode influenciar a intensidade do incêndio, resultando diferentes níveis de severidade, é a vegetação. Quanto maior for a intensidade, maior será a destruição da vegetação, da manta morta e da matéria

orgânica do solo, o que se traduz numa maior severidade. Estes efeitos dão origem a perdas de nutrientes e à hidrofobicidade do solo, que dificulta a infiltração dando origem à escorrência superficial.

Para identificar as áreas queimadas foi calculada a Razão de Queima Normalizada (NBR, *Normalized Burn Ratio*) que relaciona a banda do infravermelho próximo (ρ_{NIR}) com a do infravermelho médio (ρ_{MIR}), calculada para os cenários de pré e após o incêndio. O NBR está traduzido na Equação 4.

$$NBR = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{MIR}}{\rho_{NIR} + \rho_{MIR}} \quad (\text{Equação 4})$$

Para medir a severidade do incêndio foi determinado a Diferença da Razão de Queima Normalizada antes e após incêndio (dNBR, *Differenced Normalized Burn Ratio*) comparando o NBR pré incêndio e o NBR após incêndio através da Equação 5.

$$dNBR = NBR(\text{pré incêndio}) - NBR(\text{pós incêndio}) \quad (\text{Equação 5})$$

Segundo IWG-SEM, (2018), também é possível definir o índice de severidade através da diferença do NDVI pré incêndio pelo NDVI após incêndio (Equação 6).

$$dNDVI = NDVI(\text{pré incêndio}) - NDVI(\text{pós incêndio}) \quad (\text{Equação 6})$$

Os índices de severidade do incêndio florestal, foram classificados em quatro classes distintas, Severidade Alta, Severidade Moderada, Severidade Baixa e Áreas Não Queimada conforme a Tabela 4.5 (IWG-SEM 2018).

Tabela 4.5 – Classificação do Índice de Severidade

Classe Severidade	dNBR	dNDVI
Área Não Queimada	< 0,1	< 0,2
Severidade Baixa	0,1 – 0,3	0,2 – 0,4
Severidade Moderada	0,3 – 0,7	0,4 – 0,6
Severidade Elevada	> 0,7	> 0,6

4.6. Risco de Incêndio

O modelo de risco de incêndio, foi calculado de acordo com a metodologia utilizada pela Autoridade Florestal Nacional (AFN, 2012), no guia técnico do Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios (PMDFCI), conforme o organograma da Figura 4.8.

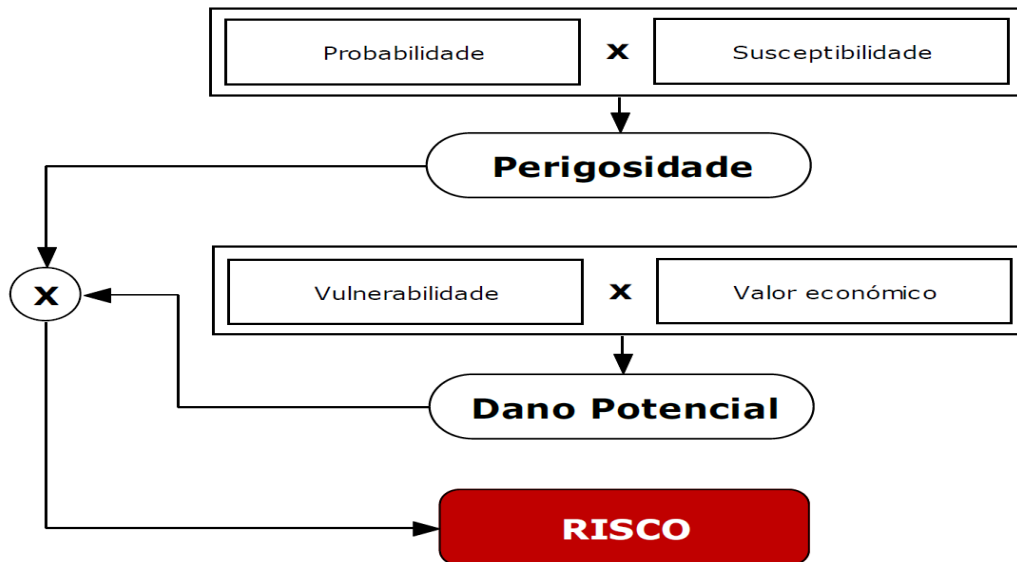


Figura 4.8 – Componentes do modelo de Risco. Fonte: AFN (2012).

4.6.1. Probabilidade

Segundo AFN (2012), a probabilidade traduz a possibilidade da ocorrência de um fenómeno num determinado local em determinadas condições. Para o cálculo da probabilidade é necessário atender ao histórico anual da ocorrência dos incêndios florestais da área de estudo. Para isso, foi necessário aceder ao site do Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF, <http://www2.icnf.pt/portal/florestas/dfci/inc/info-geo>), onde está disponibilizada a cartografia nacional das áreas ardidas desde os anos 1990 a 2018.

Ao longo do período estabelecido para a definição da probabilidade (27 anos), ocorreram vários incêndios na mesma área geográfica, neste sentido, foi necessário elaborar dois mapas para dois períodos de 1994-2003 e 2004-2018. (Figura 4.9 e Figura 4.10).

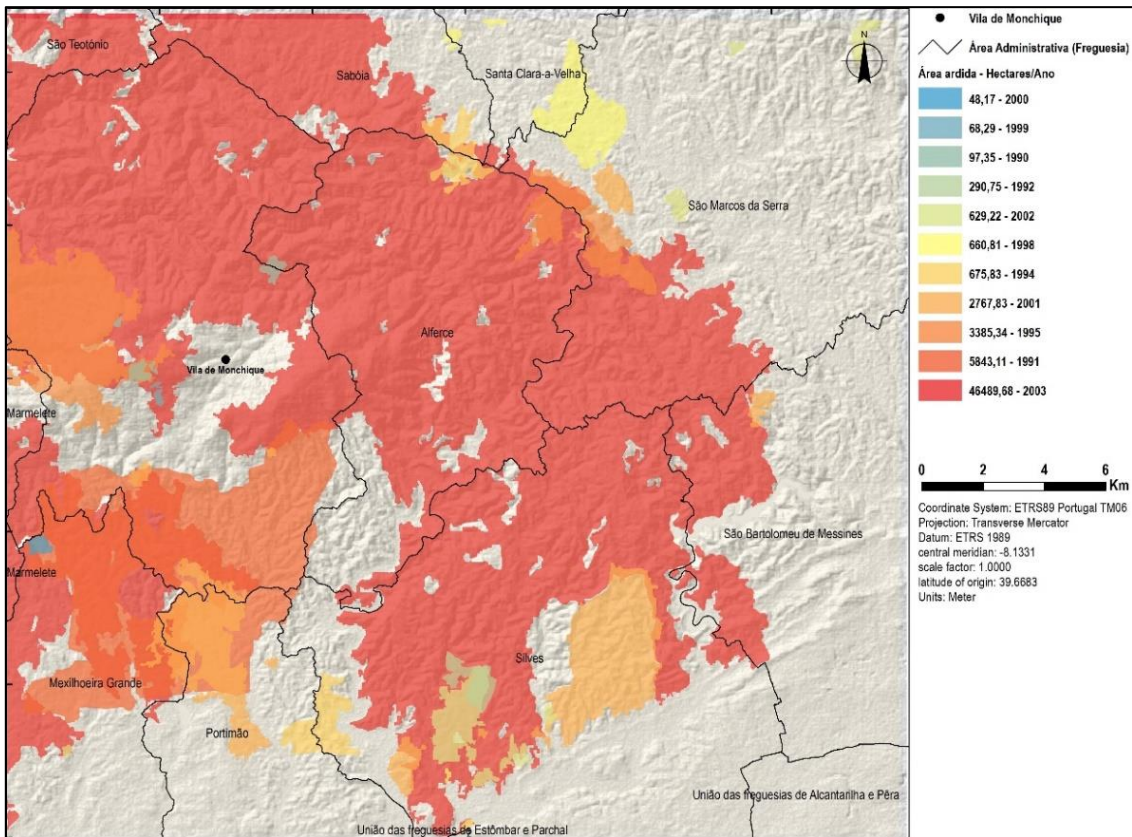


Figura 4.9 – Histórico da área ardida desde 1990 até 2003. Fonte: Autor (adaptado do ICNF)

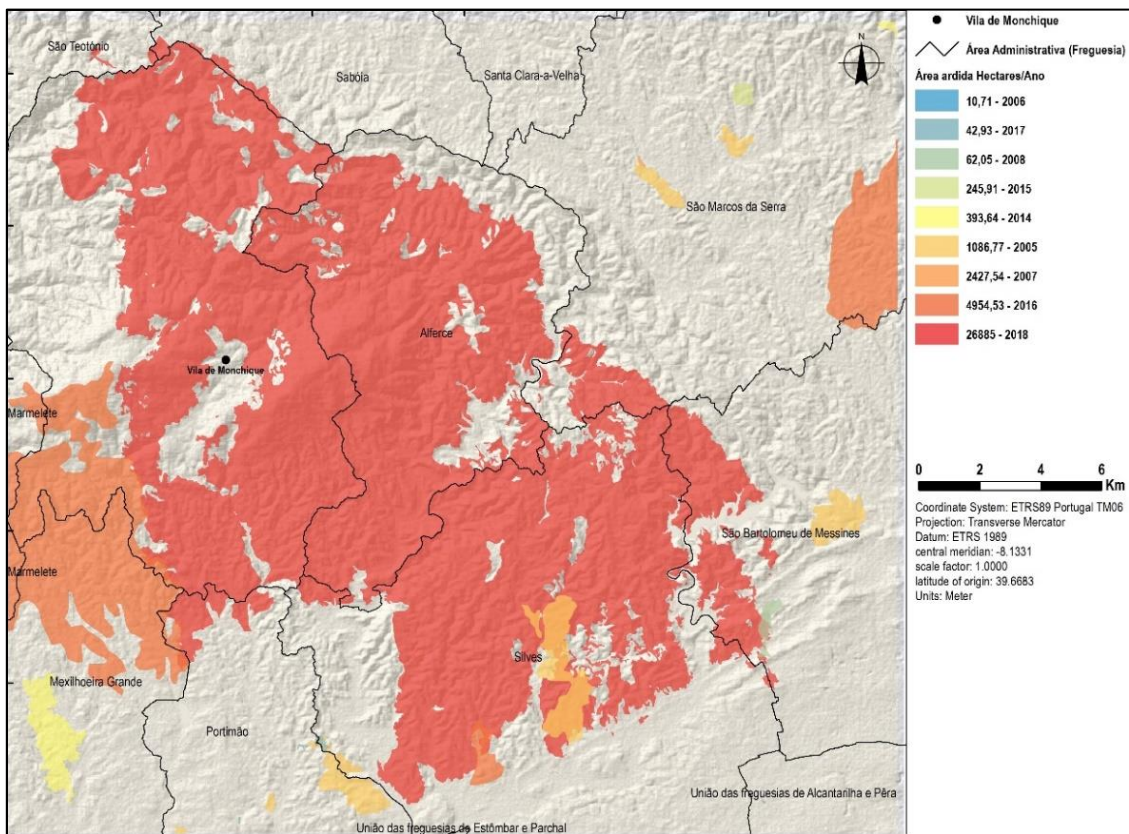


Figura 4.10 – Histórico da área ardida desde 2004 até 2018. Fonte: Autor (adaptado do ICNF)

A probabilidade (P) é expressa em percentagem e corresponde à média anual de ocorrências do fogo. É determinada para cada pixel através da Equação 7.

$$P = \frac{f \times 100}{\Omega} \quad (\text{Equação 7})$$

Em que f é o número de ocorrências registadas e Ω é o número de anos da série (neste caso foram considerados 27 anos).

Os valores nulos de probabilidade não significam risco nulo, mas sim ausência de ocorrência de fogo no período considerado. Como o mapa de perigosidade resulta da multiplicação da probabilidade pela suscetibilidade, foi necessário reclassificar os valores de probabilidade zero para um, ficando estes neutros na criação do modelo de risco (AFN, 2012).

4.6.2. Suscetibilidade

A suscetibilidade de um território expressa as condições que esse território apresenta para a ocorrência e potencial de um fenómeno danoso, tendo como variáveis os declives, a ocupação do solo e as exposições (Julião *et al.*, 2009; AFN, 2012).

Segundo Vasconcelos (2013), a suscetibilidade do risco de incêndio florestal é um processo com o objetivo da prevenção e mitigação dos incêndios florestais. Os mapas de suscetibilidade elaborados são ferramentas de apoio à prevenção do risco de incêndio, que identifica o potencial que um determinado território apresenta para a ocorrência do incêndio floresta.

Para o cálculo da suscetibilidade, segundo a AFN (2012), é necessário reclassificar as classes do uso e ocupação do solo e dos declives. Segundo Lourenço *et al.* (2004) e Alves (2012), as exposições e orientação das encostas é outro fator a considerar, porque influencia a quantidade de insolação recebida, a humidade relativa do ar e o vento. As vertentes orientadas a Oeste, Sudoeste e Sul apresentam condições mais favoráveis para os incêndios florestais, uma vez que a vegetação sofre uma maior dissecação e onde o ar é também mais seco, devido às maiores quantidades de

radiação. Neste sentido as exposições foram adicionadas para o cálculo da suscetibilidade, dando um peso a cada tipologia, de acordo com a tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Reclassificação dos Declives, Usos do Solo e das Exposições.

Fonte: Adaptado AFN (2012)

Valor	Declives (%)	Exposições	Usos do solo
0			Territórios artificializados, Corpos de água e Zonas húmidas;
2	0 a 5	N + NO + NE	Agricultura e Pastagens;
3	5 a 10	E + SE	Sistemas agroflorestais e Espaços descobertos ou com vegetação esparsa;
4	10 a 15	O + SO + S	Matos e Florestas;
5	15 a 20		
6	> 20		

O mapa dos declives, das exposições e do uso e ocupação do solo foram multiplicados, e para cada pixel foi determinada a suscetibilidade do risco de incêndio.

4.6.3. Vulnerabilidade

Segundo a AFN (2012), a vulnerabilidade diz respeito ao grau de perda que um determinado elemento com valor, está exposto à perigosidade. Os valores de referência para a vulnerabilidade são arbitrados em função das benfeitorias instaladas num determinado pixel, atribuindo um valor compreendido entre 0 e 1.

Para a elaborar da carta da vulnerabilidade da área de estudo, foi necessário recorrer à carta de usos do solo 2015. A AFN fornece valores de referência para a vulnerabilidade, conforme a Tabela 4.7.

Tabela 4.7 – Valores de referência para a vulnerabilidade. Fonte: (AFN, 2012).

Uso do solo (COS 2015)	Vulnerabilidade
Tecido urbano contínuo	0.75
Tecido urbano descontínuo	0.75
Indústria, comércio e equipamentos gerais	0.75
Redes viárias e ferroviárias e espaços associados	0.25
Aeroportos e aeródromos	0.75
Áreas de extração de inertes	0.25
Áreas de deposição de resíduos	0.70
Áreas em construção	0.75
Espaços verdes urbanos	0.50
Campos de golfe	0.50
Outras instalações desportivas e equipamentos de lazer	0.75
Equipamentos culturais e outros e zonas históricas	0.75
Culturas temporárias de sequeiro e regadio	0.50
Arrozais	0.30
Vinhas	0.50
Pomares	0.50
Olivais	0.70
Pastagens permanentes	0.40
Culturas temporárias e/ou pastagens associadas a culturas permanentes	0.50
Sistemas culturais e parcelares complexos	0.70
Agricultura com espaços naturais e seminaturais	0.70
Sistemas agroflorestais de sobreiro	0.50
Sistemas agroflorestais de azinheira	0.50
Sistemas agroflorestais de pinheiro manso	1
Sistemas agroflorestais de sobreiro com azinheira	0.50
Sistemas agroflorestais de outras misturas	0.50
Florestas de sobreiro	0.50
Florestas de azinheira	0.50
Florestas de castanheiro	0.70
Florestas de eucalipto	0.75
Florestas de outras folhosas	0.50
Florestas de pinheiro bravo	1
Florestas de pinheiro manso	1
Vegetação herbácea natural	0.30
Matos	0.40
Espaços descobertos ou com pouca vegetação	0.30
Zonas húmidas	0.1
Cursos de água	0.1
Planos de água	0.1
Lagoas costeiras	0.1
Desembocaduras fluviais	0.1

As classes dos corpos de água não possuem um valor associado, mas são vulneráveis à poluição dos derivados dos incêndios, então foi-lhes atribuído um valor de vulnerabilidade de 0.1.

4.6.4. Valor económico

Segundo AFN (2012), o valor económico é o valor de mercado em euros dos elementos em risco, que permite deste modo quantificar o valor necessário para recuperar os elementos após a sua destruição pela exposição ao incêndio. Os valores económicos para os espaços florestais podem-se encontrar na Estratégia Nacional para as Florestas, e para os valores de reconstrução podem utilizar-se valores publicados na Portaria nº 1240/2008, de 31 de outubro. Neste sentido, o valor económico baseia-se em valores de referência que devem ser os mais atuais possíveis, podendo ser obtidos através de orçamentos, adjudicações, relatórios de contas ou concursos públicos.

À semelhança da carta da vulnerabilidade, foi necessário a criação de um atributo para o preenchimento do valor económico por m². A AFN fornece valores económicos de referência, mas nem todas as tipologias da área de estudo tinham um valor económico associado. Neste sentido, houve a necessidade de recorrer à Direção Geral dos Recursos Florestais (DGRF), que também tem uma tabela de valores económicos de referência, conforme a Tabela 4.8. Uma vez que não existia um valor económico para a classe dos corpos de água, então foi-lhes atribuído um valor económico de 0,001, para o caso que sejam necessários gastos energéticos para a despoluição ou mesmo para a recuperação das linhas de água.

Tabela 4.8 – Valores económicos de referência. Fonte: (AFN, 2012)

Uso do solo (COS 2015)	Valor €/m ²
Tecido urbano contínuo	587.22
Tecido urbano descontínuo	587.22
Indústria, comércio e equipamentos gerais	587.22
Redes viárias e ferroviárias e espaços associados	27.85
Aeroportos e aeródromos	741.48
Áreas de extração de inertes	11.15
Áreas de deposição de resíduos	27.85
Áreas em construção	587.22
Espaços verdes urbanos	27.85
Campos de golfe	27.85
Outras instalações desportivas e equipamentos de lazer	587.22
Equipamentos culturais e outros e zonas históricas	587.22
Culturas temporárias de sequeiro e regadio	0.05
Arrozais	0.05
Vinhas	0.08
Pomares	0.08
Olivais	0.05
Pastagens permanentes	0.05
Culturas temporárias e/ou pastagens associadas a culturas permanentes	0.05
Sistemas culturais e parcelares complexos	0.05
Agricultura com espaços naturais e seminaturais	0.08
Sistemas agroflorestais de sobreiro	0.09
Sistemas agroflorestais de azinheira	0.02
Sistemas agroflorestais de pinheiro manso	0.05
Sistemas agroflorestais de sobreiro com azinheira	0.09
Sistemas agroflorestais de outras misturas	0.1
Florestas de sobreiro	0.09
Florestas de azinheira	0.02
Florestas de castanheiro	0.1
Florestas de eucalipto	0.01
Florestas de outras folhosas	0.2
Florestas de pinheiro bravo	0.009
Florestas de pinheiro manso	0.05
Vegetação herbácea natural	0.005
Matos	0.005
Espaços descobertos ou com pouca vegetação	0.002
Zonas húmidas	0.001
Cursos de água	0.001
Planos de água	0.001
Lagoas costeiras	0.001
Desembocaduras fluviais	0.001

4.6.5. Perigosidade

A perigosidade é a probabilidade de ocorrência de um incêndio, num determinado período de tempo numa determinada área. Segundo a AFN (2012), a perigosidade do risco de incêndio florestal é o potencial que um determinado território apresenta para a probabilidade da ocorrência de um incêndio florestal numa determinada área, permitindo assim responder à questão “*Onde existe maior potencial para que o fenómeno ocorra e adquira maior magnitude?*”.

O mapa de perigosidade resulta da multiplicação dos mapas de probabilidade e de suscetibilidade. Este mapa foi reclassificado segundo o método dos quantis, utilizando 5 classes, conforme a Tabela 4.9.

Tabela 4.9 – Classes de Perigosidade. Fonte: AFN (2012)

Baixo
Baixo Moderado
Moderado
Elevado
Muito Elevado

4.6.6. Dano Potencial

Segundo a AFN (2012), o dano potencial identifica a eventual perda caso ocorra um incêndio florestal, sendo calculado pelo produto do valor económico pela vulnerabilidade que lhe é intrínseca. Neste sentido o dano potencial será tanto maior quanto maior for o valor da vulnerabilidade (próxima do valor 1) e o seu valor económico. O Dano Potencial é classificado em cinco classes pelo método quantis, Baixo, Baixo Moderado, Moderado, Elevado, Muito Elevado

4.6.7. Risco de Incêndio

Segundo AFN (2012), “*o risco é a probabilidade de que um incêndio florestal ocorra num local específico, sob determinadas circunstâncias, e as suas consequências esperadas, caracterizadas pelos impactes nos objetos afetados*”. Este mapa ajuda a

responder à questão “*quais os locais onde tenho mais a perder?*” quando o fenómeno passa da hipótese para a realidade.

A cartografia do risco de incêndio, para ser elaborada é necessário ter em conta vários fatores, nomeadamente, a matéria combustível, o relevo, a meteorologia e a análise da história dos incêndios florestais. O mapa do risco de incêndio é o produto resultante da multiplicação dos mapas da perigosidade e do dano potencial. É sobretudo indicado para ações de prevenção, com a finalidade de prever medidas a tomar no caso que ocorra o incêndio florestal (Figura 4.11).

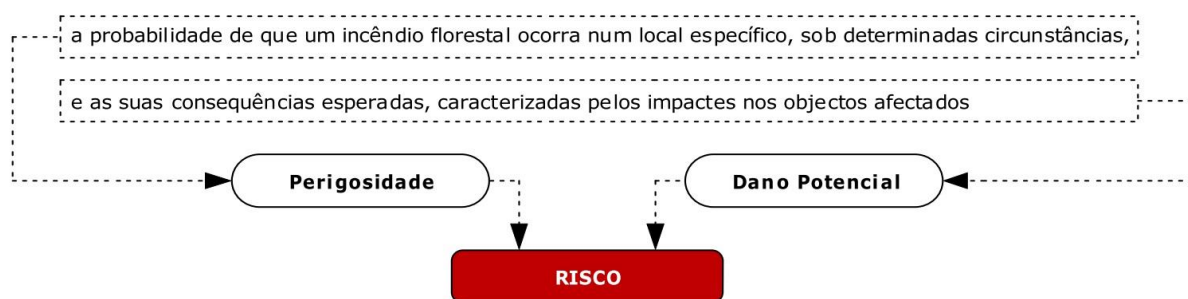


Figura 4.11 – Componentes do modelo de Risco. Fonte: AFN (2012)

Pelo método dos quantis o Risco de Incêndio Florestal foi classificado em cinco classes, Baixo, Baixo Moderado, Moderado, Elevado, Muito Elevado.

4.7. Estimativa do Risco de Erosão

Segundo Cavalli *et al.* (2017), os incêndios florestais provocam um aumento da erosão do solo, devido à destruição do coberto vegetal protetor e da perda da matéria orgânica presente no solo. Este processo faz com que a capacidade do solo para armazenar água e nutrientes seja diminuto, reduzindo a capacidade de cultivo e de fertilidade, que prejudica a resistência e resiliência do solo.

Neste sentido, para avaliar o potencial e a perda média do solo, onde ocorreram incêndios florestais, é necessário estimar a erosão do solo através do modelo de avaliação de perda de solo, que foi desenvolvido por Wischmeier & Smith (1978), denominado Universal Soil Loss Equation (USLE), em que calcula a perda de solo por

unidade de área, de acordo com as características dos fatores integrantes da equação (Meneses, 2013). A estimativa de perda por unidade de área ($t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$) de solo é determinada pela Equação 8.

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (\text{Equação 8})$$

Onde, R é o fator da erosividade da chuva ($MJ \cdot mm \cdot h^{-1} \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$), K o fator de erodibilidade do solo ($t \cdot h \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$), LS o fator topográfico (adimensional), C o fator relativo à ocupação do solo (adimensional), o Fator P relativo às práticas agrícolas (adimensional) (Simões, 2013).

Dado que o cálculo de R é um processo moroso e requerer dados que geralmente não estão disponíveis, foi utilizado os dados geográficos em formato vetorial do mapa da erosividade da chuva (Figura 4.12).

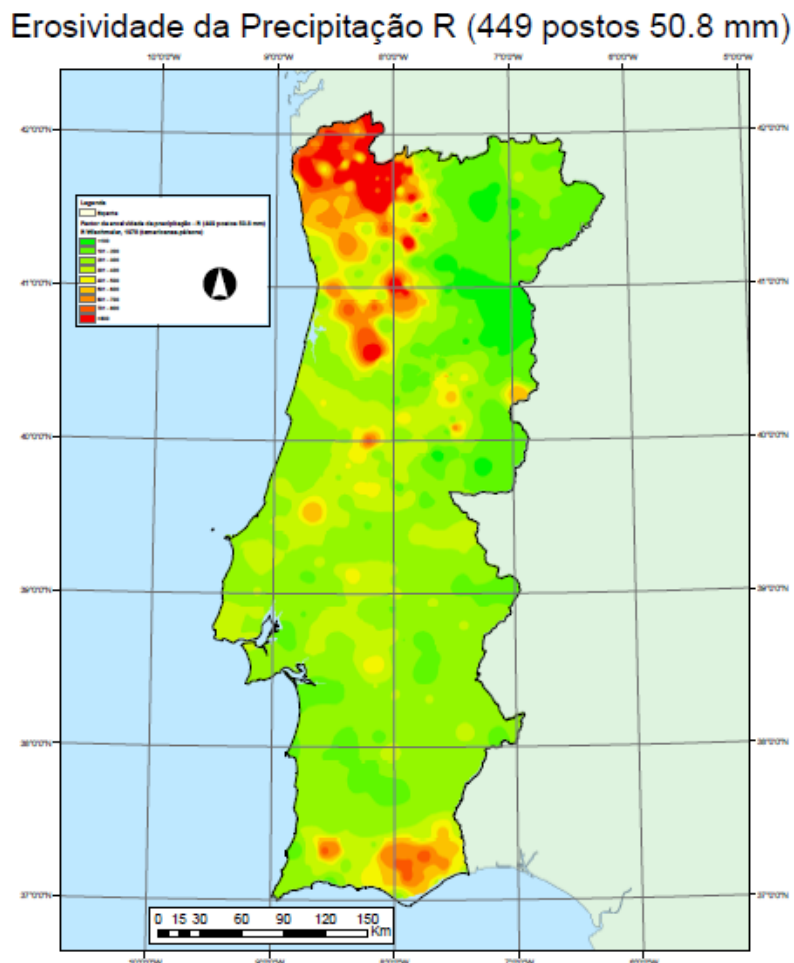


Figura 4.12 – Cartograma da erosividade da precipitação. Fonte: SNIAmb

No caso de se obter o fator de erosividade da precipitação (R) em unidades anglo-saxónicas (*ton americanas pé acre⁻¹*), é necessário utilizar a constante de conversão 2,24 para o Sistema Internacional (SI) (*MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹*), conforme a equação 9.

$$A = 2,24 \times R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (\text{Equação 9})$$

O mapa da erosividade da chuva à escala nacional, possui uma quadrícula de 250 m e está referenciado no *Datum* Lisboa. Na sua elaboração foram considerados eventos com precipitação total superior a 50,8 mm, referentes a 449 estações udométricos de Portugal Continental, disponível no SNIAmb (<http://sniamb.apambiente.pt>).

Os valores atribuídos para o fator K da área de estudo foram baseados segundo Pimenta (1998), para um solo específico. Na Tabela 4.10 são apresentados valores do fator K para cada tipo de solos.

Tabela 4.10 – Valores do Fator da erodibilidade do solo para cada família de solos.

Fonte: Pimenta (1998)

Tipo de solo	Fator K
Rg - Regossolos psamíticos	0,006
Ass - Solos halomórficos - solos salinos	0,018
Vt - Solos litólicos, não húmicos	0,031
Vc - Solos calcários	0,033
As - Solos halomorficos - solos salinos	0,018
Sbc - Solos de baixas - coluviossolos	0,042
Ppt - Podzois	0,028
A - Aluviossolos modernos	0,026
Sba - Solos de baixas - coluviossolos	0,035
Pc - Solos calcários	0,032
ASoc - Area Social	0,000
At - Aluviossolos antigos	0,019
Sr - Solos argiluvitados pouco insaturados - solos mediterraneos	0,031
Vtc - Solos argiluvitados pouco insaturados - solos mediterraneos	0,03
Ac - Aluviossolos modernos	0,044
Ec - Litossolos	0,039
Atl - Aluviossolos antigos	0,019
Et - Litossolos	0,039

Vcd - Solos argiluiados pouco insaturados - solos mediterraneos	0,038
Atac - Aluviossolos antigos	0,041
Arc - Afloramento rochoso	0,000
Pg - Solos litolicos, nao humicos	0,031
Aac - Aluviossolos modernos	0,044
Asc - Solos halomorficos - solos salinos	0,018
Aa - Aluviossolos modernos	0,026
Atc - Aluviossolos antigos	0,041
Vac - Solos calcarios	0,032
Sbac - Solos de baixas - coluviossolos	0,042
Sb - Solos de baixas - coluviossolos	0,035
Cbc - Barros	0,034
Vts - Solos litolicos, nao humicos	0,031
Px - Solos argiluiados pouco insaturados - solos mediterraneos	0,029
Cb - Barros	0,034
Ets - Litossolos	0,039
Ex - Litossolos	0,039
Pcx - Solos calcarios	0,032
Eb - Litossolos	0,039
Al - Aluviossolos modernos	0,026
Vx - Solos argiluiados pouco insaturados - solos mediterraneos	0,03
Pag - Solos argiluiados pouco insaturados - solos mediterraneos	0,026
Psn - Solos litolicos, nao humicos	0,031
Ars - Afloramento rochoso	0,000
Mns - Solos litolicos, humicos, cambicos	0,032
Sbl - Solos de baixas - coluviossolos	0,035

O fator LS, consiste na combinação de dois fatores, em que o L é o fator comprimento da encosta que corresponde à relação entre os comprimentos da encosta e do talhão de referência de Wischmeier (22.13 m) e o S é o fator do declive que resulta da relação entre os declives da encosta e do talhão de referência (9%). Para o cálculo do fator L aplicou-se a Equação 9.

$$L = \left(\frac{\lambda e}{22,13} \right)^m \quad (\text{Equação 9})$$

Em que, λe representa o comprimento das encostas e o valor 22,13 é referente ao talhão de referência (Wischmeier and Smith 1978), m é o expoente, que varia entre 0,2 e 0,54 conforme a Tabela 4.11.

Tabela 4.11 – Valores do expoente (m).
Fonte: Coutinho *et al.* (2019)

Declive	m
< 1%	0,2
1 a 3%	0,3
3 a 5%	0,4
> 5%	0,54

Segundo Coutinho *et al.* (2019), para o cálculo do fator S , aplicaram-se as equações 10 e 11.

$$S = 10,8 \times \sin\theta + 0,03 \text{ para declives } \leq 9\% \quad (\text{Equação 10})$$

$$S = 16,8 \times \sin\theta - 0,03 \text{ para declives } > 9\% \quad (\text{Equação 11})$$

Onde o S é o declive das encostas em porcentagem (%), e θ é o ângulo da encosta com a horizontal (graus).

Para determinar o fator C foi utilizado como base a COS 2015, e os valores propostos por Pimenta (1998) para cada tipo de ocupação variam entre 0 e 1. No caso da área de estudo, aos solos desprotegidos devido aos incêndios foi atribuído para C o valor de 0,5 independentemente do tipo de vegetação presente no local.

Tabela 4.12 – Valores do Fator C para cada classe de ocupação do solo.
 Fonte: Pimenta (1998)

Classe de Ocupação do Solo	Fator C
Área Queimada	0,500
Tecido urbano contínuo	0,005
Tecido urbano descontínuo	0,010
Indústria, comércio e equipamentos gerais	0,010
Redes viárias e ferroviárias e espaços associados	0,010
Aeroportos e aeródromos	0,010
Áreas de extração de inertes	0,500
Áreas de deposição de resíduos	0,100
Áreas em construção	0,010
Espaços verdes urbanos	0,020
Campos de golfe	0,020
Outras instalações desportivas e equipamentos de lazer	0,020
Equipamentos culturais e outros e zonas históricas	0,020
Culturas temporárias de sequeiro e regadio	0,300
Arrozais	0,050
Vinhas	0,200
Pomares	0,050
Olivais	0,100
Pastagens permanentes	0,020
Culturas temporárias e/ou pastagens associadas a culturas permanentes	0,400
Sistemas culturais e parcelares complexos	0,200
Agricultura com espaços naturais e seminaturais	0,300
Sistemas agroflorestais de sobreiro e azinheira	0,300
Sistemas agroflorestais de pinheiro manso	0,300
Sistemas agroflorestais de outras misturas	0,300
Florestas de sobreiro e azinheira	0,100
Florestas de castanheiro	0,100
Florestas de eucalipto e de espécies invasoras	0,200
Florestas de outras folhosas	0,100
Florestas de pinheiro bravo e manso	0,100
Florestas de outras resinosas	0,050
Vegetação herbácea natural	0,050
Matos	0,020
Espaços descobertos ou com pouca vegetação	0,020
Zonas húmidas	0,005
Cursos de água e planos de água	0,000

O Fator P relativo às práticas agrícolas, varia entre 0 e 1, onde o valor 0 representa máxima proteção do solo e o valor 1 proteção inexistente. Uma vez, que não se possui dados sobre este fator foi considerado o valor constante 1.

A estimativa da perda de solo foi determinada com base na Equação 8, onde será posteriormente comparada com a perda de solo obtida em parcelas implementadas no campo de acordo com o procedimento descrito no subcapítulo 5.10.

4.8. Recuperação de Áreas ardidas e Técnicas de Mitigação

Segundo Moreira *et al.* (2010), o fenómeno dos incêndios florestais são responsáveis por alterações nas etapas do ciclo hidrológico (Figura 4.13), principalmente, na intercepção da precipitação pela vegetação, na evapotranspiração, na capacidade de infiltração da água no solo e nos processos de escorrência que influenciam os caudais e os picos de cheias.

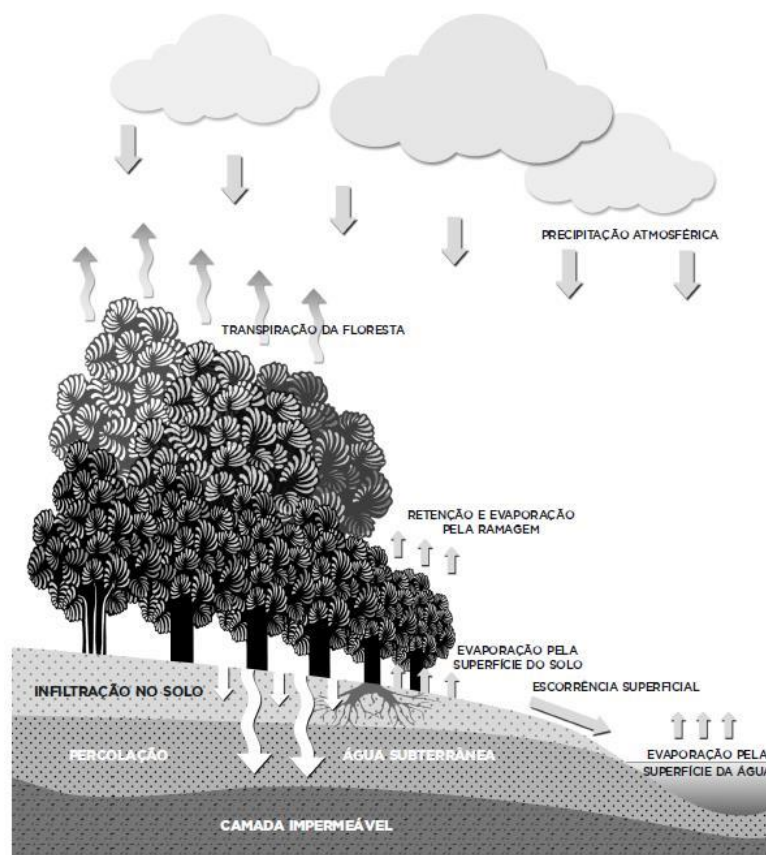


Figura 4.13 – Ciclo Hidrológico. Fonte: (Moreira *et al.*, 2010)

Quando ocorre um incêndio florestal a vegetação e a manta morta são destruídas. O solo fica completamente nu e exposto às primeiras chuvas. O impacto das gotas da chuva juntamente com as cinzas que se espalham pelo solo devido ao vento, provocam um compactamento do solo, aumentando os fenómenos de escorrências e a consequente erosão do solo, e ainda a diminuição da infiltração de nutrientes para o interior do solo, com a consequente inibição da absorção pelas raízes das plantas (Pereira *et al.*, 2006). Desta forma, os incêndios florestais afetam de forma negativa a função do solo no ciclo hidrológico, menor capacidade de infiltração, menor porosidade, menor condutividade hidráulica e capacidade de armazenamento. A auto recuperação das áreas ardidas é influenciada pela resiliência dos ecossistemas, que é influenciado pelo tipo de vegetação e pelo grau de severidade do incêndio (Moreira *et al.* 2010).

Segundo Vallejo (2006), o restauro das áreas ardidas consiste num conjunto de estratégias que possibilitam suspensão da degradação daquela área ou do ecossistema, promovendo em simultâneo a sua recuperação. Existem diferentes fases para recuperação das áreas ardidas. A Figura 4.14, demonstra de forma sequenciada as várias etapas, para uma estratégia de intervenção de recuperação de área ardida segundo Moreira *et al.* (2010).

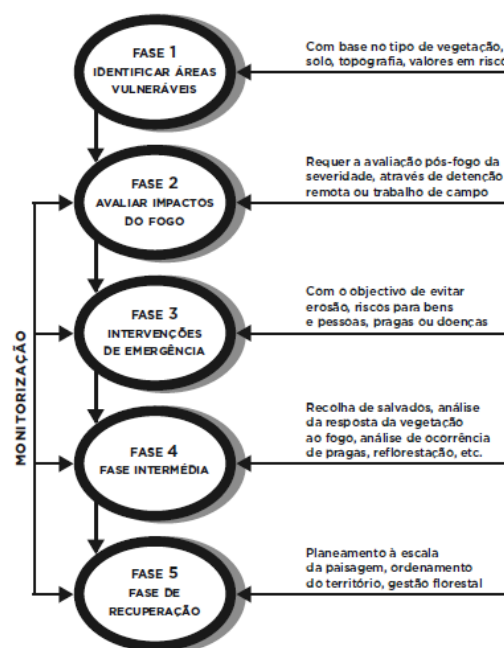


Figura 4.14 – Fases sequenciais de uma estratégia de intervenção. Fonte: Moreira *et al.*, (2010)

Segundo vários autores (Moreira *et al.*, 2010; Vega *et al.*, 2013; Vallejo, 2006; Bento-Gonçalves *et al.*, 2013; Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas, 2012 e Pereira *et al.*, 2006), a recuperação das áreas ardidas envolvem três etapas distintas:

- I. Estabilização de emergência;
- II. Reabilitação;
- III. Recuperação a longo prazo.

A estabilização de emergência consiste em ações a executar a curto prazo, pelo Estado, pelos municípios, por organismos gestores de infraestruturas e entidades gestoras de ZIF e de zonas de caça, por organizações de produtores e também por proprietários privados.

A Tabela 4.13 enumera as técnicas de mitigação para a estabilização de emergência.

Tabela 4.13 – Técnicas de mitigação para estabilização de emergência. Fonte: Moreira *et al.*, (2010)

TÉCNICAS	TIPO	VANTAGENS E DESVANTAGENS
Cobertura	Resíduos vegetais	Material de baixo custo monetário; Aumento de matéria orgânica no solo.
	Hidro <i>mulch</i>	Redução da erosão; Aumento da fertilização e da humidade do solo; Aumenta a capacidade de crescimento das plantas;
	Bandas ou cordões de <i>mulch</i>	Redução da erosão; Aumento da fertilização e da humidade do solo; Redução na capacidade de crescimento das plantas;
Barreiras temporárias	Troncos	Fácil aplicação e baixo custo monetário; Aumento da fertilização do solo;
	Tubos de Nylon com palha	Fácil aplicação e elevado custo monetário; Aumento da fertilização do solo;

A reabilitação consiste em ações a executar de curto a médio prazo (no máximo até 2 anos após o incêndio), pelas entidades detentoras ou gestoras dos espaços florestais, conforme descritas na Tabela 4.14.

Tabela 4.14 – Técnicas de reabilitação. Fonte: Moreira *et al.*, 2010

TÉCNICAS	TIPO	VANTAGENS E DESVANTAGENS
Sementeiras	Sementeira Manual	Fácil aplicação; Associado a outras técnicas provoca maior capacidade de infiltração; Sementes serem levadas pela erosão e florescer noutras áreas.
	Hidro Sementeira	Redução da erosão; Custo monetário mais elevado;
Infiltração	Lavragem e escarificação	Em declives acentuados difícil de implementar; Perda da estrutura do solo e aumento da erosão.

A recuperação a longo prazo consiste em ações a executar pelas entidades detentoras ou gestoras dos espaços florestais após 2 a 3 anos da ocorrência do incêndio. A Tabela 4.15 faz referência às técnicas utilizadas.

Tabela 4.15 - Técnicas de reabilitação. Fonte: Moreira *et al.*, (2010)

TÉCNICAS	TIPO	VANTAGENS E DESVANTAGENS
Regeneração Natural	Rearborização artificial	Adensamento da regeneração com plantação de espécies mais adaptadas; Combate a infestantes e invasoras lenhosas.
Gestão do Combustível	Faixas de Contenção	Separação do combustível vertical e horizontalmente; Melhoria da rede viária florestal.

4.9. Caso Experimental

O caso experimental será implementado dentro do perímetro do último grande incêndio florestal de Monchique de 2018.

As alterações produzidas por este grande incêndio florestal foram essencialmente a perda de grande parte da vegetação pela combustão, quer ao nível da vegetação arbórea, da arbustiva, da herbácea e também da manta morta (Figura 4.15).



Figura 4.155 – Incêndio florestal de Monchique 2018. Fonte: Arquivo de Susana Gonçalves, 2018

Estes efeitos de destruição dão origem a uma série de mecanismos ao nível do ciclo hidrológico e dos ciclos biogeoquímicos que se traduzem em processos de degradação do solo, neste sentido é de extrema importância poder quantificar a perda de solo para melhor adequar as medidas de mitigação para a estabilização de emergência à recuperação a longo prazo deste recurso.

Numa primeira fase, foi efetuado a identificação das áreas mais vulneráveis provocadas pelo impacto do incêndio florestal, com o auxílio dos mapas anteriormente elaborados (carta de risco e de severidade), com o cruzamento dos valores do Risco mais elevados e onde a severidade teve também os valores mais elevados.

Após a identificação das áreas de intervenção foi escolhido um local para implementar duas parcelas de ensaios. Estas parcelas têm de ser similares a nível topográfico, de fácil acesso e em local resguardado por forma a não sofrer perdas de equipamentos.

As parcelas experimentais serão confinadas com chapas de ferro de 2 metros de comprimento por 20 centímetros de largura e com 1,5 milímetros espessura (Figura 4.16).

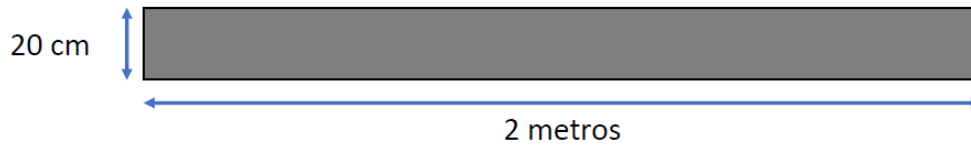


Figura 4.16 – Chapas de ferro para construção das parcelas. Fonte: Bento & Viera, 2018

Numa das extremidades da parcela foi colocada uma chapa de ferro da mesma espessura que faz a ligação da parcela experimental à caixa de erosão (Figura 4.17 e Figura 4.18).

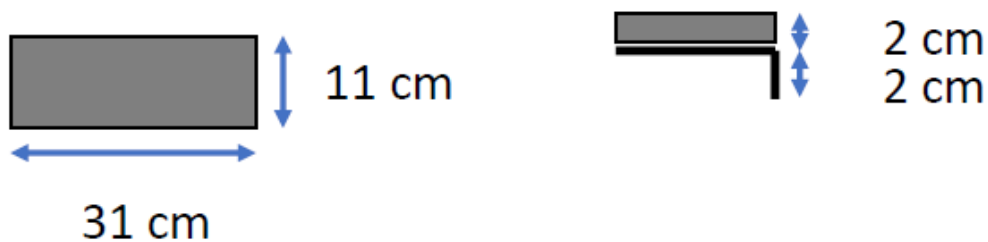


Figura 4.17 – Chapa de ligação. Fonte: Bento & Viera, 2018



Figura 4.18 – Fotografia da Chapa de ligação. Fonte: Bento & Viera, 2018

A caixa de erosão é constituída do mesmo material, e tem como principal função a deposição dos materiais de maior granulometria que foram erodidos do solo (Figura 4.19 e Figura 4.20).

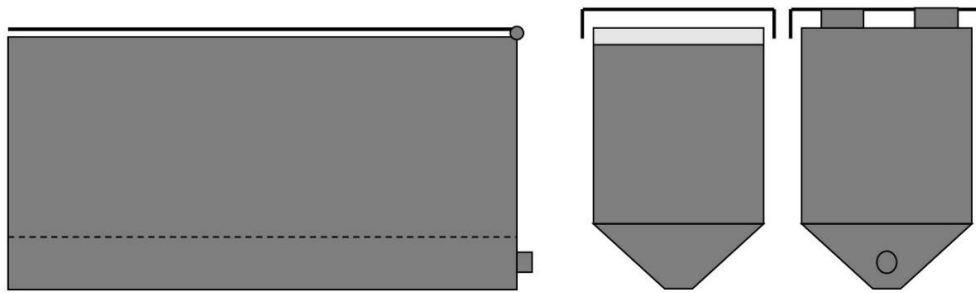


Figura 4.19 – Caixa de erosão observada de parte lateral, frontal e posterior.
 Fonte: Bento & Viera, 2018



Figura 4.20 – Fotografia da caixa de erosão. Fonte: Autor

A caixa de erosão irá efetuar a ligação a uma caixa pluviométrica através de uma mangueira. A caixa pluviométrica (Figura 4.21 e Figura 4.22) é o local onde se contabilizará a quantidade de água que atingiu a parcela proveniente da precipitação que não foi infiltrada.

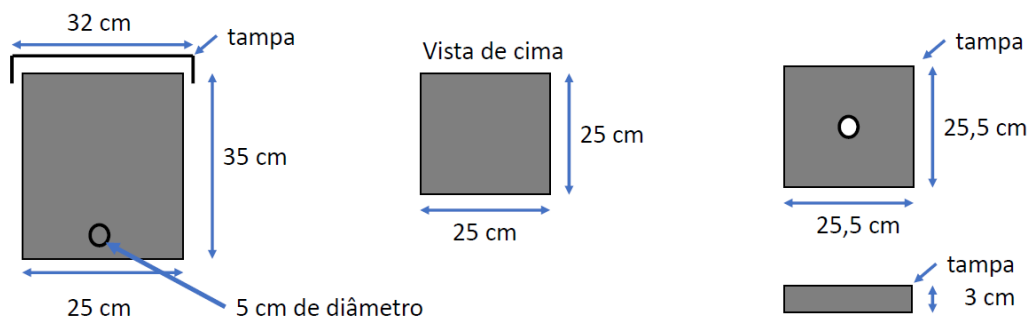


Figura 4.21 – Caixa pluviométrica observada de parte lateral e topo, e respetiva tampa
 Fonte: Bento & Viera, 2018



Figura 4.22 – Fotografia da Caixa pluviométrica. Fonte: Autor

Na caixa pluviométrica será instalado um pluviômetro basculante que foi cuidadosamente montado e calibrado com um *datalogger* (Figura 4.23 a) que irá mensurar a quantidade de água escoada. Por sua vez, a caixa pluviométrica faz a ligação para um bidão de 25 litros (Figura 4.23 b), através de uma mangueira (Figura 4.23 c).

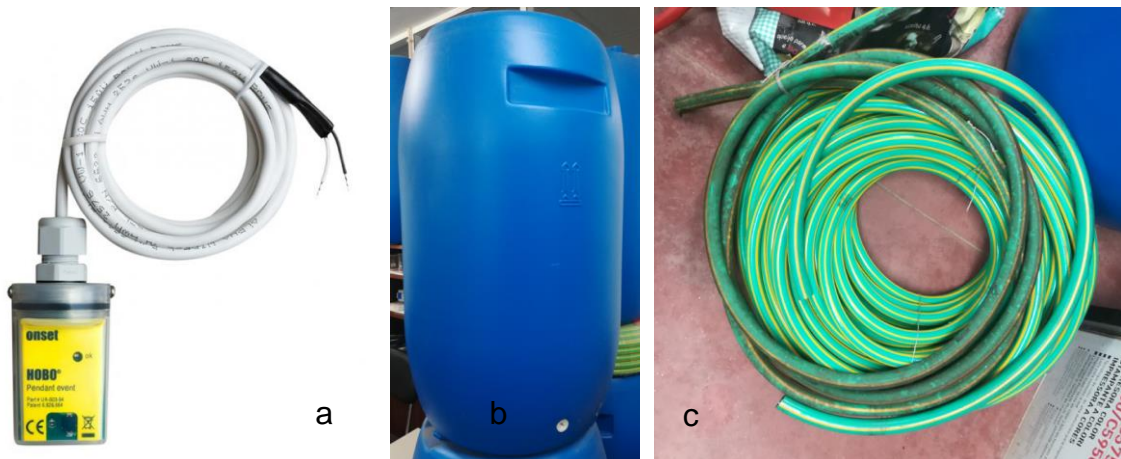


Figura 4.23 – Fotografia do *datalogger*, bidão e mangueira. Fonte: Autor

O bidão será o reservatório dos sedimentos finos erodidos da parcela. Em laboratório será determinada a quantidade de sedimentos finos depositados. O reservatório também servirá para validar a quantidade água escoada e medida na caixa pluviométrica.

As parcelas experimentais terão 8 metros de comprimento e 2 metros de largura, perfazendo um total de 16m² cada, que estarão ligadas a uma caixa de erosão. Esta

caixa será ligada por uma mangueira à caixa pluviométrica, que estará ligada a um reservatório (Figura 4.19).



Figura 4.24 – Parcela implementada. Fonte: Arquivo Granja-Martins F.M., 2018

Numa das parcelas experimentais será aplicado *mulch* (Figura 4.25) composto por resíduos vegetais disponíveis na área de intervenção e noutra não se efetuará nenhuma técnica de emergência para que se possa comparar os processos de degradação do solo e de recuperação da vegetação.



Figura 4.25 – Mulch. Fonte: <https://www.ruralking.com/suncoast-tiger-hammock-cypress-mulch-blend>

A tabela 4.16 descreve as vantagens e desvantagens do *mulch* composto por resíduos vegetais.

Tabela 4.16 – Técnicas de mitigação para estabilização de emergência do caso de estudo.

Fonte: Adaptado de Moreira *et al.*, 2010

TÉCNICAS	TIPO	VANTAGENS E DESVANTAGENS
Cobertura	Resíduos Vegetais	Material de baixo custo monetário; Aumento de matéria orgânica no solo.

Neste trabalho de investigação foi efetuada a montagem e a calibração das peças em laboratório e a demarcação *in situ* das duas parcelas a instalar para futuro monitoramento em trabalho de doutoramento.

5. Resultados

Neste capítulo pretende-se identificar e descrever os resultados obtidos nos vários temas abordados. Os resultados serão discutidos e comparados com a bibliografia disponível e visitas de campo.

5.1. Índices de vegetação NDVI e SAVI

Foram calculados os índices de vegetação NDVI e SAVI, para representar o coberto vegetal antes e após o incêndio florestal de agosto de 2018. A utilização dos dois índices tem o objetivo de se concluir qual deles apresenta resultados mais verosímeis para a área de estudo.

A Figura 5.1 e 5.2 mostram os mapas obtidos com o índice NDVI e a respetiva classificação em cinco classes, nos dois períodos de estudo.

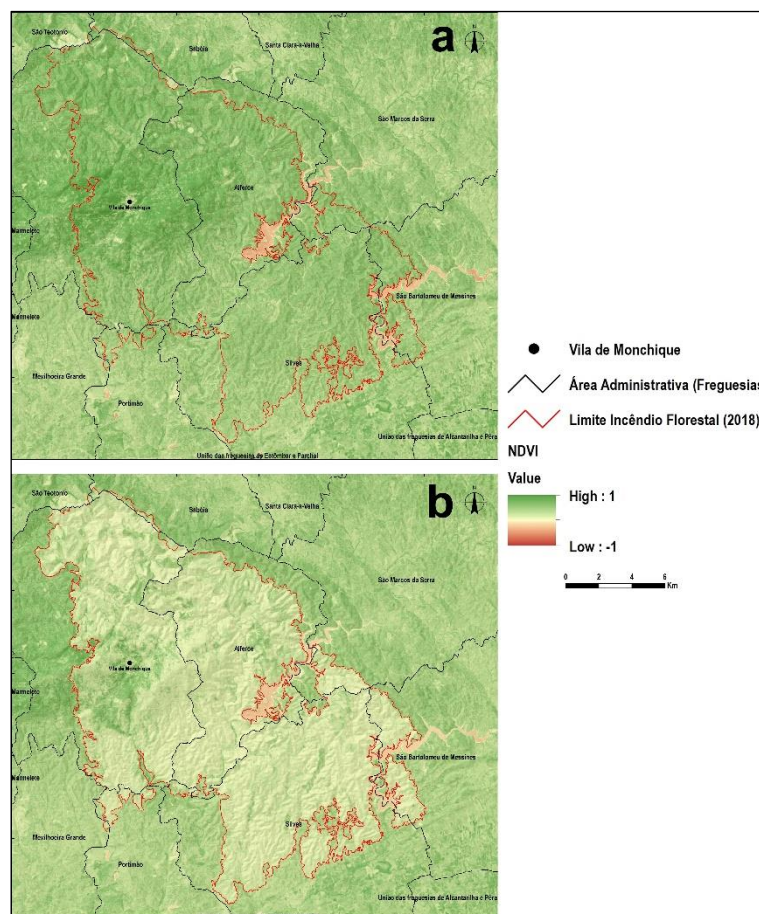


Figura 5.1 – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada da área de estudo a) pré e b) pós o Incêndio florestal. Fonte: Autor

Observa-se que os valores de NDVI foram bastante alterados na zona de incêndio. Apenas junto à barragem de Odelouca, à povoação de Alferce e em redor da vila de Monchique os valores NDVI se mantêm, devido às ações de combate e proteção (mapas a) e b) da Figura 5.1).

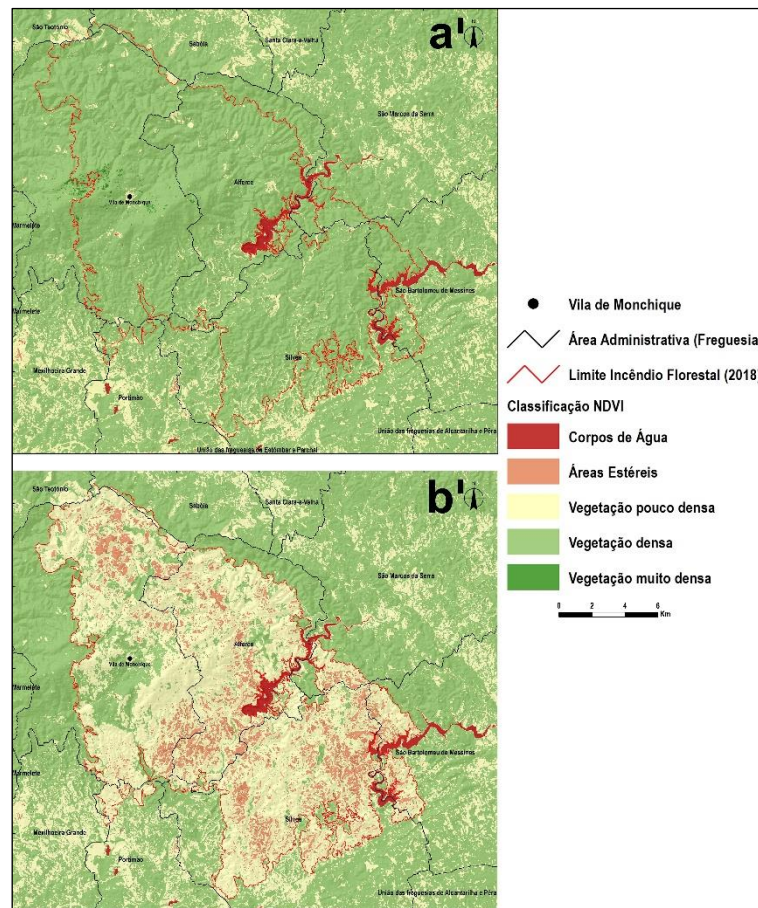


Figura 5.2 – Reclassificação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada da área de estudo a') pré e b') pós o Incêndio florestal. Fonte: Autor

Com base nos mapas classificados (mapas a') e b') da Figura 5.2) e na Tabela 5.1, verifica-se que antes do incêndio florestal a classe de maior ocupação era a vegetação densa [0.3–0.8], com cerca de 94,5% de área. Após ocorrência do incêndio a vegetação densa passa a ocupar 13,2% da área e vegetação muito densa [0.8-1] deixa de existir. Este índice mostra que antes do incêndio as áreas estéreis [0-0.1] eram inexistentes e passaram a ocupar 15% após o incêndio. Conclui-se que a maioria da vegetação que era densa passou a ser vegetação pouco densa [0.1-0.3], ocupando cerca de 71,8% após o incêndio. Outros valores percentuais são representados na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Comparação dos valores de NDVI pré e após incêndio Florestal.
Fonte: Autor

Valores de NDVI	Classificação	Ocupação (%) Pré-Incêndio	Ocupação (%) Após-Incêndio
-1 a 0	Corpos de água	0,0	0,0
0 a 0.1	Áreas estéreis	0,0	15,0
0.1 a 0.3	Vegetação pouco densa	5,2	71,8
0.3 a 0.8	Vegetação densa	94,5	13,2
0.8 a 1	Vegetação muito densa	0,2	0,0

De forma a melhor interpretar estes valores foi elaborado um gráfico (Figura 5.3).

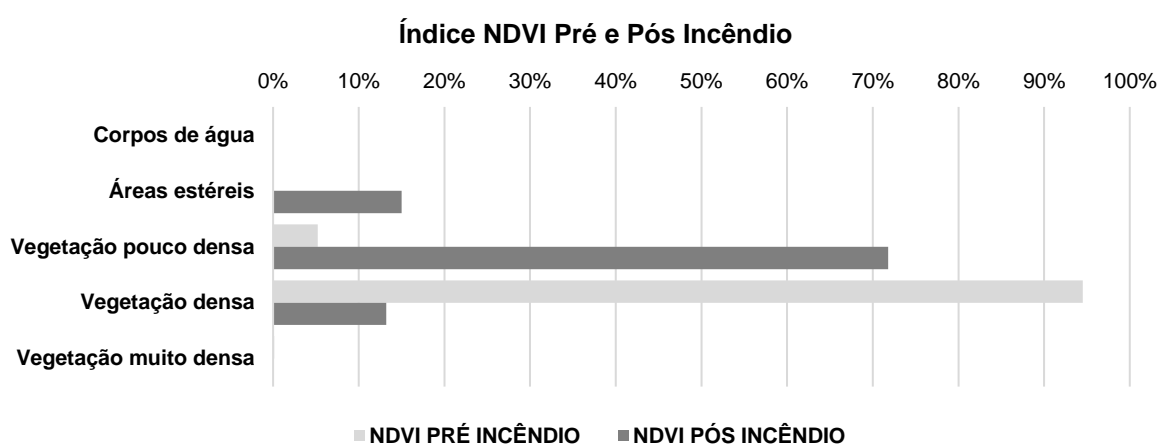


Figura 5.3 – Índice NDVI antes e após incêndio. Fonte: Autor

Como foi referido foi anteriormente o índice SAVI foi calculado com o ajuste do solo (L) de 0,5 para a situação pré incêndio e de 1 para a situação pós incêndio. A Figura 5.4 e 5.5 mostram os mapas obtidos para o SAVI e a respetiva classificação, antes e depois do incêndio florestal.

A semelhança do índice NDVI, identifica-se que na zona do incêndio florestal os valores do SAVI sofreram alterações consideráveis, principalmente a sul. A área junto à barragem de Odeleite apresenta maior ocupação de preservação e o mesmo acontece na povoação de Alferce e na vila de Monchique. A região mais a norte apresenta algumas manchas em que o índice SAVI foi pouco alterado após o incêndio.

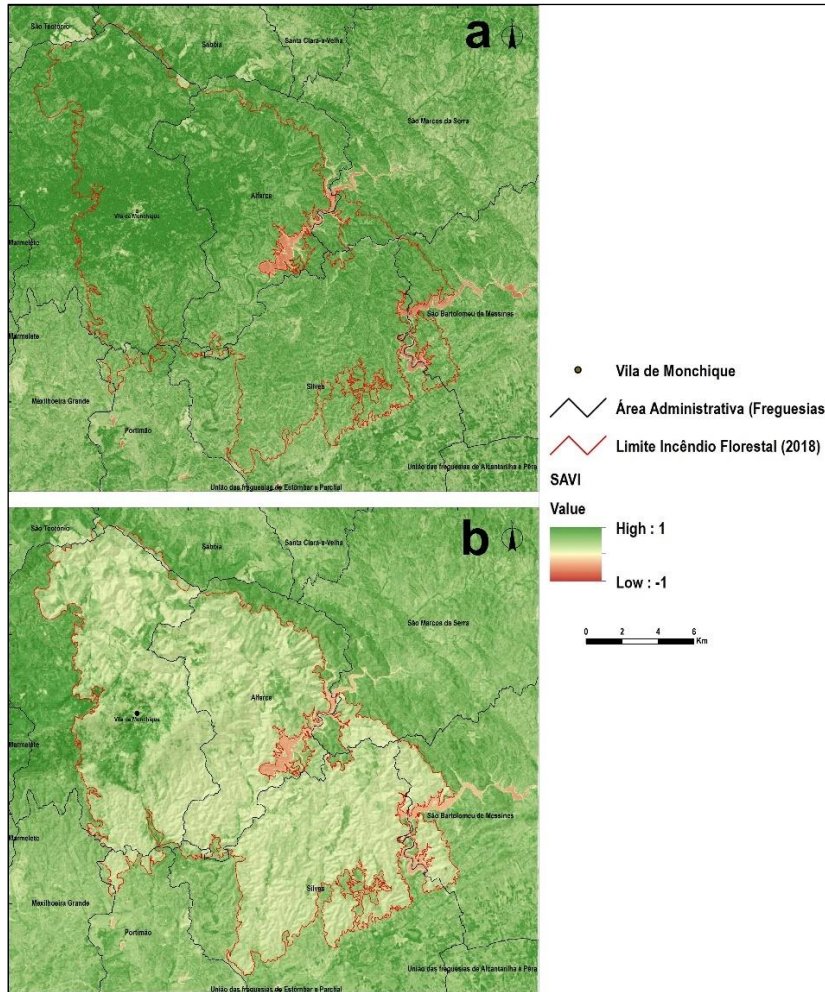


Figura 5.4 – Índice de Vegetação Ajustado ao Solo da área de estudo a) pré e b) pós o Incêndio florestal. Fonte: Autor

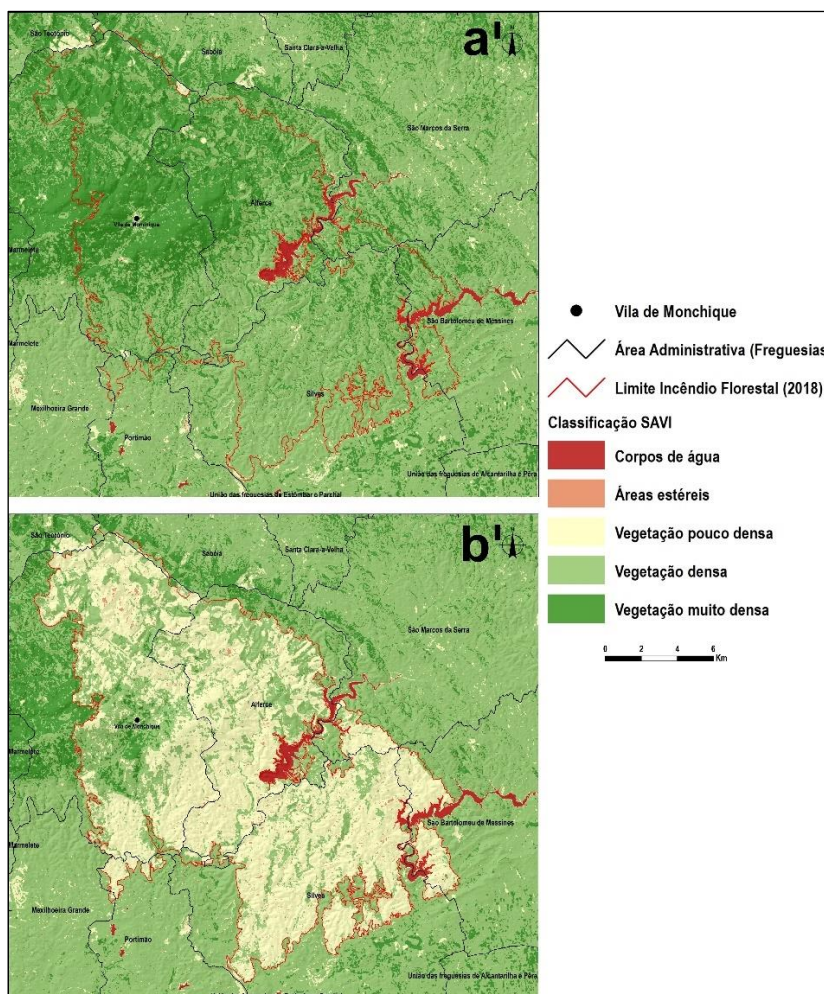


Figura 5.5 – Reclassificação do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo da área de estudo a') pré e b') pós o Incêndio florestal. Fonte: Autor

Foi elaborada uma tabela comparativa dos valores de SAVI para os dois mapas distintos, pré e após incêndio florestal conforme a Tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Comparação dos valores de SAVI pré e após incêndio Florestal. Fonte: Autor

Valores de SAVI	Classificação	Ocupação (%) Pré-Incêndio	Ocupação (%) Após-Incêndio
-1 a 0	Corpos de água	0,0	0,0
0 a 0.1	Áreas estéreis	0,0	0,8
0.1 a 0.3	Vegetação pouco densa	0,7	66,4
0.3 a 0.8	Vegetação densa	58,3	30,8
0.8 a 1	Vegetação muito densa	41,0	2,0

De forma a melhor interpretar esses valores foi elaborado um gráfico (Figura 5.6).

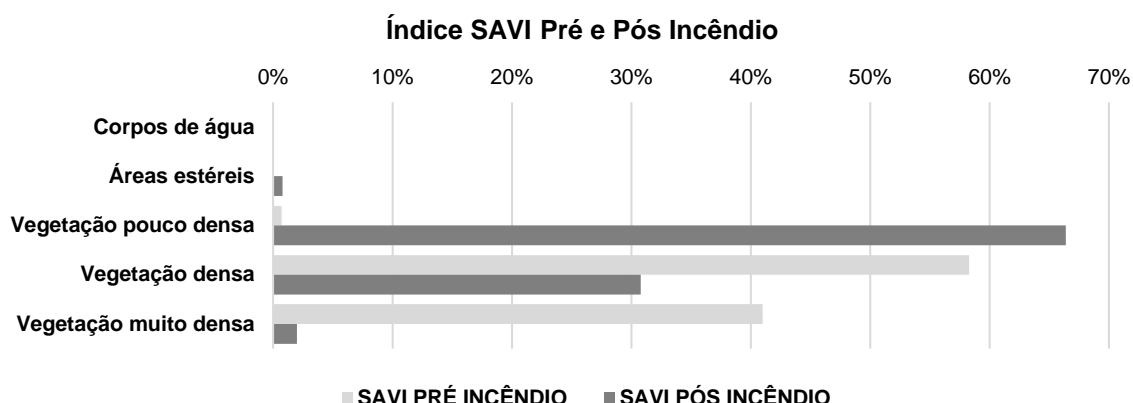


Figura 5.6 – Índice SAVI pré e após incêndio. Fonte: Autor

Ao contrário do NDVI o índice SAVI mostra que antes do incêndio florestal a maioria da ocupação da vegetação era dividida em densa com 58,3% e muita densa com 41%. Após o incêndio há uma maior redução da classe muito densa, ocupando apenas 2% da área. A classe vegetação densa desce para 30,8% de ocupação, mas com valor superior ao NDVI. No que respeita à classe pouco densa passa de 0,7% antes do incêndio para 66,8% após o incêndio que é um valor próximo, mas inferior ao do NDVI. Outra diferença considerável, é que neste índice as áreas estéreis após o incêndio são quase inexistentes, 0,8%. De forma a comparar a escala de valores dos dois índices foi elaborada uma tabela com os valores estatísticos para cada índice antes e depois do incêndio florestal, conforme Tabela 5.3.

Tabela 5.3 – Comparação dos valores estatísticos do NDVI e do SAVI
Fonte: Autor

Índice	Valor Máximo	Valor Mínimo	Média	Desvio Padrão
NDVI Pré Incêndio	0,85	- 0,89	0,43	0,15
NDVI Após Incêndio	0,79	- 0,49	0,32	0,15
SAVI Pré Incêndio	1,00	- 1,53	0,66	0,23
SAVI Após Incêndio	1,21	- 0,77	0,50	0,24

Avaliando os dados estatísticos do NDVI e do SAVI antes e após o incêndio, verificou-se que a ordem de grandeza é diferente. O NDVI apresentou valores médios mais baixos e uma menor amplitude do que o SAVI. Podemos concluir que o SAVI potencia a “verdura” face ao NDVI. Após uma visita de campo em alguns *clusters* de cada

classe no interior e exterior do perímetro do incêndio, verificou-se que o NDVI apresentou na generalidade valores mais realistas para esta temática dos incêndios florestais.

5.2. Determinação da razão de queima normalizada e da diferença da razão de queima normalizada antes e após incêndio florestal.

Foram elaborados os índices de severidade dNBR e dNDVI, do incêndio florestal de Monchique do ano 2018. A Figura 5.7 mostra os índices de severidade cartografados.

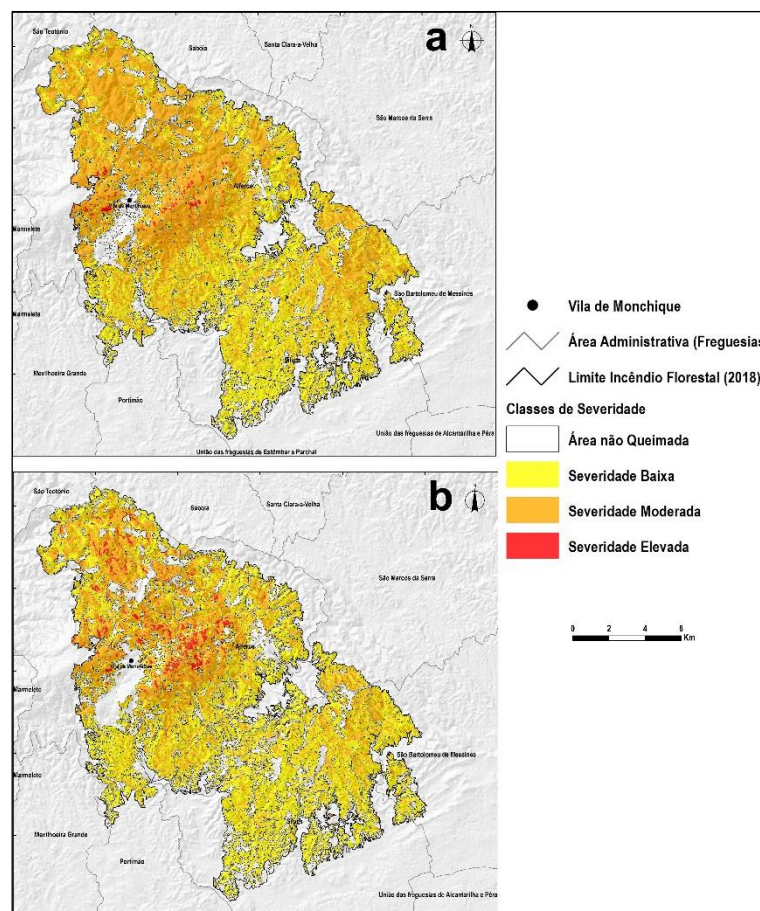


Figura 5.7 – Índices de Severidade: a) dNBR b) dNDVI).

Ao analisar os dois mapas verifica-se que ocorrência da severidade baixa observa-se nas extremidades do perímetro da área ardida, principalmente na zona mais a sul, em cotas inferiores a 300 m e declives inferiores a 20%, enquanto que, a severidade mais alta na área mais central, nos afloramentos rochosos, a nascente e poente da vila de Monchique, com cotas superiores a 300 m e declives acentuados superior a 20%. Os

resultados obtidos de um modo geral são similares, com percentagem de ocupação diferentes. Neste sentido, foram elaborados, um gráfico e uma tabela, de forma a melhor interpretar as diferenças destes dois índices (Figura 5.9 e Tabela 5.4).

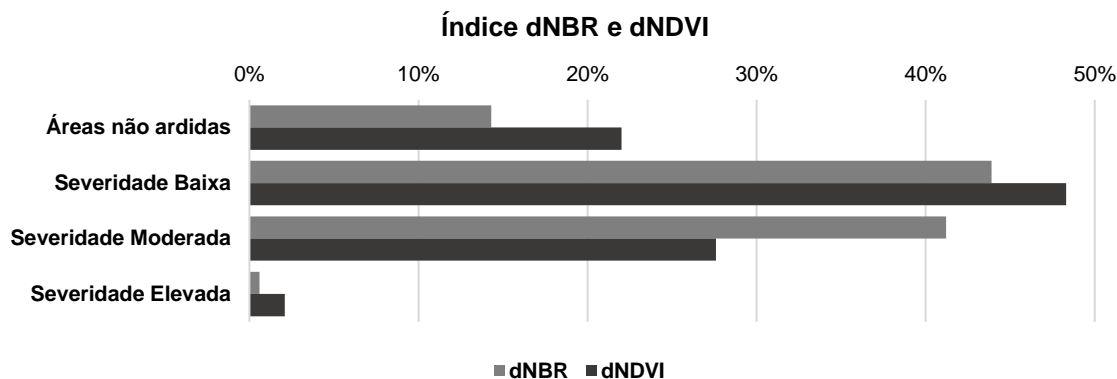


Figura 5.8 – Índice dNBR e dNDVI. Fonte: Autor

A tabela 5.4 mostra a percentagem de ocupação de cada classe de severidade para o dNBR e para o dNDVI.

Tabela 5.4 – Ocupação do dNBR e do dNDVI. Fonte: Autor

Classe Severidade	dNBR			dNDVI		
	Valores	Ocupação (%)	Área (Ha)	Valores	Ocupação (%)	Área (Ha)
Área não Queimada	< 0,1	14,3	4110,4	< 0,2	22,0	6335,8
Severidade Baixa	0,1 – 0,3	43,9	12613,8	0,2 – 0,4	48,3	13883,4
Severidade Moderada	0,3 – 0,7	41,2	11862,5	0,4 – 0,6	27,6	7928,9
Severidade Elevada	> 0,7	0,6	174,5	> 0,6	2,1	613,1

Verificou-se que no dNDVI as classes de severidade baixa e elevada apresentam maiores percentagens de ocupação face ao dNBR, bem como a área não queimada. Consta-se que o dNBR concentra uma maior percentagem de valores nas classes baixa e moderada, cerca 85%, ao invés do dNDVI que apresenta cerca de 75%. Conclui-se, portanto, que o dNDVI potencia mais as classes extremas do que o dNBR. Ao comparar os dois índices, verifica-se que o dNDVI é mais suscetível à clorofila, e neste sentido o dNBR é melhor para diferenciar e avaliar a severidade do incêndio.

5.3. Probabilidade do Risco de Incêndio

A elaboração da probabilidade do risco de incêndio para a área de estudo, tem como base o histórico das áreas ardidas entre o período de 1990 e 2018. No mapa elaborado para a probabilidade do risco de incêndio resultaram 5 classes de probabilidade de risco de incêndio (3%, 7%, 11%, 14% e 18%) (Figura 5.10).

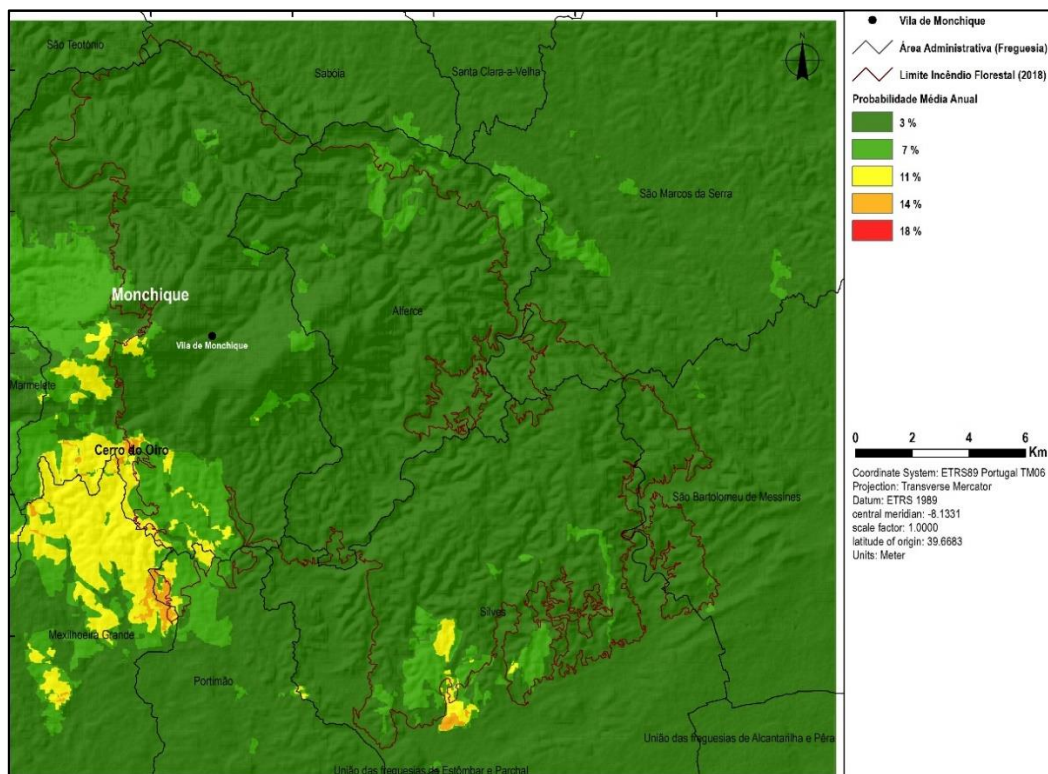


Figura 5.9 – Probabilidade do Risco de Incêndio Florestal. Fonte: Autor

De acordo com o mapa observa-se que as maiores probabilidades (18% e 14%) da ocorrência de um incêndio florestal, está localizado na Freguesia de Monchique mais precisamente no Cerro do Oiro, no limite da área ardida do incêndio florestal de 2018. Outro local com uma probabilidade de 14% do risco de incêndio localiza-se no Concelho de Portimão, mais precisamente nas freguesias da Mexilhoeira Grande e da União de Freguesias de Estômbar e Parchal. Na divisão administrativa entre a freguesia de Monchique e da Mexilhoeira Grande existe também uma área considerável da probabilidade do risco de incêndio com 11%.

A tabela 5.5 mostra a área e a percentagem de ocupação de cada classe de probabilidade do risco de incêndio florestal.

Tabela 5.5 – Ocupação da Probabilidade de Risco de Incêndio
Fonte: Autor

Probabilidade média anual	Área de Ocupação (Ha)	Percentagem (%)
3 %	90137,9	89,085
7 %	8457,1	8,358
11 %	2746,2	2,714
14 %	218,9	0,216
18 %	2,9	0,003

5.4. Suscetibilidade do Risco de Incêndio

Os resultados obtidos da suscetibilidade do risco de incêndio para a área de estudo, são influenciados pelos diferentes pesos atribuídos aos diferentes *layers*, que lhe dão origem, nomeadamente os usos do solo, declives e exposições. Salienta-se que neste estudo foram os declives superiores a 10% que tiveram maior peso.

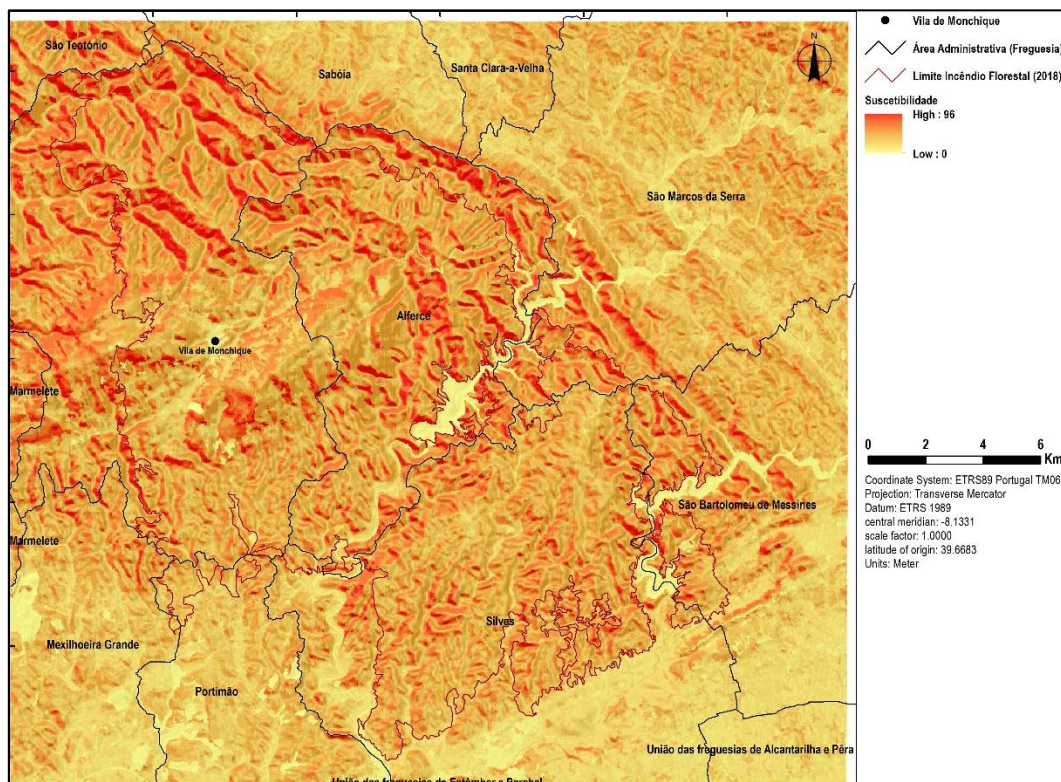


Figura 5.10 – Suscetibilidade de Risco de Incêndio Florestal. Fonte: Autor

A suscetibilidade do risco de incêndio apresenta os valores mais elevados nas áreas com declives bastante acentuados, nas vertentes mais quentes, orientadas para sul, sudoeste e oeste em matos e florestas. As zonas com suscetibilidade mais baixa encontram-se em áreas mais planas e ocupadas por culturas de sequeiro e regadio e por pastagens (Figura 5.11).

5.5. Perigosidade de Risco de Incêndio

O mapa da perigosidade de risco de incêndio é o resultado da multiplicação dos mapas de Probabilidade (Figura 5.10) e de Suscetibilidade (Figura 5.11). O mapa da perigosidade de risco de incêndio florestal representado na Figura 5.12 é sobretudo utilizado para ações de prevenção aos incêndios.

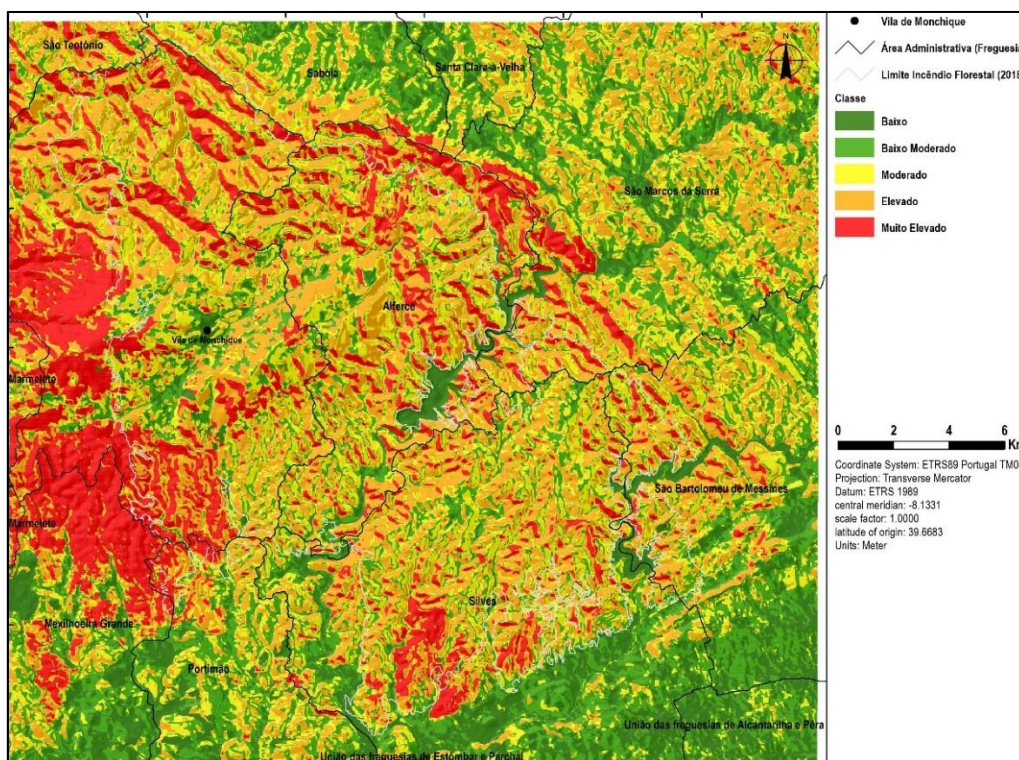


Figura 5.11 – Mapa da Perigosidade de Risco de Incêndio Florestal. Fonte: Autor

Na área de estudo a maior mancha da perigosidade de risco de incêndio muito elevado localiza-se a oeste junto ao limite do incendio florestal de 2018, perto da vila de Monchique, associado ao maior histórico de incêndios. Existem outras áreas de perigosidade Muito Elevado associadas às zonas de declives acentuados. Os valores mais baixos encontram-se juntos dos corpos de água e a sul da área de estudo nas

zonas agrícolas e de pastagens. A tabela 5.6 mostra a área e a percentagem de ocupação de cada classe de perigosidade de risco de incêndio florestal.

Tabela 5.6 – Ocupação da Perigosidade de Risco de Incêndio. Fonte: Autor

Perigosidade	Área de Ocupação (Ha)	Percentagem (%)
Baixo	16014,2	15,8
Baixo Moderado	23882,2	23,6
Moderado	20462,8	20,2
Elevado	27024,4	26,7
Muito Elevado	13775,0	13,6

5.6. Dano Potencial

A Figura 5.13 mostra o mapa do Dano Potencial do Risco de Incêndio Florestal. Os resultados mostram que o Dano Potencial com valores moderado a elevado estão associadas aos espaços urbanizados, enquanto que, o Dano Potencial com os valores baixos corresponde às áreas agroflorestais.

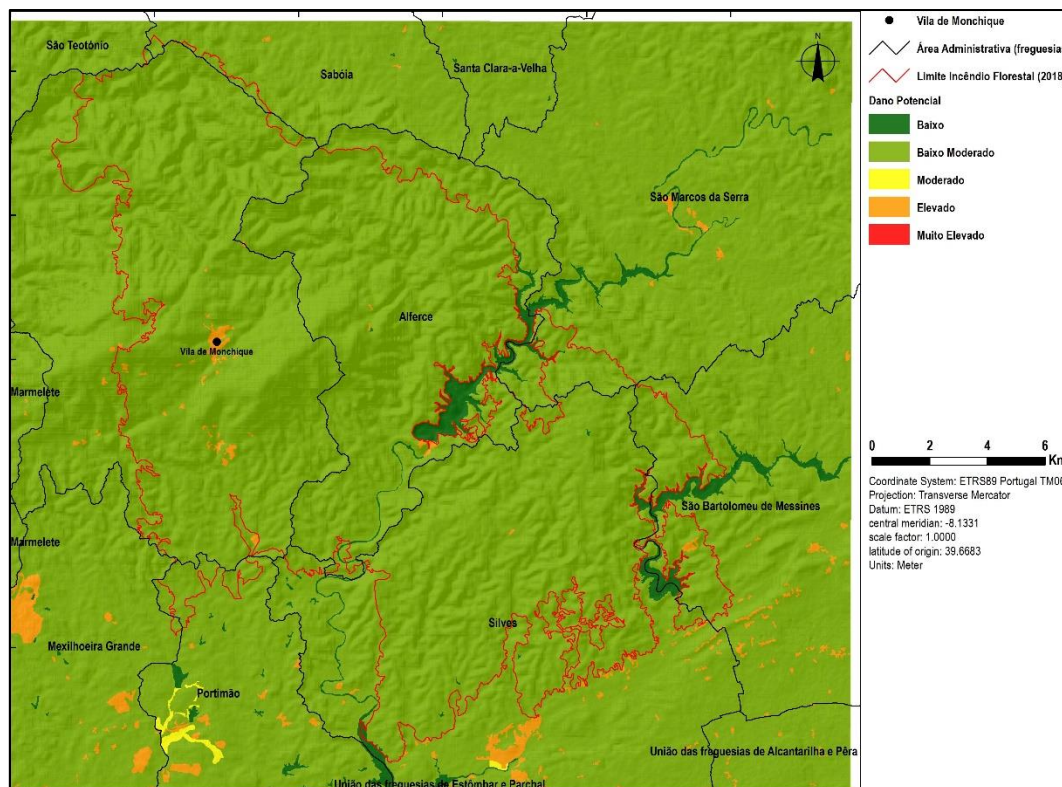


Figura 5.12 – Mapa do Dano Potencial de Risco de incêndio. Fonte: Autor

5.7. Risco de incêndio Florestal

O mapa de Risco de incêndio Florestal resulta da combinação da Carta de Perigosidade de Incêndio Florestal com a Carta do Dano Potencial. A Figura 5.14 é o resultado do mapa de Risco de Incêndio Florestal para a área de estudo.

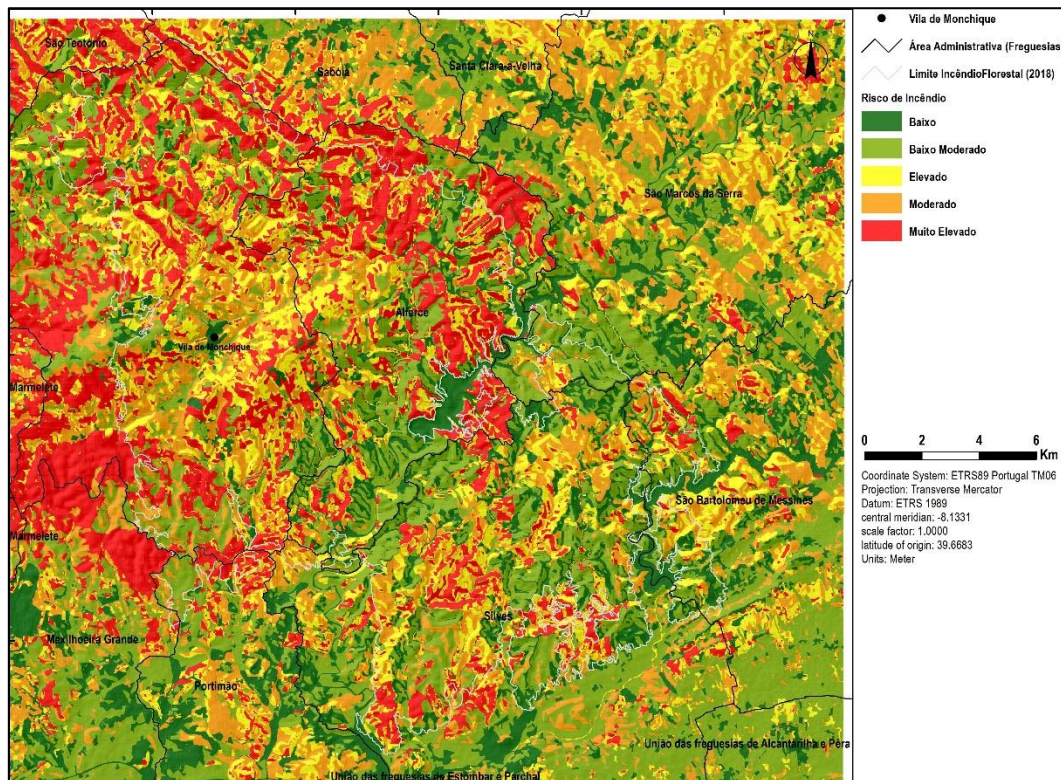


Figura 5.13 – Mapa do Risco de Incêndio Florestal. Fonte: Autor

De acordo com a Figura 5.14 e a tabela 5.7 verifica-se que cerca de 17,4% do território apresenta risco Muito Elevado, em particular na zona circundante à vila de Monchique. Numa eventual ocorrência de um incêndio, os meios de combate deverão atuar primordialmente nesta zona por forma a ser extinto antes de atingir a vila.

Os valores de risco de incêndio Baixo e Baixo Moderado com 49,7% de ocupação, estão associados às áreas junto aos corpos de água, às zonas agrícolas e urbanas.

A tabela 5.7 mostra a área e a percentagem de ocupação de cada classe de risco de incêndio florestal.

Tabela 5.7 – Ocupação do Risco de Incêndio. Fonte: Autor

Classes	Área de Ocupação (ha)	Percentagem (%)
Baixo	17561,6	17,4
Baixo Moderado	32698,4	32,3
Moderado	18505,5	18,3
Elevado	14810,5	14,6
Muito Elevado	17582,2	17,4

5.8. Identificação das áreas de intervenção

A identificação das áreas de intervenção à eventual implementação das parcelas de ensaios, para monitorização da perda de solo e recuperação da vegetação, foi efetuada com base na interseção das zonas classificadas de Severidade Elevada com as zonas de Risco de Incêndio Elevado. A Figura 5.15 Identifica as possíveis localizações para a implementação das áreas de ensaio da área de estudo.

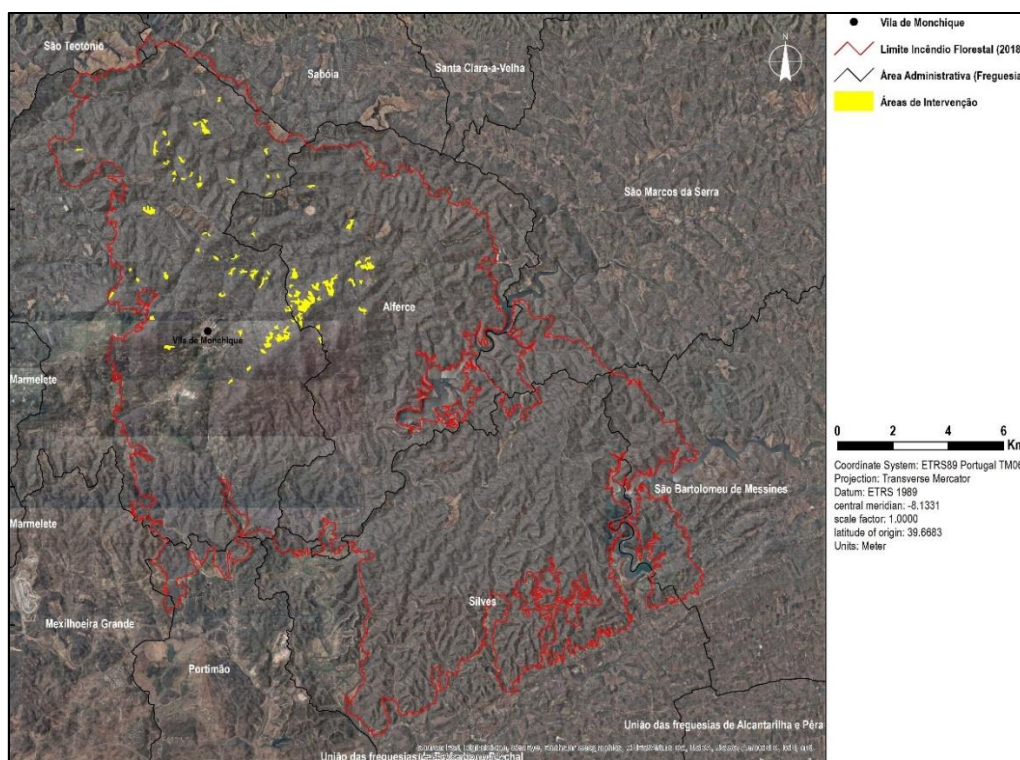


Figura 5.14 – Localização das áreas para implementação das áreas de ensaio. Fonte: Autor

As áreas inferiores a um hectare foram eliminadas, por não terem expressão para a quantificação da erosão, uma vez que a unidade de medida será a tonelada por hectare ao ano ($t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$) (Pulquério, 2015).

5.9. Estimativa da Erosão

A Figura 5.16 mostra a erosividade da precipitação (fator R) na serra de Monchique. Os valores mais elevados localizam-se na área da vila de Monchique compreendida entre os pontos mais altos dos afloramentos rochosos com valores entre os 701 a 721 *ton americanas.pé.acre⁻¹*. O fator R vai diminuindo gradualmente em redor dos afloramentos rochosos, atingindo valores mínimos de 109 a 308 *ton americanas.pé.acre⁻¹* no sul da área de estudo.

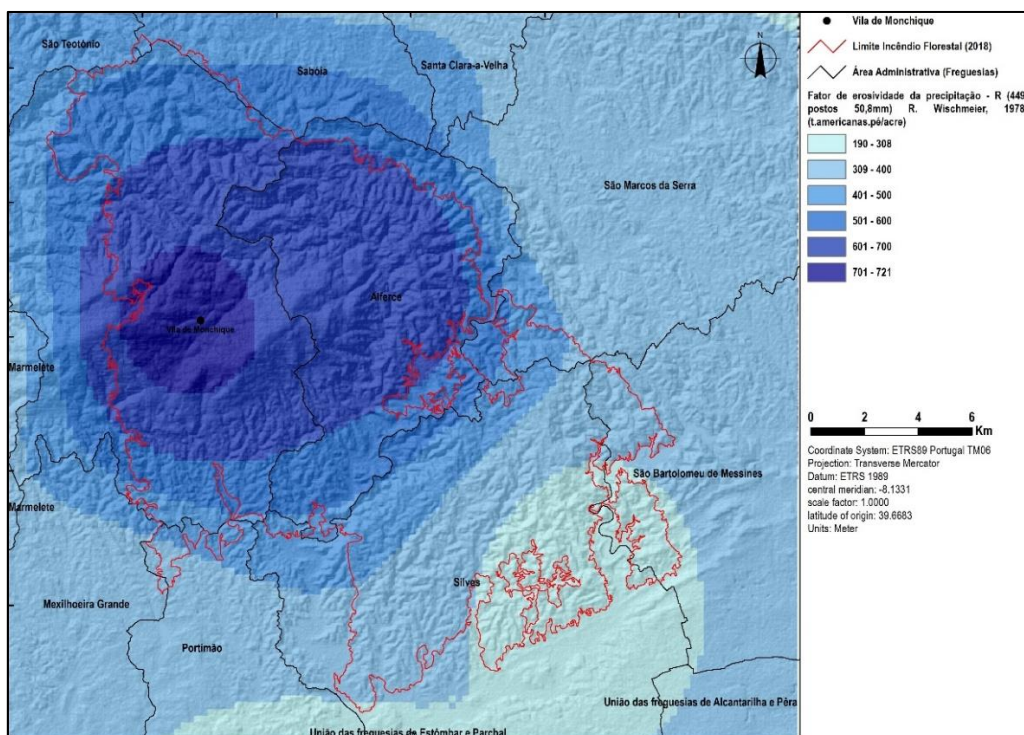


Figura 5.15 – Fator R da USLE – Mapa da erodibilidade da precipitação. Fonte: Autor

No que respeita ao valor do fator k (erodibilidade dos solos) verifica-se que o valor médio para a área de estudo é de $0,035 t \cdot ha \cdot h \cdot Mj^{-1} \cdot ha^{-1} \cdot mm^{-1}$. A classe de valores mais baixos entre 0 e 0,01 estão associados aos afloramentos rochosos e às áreas urbanizadas (Figura 5.17).

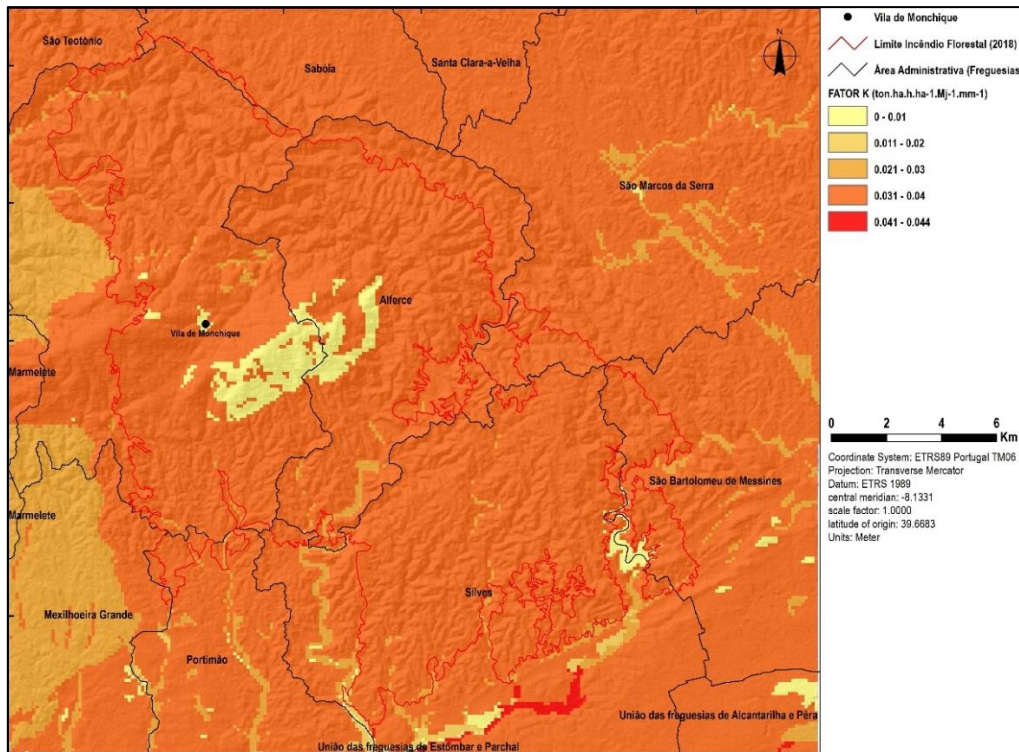


Figura 5.16 – Fator K da USLE – Mapa da erodibilidade dos solos. Fonte: Autor

A Figura 5.18 mostra o resultado do fator LS. Verifica-se que realmente o fator LS é maior nas zonas de maior declive.

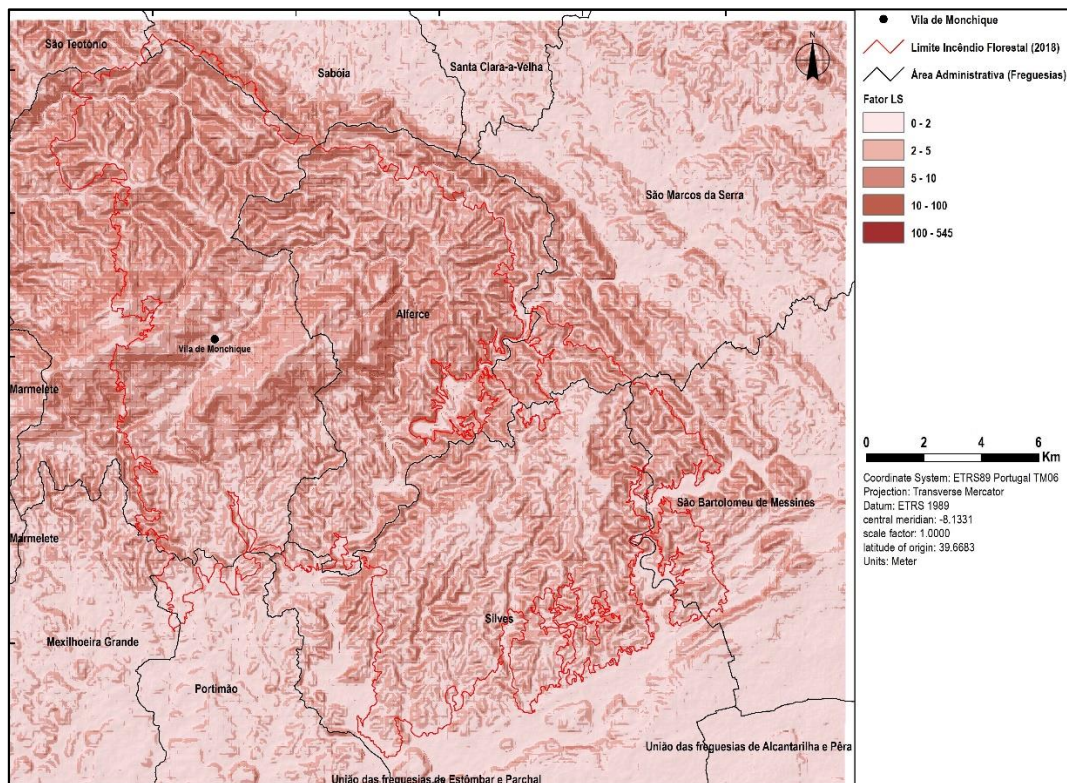


Figura 5.17 – Fator LS da USLE – Mapa do comprimento de encosta e declividade. Fonte: Autor

A Figura 5.19, representa o resultado obtido do fator C para cada classe de ocupação do solo.

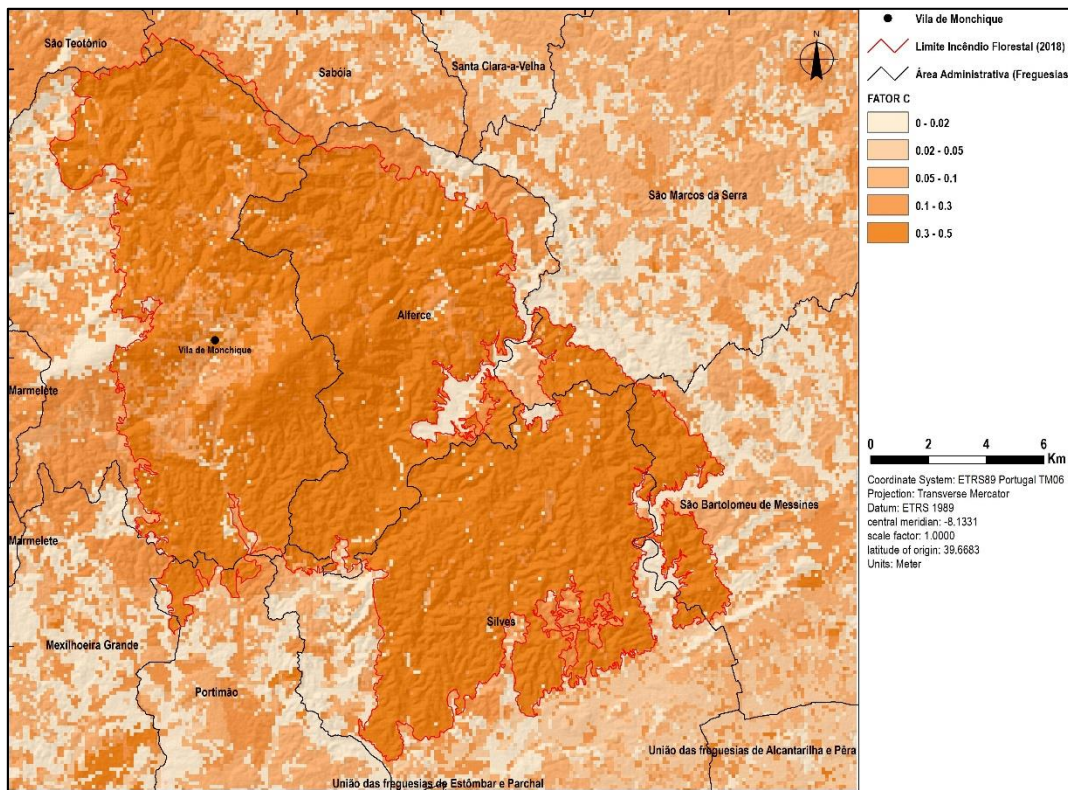


Figura 5.18 – Fator C da USLE – Classes de ocupação do solo.
Fonte: Autor

Como na área ardida o solo está desprotegido foi atribuído o valor de 0,5 ao fator C, independentemente da espécie florestal presente.

Obtidos os valores de todas as variáveis procedeu-se ao cálculo da equação da USLE (equação 8), e mapeado a estimativa da erosão do solo para a área de estudo, em $t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ (Figura 5.20).

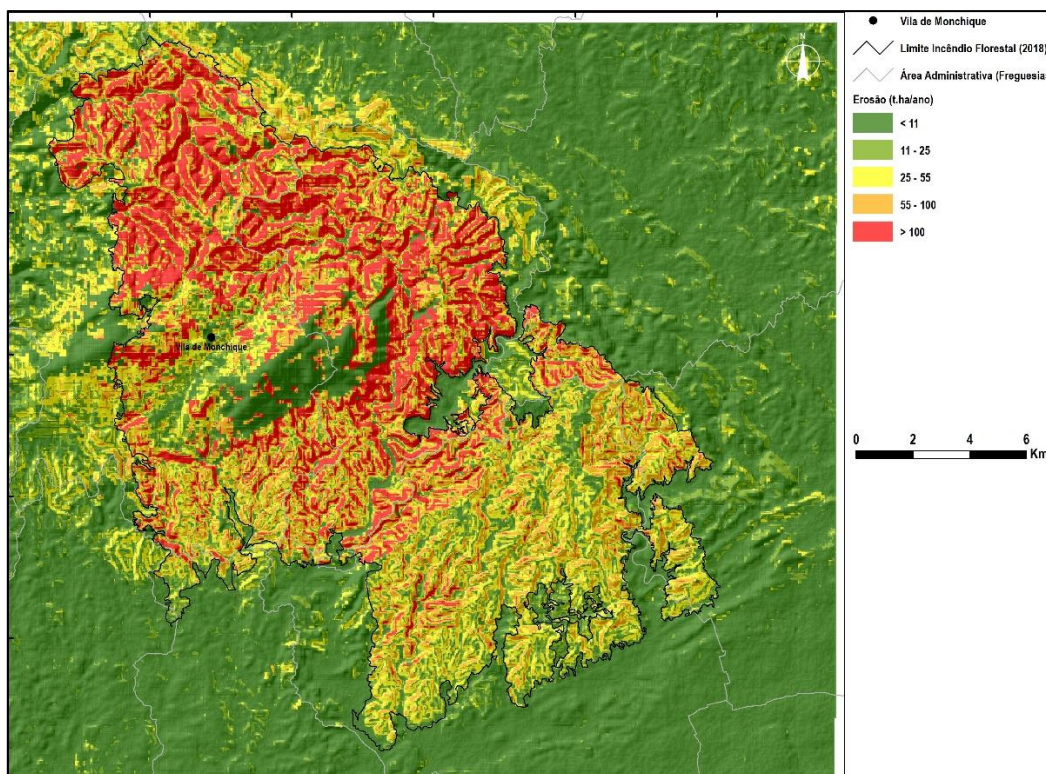


Figura 5.19 – Carta da estimativa de erosão do solo. Fonte: Autor

A Tabela 5.7 mostra a área de ocupação e a percentagem para cada classe de estimativa da erosão do solo.

Tabela 5.7 – Ocupação da estimativa da erosão do solo. Fonte: Autor

Erosão (t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	Área Total		Perímetro do Incêndio	
	Área de ocupação (ha)	Percentagem (%)	Área de ocupação (ha)	Percentagem (%)
< a 11	59675,2	60,7	3697,2	12,9
11 a 25	11615,8	11,8	3626,0	12,6
25 a 55	11379,9	11,6	6790,7	23,6
55 a 100	7759,3	7,9	6873,2	23,9
> a 100	7844,7	8,0	7844,7	27,0

A área de estudo apresenta uma estimativa de erosão do solo de 8% superior a 100 t.ha⁻¹.ano⁻¹. sendo que estas áreas correspondem aos locais onde ocorreu a maior severidade do incêndio.

5.10. Caso experimental para a monitorização e recuperação da erosão do solo das áreas ardidas

Antes de implementar as parcelas de monitorização foi necessário montar e testar no laboratório de Hidráulica do Departamento de Engenharia Civil do Instituto Superior de Engenharia da Universidade do Algarve, os equipamentos de recolha do escoamento superficial e da erosão do solo (Figura 5.21).



Figura 5.20 – Montagem do sistema de recolha de sedimentos e água da parcela de ensaio.
Fonte: Autor

O equipamento que necessitou de ser calibrado, foi a caixa pluviométrica que contém um recipiente basculante, de acumulação de água. Quando esse recipiente atinge o limite da sua capacidade, báscula despejando a água. Cada movimento ao passar

num terminal cria um impulso elétrico que é registado num *datalogger*, sendo lido posteriormente no computador (Figura 5.22).



Figura 5.21 – Montagem dos componentes da caixa pluviométrica. Fonte: Autor

O valor obtido para o limite da capacidade de armazenamento de água do recipiente basculante resultante da média de 10 medições, foi de 140 ml (Figura 5.23).



Figura 5.22 – Quantificação da água no recipiente basculante. Fonte: Autor

A implementação das parcelas no terreno e a respetiva monitorização da perda do solo e a recuperação da vegetação será efetuada no âmbito de outra investigação (doutoramento).

6. Conclusões e Recomendações

A área de estudo, apresenta uma densidade populacional baixa, com características de um clima mediterrâneo com influência atlântica, o que permite uma boa regeneração vegetal. Os declives acentuados e a alteração da tipologia florestal, faz com que os incêndios florestais sejam um problema constante.

A caracterização e a avaliação biofísica da área de estudo, foram a base para compreender as dinâmicas que podem ocorrer, identificando os fatores fundamentais para o risco de incêndio florestal, podendo auxiliar os *stakeholders* a definir estratégias para a recuperação da paisagem.

No presente trabalho, foram utilizados o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) e o índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI) antes e após o incêndio florestal de Monchique de 2018. Ambos apresentam resultados muito similares, no entanto, no SAVI os valores de coberto vegetal são superestimados, sendo o índice NDVI mais adequado para esta área de estudo. O NDVI da área de estudo na situação pré incêndio apresentava 94,5% de vegetação densa passando para 13,3% na situação pós incêndio, tendo uma redução de 81,3% da vegetação densa.

A severidade do incêndio Florestal foi determinada pelo Índice da Razão de Queima Normalizada (dNBR) e pelo Índice da Diferença da Razão de Queima Normalizada (dNDVI). O Índice dNBR mostrou-se ser mais adequado comparativamente ao dNDVI. O dNBR da área de estudo apresenta 41,2% de severidade moderada com apenas 0,6% de severidade elevada.

A metodologia utilizada para a cartografia do risco de incêndio florestal seguiu o guia técnico do Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios (PMDFCI), de 2012 da Autoridade Florestal Nacional (AFN). Foi produzida diversa cartografia nomeadamente: (i) Mapa da Probabilidade, em que se verificou-se que 89,1% da área

de estudo apresenta uma probabilidade do risco de incêndio de 3%; (ii) Mapa da Suscetibilidade que mostrou que 16,5% da área de estudo apresenta um potencial de severidade com um score de fogo por pixel de 48; (iii) Mapa do Dano Potencial que mostrou que 95% da área de estudo apresenta um dano potencial classificado de baixo moderado; (iv) Mapa da Perigosidade que classificou que cerca de 26,7% da área de estudo é de perigosidade elevada; (v) Mapa do Risco de Incêndio Florestal revelou que 32,3% da área apresenta um risco baixo moderado e 17,4% um risco muito elevado.

O mapa Risco de Incêndio Florestal requer revisões e atualizações periódicas para tenha utilidade para os vários agentes de gestão e proteção do território, sendo por isso necessário dados atualizados, quer da cartografia de ocupação e uso do solo que está em constante alteração, quer dos valores económicos dos bens que podem ser afetados pelos incêndios. Neste mapa de risco de incêndio florestal, não foram inseridos o valor ecológico (espécies arbóreas autóctones, riqueza florística de matos e fauna), nem o valor paisagístico (caça, turismo rural e os percursos pedestres), pois na metodologia do AFN não são considerados.

A erosão do solo e os seus efeitos é de extrema importância para a correta gestão deste recurso e evitar custos desnecessários associados à sua recuperação. Nesta investigação a erosão do solo é uma das problemáticas na recuperação das áreas áridas, neste sentido utilizou-se a ferramenta SIG através do modelo *USLE*, para uma estimativa das taxas de erosão do solo e a sua distribuição na área de estudo. A erosão do solo está muito relacionada com a sazonalidade, pois é muito afetada pela chuva e alteração do coberto vegetal durante o ano. Quando o aumento da erosividade pelo escoamento da chuva coincide com a baixa da cobertura vegetal, como acontece nas áreas áridas, então o risco de erosão do solo aumenta consideravelmente. Verifica-se que 27% da área de estudo (cerca de 7844,7 ha de área árida) apresenta uma estimativa de taxa de erosão do solo > 100 t.ha/ano. Esta cartografia é útil na medida em que permite planejar uma futura alteração do uso do solo ou da aplicação de práticas de conservação do solo.

No trabalho de investigação futura (doutoramento) serão implementadas numa das zonas classificadas de maior risco de erosão, duas parcelas de monitorização. Nestas parcelas será avaliada a perda de solo e a recuperação da vegetação, quando se utiliza a técnica de *mulch* composta por resíduos vegetais existentes na área, avaliando o respetivo desempenho. Posteriormente, serão implementadas e monitorizadas mais três parcelas adotando outras técnicas de *mulch*, nomeadamente, as agulhas de pinheiro, a palha e os resíduos dos verdes urbanos, por forma a seleccionar a melhor técnica de mitigação.

7. Bibliografia

- Alves, P. M. C. 2012. **Probabilidade de Ignição e Suscetibilidade de Incêndios Florestais**. Universidade do Porto.
- AFN - Autoridade Florestal Nacional. 2012. **Guia Técnico para a elaboração do Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios (PMDFCI)**. Editado por Ministério da Agricultura e do Desenvolvimento Rural e das Pescas. Lisboa: Direcção de Unidade de Defesa da Floresta.
- Baker, C. 2018. **Post-fire Mapping Support in the USDA Forest Service: Burn Severrity Assessment and the RSAC BAER Imagery Support Program**. USDA Fores. South Salt Lake City: RSAC.
- Barbosa, A. H., De Carvalho, R. G. , & Camacho, R. G. V. 2017. **Aplicação do NDVI para a Análise da Distribuição Espacial da Cobertura Vegetal na Região Serrana de Martins e Portalegre – Estado do Rio Grande do Norte**. Geography Department University of Sao Paulo, 2017.
- Bento-Gonçalves, A., & Vieira, A. 2013. **Forest fires in the Ave Region (NW of Portugal): main outputs from the adaptaclima project**. Em Riscos naturais, antrópicos e mistos. Homenagem ao Professor Doutor Fernando Rebelo, 679–96. Coimbra: Simões & Linhares.
- Câmara Municipal de Monchique (2019). **Demografia**. Acedido em 13 de fevereiro de 2019, em <https://cm-monchique.pt/pt/menu/201/demografia.aspx>
- Castillo, M., Saavedra, J, & Brull J. 2019. **Severidad del fuego en los mega incendios forestales ocurridos en Chile, en 2017**. *Territorium*, 2019.
- Cavalli, Aline, Figueiredo, T., & Fonseca, F.. 2017. **Áreas ardidadas e risco potencial de erosão**. Mauritius: Novas Edições Acadêmicas.
- CCRS. 1982. **Fundamentals of Remote sensing**. Edited for Canada Centre for Remote Sensing. *ITC Journal*. Vol. 1982–1.
- Chuvieco, E. 2010. **Teledeteccion Ambiental: La Observacion De La Tierra Desde Espacio**. Madrid: Estugraf Impresores S. L.
- Coutinho, M. A., Oliveira, R. P. , Antunes,C. R., & Caetano C. T. 2019. **Avaliação da ameaça de erosão hídrica na ilha da Madeira - Portugal**. *Ribagua* 6 (1): 87–100.
- D`Abreu, A. C., Correia, T. P., & Oliveira, R. 2004. **Contributos para a Identificação e Caracterização da Paisagem em Portugal Continental**. Direcção Geral do Ordenamento do Território. Vol. V. Lisboa: Europress, Lda.

- Direção-Geral do Território (2013). **Cartografia e Geodesia**. Acedido em 20 de maio de 2019, em http://www.dgterritorio.pt/cartografia_e_geodesia/geodesia/sistemas_de_referencia/portugal_continental/pt_tm06_etr89___european_terrestrial_reference_system_1989_2/
- Epting, J., Verbyla, D., & Sorbel, B. 2005. **Evaluation of remotely sensed indices for assessing burn severity in interior Alaska using Landsat TM and ETM+**. *Remote Sensing of Environment* 96: 328–39.
- Ferreira, R. V., Serpa, D., Cerqueira, M. A., & Keizer, J. J. 2016. **Short-time phosphorus losses by overland flow in burnt pine and eucalypt plantations in north-central Portugal: A study at micro-plot scale**. *Science of The Total Environment* 551–552: 631–39.
- Fox, D., Berolo, W., Carrega, P., & Darboux F. 2009. **Mapping erosion risk and selecting sites for simple erosion control measures after a forest fire in Mediterranean France**. *Earth Surface Processes and Landforms* 34 (August 2007): 155–61.
- García, R. M., Hernández, J. M. R., Gómez, J. A. O, Gómez, J. D., Merino, L. M., Sánchez, J. A. D., Bravo, N. G., & Valsero, J. J. D. 2018. **Incendios Forestales y Aguas Subterráneas - Un análisis de los efectos ambientales y económicos sobre los acuíferos**. Raquel Morales García (Ed). *Hydrogeología y aguas subterráneas* 35(35). Madrid: Instituto Geológico Y Minero de España.
- Harris, S., Veraverbeke, S., & Hook, S. 2011. **Evaluating spectral indices for assessing fire severity in chaparral ecosystems (Southern California) using modis/aster (MASTER) airborne simulator data**. *Remote Sensing* 3 (11): 2403–19.
- Huete, A. R. 1988. **A soil-adjusted vegetation index (SAVI)**. *Remote Sensing of Environment* 25 (3): 295–309.
- INE - Instituto da Conservação da Natureza. 2006. **Plano Sectorial da Rede Natura 2000 - Sítios da Lista Nacional**.
- ICNF - Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas. 2012. **Recuperação da área ardida do incêndio de Catraia - Relatório Técnico**. ICNF.
- ICNF - Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (2016). **Estatísticas**. Acedido em 21 de fevereiro de 2019, em <http://www2.icnf.pt/portal/florestas/dfci/inc/estat-sgif>
- INE - Instituto Nacional de Estatística (2018). **Bases de Dados**. Acedido em 15 de janeiro de 2019, em http://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&contecto=pi&indOcorrCod=0008273&selTab=tab0
- IWG-SEM. 2018. **Emergency Mapping Guidelines - Fire Mapping Chapter**. Editado por International Working Group on Satellite-Based Emergency Mapping.

- Julião, R. P., Nery, F., Ribeiro, J. L., Branco M. C., & Zêzere, J. L. 2009. **Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de sistemas de informação geográfica (SIG) de base municipal.** Editado por IGE e DGOTDU. Autoridade. Lisboa: Instituto Geográfico Português.
- Karnieli, A., Agam, N., Pinker, R. T., Anderson, M., Imhoff, M. L., Gutman, G. G., Panov, N., & Goldberg, A. 2010. **Use of NDVI and land surface temperature for drought assessment: Merits and limitations.** *Journal of Climate* 23 (3): 618–33.
- Kopp, E., Sobral, M., Soares, T., & Woerner, Martin. 2000. **Os Solos do Algarve e as suas Características.** Editado por Direcção Regional de Agricultura do Algarve. Vila Real de Santo António: Litográfica do Sul, S. A.
- Loureiro, N.. 2016. **Cartografias de solos disponíveis para o Algarve.** Faro.
- Loureiro, N. 2017. **Distribuição do eucalipto no algarve Análise cartográfica, da década de 1950 até 2010.** Faro.
- Lourenço, Luciano, Serra, G., Mota, L, Paúl, J. P., Correia, S., Parola, J., & Reis J. 2004. **Manual de Combate a Incêndios Florestais para Equipas de Primeira Intervenção.** Editado por Escola Nacional de Bombeiros. Sintra: Gráfica Europam, Lda.
- Magalhães, M. R. 2001. **A Arquitetura Paisagista - Morfologia e Complexidade.** Editado por Estampa. Lisboa: Artes Gráficas.
- Magalhães, M. R., Abreu, M. M., Lousã, M., & Cortez, N. 2007. **Estrutura Ecológica da Paisagem.** Lisboa: ISAPress.
- Magalhães, M. R., Ferreira, A. I., Lopes A. M., Trancoso, A. R., Cardoso, A. S., Kupfer C., & Pereira, D. M. 2019. **Estrutura Ecológica Nacional - Uma Proposta de Delimitação e Regulamentação.** Centro de. Lisboa: ISAPress.
- Mataix-Solera, J., Cerdà, A., Arcenegui, V., Jordán, A., & Zavala, L. M. 2011. **Fire effects on soil aggregation: A review.** *Earth-Science Reviews* 109 (1–2): 44–60.
- Meneses, B. M. 2013. **O Impacto dos Incêndios Florestais na Perda de Solo por Erosão Hídrica na Serra de Santa Helena.** *Revista Geográfica de America Central* 51 (July 2013): 215–32.
- Miller, J. D., Knapp, E. E., Key, C. H., Skinner, C. N., Isbell, C. J., Creasy R. M., & Sherlock, J. W. 2009. **Calibration and validation of the relative differenced Normalized Burn Ratio (RdNBR) to three measures of fire severity in the Sierra Nevada and Klamath Mountains, California, USA.** *Remote Sensing of Environment* 113 (3): 645–56.
- Moreira, F., Catry, F. X., Silva, J. S., & Rego, F. 2010. **Ecologia do Fogo e Gestão de Áreas Ardidas.** Lisboa: ISAPress.

- PAP/RAC - Priority Actions Programme/Regional Activity Centre. 1997. **Guidelines for mapping and measurement of rainfall-induced erosion processes in the Mediterranean coastal areas**. Split: FAO.
- Pausas, J. G. 2012. **Incendios forestales**. CSIC. Madrid: Catarata.
- Pereira, J. S., Pereira, J. M. C., Rego, F. C., Silva, J. M. N., & Silva, T. P. 2006. **Incêndios Florestais em Portugal Caracterização, Impactes e Prevenção**. Lisboa: ISAPress.
- Pimenta, M. T. 1998. **Directrizes para a Aplicação da Equação Universal de Perda dos Solos em SIG**. INAG, Lisbon, Portugal., 12.
- Pulquério, D. A. R. 2015. **Avaliação da suscetibilidade à Erosão Hídrica e a Movimentos de Vertentes no concelho de Ourém**. Universidade de Lisboa.
- Raviña, M. D., Benito E., Carballas, T., Fontúrbel, M. T., & Vega, J. A. 2010. **Investigación y gestión para la protección del suelo y restauración de los ecosistemas forestales afectados por incendios forestales**. Santiago de Compostela: Tórculo Artes Gráficas.
- Real, F. C. S. 1987. **Atlas do Ambiente Notícia Explicativa I.12 Carta Geológica**. Lisboa: Secretaria de Estado do Ambiente e Recursos Naturais.
- Reyes, C., Jordán, A., & Zavala, L. M. 2013. **Efectos del fuego en las propiedades biológicas físicas y químicas del suelo**. In *Grandes Incêndios Florestais, Erosão, Degradação e Medidas de Recuperação dos Solos*. António Bento Gonçalves e António Vieira (Eds). NIGP-RIS. Braga.
- Rouse, J. W., Hass, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. 1973. **Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS**. Third Earth Resources Technology Satellite (ERTS) symposium 1: 309–17.
- Shakesby, R. A., & Doerr, S. H. 2006. **Wildfire as a hydrological and geomorphological agent**. *Earth-Science Reviews* 74 (3–4): 269–307.
- Simões, H. D. G. 2013. **Modelação Espacial da Erosão Hídrica do Solo: Aplicação da EUPS**. Dissertação Mestrado. Instituto Politécnico de Castelo Branco.
- Vallejo, R. 2006. **Ferramentas e metodologias para o restauro de áreas aridas**. Editado por Ramón Vallejo. Euro-Mediterranean Wildland Fire Laboratory Laboratório. EUFIRELAB.
- Vasconcelos, A. F. C. G. N. 2013. **Avaliação da suscetibilidade à ocorrência de incêndios florestais no concelho de Leiria**. Universidade de Lisboa.
- Vega, J. A., Fontúrbel, M. T., Fernández, C., Díaz-Raviña, M., Carballas, M. T., Martín, A., González-Prieto, S., Merino, A., & Benito, E. 2013. **Acciones urgentes contra la erosión en áreas forestales quemadas. Guía para su planificación en Galicia**. Santiago de Compostela: Tórculo Artes Gráficas.

Wischmeier, W. H., & Smith D. D. 1978. ***Predicting Rainfall Erosion Losses - A Guide to conservation Planning. Agriculture Handbook.*** Vol. 537. Washington: United States Department of Agriculture.

Wohlgemuth , P. M., Beyers, J. L., & Hubbert, K. R. 2009. ***Rehabilitation Strategies after Fire: The Californis, USA Experience.*** Em Fire effects on soils and restoration strategies, editado por Artemi Cerdá, V:511–35. Oxford: Science Publishers.

8. Anexos

ANEXO 1 – Autorização de Voo



MINISTÉRIO DA DEFESA NACIONAL
AUTORIDADE AERONÁUTICA NACIONAL
Gabinete da Autoridade Aeronáutica Nacional
Avenida da Força Aérea Portuguesa, n.º1
2614-306 Amadora

AUTORIZAÇÃO / AUTHORIZATION N.º AAN 50133/2019

<i>Espaço aéreo sob responsabilidade civil</i>			
A AAN, no exercício das suas competências previstas na alínea b), do n.º 3, do art.º 4.º da Lei n.º 28/2013, de 12 de abril, concede, nos termos e condições nela descritos, autorização para efetuar levantamentos aéreos:			
OPERADOR / OPERATOR			
Filipe Mateus Pereira			
PILOTO(S) REMOTO(S) / REMOTE PILOT(S)			
Filipe Mateus Pereira			
AERONAVE(S) NÃO TRIPULADA(S) / UNMANNED AIRCRAFT(S)			
DJI - PHANTOM 3 - ADV [P77DDB20B26987 / P77DDB20B26987]			
FINALIDADE DO(S) VOO(S) / FLIGHT(S) PURPOSE			
Trabalho académico			
TIPO DE ÁREA / AREA TYPE			
CIRCULAR / CIRCULAR			
ÁREA DE VOO AUTORIZADA			
AUTHORISED FLIGHT AREA			
Local Place	Coordenada Central Central coordinate	Raio (m) Radius (m)	Altura (m AGL) Height (m AGL)
Faro - Monchique	37° 19' 19.2"N 8° 33' 58.8"W	050	050
Validade da autorização / Validity of authorization			
22 de Outubro de 2019 a 31 de Outubro de 2019			
Período horário / Time period: Do nascer ao pôr do sol / From sunrise to sunset			
EMISSÃO			
ISSUE DATE			
2019-10-17 10:46:45			

A Autoridade Aeronáutica Nacional

General Joaquim Manuel Nunes Borrego

Em caso de dúvida contactar: GAAN / Levantamentos Aéreos - Telefone: +351 214 717 428 - E-mail: imagens.aereas@aan.pt