



POLITÉCNICO DE COIMBRA
ESCOLA SUPERIOR AGRÁRIA

Mestrado em Recursos Florestais

Relatório de Estágio Profissionalizante

**Análise de Espécies Invasoras e Respetiva Proposta
de Intervenção – Concelho de Gavião**

Bruno Guerreiro Marques

Coimbra, dezembro de 2019



POLITÉCNICO DE COIMBRA
ESCOLA SUPERIOR AGRÁRIA

Mestrado em Recursos Florestais

Relatório de Estágio Profissionalizante

**Análise de Espécies Invasoras e Respetiva Proposta
de Intervenção – Concelho de Gavião**

Relatório de Estágio Profissionalizante apresentado à Escola Superior Agrária de
Coimbra para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de
Mestre em Recursos Florestais

Orientadora: Doutora Hélia Marchante

Coorientador: Mestre André Duarte

Bruno Guerreiro Marques

Coimbra, dezembro de 2019

AGRADECIMENTOS

A todos os que de forma direta ou indireta me apoiaram nesta longa caminhada, o meu sincero e profundo reconhecimento.

À minha orientadora, Professora Doutora Hélia Marchante, agradeço todo o apoio e disponibilidade para me ajudar na realização desta dissertação, a sua paixão e vasto conhecimento sobre as espécies invasoras cativou a minha atenção. O seu amplo conhecimento foi essencial para o presente documento.

Ao meu Co-orientador Mestre André Duarte pela partilha dos seus conhecimentos na área da deteção remota, pela orientação científica, acompanhamento e conselhos, mas acima de tudo amizade e confiança depositada em mim. Obrigado por me saber dar ânimo quando as coisas não corriam da melhor forma, o meu sincero agradecimento.

Aos meus pais, pelo amor e carinho que me deram ao longo dos anos.

À minha esposa Elsa, aos meus filhos João Francisco e Ana Isabel, o meu obrigado pelas palavras de ânimo e incentivo ao longo destes 2 anos. Peço desculpa pela ausência, pois tenho a perfeita noção que não acompanhei fases importantes do seu crescimento.

Ao meu amigo Luís Carvalho, pelo ânimo, incentivo e amizade que mantemos um com o outro desde o tempo da licenciatura.

A todos os meus amigos que me acompanharam neste percurso agradeço a partilha de conhecimentos, o meu sincero agradecimento pelas horas que passámos juntos, com sorrisos e com tristezas, juntos tornámos esse caminho mais fácil.

Ao município de Gavião, pela cedência de informações relevantes para o presente documento.

RESUMO

Em Portugal, de acordo com o Decreto-Lei 92/2019 de 10 de julho, existem cerca de 300 espécies Invasoras. As espécies exóticas, sejam animais, plantas ou outros organismos não representam por si só um problema. Essa questão surge quando uma espécie apresenta um comportamento invasor. O concelho de Gavião, à semelhança de outros em Portugal, é atingido pelo fenómeno das espécies invasoras, nomeadamente espécies de Acacia e Hakea.

Os objetivos deste trabalho consistiram, numa primeira fase, na localização e caracterização de uma seleção de plantas invasoras presentes no concelho de Gavião e, numa segunda fase, na definição de uma proposta de intervenção para controlo das mesmas com vista a minimizar os seus impactes. Utilizei a deteção remota (DR) e os métodos de aprendizagem automática para a classificação das imagens.

Complementarmente à informação de campo, foram delimitadas várias áreas aleatoriamente no sentido de potenciar a validação efetuada. Posteriormente efetuou-se a validação de campo das áreas delimitadas com base nos classificadores Random Forest e Máquina Vetor Suporte, que revelaram valores de eficácia diferentes.

A aplicação do algoritmo da *floresta aleatória* (Random Forest) alcançou um índice Kappa de 65% o que significa que a sua classificação é substancial. A área ocupada por espécies invasoras através do algoritmo em causa, foi de aproximadamente 4% do território, o que equivale a mais de 1000 hectares de acácias. O algoritmo Máquina Vetor Suporte alcançou um índice de 51%, obtendo uma classificação moderada.

A aprendizagem automática revela-se uma excelente ferramenta de deteção e de classificação de imagens. Através da deteção remota foi possível identificar e definir um plano estratégico. Foi possível através da DR extrair as áreas de acácias, para as háqueas não foi possível definir as áreas devido à confusão no espectro com os matos.

De acordo com as espécies indicadas, foi elaborada uma proposta abrangendo as várias etapas de controlo, incluído as metodologias mais adequadas, bem como o custo possível para execução de ações de controlo numa área piloto

PALAVRAS-CHAVE: Espécies Invasoras, Deteção Remota, Índice Kappa, *Floresta Aleatória*, Aprendizagem automática, *Sentinel-2*.

ABSTRACT

In Portugal, according to Decree-Law 92/2019 of 10 July, there are about 300 Invasive species. Exotic species, whether animals, plants or other organisms are not in themselves a problem. This question arises when a species exhibits invasive behavior. The municipality of Gavião, like others in Portugal, is affected by the phenomenon of invasive species, namely Acacias and Hakeas.

The methodology used in the present work consists, in a first phase, in the localization and characterization of the invasive species present in Gavião county and, in a second phase, in the definition of an intervention proposal to control them in order to minimize their impacts. The information used comes from field data collection, complemented by satellite images obtained by Sentinel. The images analyzed date from May 25, 2019, at a time of year when most species are in flowering, which facilitates the treatment of their image and further analysis.

In addition to the field information, several areas were randomly delimited in order to enhance the validation performed. Subsequently, the field validation of the delimited areas was performed based on two classifiers, which revealed different efficacy values. The application of the random forest algorithm reached a 65% Kappa index which means that its classification is substantial. The area occupied by invasive species through the algorithm in question was approximately 4% of the territory, which is equivalent to over 1000 hectares of acacia trees.

According to the indicated species, the most appropriate forms of control were suggested, as well as the possible cost of carrying out control actions in a pilot area.

Machine learning proves to be an excellent image detection and classification tool. Through remote sensing it was possible to identify and define a strategic plan.

KEYWORDS: Invasive species, *Acacia dealbata*, *Acacia mearnsii*, *Hakea sericea*, Machine Learning, Sentinel-2

ACRÓNIMOS

%	Porcentagem
ANN	Artificial Neural Networks
CAOF	Comissão para o Acompanhamento das Operações Florestais
CAOP	Carta Administrativa Oficial de Portugal
CIMAA	Comunidade Intermunicipal do Alto Alentejo
cm	Centímetros
COS	Carta de Ocupação do Solo
DR	Deteção Remota
EN	Estrada Nacional
EPI	Equipamento de Proteção Individual
ha	Hectare
IA	Inteligência Artificial
ICNF	Instituto de Conservação da Natureza e Florestas
IFN	Inventário Florestal Nacional
IPMA	Instituto Português do Mar e da Atmosfera
IVP	Infra-vermelho Próximo
Km	Quilómetros
Km2	Quilómetro quadrado
m	Metros
ml	mililitros
ML	Machine learning
mm	milímetros
MSI	MultiSpectral Instrument
n.º	Número
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NUT	Nomenclatura de Unidades Territoriais
º	Graus
ºC	Graus Celsius
sp.	Espécie
SVM	Support Vector Machine

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	ii
RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
ACRÓNIMOS.....	v
ÍNDICE.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE TABELAS.....	x
1. INTRODUÇÃO	11
1.1 Objetivos	13
1.2 Estrutura do relatório do estágio profissionalizante	14
2. ESPÉCIES INVASORAS	14
2.1 Espécies Invasoras e quais os seus impactes	14
2.2 Invasão Biológica	15
3. DETEÇÃO REMOTA POR SATÉLITE	18
3.1. Classificação de Imagens de Satélite	21
3.2. Classificação supervisionada com aprendizagem automática	22
3.3. Principais trabalhos desenvolvidos	25
4. MATERIAL E MÉTODOS	27
4.1 Área de Estudo	27
4.1.1. Uso do Solo e Ocupação Atual.....	29
4.2 Espécies abrangidas pelo estudo	30
4.2.1 <i>Acacia dealbata</i> Link.	30
4.2.2 <i>Acacia mearnsii</i> De Wild.	32
4.2.3 <i>Hakea sericea</i> Schrader	34
4.2.4 <i>Myriophyllum aquaticum</i> (Velloso) Verdc.	35
4.3. Recolha de dados de localização das espécies	36
4.4 Classificação de Imagens de Satélite	39
4.4.1 -Imagens de Satélite Sentinel-2	39
4.4.2 Definição da nomenclatura.....	40
4.4.3 Delimitação de áreas treino	43
4.4.4 Classificadores supervisionados com aprendizagem automática	45
4.4.5 Avaliação da exatidão das classificações.....	46

4.5 Elaboração de Proposta de Metodologia para controlo das invasoras presentes na área de estudo	46
RESULTADO E DISCUSSÃO	46
5.1. Análise das assinaturas espectrais	46
5.2 Classificação: Florestas Aleatórias	48
5.2.1 Matriz de erro das Florestas Aleatórias	50
5.3. Classificação com a Máquina Vetor de Suporte	51
5.3.1 Matriz de Erro Máquina Vetor Suporte	53
5.4 Área ocupada pelas espécies de <i>Acacia</i> spp	54
5.5. Proposta de métodos de controlo para as espécies de estudo	57
5.5.1 - <i>Acacia dealbata</i>	57
5.5.1.1 Controlo físico.....	57
5.5.1.2 - Controlo físico + químico.....	58
5.5.1.3 - Controlo químico	59
5.5.1.4 - Controlo biológico	60
5.5.1.5 - Fogo controlado	61
5.5.2.- <i>Acacia mearnsii</i>	61
5.5.3. - <i>Hakea sericea</i>	62
5.5.3.1 Controlo físico.....	62
5.5.3.2.- Controlo químico	62
5.5.3.3.- Controlo biológico	62
5.5.4- <i>Myriophyllum aquaticum</i>	63
5.5.4.1.- Controlo físico	63
5.5.4.2- Controlo químico.....	63
5.5.4.3.- Controlo biológico.....	63
5.5.5 Síntese das metodologias de controlo	64
5.6. Área piloto - Custos de intervenção.....	68
5.7. Preparação da ação de sensibilização.....	74
6. CONCLUSÃO E PERSPETIVAS FUTURAS.....	75
7. Referências Bibliográficas	77
ANEXOS	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Principais etapas de um processo de invasão biológica	17
Figura 2 - Algoritmo da Florestas Aleatória.....	25
Figura 3 – Área de estudo com as respetivas Freguesias.....	27
Figura 4 - Espécies Florestais Dominantes	30
Figura 5- <i>Acacia dealbata</i> , junto à EN244 em Gavião, maio 2019.....	32
Figura 6 - <i>Acacia mearnsii</i> , junto à EN244 em Gavião, maio de 2019.....	33
Figura 7 - <i>Hakea sericea</i> , junto ao quartel dos Bombeiros de Gavião, maio de 2019 ...	35
Figura 8 - <i>Myriophyllum aquaticum</i> , presente na Ribeira da Venda, Freguesia de Comenda, Concelho de Gavião, junho de 2019	36
Figura 9 – Imagem incluindo uma captura de ecrã da App das Plantas Invasoras	37
Figura 10 - Mapa de Avistamentos de Espécies Invasoras registados na aplicação	38
Figura 11 - Imagem Satélite falsa Cor do Sentinel-2	40
Figura 12 - Scater Plot das Áreas de treino e respetiva sobreposição	44
Figura 13 – Áreas de Treino de cada espécie	44
Figura 14 - Área Piloto Junto à EN 118	46
Figura 15 – Dendograma da nomenclatura (1- Água, 2 – Agricultura, 3 – Área Social, 4 – Outras Espécies, 5 – Matos, 6 – Acácia, 7 – Solo nu)	47
Figura 16 – Classificação com o algoritmo das florestas aleatórias.....	49
Figura 17 - Classificação com o algoritmo Máquina Vetor de Suporte.....	52
Figura 18 - Áreas de Acácias do classificador Random Fores.....	55
Figura 19 - área Final de Acacias do Random Forest.....	56
Figura 20 - Realização de Controlo de acácia-mimosa através de descasque.....	58
Figura 21 - Controle de Invasoras através da Aplicação de Glifosato.....	60
Figura 22 - Aplicação de Glifosato através do furo.....	60
Figura 23 - Amostra da Área de Estudo.....	72
Figura 24 - <i>Acacia dealbata</i> junto ao caminho da parcela de estudo.....	73
Figura 25 - Indivíduo Isolado na parcela de estudo	73
Figura 26 - <i>Acacia dealbata</i> em redor de toda a barragem	74
Figura 27 -Scater Plot da banda 1 e 2 com elevada sobreposição amostras de treino .	83
Figura 28 – Scater Plot da Banda 2 e 3 com elevada sobreposição amostras de treino	83

Figura 29 - Carta de ocupação e uso do solo de 2015.....	84
Figura 30 - Compósito colorido de falsa cor com as bandas 8,4 e 3	85
Figura 31 - Compósito colorido cor verdadeira com as bandas 4, 3 e 2	86
Figura 32 - Áreas de treino utilizados para a classificação	87
Figura 33 - Pontos aleatórios utilizados nos dois algoritmos.....	88
Figura 34 - Classificador de Máquina Vetor Suporte.....	89
Figura 35 - Classificar final do Ramdom Forest com a melhor classificação.....	90

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Bandas do Sentinel-2	21
Tabela 2 - Carta de Ocupação do Solo	29
Tabela 3 - Nomenclatura da área de estudo depois do agrupamento de classes	41
Tabela 4 - Descrição da Nomenclatura com recurso a registo fotográfico.....	41
Tabela 5 - Índice Kappa “Landis e Koch” onde se observa a qualidade dos mapas.....	45
Tabela 6 - Área por classe de ocupação pelo método das florestas aleatórias	50
Tabela 7 - Matriz de erro do Random Forest	51
Tabela 8 - Área de ocupação do solo pelo método da máquina vetor suporte.....	53
Tabela 9 - Matriz de erro do Máquina Vetor Suporte.....	54
Tabela 10 – Metodologias de Controlo "Arranque Manual"	64
Tabela 11 - Metodologias de Controlo Mecânico	65
Tabela 12 - Metodologia de Controlo "Descasque"	66
Tabela 13 - Metodologia de Controlo Químico.....	67
Tabela 14 - 1º Intervenção – Controlo Inicial.....	69
Tabela 15 - 2ª e 3ª Intervenção - Controlo de continuidade	70
Tabela 16 -4ª Intervenção – Controlo de continuidade.....	70
Tabela 17 - Critérios de priorização de Intervenção	71
Tabela 18 - Prioridade de Intervenção.....	72

1. INTRODUÇÃO

No mundo global em que vivemos, muitas das espécies de plantas, animais e outros organismos que nos rodeiam são originários de outros territórios, de onde foram trazidas pelas mais variadas razões. A essas espécies, “vindas de fora”, chamamos espécies exóticas. O transporte de organismos vivos, ou seus propágulos, e a sua introdução pelas atividades humanas fora da sua área de distribuição natural, de forma intencional ou acidental, ocorrem há milhares de anos. No entanto, a escala destes movimentos começou por ser limitada, envolvendo distâncias relativamente curtas e de forma relativamente lenta, e um número reduzido de espécies e de indivíduos (Marchante et al., 2018). Com a colonização de novos territórios pelos europeus, e mais tarde com a progressiva globalização e o consequente aumento da circulação de pessoas e bens verificou-se um aumento considerável diversidade e quantidade de espécies exóticas introduzidas. Algumas dessas espécies multiplicaram-se eficazmente, os descendentes afastaram-se dos indivíduos progenitores, sem a intervenção do Homem, e passaram a causar impactes negativos, tornando-se invasores (Marchante et al., 2018).

Em Portugal, pelo menos desde a década de 1990 que investigadores de diversas áreas tem demonstrado uma enorme preocupação com esta problemática. Em 1999, a legislação portuguesa reconheceu a gravidade deste problema através do Decreto-Lei nº 565/99, de 21 de dezembro, o qual regula a introdução na natureza de espécies não indígenas (exóticas). Mais recentemente, em 2019, foi publicado o Decreto-Lei 92/2019, de 10 de julho (no âmbito da Estratégia Nacional para a Conservação da Natureza e Biodiversidade para 2030) onde consta a Lista Nacional de Espécies Invasoras, bem como outras informações relevantes sobre esta matéria. A nível Europeu, as invasões biológicas são atualmente alvo de legislação e políticas ativas de gestão, nomeadamente através do Regulamento Europeu Nº 1143/2014 do *European Parliament and of the Council* de 22 de outubro de 2014, que se refere à prevenção e gestão da introdução e propagação de espécies exóticas invasoras.

No território continental e nas regiões insulares de Portugal é possível encontrar uma grande diversidade de espécies exóticas, algumas das quais são invasoras. As bem

conhecidas acácias-mimosas (*Acacia dealbata*), que pintam as nossas paisagens de amarelo no início de cada ano e a erva-das-Pampas (*Cordadeira selloana*), que invadem de plumas brancas as margens das estradas e linhas de caminho de ferro, terrenos incultos e outros habitats, são apenas dois exemplos de plantas invasoras muito dispersas pelo território nacional, entre muitas outras (Capinha, 2012). No entanto, para nenhuma das plantas invasoras, existe conhecimento exato da sua distribuição a nível nacional. Existe sim, para algumas espécies, mapas ou previsões de distribuição a nível regional ou local (Vicente, et. al.,2018).

Na atualidade, os ecologistas servem-se de outras disciplinas para detetar, identificar e mapear as invasoras com o intuito de estudar os seus padrões de distribuição e a probabilidade de invasão. A deteção remota é uma das ferramentas mais utilizadas porque apresenta inúmeras vantagens, a começar pela sua definição mais clássica onde é designada por “a ciência relacionada com a aquisição de informação acerca de superfície terrestre sem estar em contacto direto com esta” (Agência Espacial Europeia). Esta ferramenta utiliza a deteção e registo da energia refletida ou emitida, e pelo processamento, análise e aplicação dessa informação (Vicente, et al.2013). Nesse contexto, a deteção remota, baseada em dados de observação terrestre, tem sido progressivamente aplicada de mapeamento de espécies invasoras e na caracterização dos riscos e impactes associados. Esta ciência tem vindo a colmatar lacunas associadas à disponibilidade e qualidade de informação que condiciona em grande medida a capacidade de identificar, avaliar e prever a distribuição espacial e temporal do risco de invasão (Vaz, et al., 2018).

Cada plataforma de observação tem diferentes características orbitais e diferentes sensores a bordo, o que determina as propriedades das imagens recolhidas, nomeadamente: a resolução espacial, condicionada pela dimensão do pixel da imagem (distância da amostragem do solo), a resolução espectral, dependente do número de bandas captadas e a resolução temporal, dada pela frequência ou tempo (geralmente em dias) que o sensor demora a visitar uma mesma secção de terra (Vaz, et al., 2018). A análise espacial de plantas invasoras é um campo de investigação que continua a mostrar um crescimento substancial. Vários estudos utilizaram mapas de distribuição de plantas invasoras para modelar correlações ambientais à invasão da paisagem (Bradley, 2014).

Variações sazonais na fenologia das espécies representam o traço que é talvez o mais fácil de mapear usando dados de detecção remota na refletância espectral (Nagendra, 2016). Diferenças fenológicas, por exemplo, no momento da queda das folhas e início/ desenvolvimento das flores ou frutos entre espécies invasoras *versus* espécie nativa tem sido frequentemente exploradas para o mapeamento de espécies invasoras. Têm sido utilizadas ortofotografias digitais realizadas na primavera durante o período de floração da espécie (Nagendra, 2016).

Atualmente, a maioria dos estudos visa mapear espécies invasoras remotamente usando diferenciação espectral de imagens de alta resolução espacial (Nagendra, 2016). Uma distinção espectral implica que a espécie invasora tenha uma ou mais características de absorção ou refletância de luz relativamente à vegetação nativa. As diferenças espectrais são mais fáceis de identificar com imagens hiperespectrais, visto que tem centenas de bandas espectrais estreitas disponíveis para identificar características únicas de refletância ou absorção (Nagendra, 2016).

1.1 Objetivos

A realização do presente trabalho tem três objetivos principais:

1. Identificar e registrar uma seleção de espécies de plantas invasoras que se encontram presentes no concelho de Gavião, através da recolha de dados de campo e posteriormente de técnicas de detecção remota por satélite, utilizando para o efeito imagens de satélite do *Sentinel-2*.
2. Propor um plano de intervenção ao município de Gavião e/ou outras entidades privadas, onde constam custos e metodologias a utilizar no controlo das principais espécies identificadas.
3. Sensibilizar e despertar consciências para a problemática das espécies invasoras, propondo a realização de uma ação de sensibilização sobre esta temática, envolvendo o município de Gavião, associações de agricultores, associações florestais e de caça do concelho de Gavião, bem como os proprietários de grandes de terrenos existentes no concelho.

1.2 Estrutura do relatório do estágio profissionalizante

Este relatório de estágio profissionalizante está organizado da seguinte forma:

- Capítulo 1 - Apresentação da temática e objetivos do trabalho;
- Capítulo 2 – Definição e contextualização das espécies invasoras;
- Capítulo 3 – Resumo dos fundamentos de deteção remota por satélite; revisão dos classificadores de imagem e trabalhos da especialidade;
- Capítulo 4 – Metodologias de recolha de dados das espécies invasoras. Classificação das imagens de satélite do Sentinel-2 utilizando processos de aprendizagem automática (*machine learning*).
- Capítulo 5 – Resultados e discussão;
- Capítulo 6 – Exposição das principais conclusões obtidas, das recomendações de controlo das espécies invasoras.

2. ESPÉCIES INVASORAS

2.1 Espécies Invasoras e quais os seus impactes

As espécies invasoras podem ser animais, plantas ou outros organismos que são introduzidos em locais fora da sua área de distribuição natural, que aumentam muito a sua distribuição, sem a intervenção direta do Homem, e que promovem impactes negativos a nível da biodiversidade nativa, funcionamento dos ecossistemas ou do bem-estar humano¹.

Com a globalização e o aumento do mercado de transação de bens, foi-se assistindo a um exponencial aumento dos produtos transportados, acabando por originar um aumento do transporte de espécies exóticas e, entre elas, também as invasoras. As espécies invasoras podem ser introduzidas de forma intencional, nomeadamente através de produtos ornamentais, alimentos e matérias primas, mas podem também surgir de forma acidental, por exemplo, misturadas aquando do transporte de sementes e propágulos de outras espécies. No passado, e muitas vezes

¹ Disponível em www.invasoras.pt

por desconhecimento das espécies, e acima de tudo pelo desconhecimento do seu comportamento invasor, muitas delas eram usadas para a agricultura, floresta, e até para estabilização de taludes, o que acabou por facilitar o seu desenvolvimento (Marchante et al., 2018).

Estas espécies são uma das maiores causas de perda de biodiversidade e, em alguns locais, são mesmo responsáveis pela extinção de espécies, representando também uma ameaça global para a segurança alimentar e para muitos meios de subsistência (Simberloff et al., 2013). Prevê-se que os problemas causados pelas espécies invasoras sejam agravados, pelo menos numa parte das espécies, pelas alterações climáticas. As alterações climáticas podem facilitar a disseminação e o estabelecimento de mais espécies exóticas e criar oportunidades para que algumas se tornem invasoras e outras, já com comportamento invasor, agravem os seus impactos incluindo em áreas com interesse para a conservação (Vicente et al., 2013).²Para além deste problema, as invasoras promovem ainda outros tipos de impactos: económicos (invasão de áreas de produção), na saúde pública (doenças), diminuição da disponibilidade de água, o desequilíbrio dos ecossistemas ou a alteração da estrutura da paisagem (Marchante et al., 2018).

“Um dos impactos mais abrangentes é o contributo das espécies invasoras para a uniformização biológica global (...)” (Marchante, 2007). As espécies invasoras podem reduzir a resiliência dos habitats naturais, dos sistemas agrícolas e das áreas urbanas às alterações climáticas. Por outro lado, as alterações climáticas reduzem a resistência de alguns habitats às invasões biológicas. É por isso essencial que as espécies invasoras sejam incluídas nas políticas das alterações climáticas.

2.2 Invasão Biológica

Uma invasão biológica consiste no aumento não controlado do número de indivíduos de uma espécie, ocupando uma determinada área, atingindo densidades populacionais muito elevadas, o que se repercute em efeitos negativos que podem surgir ou agravar-se com o passar do tempo. As ameaças podem surgir de um variado conjunto de espécies (Gil, 2017).

² Disponível em www.invasoras.pt

Hoje em dia, são poucos os locais do nosso planeta que permanecem isentos de espécies invasoras, as quais surgem a um ritmo crescente em todo o mundo. Apesar das invasões biológicas poderem ocorrer de forma natural, o elevado ritmo a que se estão a processar resulta, claramente, de atividades humanas. A introdução de espécies exóticas pode ocorrer de forma deliberada, para utilização agrícola, hortícola, florestal, ornamental, medicinal ou outros fins, ou acidental, de que são exemplo as sementes de espécies infestantes misturadas com sementes agrícolas, ou os organismos contidos nos lastros das embarcações (Marchante et al., 2018). Por estas e outras razões, muitas espécies foram introduzidas no passado, e hoje continuam a ser introduzidas muitas outras as quais, no futuro, podem causar os mesmos ou problemas ainda mais graves. Muito embora as razões que levaram a sua introdução no passado não devam, à luz do conhecimento da época, ser condenadas, a introdução de espécies exóticas na atualidade, sem verificação dos riscos associados, não pode ser encarada com a mesma tolerância (Marchante, 2007).

Nas últimas décadas as invasões biológicas ganharam relevância significativa, estando muito ligadas às atividades humanas, podendo ser promovidas ou facilitadas, por exemplo, pelas alterações climáticas, perturbações associadas a tempestades, incêndios, alterações do uso do solo, entre outros. (Marchante et al., 2008). As invasões biológicas constituem um problema a nível mundial, mesmo apesar de alguns territórios serem mais suscetíveis à invasão do que outros (Marchante, 2011).

O facto de as barreiras bióticas e abióticas serem ultrapassadas com a introdução de espécies em novos locais, com a ajuda do Homem, facilita os processos de invasão, uma vez que muitas das espécies invasoras apresentam depois uma grande habilidade para se adaptar a novos ecossistemas (Marchante, 2001). De facto, e com o passar do tempo, constata-se que algumas das espécies introduzidas não se limitam aos espaços de cultivo, ultrapassando barreiras ambientais e reprodutivas, naturalizando-se sem intervenção direta do Homem (Richardson et al., 2000).

A introdução é a primeira etapa do processo de invasão biológica (Figura 1), ou seja, é o momento em que a espécie é introduzida num local onde anteriormente não existia. A segunda etapa é a naturalização; esta etapa representa a capacidade da espécie se conseguir reproduzir, e manter populações estáveis, mantendo-se em equilíbrio com as outras espécies. Algumas espécies que se naturalizam, mas não todas,

podem depois tornar-se invasoras, aumentando muito a sua distribuição, em resultado de um estímulo ou perturbação, podendo causar impactes negativos a vários níveis (Marchante et al., 2014).

Entre as características que favorecem a naturalização e posterior invasão por algumas espécies, destacam-se o crescimento rápido, elevada área folhear específica, boa competição por recursos (água, luz, nutrientes, espaço, etc.), ausência de inimigos naturais e reprodução vegetativa (ex. plantas aquáticas). Algumas espécies têm ainda adaptações ou são favorecidas pelo fogo, o qual pode promover a germinação das sementes, a abertura de frutos e/ou rebentamento de touças. Muitas das espécies apresentam um banco de sementes extremamente numeroso (Gil, 2017).

No que às plantas invasoras em concreto diz respeito verifica-se que boa parte delas apresenta um rápido crescimento e produção de grandes quantidades de sementes, o que por vezes associado à sua capacidade de dispersão eficaz, exponencia a sua disseminação e tornam o seu controlo de difícil resolução. Acresce que muitas vezes a introdução deste tipo de espécies é bem-intencionada (p.e. ornamental), o que leva que o próprio Homem as cuide e favoreça.

Apesar das espécies invasoras ocuparem uma área cada vez maior, é importante salientar que a maioria das espécies exóticas não tem um comportamento invasor.

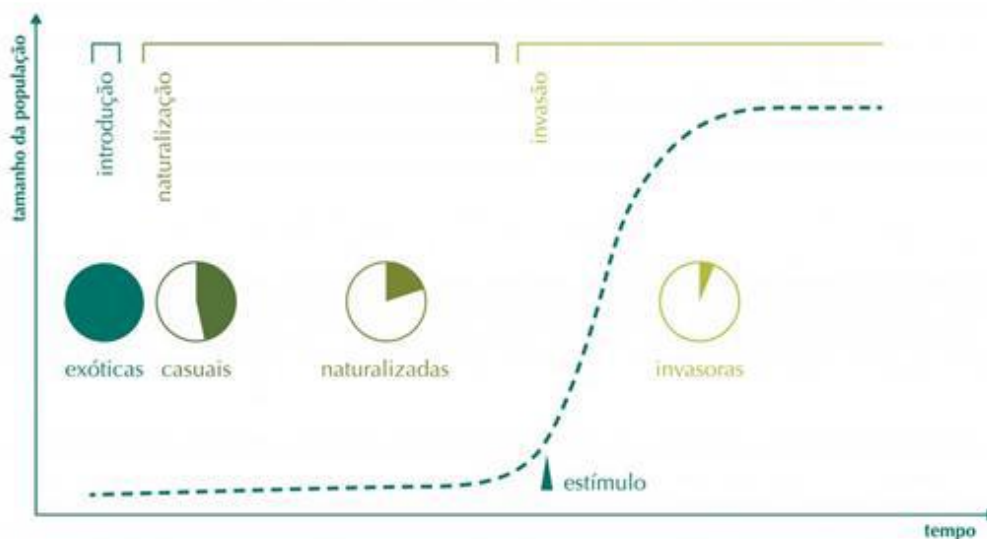


FIGURA 1 - Principais etapas de um processo de invasão biológica
(FONTE: Marchante et al., 2014).

O aparecimento e desenvolvimento de espécies invasoras no território deve constituir uma preocupação permanente. A monitorização constante do território permite a deteção precoce das espécies, facilitando deste modo a sua erradicação na fase inicial com custos relativamente reduzidos. A aplicação das metodologias de controlo adequadas a cada espécie facilita o controlo das espécies.

A monitorização do território deve ser permanente, de forma a que se observe o mais precoce possível a presença de espécies invasoras

3. DETEÇÃO REMOTA POR SATÉLITE

A deteção remota por satélite é um ramo da deteção remota que se refere à aquisição de informação sobre um objeto ou fenómeno através de sensores a bordo de satélites (Campbell, 2011). Existem na deteção remota sensores ativos e passivos. Os sensores ativos irradiam energia artificial para monitorizar a superfície terrestre. Estes satélites de radiação eletromagnética irradiam comprimentos de onda muito longos (microondas), o que permite monitorizar sem que exista luz solar. Outra característica destes sensores é que não são afetados por condições meteorológicas desfavoráveis como nuvens, poeiras ou neblina. Recebem constantemente radiação refletida da terra e comparam com os sinais eletromagnéticos a intensidade e tempo decorrido (Silva, 2011).

Os sensores passivos detetam a radiação solar refletida a partir da terra e a radiação térmica nos comprimentos de onda visíveis e de infravermelhos do espectro electromagnético. Estes sensores não emitem radiação, apenas recebem luz natural e radiação de calor refletida pela superfície da Terra (Silva, 2011).

O programa *Copernicus* é um programa Europeu que serve para observar a terra; foi criado através de regulamento próprio pelo Parlamento Europeu e pelo Conselho Europeu. O programa assenta num acordo estabelecido entre o Agência Espacial Europeia (ESA) e os respetivos estados membros. O principal objetivo do *Copernicus* é a disponibilização de serviços que permitem o acesso a um conjunto de informações sobre

ambiente, proteção civil, gestão de áreas urbanas, saúde piscas, transportes, turismo, agricultura, Segurança do cidadão entre outros³.

O programa assenta em três componentes essenciais:

- Componente Espaço – Observa a terra através dos satélites;
- Componente *In Situ* – Com o mesmo propósito do anterior, mas com recurso a infraestruturas locais;
- Componente de Serviços – Disponibiliza informação de forma rápida sobre gestão de recursos, Segurança e Proteção Civil.

Os principais utilizadores dos serviços *Copernicus* são decisores políticos e entidades públicas que necessitam de tomar decisões com base em informações de referência e, acima de tudo, atualizadas³.

O Programa *Copernicus* é o contributo Europeu para a Rede Mundial de Sistemas de Observação da Terra (*GEOSS - Global Earth Observation System of Systems*) concebida no âmbito do Grupo de Observação da Terra (*GEO - Group on Earth Observations*)³.

Os Sentinels são um conjunto de famílias de satélites que foram concebidas e desenvolvidas no âmbito do Programa da Componente Espaço para dar resposta aos requisitos do Copernicus (www.dgterritorio.pt)

As imagens do *Sentinel* são obtidas através dos satélites *Sentinels*. Existem vários satélites deste tipo, sendo que cada um deles tem funções específicas de observação. O *Sentinel-1* trabalha na região das micro-ondas, sendo que os *Sentinel-2 e-3* trabalham nas regiões do visível e do infravermelho do espectro eletromagnético⁴.

A luz visível é o tipo de radiação eletromagnética mais familiar ao ser humano, uma vez que o olho humano regista a informação nestes comprimentos de onda. A radiação com comprimento de onda imediatamente superior à radiação no espectro do visível corresponde ao infravermelho. Uma gama muito específica de sensores opera no espectro do visível e infravermelho (Lira, 2016).

Na região espectral do infravermelho próximo, com o aumento do comprimento de onda, aumenta também a absorvidade e a eficiência da dispersão de luz, enquanto

³ Disponível em: <http://www.dgterritorio.pt/copernicus/>

⁴ Disponível em :

http://www.dgterritorio.pt/cartografia_e_geodesia/cartografia/detecao_remota/copernicus/componente_espaco/breve_descricao_dos_satelites_sentinel/.

a sobreposição das bandas e a profundidade de penetração diminuem. Assim, a região espectral ideal para ser usada para a análise de uma amostra é determinada pela correspondência entre as propriedades espectrais da região do infravermelho próximo com a performance analítica requerida. O infravermelho próximo é importante pela sua capacidade de detetar vegetação e concentrações de humidade (F. D. Martins, 2012).

No que concerne à sua missão, os *Sentinel-1 e 3* dedicam-se a monitorização dos meios terrestre e marinho, enquanto o *Sentinel-2* se dedica essencialmente à monitorização do meio terrestre. De forma a obter de aumentar a frequência de imagens cada *Sentinel* usa dois satélites.

O Sentinel-2 dispõe de um sensor MSI (*Multispectral Instrument*) com 13 bandas espectrais, com grande resolução espacial (10, 20 ou 60m dependendo da banda) e uma resolução temporal de 10 dias com 1 satélite ou 5 dias se os dois satélites estiverem operacionais.

A missão do Sentinel-2 é na sua maioria dedicada às seguintes funções:

- Criação de mapas de ocupação e uso do solo, mapas de variáveis biogeofísicas;
- Serviços de suporte à gestão de emergências;
- Serviços de segurança (vigilância marítima e das fronteiras);
- Monitorização das alterações climáticas.

TABELA 1 - Bandas do Sentinel-2

Sentinel-2 Bandas	Comprimento de Onda (λ)	Resolução (m)
Banda 1 – Coastal Aerosol	0.443	60
Banda 2 – Blue	0.490	10
Banda 3 – Green	0.560	10
Banda 4 - Red	0.665	10
Banda 5 – Vegetation red edge	0.705	20
Banda 6 – Vegetation red edge	0.740	20
Banda 7 – Vegetation red edge	0.783	20
Banda 8 – NIR	0.842	10
Banda 8A – Vegetation red edge	0.865	20
Banda 9 – Water Vapour	0.945	60
Banda 10 – SWIR - Cirrus	1.375	60
Banda 11 - SWIR	1.610	20
Banda 12 - SWIR	2.190	20

FONTE: (ESA, 2013)

3.1. Classificação de Imagens de Satélite

Existem dois métodos de classificação de imagem: classificação supervisionada e classificação não supervisionada. Na classificação supervisionada, o utilizador define as assinaturas espectrais de categorias conhecidas, tais como o meio urbano, florestas e água, o algoritmo irá associar cada *pixel* da imagem à assinatura mais similar. Na classificação não supervisionada, o programa agrupa pixéis em categorias de assinaturas parecidas e o utilizador identifica que tipo de cobertura efetivamente aquelas categorias representam (IBAMA, 2007).

Os passos para a classificação supervisionada podem ser resumidos nos seguintes:

1. Localizar exemplos representativos de cada tipo de cobertura que pode ser identificado na imagem (as designadas áreas de treino);

2. Digitalizar polígonos em torno de cada área de treino, atribuindo um único código para cada tipo de cobertura;

3. Analisar os pixéis contidos nas áreas de treino e criar assinaturas espectrais para cada tipo de cobertura;

4. Classificar a imagem inteira considerando cada *pixel* individualmente, comparando a sua assinatura particular com cada uma das assinaturas conhecidas. As chamadas classificações rígidas resultam da atribuição de cada *pixel* à classe de cobertura que tem a assinatura mais similar. Classificações relativas, por outro lado, avaliam o grau de associação do *pixel* em todas as classes em consideração, incluindo classes desconhecidas e não especificadas. Decisões sobre quão similares as assinaturas são umas das outras são feitas através de análises estatísticas. Existem diversas técnicas distintas que podem ser utilizadas -- frequentemente denominadas *classificadores* (IBAMA , 2007).

O objetivo é atribuir todos os pixéis da imagem a classes ou termos específicos (água, floresta de coníferas, milho, entre outros). A imagem final é o resultado do conjunto de vários pixéis, que irão originar um mosaico de pixéis com um determinado tema específico.

3.2. Classificação supervisionada com aprendizagem automática

O termo *Machine Learning* (ML) é conhecido como *aprendizagem automática* ou *aprendizagem máquina*, é um ramo da Inteligência Artificial (IA), cujo objetivo é o desenvolvimento de técnicas que permitam que os computadores aprendam. São vários os campos de aplicação, por exemplo o processamento digital de imagem, reconhecimento automático de padrões muito aplicados na detecção remota.

Um exemplo muito interessante de ML relacionado com Sistemas de Informação Geográfica é a criação de modelos preditivos baseados na monitorização de áreas cultivadas através de imagens de satélite com alta resolução temporal (imagens capturadas a cada poucos dias na mesma área). Essa técnica permite discriminar as diferentes culturas que podem ter uma assinatura espectral muito semelhante, onde os ciclos de crescimento sazonais são diferentes, e nos ajudam não apenas a diferenciá-los, mas também a fazer estimativas de produção.

As imagens como fonte de dados para o ML podem ser de diferentes tipos, tendo em consideração a resolução espacial, radiométrica, temporal e espectral.

No que respeita à resolução espectral os satélites/sensores podem ter imagens do tipo:

- Pancromática: são imagens monótonas (geralmente exibidas em escala de cinza) capaz de registar a energia electromagnética numa única banda de frequências que inclui a maior parte da zona da luz visível (www.snig.igeo.pt).
- Multiespectral: imagens que contem várias bandas em diferentes áreas do espectro eletromagnético (geralmente mais de 10 e menos do que 50 bandas).
- Hiperespectral: imagens que contem mais do que 100 bandas.

Quanto ao tipo de sensor podem ser obtidas através de imagens óticas, por RADAR (Radio Detection And Ranging) e LiDAR (Light Detection And Ranging). As imagens RADAR são imagens capturadas na área do espectro do radar, capaz de detetar movimentos de terra de milímetros, e até mesmo calcular o degelo nos pólos, graças à capacidade de penetrar no gelo de certos tipos de ondas de radar. As imagens LiDAR é um sensor remoto ativo que é acoplado a uma aeronave tripulada ou não tripulada, usa um método direto de captura de dados, possui uma fonte própria de energia, o Laser (www.dsr.inpe.br). Os algoritmos mais conhecidos do *Machine Learning* são:

- *Support Vector Machine* (SVM) é um classificador supervisionado que normalmente requer menos amostras de treino do que a maioria dos classificadores, não requer que amostras sejam distribuídas sob qualquer tipo de padrão, gera pouco ruído e pode ser aplicado a qualquer tipo de imagem.

- Árvores de Decisão

As árvores de decisão são um dos algoritmos do *Machine Learning*, são uma forma simples para analisar várias variáveis. Permite prever, explicar, descrever e classificar um conjunto de dados. Uma das características deste tipo de classificador que mais atrai os seus utilizadores, prende-se com a representação clara de como o conjunto de dados inicial se divide e se associa a uma determinada classe. Outros pontos fortes das Árvores de Decisão consistem na aceitação de vários tipos de variáveis (nominais, ordinais e intervalares). As Árvores de Decisão têm por base algoritmos que

dividem o conjunto inicial de dados em subconjuntos mais homogêneos que por sua vez se podem dividir em subconjuntos ainda mais homogêneos (Serras, 2015).

- Redes Neurais Artificiais

As redes neuronais artificiais (ANN, do inglês *Artificial Neural Networks*) assemelham-se ao cérebro humano em dois aspectos: (1) o conhecimento é adquirido pela rede através de um processo de aprendizagem e (2) as forças das conexões existentes entre os neurónios, conhecidas por pesos sinápticos, são utilizadas para guardar o conhecimento adquirido. O objetivo das ANN consiste na compreensão e conseguinte aplicação das bases do sistema biológico, de forma a otimizar a resolução de problemas complexos (Serras, 2015).

Atualmente as ANN são utilizadas em problemas de classificação, análise de séries temporais, predição, entre outros. Algumas das características das Redes Neurais que mais atraem os investigadores são: a não linearidade, a insensibilidade ao ruído, a capacidade de generalização, a robustez e o rápido processamento (Serras, 2015).

- Florestas Aleatórias

A floresta aleatória pode ser identificada como uma coleção de árvores de decisão (figura 2), como o próprio nome diz. Cada árvore tenta estimar uma classificação e isso é chamado como “voto”. Idealmente, consideramos cada voto de cada árvore e escolhemos a classificação mais votada (<https://medium.com>).

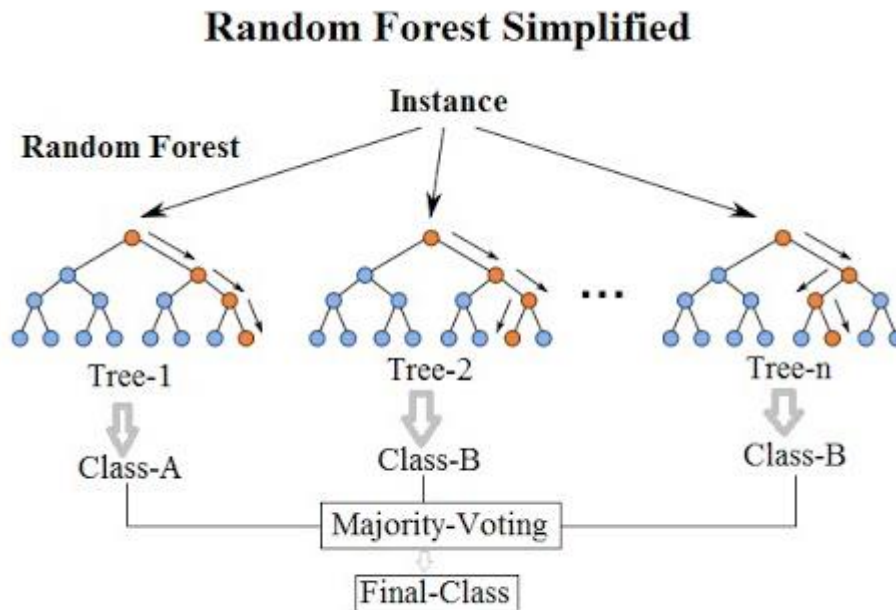


FIGURA 2 - Algoritmo da Florestas Aleatória

(FONTE: <https://www.kdnuggets.com/wp-content/uploads/rand-forest-1.jpg>).

3.3. Principais trabalhos desenvolvidos

A recolha e tratamento de imagens de satélite para monitorização de espécies invasoras tem registado ao longo dos tempos um crescimento acentuado, talvez um dos motivos seja a crescente área afetada.

Estudos mostram que as imagens do programa *Landsat* podem ser usadas para o mapeamento da distribuição espacial de espécies invasoras, com bom nível de precisão. Um dos muitos exemplos é dado por César de Sá e colaboradores (2017), que usando análises de Mann-Kendall, mostraram com sucesso a história das principais mudanças na cobertura do solo que facilitaram a invasão por várias espécies de *Acacia* spp. O estudo destacou a intervenção humana, nomeadamente a remoção da cobertura vegetal, como um dos principais impulsionadores da invasão. Do ponto de vista da gestão, o mapeamento baseado no *Landsat* da distribuição de *Acacia* spp. com este nível de precisão é mais fácil e menos dispendioso do que as abordagens baseadas na monitorização *in situ*. Os resultados do estudo de César de Sá et al (2017), podem ser utilizados pelos gestores para decidir como alocar seus recursos para melhor combater

a invasão, considerando a eficácia das estratégias previamente aplicadas e evitando a repetição de opções mal sucedidas.

As invasões biológicas são um impulsionador da mudança ambiental que assistimos, na atualidade. A detecção remota tornou-se gradualmente numa ferramenta fundamental para entender os padrões de invasão, processos e impactos. No entanto, uma análise quantitativa do progresso e extensão das aplicações de detecção remota está em falta. Esta visão é necessária para apoiar o desenvolvimento de *frameworks* mais operacionais baseados em detecção remota que possam efetivamente melhorar a gestão de invasoras. Estudos desde a década de 1970 mostram que a detecção remota foi inicialmente usada para a detecção de espécies invasoras, evoluindo em meados da década de 2000 no sentido de obter uma ferramenta para avaliar os impactos da invasão (Vaz et al., 2018).

Além da detecção de espécies invasoras, a detecção remota também contribui para a previsão de etapas iniciais de invasão, bem como a avaliação dos seus impactos, avaliar a extensão das invasões, antecipa futuras áreas ocupadas por invasoras, apoiando a prevenção e a erradicação em estágios iniciais (Viana et al., 2010).

Para muitas espécies, as imagens de satélite obtidas durante a época de floração, são as mais recomendadas para obter uma distribuição detalhada de espécies de vegetação, nomeadamente de espécies invasoras, permitindo um mapeamento das mesmas para a sua possível gestão (Martins et al., 2016).

De acordo com Cueva (2014), foram feitos vários estudos de forma a conseguir uma avaliação detalhada no nível de invasão da *Acacia dealbata* na Península Ibérica. Para isso foram usados dados do IFN.3. Nessa altura não foi possível identificar com precisão a presença de *Acacia dealbata* através das fotografias a preto e branco tiradas em 1985. Os resultados desse estudo confirmam que as áreas atualmente ocupadas por *Acacia dealbata* são originadas por florestas degradadas e abertas. A matriz de transição entre a cobertura florestal em 1985 e 2003 e as análises de correlação parecem apoiar essa hipótese. Existe uma relação positiva entre a área de distribuição de *Acacia dealbata* em 2003 e a quantidade de floresta sem fins de produção de madeira em 1985. Não existiriam condições climáticas que apoiassem esse acontecimento, o que significa que a maioria das florestas degradadas ou abertas são originárias por incêndios florestais. (Cueva, 2014)

De acordo com Musole et al. (2019) através de imagens do *Sentinel-2* foi possível caracterizar a distribuição de espécies invasoras na Zâmbia. A alta resolução espectral e espacial contribui para melhorar a precisão do mapeamento das plantas invasoras tendo obtido valores de 82.35% de precisão com dados retirados do *Sentinel-2*. Esses dados apresentaram alta resolução espectral e moderada a alta espacial. Plantas invasoras alteram habitats e reduzem a biodiversidade de plantas e animais, criando ainda mais oportunidades para as espécies invasoras.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de Estudo

O concelho de Gavião, pertence ao distrito de Portalegre e está incluído na região Alentejo (NUT II) e sub-região Médio-Tejo (NUT III), parte integrante da Comunidade Intermunicipal do Alto Alentejo (CIMAA). Na Figura 3 pode ser observada a área de estudo.

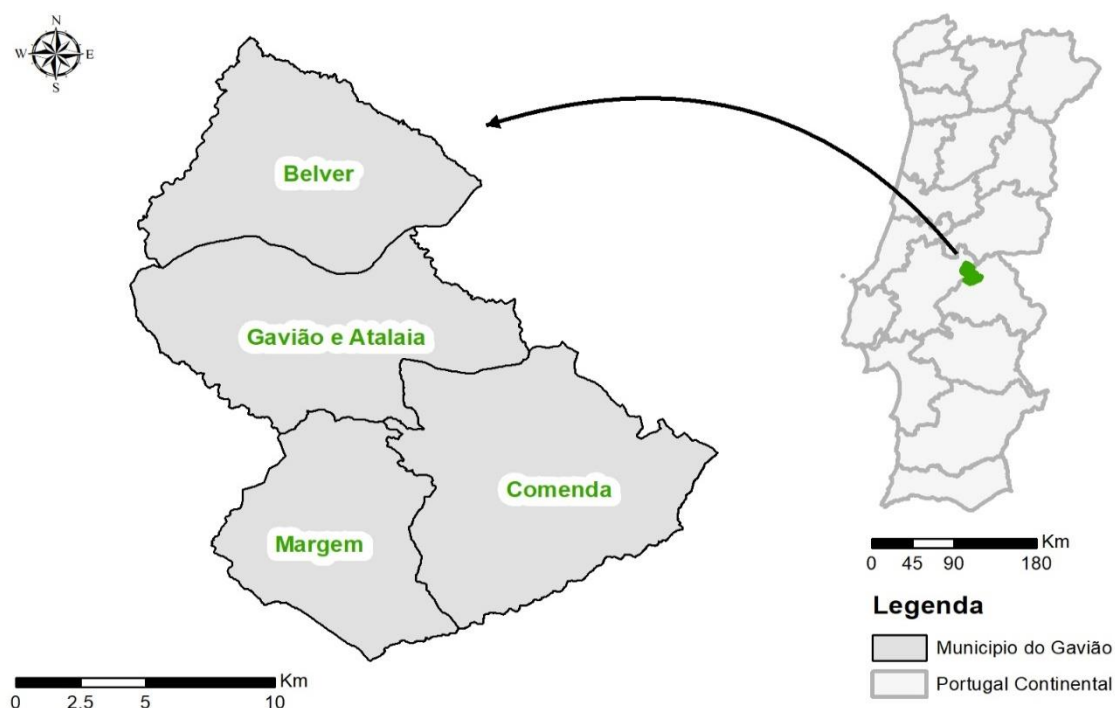


FIGURA 3 – Área de estudo com as respetivas Freguesias

Carateriza-se por uma diferenciação geográfica dos restantes concelhos do Alto Alentejo, pois ocupa a transição entre o Alentejo, a Beira Interior e o Ribatejo, partilhando entre si o rio Tejo. Localiza-se no Centro do País, estando limitado a Norte pelo concelho de Mação, a sul pelos concelhos de Crato e Ponte de Sor, poente pelo concelho de Abrantes e a nascente pelo concelho de Nisa.

Segundo a Carta Administrativa Oficial de Portugal (CAOP 2018), o concelho ocupa uma superfície de 294,595km² os quais se distribuem pelas suas atuais quatro freguesias: Belver (69,839km²), Comenda (90,022km²), União de Freguesias de Gavião e Atalaia (77,881km²) e Margem (56,853 km²), todas elas com carácter rural.

De acordo com dados da Estação de Portalegre IPMA, (2015), o concelho de Gavião apresenta uma temperatura média anual de 15,2°C, sendo que regista os valores mensais mais elevados nos meses de julho e agosto (23,5°C). Em oposição, as temperaturas médias mensais mais baixas registam-se em janeiro (8,5°C), em fevereiro (9,4°C) e em dezembro (9,5°C).

Em termos de valores médios diários da temperatura máxima, estes variam entre os 11,4°C registados no mês de janeiro e os 29,8°C observados no mês de julho. No que diz respeito aos valores médios diários da temperatura mínima, estes variam entre os 5,7°C observados no mês de janeiro e os 17,3°C registados no mês de julho.

Quanto aos valores extremos de temperatura, constata-se que a maior temperatura máxima oscilou entre os 40,4°C observados em julho e os 20,4°C observados no mês de janeiro. No que diz respeito à menor temperatura máxima, esta variou entre os 16,9°C registados em agosto e os 0,7°C registados no mês de fevereiro. Em relação aos valores extremos da temperatura mínima, observa-se que a maior temperatura mínima oscilou entre os 30,2°C, verificados no mês de junho, e os 14,0°C registados no mês de fevereiro. A menor temperatura mínima oscilou entre os 8,6°C observados no mês de agosto e os -4,5°C em janeiro.

A precipitação média anual é de 852,4 mm, sendo os maiores quantitativos pluviométricos registados nos meses de dezembro (136 mm), novembro (114,9 mm) e janeiro (109,6 mm). Por outro lado, os menores quantitativos pluviométricos observam-se nos meses de verão, em particular, em julho (7,5 mm) e agosto (8,5 mm).

Relativamente à precipitação máxima diária é nos meses de outubro (75,5 mm) e dezembro (67,5 mm) que se registam os maiores valores dos quantitativos

pluviométricos máximos diários. Em oposição, os valores mais baixos de precipitação máxima diária registam-se nos meses de agosto (20,5 mm) e julho (28,7 mm).

No que concerne à geada, este fenómeno ocorre com maior frequência nos meses de inverno, mais especificamente em janeiro (3,8 dias) e dezembro (4,2 dias).

4.1.1. Uso do Solo e Ocupação Atual

De acordo com a Carta de Ocupação do Solo de 2015, o Concelho do Gavião tem 66,56% de área total ocupada por Floresta, sendo que a segunda ocupação do solo com maior expressão são os Matos com 14,2%. A ocupação do solo com menor expressão são as Zonas Húmidas com 0,005%.

TABELA 2 - Carta de Ocupação do Solo

Classe de Uso do Solo	Área (ha)	%
Agricultura	2629,80	8,927
Corpos de Água	231,46	0,786
Espaços descobertos ou com vegetação esparsa	69,10	0,235
Florestas	19609,15	66,563
Matos	4184,14	14,203
Pastagens	1163,21	3,949
Sistemas agro-florestais	1244,35	4,224
Territórios artificializados	326,89	1,110
Zonas húmidas	1,35	0,005
Total Geral	29459,45	100,00

FONTE: COS 2015

Relativamente às espécies florestais e invasoras que compõem a floresta do Concelho do Gavião, verifica-se que o sobreiro é a espécie predominante com 46% de ocupação, seguindo-se o eucalipto com 37% (Figura 4). Face ao conhecimento existente do território, neste momento a ocupação com mais relevância em termos de áreas será o eucalipto. À semelhança do que está a acontecer em todo o território, a elevada recorrência de incêndios florestais tem feito com que a área ocupada por pinheiro-bravo tenha vindo a diminuir significativamente.

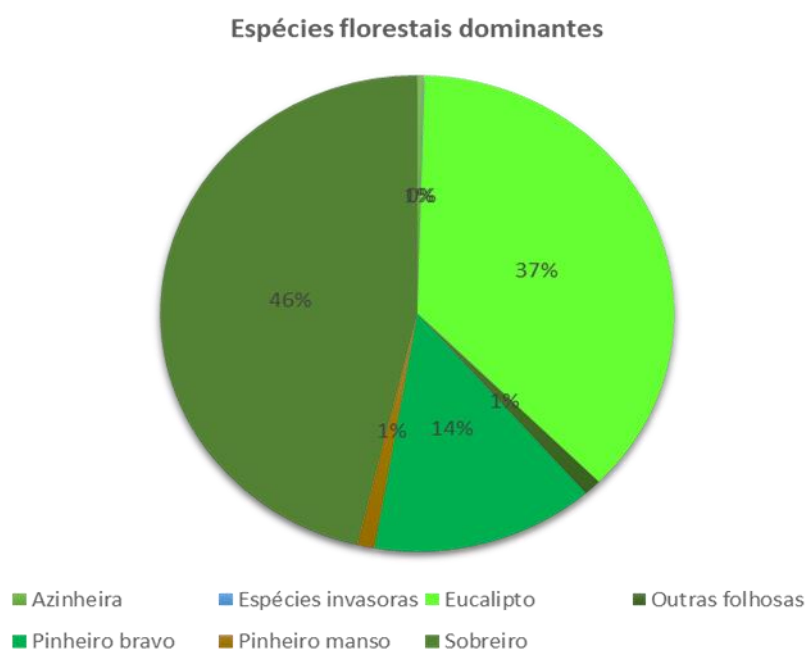


FIGURA 4 - Espécies Florestais Dominantes

FONTE: COS 2015

4.2 Espécies abrangidas pelo estudo

Nos cerca de 30.000 hectares de território do concelho de Gavião, a área abrangida por espécies invasoras tem vindo a aumentar. No âmbito do presente trabalho, focamos a análise em duas espécies de *Acacia* (*A. dealbata* e *A. mearnsii*), *Hakea sericea* e *Myriophyllum aquaticum*, por serem as que apresentam maior distribuição na área de estudo. De todas as espécies existentes aquelas que apresentam maior vigor de invasão e maior distribuição são as acácias.

4.2.1 *Acacia dealbata* Link.

A *Acacia dealbata* (figura 5) é vulgarmente conhecida por mimosa, é originária do Sudeste da Austrália (Nova Gales do Sul, Vitória) e Tasmânia, e pertence à família *Fabaceae* (*Leguminosae*). Em Portugal está listada no anexo II do Decreto-Lei n.º 92/2019, de 10 de julho, como invasora (invasoras.pt, 2014).

De acordo com o protocolo adaptado do *Australian Weed Risk Assessment*, cujos valores acima de 6 indicam que a espécie tem risco de comportamento invasor

(www.invasoras.pt), *A. dealbata* obteve o nível de risco de 31 no território Português (Morais et al., 2017).

É uma árvore que pode atingir os 15 metros de altura, com ritidoma liso, acinzentado. As suas folhas são perenes, verde-acinzentadas, recompostas, com 10-26 pares de pínulas, por sua vez com 20-50 pares de folíolos, estes com 2-5 x 0,4-0,7 mm; o ráquis central da folha tem glândulas apenas nas zonas de inserção das pínulas o que a distingue de *A. mearnsii*. (invasoras.pt, 2014). Os frutos são vagens castanho-avermelhadas, comprimidas, pruinosas, ± contraídas entre as sementes. A época da floração ocorre normalmente entre janeiro e abril, sendo as suas flores amarelo-vivo reunidas em capítulos de 5-6mm de diâmetro, formando grandes panículas (Marchante, 2007).

É uma espécie que se reproduz vegetativamente, formando vigorosos rebentos de touça ou raiz após o corte. Também se reproduz por via seminal produzindo muitas sementes, que se acumulam em bancos de sementes muito numerosos, permanecendo viáveis no solo durante muitos anos. As sementes são dispersas por animais, sobretudo por pássaros e formigas, e, por vezes, por ventos fortes o que leva à formação de focos de invasão dispersos e/ou afastados das áreas invadidas. A maioria acumula-se debaixo da árvore onde formam bancos de sementes numerosos. Germina intensivamente após a passagem do fogo, sendo esse um dos seus principais estímulos.

A *Acacia dealbata* está presente em todos os Distritos do território de Portugal continental, bem como no arquipélago da Madeira. Facilmente se encontram nas margens dos cursos de água, vias de comunicações, zonas frescas como vales. Foi introduzida para fins ornamentais e cultivada para a fixação de solos e como espécie florestal. O seu carácter invasor está muito associado ao facto de formar vigorosos rebentos de touça ou raiz, após o corte, e à produção de numerosas sementes (invasoras.pt, 2014).



FIGURA 5- *Acacia dealbata*, junto à EN244 em Gavião, maio 2019

4.2.2 *Acacia mearnsii* De Wild.

A *Acacia mearnsii* (Figura 6) é vulgarmente conhecida por acácia-negra, é originária do Sudeste da Austrália e Tasmânia, e pertence à família *Fabaceae* (*Leguminosae*). Em Portugal está listada no anexo II do Decreto-Lei n.º 92/2019, de 10 de julho, como invasora e está presente em todos os Distritos do território Português, com exceção dos Distritos do interior norte.

De acordo com o protocolo adaptado do *Australian Weed Risk Assessment*), *A. mearnsii* obteve o nível de risco de 27 no território Português (Morais et al., 2017).

É uma árvore que pode atingir os 10 metros de altura e tem ramos com sulcos superficiais e ápices jovens dourados, devido aos numerosos pelos com essa tonalidade. As suas folhas são perenes, verde- escuras finamente pilosas, recompostas, de 3-14 cm de comprimento, com 8-25 pares de pínulas, por sua vez com 30-70 pares de folíolos, estes com 1,5-4 x 0,5-0,8 mm; ráquis central da folha com glândulas de tamanhos diferentes distribuídas irregularmente (Carvalho, 1999). Os frutos são vagens castanho-escuros, comprimidas, mais ou menos retas, contraídas entre as sementes. A época da

floração ocorre normalmente entre março e maio, sendo as suas flores amarelo-pálidas reunidas em capítulos de 5-6mm de diâmetro (Carvalho, 1999).

É uma espécie que se reproduz principalmente por via seminal produzindo um enorme banco de sementes, permanecendo viáveis no solo mais de 50 anos. Contudo, também se pode reproduzir vegetativamente, formando rebentos vigorosos de touça e raiz. A dispersão das sementes faz-se pelo vento, animais ou água. Como em outras espécies germina intensivamente após a passagem do fogo, sendo esse um dos seus principais estímulos (Carvalho, 1999).



FIGURA 6 - *Acacia mearnsii*, junto à EN244 em Gavião, maio de 2019

4.2.3 *Hakea sericea* Schrader

A *Hakea sericea* (Figura 7) é vulgarmente conhecida por háquea-picante, espinheiro-bravo, salina ou háquea-espinhosa, é originária do Sul da Austrália, e pertence à família *Proteaceae*. Em Portugal está listada no anexo II do Decreto-Lei n.º 92/2019, de 10 de julho, como invasora e está presente praticamente em todos os Distritos do território Português, com exceção de algumas zonas do Alentejo (www.invasoras.pt, 2015).

De acordo com o protocolo adaptado a partir do *Australian Weed Risk Assessment*, *H.sericea* obteve o nível de risco de 22 no território Português (Morais et al., 2017).

A *Hakea sericea* é um arbusto ou pequena árvore de até 4 m, de copa irregular. Tem folhas perenes, em agulha de 0,5-1,5 mm de diâmetro, muito robustas, com 4-8 cm, extremamente aguçadas, verde-escuras a verde-acinzentadas (Estatuto et al., 2015). Os seus frutos são folículos lenhosos, com 3 (-4) cm, castanho-escuros, com crista e bico patentes, contendo duas sementes aladas, pretas. A época da floração ocorre normalmente entre janeiro e abril, sendo as suas flores brancas, pouco vistosas, reunidas em fascículos axilares com 1-7 flores (Estatuto et al., 2015).

É uma espécie que se reproduz por via seminal. Frequentemente as sementes permanecem aprisionadas nos frutos, agarrados à árvore, ao longo da vida da planta, sendo libertadas quando a árvore é queimada ou morre de outra forma. As sementes são depois libertadas e projetadas, por vezes para grandes distâncias, criando novos focos de invasão que frequentemente ocupam áreas muito extensas. Como em outras espécies germina intensivamente após a passagem do fogo, não porque o fogo estimule a germinação, mas porque estimula a deiscência dos frutos e dispersão das sementes, sendo esse o seu principal estímulo (Estatuto et al., 2015).



FIGURA 7 - *Hakea sericea*, junto ao quartel dos Bombeiros de Gavião, maio de 2019

4.2.4 *Myriophyllum aquaticum* (Velloso) Verdc.

Myriophyllum aquaticum (figura 8) é uma erva aquática que é vulgarmente conhecida por erva-pinheirinha ou pinheirinha-de-água, é originária da América do Sul nomeadamente Estados meridionais do Brasil, Peru, Uruguai, Argentina e Chile, e pertence à família *Haloragaceae*. Em Portugal está listada no anexo II do Decreto-Lei n.º 92/2019, de 10 de julho, como invasora e está presente praticamente em todos os Distritos do território Português, com exceção de algumas zonas do Alentejo. (Invasoras.pt, 2015)

De acordo com o protocolo adaptado do *Australian Weed Risk Assessment*, *Myriophyllum aquaticum* obteve o nível de risco de 23 no território Português (Invasoras.pt, 2015).

A *Myriophyllum aquaticum* é uma erva aquática que pode atingir os 2 m, por vezes pode ser sub-lenhosa na sua base. Possui 4 a 6 folhas por nó, com 15-40mm, normalmente mais longas (as emergentes) do que os entrenós, as folhas emergentes

são verde-azuladas, cobertas por glândulas hemisféricas, minúsculas e transparentes, recortadas em 8-30 segmentos de 3-6 mm. As flores são unissexuais, amareladas ou rosa-claras, solitárias, axilares, pétalas das flores masculinas com 5 mm, inexistentes nas femininas. Os seus frutos são ovoides, papilosos, com 1,8 X 1,2 mm. A época da floração ocorre normalmente entre maio e outubro (Invasoras.pt, 2015).



FIGURA 8 - *Myriophyllum aquaticum*, presente na Ribeira da Venda, Freguesia de Comenda, Concelho de Gavião, junho de 2019

4.3. Recolha de dados de localização das espécies

Os dados foram recolhidos em campo entre março e julho de 2019. À medida que se percorreu o território da área de estudo foram-se identificando as espécies invasoras alvo do estudo e procedeu-se ao seu registo no smartphone através da aplicação “Plantas Invasoras” (disponível em: www.invasoras.pt)(figura 9). Esse registo permitiu registar um conjunto de informações extremamente importantes sobre os núcleos georreferenciados de espécie, nomeadamente:

- efetuar o registo fotográfico dos indivíduos da espécie, com georreferenciação fotográfica, sendo possível posteriormente observar a mesma na base de dados de avistamentos;

- Identificar a densidade que a espécie apresenta no local (uma, poucas, manchas até 100m², manchas superiores a 1 hectare);
- Identificar o Habitat onde ocorre (jardim, pinhal, eucaliptal, carvalhal, duna, área agrícola, berma de estrada, terreno inculto, na água, linhas de média tensão ou até mesmo na beira de estrada/caminho de ferro);
- Identificar o estado fenológico das plantas observadas (folha, flor ou fruto);
- Registar o estado de desenvolvimento da espécie (Plântula, planta jovem ou planta adulta);
- Permite ainda descrever informações adicionais que sejam pertinentes.



FIGURA 9 – Imagem incluindo uma captura de ecrã da App das Plantas Invasoras

(FONTE: www.invasoras.pt).

Os registos de cada ponto, para cada uma das espécies, ficaram depois disponíveis para consulta na plataforma, onde se juntaram a todas as localizações das espécies de plantas invasoras registadas em Portugal. Face à dimensão do território, optou-se por não se efetuar registos a norte do Rio Tejo (freguesia de Belver); para essa decisão também contribui o facto de praticamente toda a área da freguesia ter ardido nos incêndios ocorridos em 2017.

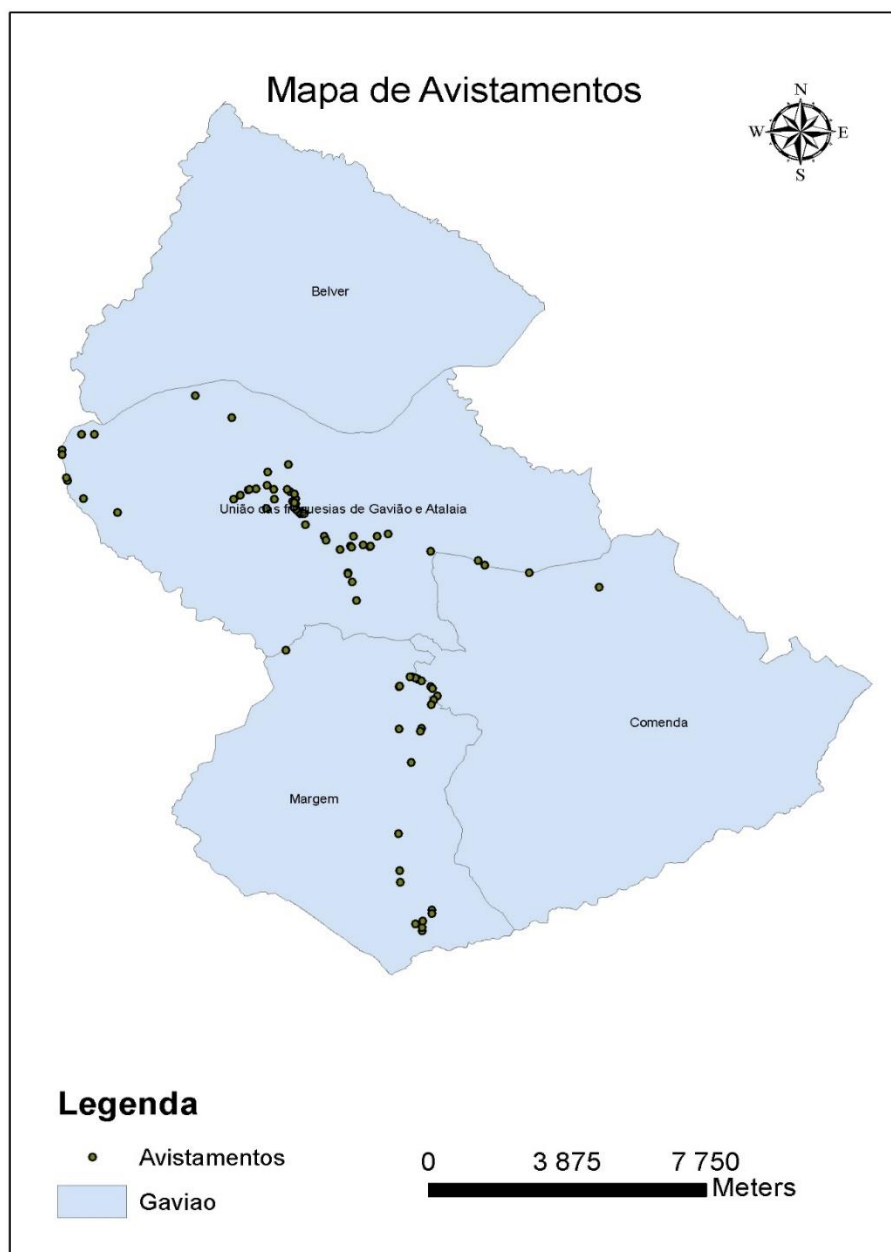


FIGURA 10 - Mapa de Avistamentos de Espécies Invasoras registados na aplicação

Depois de obter uma amostra significativa de pontos das espécies invasoras em estudo, nomeadamente de *Acacia* spp. e *Hakea sericea*, procedeu-se à utilização de técnicas de deteção remota para determinar a quantidade dessas espécies invasoras existentes no território. Sabe-se que existe uma enorme área abrangida que não foi inserida na aplicação, contudo, espera-se que com a deteção remota possam ser identificadas mais localizações das espécies.

4.4 Classificação de Imagens de Satélite

4.4.1 -Imagens de Satélite Sentinel-2

A imagem utilizada para o presente trabalho, foi retirada do satélite Sentinel-2A MSI no dia 25 de maio de 2019, no sítio do *Hub Sentinel*⁵. Cada Sentinel-2 contém 13 bandas espectrais e 3 tipos de resolução espacial diferentes. Utilizou-se o nível 2A das imagens porque estão atmosféricamente corrigidas através do algoritmo SEN2COR. A imagem utilizada (Figura 11) é de falsa cor, isto é, compósito colorido, onde foram usadas as bandas do infravermelho-próximo, a banda do vermelho e a banda do verde cujo número é 8,4 e 3, respetivamente. Uma vez que existe uma correlação entre as bandas do visível (bandas 4,3 e 2), foi usada a banda do infravermelho próximo (IVP) para evidenciar a vegetação. A imagem foi recolhida tendo em conta a época de floração (fenologia) das acácias e háqueas e com uma percentagem de nuvens abaixo de 5%.

O software para tratamento digital de imagem foi o *ArcMAP 10.6* com as ferramentas do *Spatial Analyst* nomeadamente o *Image classification* e o *Segmentation and classification*.

Após a construção dos compósitos coloridos e da correlação entre bandas determinou-se o índice de vegetação normalizado (NDVI) para ajudar a discriminar visualmente os locais com maior presença de vegetação. As acácias geralmente estão associadas a elevados valores de NDVI. Posteriormente definiu-se a unidade espacial de análise que será o segmento, isto é, objeto. O passo definido a seguir foi a nomenclatura das classificações que será descrita no ponto 4.4.2

⁵ <https://scihub.copernicus.eu/>

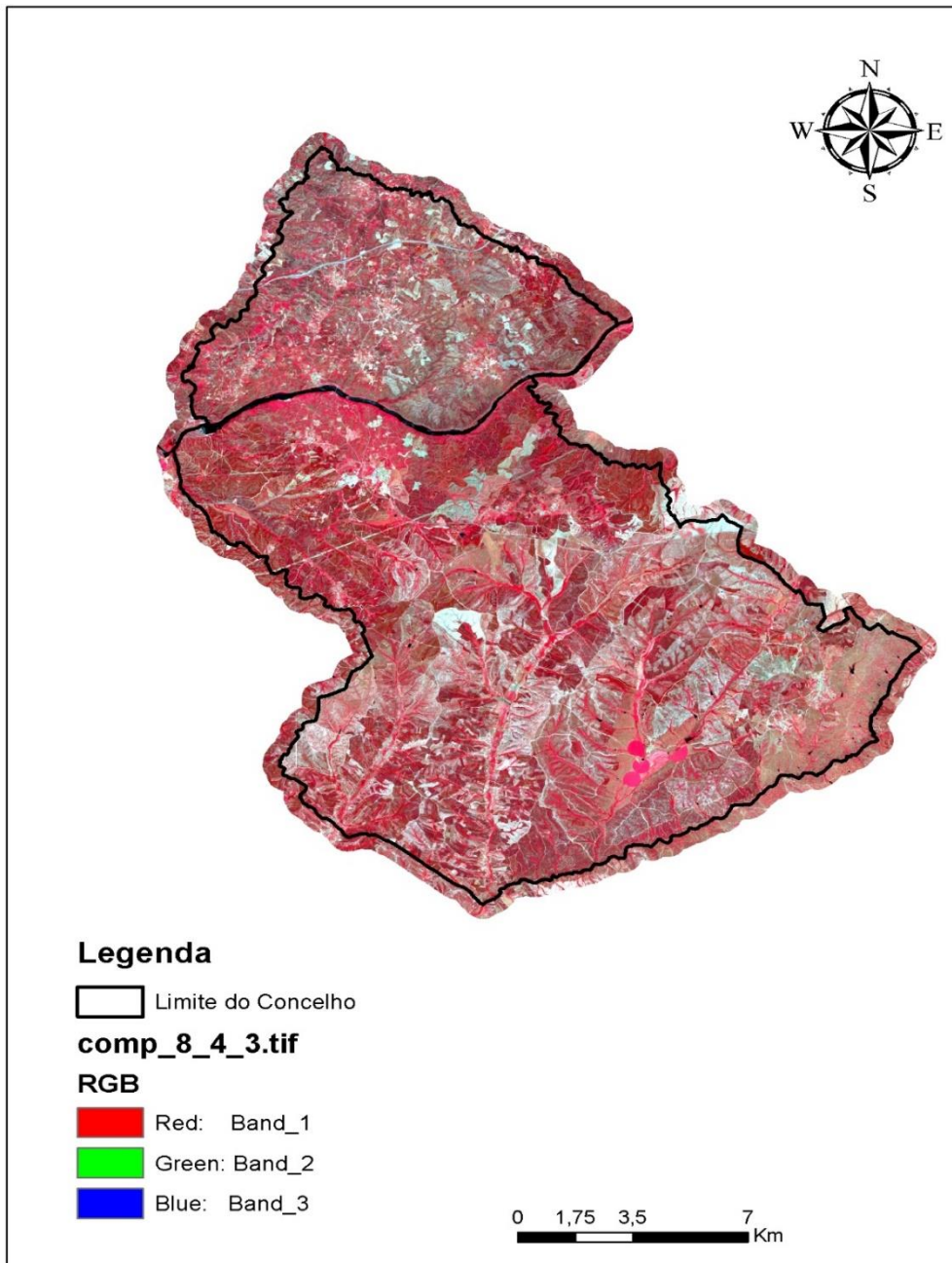


FIGURA 11 - Imagem Satélite falsa Cor do Sentinel-2

4.4.2 Definição da nomenclatura

Face à necessidade existente bem como ao elevado número de espécies que ocupam o solo na área do concelho (figura 4) foi necessário criar uma nomenclatura, juntando-se para isso algumas classes mencionadas no capítulo 4.1.1. A ausência desta taxonomia não permitiria uma classificação adequada e traria maiores dificuldades em aplicar algoritmos de classificação. A definição da nomenclatura foi baseada na a Carta



de Ocupação do Solo (COS) com a especificações em <http://mapas.dgterritorio.pt/atom-dgt/pdf-cous/COS2015/ET-COS-1995-2007-2010-2015.pdf> . No entanto, e face à dificuldade existente em identificar espécies ao nível do pixel, foi necessário reformular as respetivas classes (Tabela 3).






TABELA 3 - Nomenclatura da área de estudo depois do agrupamento de classes

Valor da Classe	Nome da Classe
1	Água
2	Agricultura
3	Área Social
4	Outras Espécies
5	Matos
6	Acacia
7	Cortes e novas Plantações

A tabela 4 apresenta as várias classes de utilização do solo, bem como uma breve descrição de cada classe, sendo a mesma sustentada pelas fotografias anexas a cada classe.

TABELA 4 - Descrição da Nomenclatura com recurso a registo fotográfico

Classe	Descrição
Corpos de água (Zona de água, rios, barragens, etc)	 <p>A ocupação do solo consiste em corpos de água naturais ou artificiais de água doce</p>
Agricultura de sequeiro e regadio	 <p>As culturas de herbáceas de sequeiro/regadio sevem essencialmente para pastagens de animais</p>

<p>Tecido urbano, estradas asfaltadas, Polígonos Industriais, etc</p>	 <p>São áreas artificiais constituídas essencialmente por edificações e estradas</p>
<p>Floresta (Sobreiros, Pinheiro Bravo e Manso, Eucaliptos)</p>	 <p>A ocupação do solo consiste em espécies florestais com altura superior a 4 m e com uma densidade elevada de árvores por Ha</p>
<p>Matos de estevas e háqueas</p>	 <p>A ocupação do solo consiste em vegetação lenhosa (arbustos) com sobre mais de 85% do solo e com menos de 5 m de altura</p>
<p>acácias (<i>A. dealbada</i> e <i>A. mearnsii</i>)</p>	 <p>A ocupação do solo apresentada uma densidade elevada, com arvores jovens e adultas não superiores a 5 m.</p>
<p>Cortes, novas plantações e outras áreas sem vegetação</p>	 <p>Áreas preparadas para novas plantações, zonas que sofreram cortes rasos ou até mesmo locais sem qualquer tipo de vegetação</p>

Face à semelhança que existe entre algumas espécies de matos e as *háqueas*, foi necessário reagrupar as duas espécies, um dos fatores que contribuiu para essa decisão foi a semelhança que existe entre ambas na época da floração. O mesmo aconteceu nas *Acácias*, com este reagrupamento de classes foi possível efetuar uma melhor observação.

4.4.3 Delimitação de áreas treino

A amostra de treino foi efetuada com base num conjunto de polígonos, criados de acordo com a base da nomenclatura definida anteriormente (Tabela 2). Os polígonos foram efetuados através da observação das imagens de satélite e através do conhecimento da área de estudo. A análise de contexto, o padrão espacial, o tom, a cor, forma e distribuição deste tipo de espécies foi tida em conta. Por forma a que se conseguisse obter uma boa amostragem de áreas treino, foram criadas um vasto leque de dados amostrais (cerca de 471, incluindo os associados aos pontos colocados na plataforma “Plantas Invasoras”). As áreas treino foram realizadas/digitalizadas ao nível do objeto. Nesse sentido realizou-se a classificação ao nível do objeto com a ferramenta *Segment mean shift* cujo os parâmetros dos detalhes espectrais e espaciais com o valor máximo (20) com o objetivo de classificar separadamente características espectrais semelhantes. Os polígonos criados vão assumir que o ao código de cada nomenclatura será associado o valor desse pixel.

Na figura 12, foram analisadas as áreas treino delimitadas com base na informação de campo, na COS 2015, na consulta das imagens Google satélite e do compósito colorido de falsa cor criado. A banda 1 corresponde à banda do Infravermelho próximo, e a banda 3 corresponde à banda do vermelho, cada cor representa uma espécie de ocupação de solo.

Ao contrário de outros gráficos apresentados no anexo 1, este apresenta uma boa dispersão das classes, ou seja, a maioria das ocupações de solo estão juntas numa determinada banda, as áreas socias e as outras espécies apresentam a maior dispersão, contudo, estas últimas, mesmo que dispersas estão juntas numa determinada banda.

Na figura 12 verifica-se que existe uma sobreposição considerável nos valores das áreas de treino e no que concerne à separabilidade das bandas verifica-se que existe confusão entre algumas classes de ocupação do solo, nomeadamente entre áreas sociais com cortes, novas plantações e outras áreas sem vegetação.

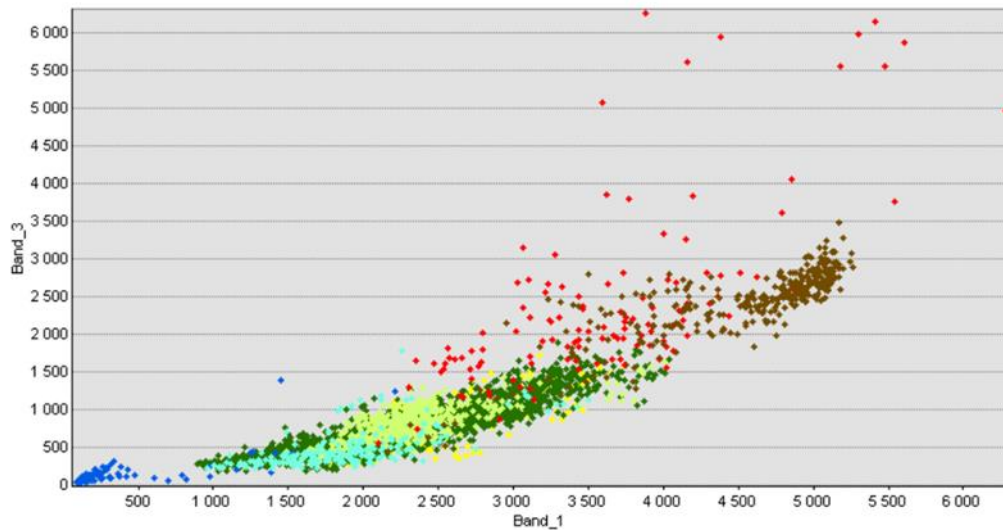


FIGURA 12 - SCATER PLOT DAS ÁREAS DE TREINO E RESPECTIVA SOBREPOSIÇÃO

Através do dendrograma podemos comparar as áreas de treino através da sua semelhança, quanto maior for a diferença entre eles, melhor são os seus dados. Os 471 polígonos criados (figura 13) ocupam uma área de 218.59 hectares.

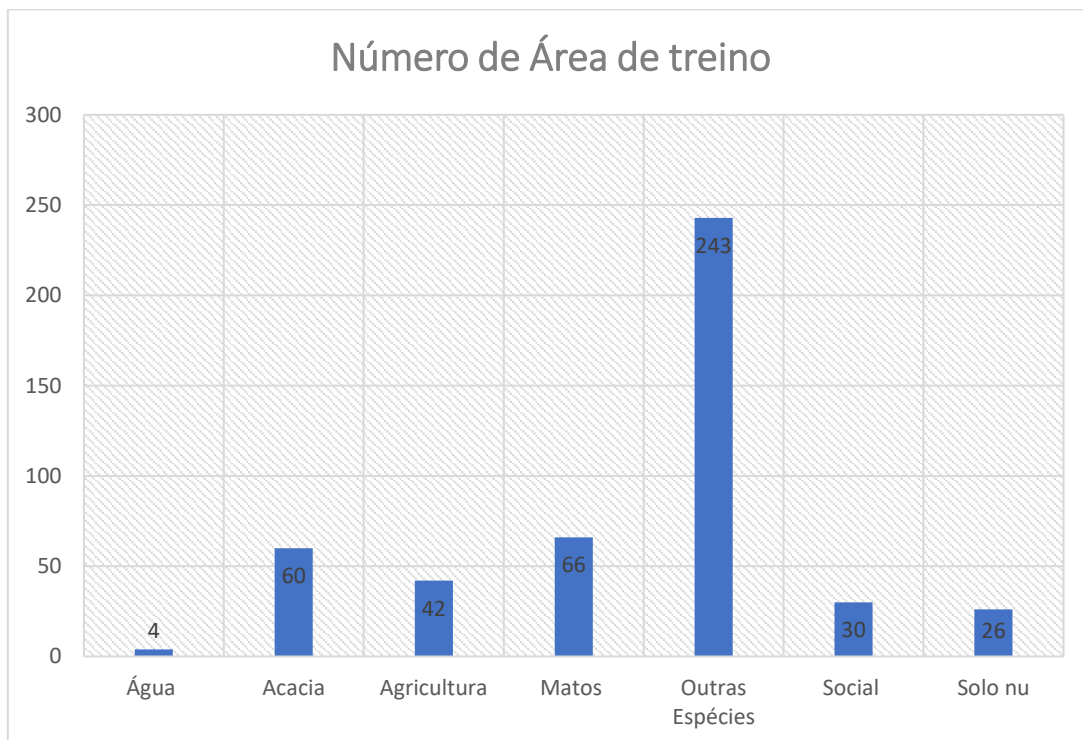


FIGURA 13 – Áreas de Treino de cada espécie

Posteriormente recorreu-se a um dendrograma para caracterizar graficamente a separabilidade dos vários clusters, os quais representam as 7 classes da nomenclatura de ocupação de solo definidas

4.4.4 Classificadores supervisionados com aprendizagem automática

Para a classificação das imagens optou-se por testar técnicas de aprendizagem automática, utilizando os algoritmos de classificação *Random Forests* (Florestas Aleatórias) e o *Support Vector Machine* (Máquinas de Vetor de Suporte). Os parâmetros para ambos os algoritmos aplicados foram os valores por defeito do ArcMAP. O ArcMap apresenta a ferramenta de ML como Random Trees, mas o algoritmo é o Random Forest. A razão pela qual não foi efetuada ao nível do pixel deve-se à tentativa de extração das manchas de acácias e de *háqueas* de acordo com a sua textura, padrão espacial e sobretudo devido à sua posição na paisagem. Geralmente, as acácias estão associadas à proximidade de estradas e linhas de água. No que concerne às *háqueas* estão muito associadas a solos degradados e matagais dominados por estevas.

Após as classificações foi avaliada a exatidão das classificações através da matriz do erro e do Índice Kappa. A verificação da qualidade dos mapas foi realizada através da tabela de Landis and Koch (1977) (Tabela 6).

TABELA 5 - ÍNDICE KAPPA “LANDIS E KOCH” ONDE SE OBSERVA A QUALIDADE DOS MAPAS

Índice Kappa	Qualidade do Mapa
<0,00	Pobre
0,00 – 0,20	Ligeira
0,21 – 0,40	Considerável
0,41 – 0,60	Moderada
0,61 – 0,80	Substancial
0,81 – 1,00	Excelente

4.4.5 Avaliação da exatidão das classificações

Um dos parâmetros mais utilizados e eficientes para quantificar a exatidão de levantamentos é o índice Kappa, que é obtido mediante a adoção de uma referência para comparação dos mapas produzidos. Neste caso, a análise da exatidão das classes de ocupação de solo é obtida através de matrizes de erro, sendo posteriormente calculado o índice Kappa de concordância (Cohen, 1960).

4.5 Elaboração de Proposta de Metodologia para controlo das invasoras presentes na área de estudo

Relativamente às metodologias de controlo propostas são as identificadas como passíveis de poderem ser usadas no controlo das espécies invasoras existentes no território em estudo. Esta informação foi recolhida no portal invasoras.pt (Plantas Invasoras em Portugal, 2018) e depois discutidas com especialistas. As propostas elaboradas incluem uma descrição da metodologia a aplicar, prós e contras, material necessário, bem como a época do ano a efetuar o controlo, facilitando a sua aplicação.

Face à elevada área ocupada por Acácias, foi selecionada uma “área piloto” com cerca de 6 hectares, e explanados aspetos importantes como os custos da intervenção, cronograma, métodos e respetivas prioridades, que terão que ser tidos em conta quando se for efetuar a intervenção. Os cálculos dos custos foram efetuados com base nos valores da tabela CAOF.

5. RESULTADO E DISCUSSÃO

5.1. Análise das assinaturas espectrais

O dendrograma (figura 14) compara assim a semelhança das classes existentes. Neste, o eixo das abcissas indica a distância entre os centros de espaço dimensional característico de cada classe. Quanto maior for esse valor, maior será a distância entre as classes existentes. Por outro lado, conforme a distância (valor da abcissa) observam-se quais as classes que espectralmente têm uma resposta mais semelhante.

Na figura 15, conseguimos observar que as bandas 3 e 7, 4 e 5, 4 e 6, e 2 e 4 apresentam uma distância muito pequena. As bandas que apresentam melhor resultado são as bandas 1 (Água) e 2 (Agricultura), contudo a relação entre as bandas 2 (Agricultura) e 3 (Área Social), também apresenta bons resultados. A classe 3 e 7 formam uma classe, esse facto pode dever-se à proximidade das características entre as áreas sociais (estradas) e o solo nu. A relação existente entre a classe 4 (Outras Espécies) e 5 (Matos) poderá ser explicada pela existência de matos em sub-coberto das florestas. As acácias e as áreas sociais apresentam uma enorme distância, o que na realidade traduz bem a diferença existente entre ambas as classes.

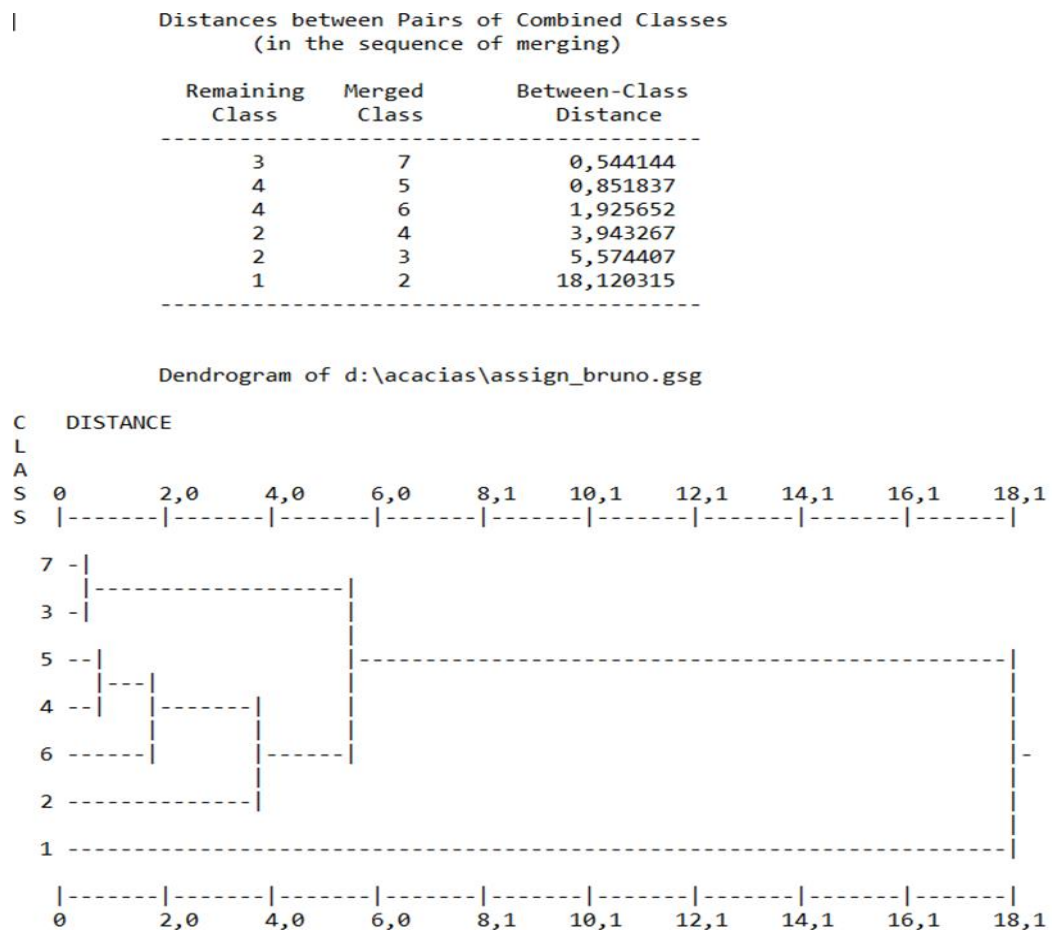


FIGURA 14 – DENDROGRAMA DA NOMENCLATURA (1- ÁGUA, 2 – AGRICULTURA, 3 – ÁREA SOCIAL, 4 – OUTRAS ESPÉCIES, 5 – MATOS, 6 – ACÁCIA, 7 – SOLO NU)

A dificuldade em discriminar os diferentes tipos de vegetação e a distinção entre as mesmas ficou clara através da análise do dendrograma. As folhosas diversas (n.º 5) que ocorrem junto às linhas de água são muitas vezes confundidas com acácias (n.º 6) e vice-versa.

5.2 Classificação: Florestas Aleatórias

O resultado da aplicação do classificador semi-automático com aprendizagem automática Florestas Aleatórias (random forests) pode ser observado na figura 15. Este algoritmo permite associar às áreas treino criadas anteriormente as respetivas classes de nomenclatura, obtendo de seguida um mapa da área de estudo já com as classes existentes.

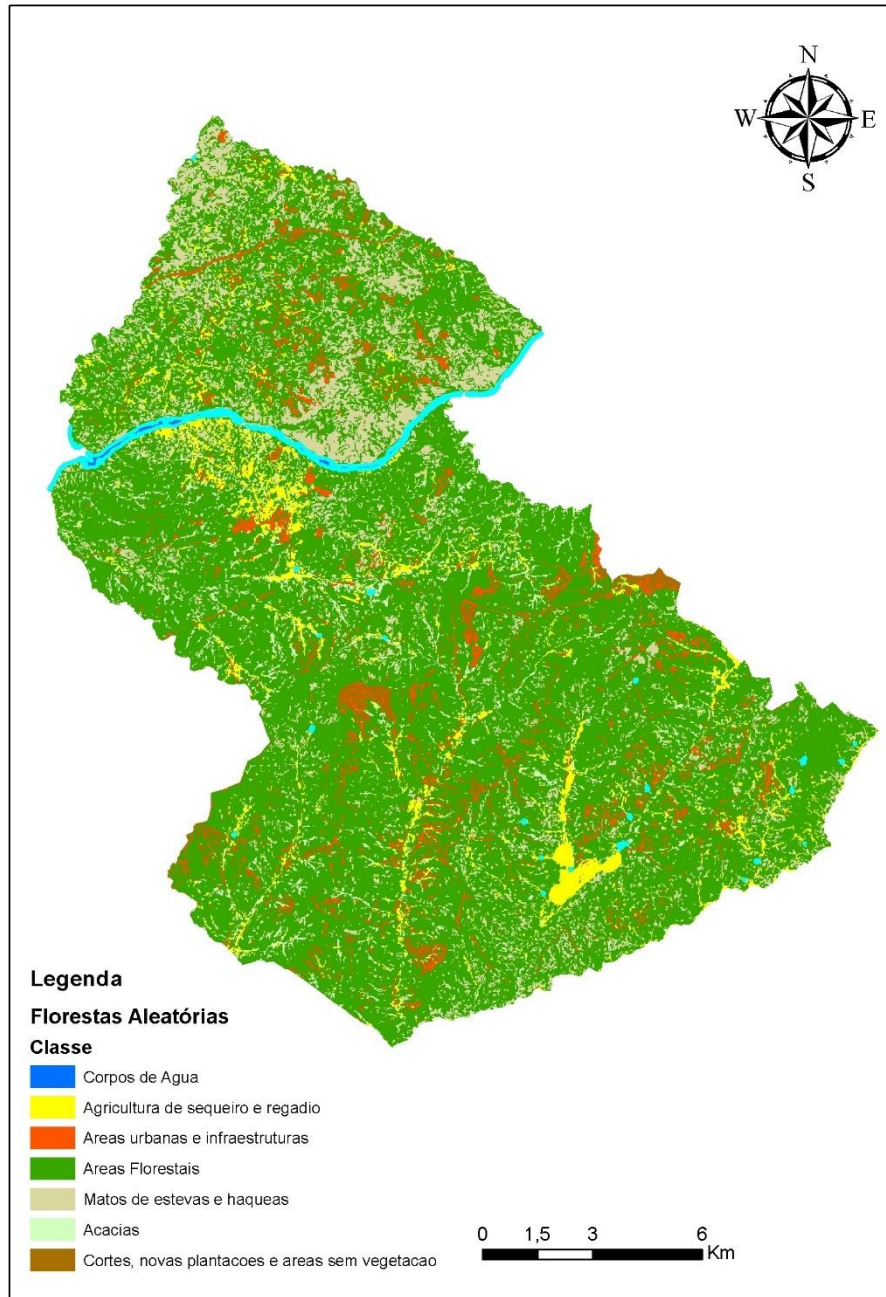


FIGURA 15 – Classificação com o algoritmo das florestas aleatórias

Conforme se pode observar na tabela 6, e à semelhança do que foi referido anteriormente, as florestas predominam no território, seguindo-se logo a área ocupada por matos e *háqueas* com cerca de 11,8% do território. Grande parte da área ocupada pelos solos nu, pode aos dias de hoje, ser uma área ocupada por eucalipto, aumentando ainda mais a área florestal.

Não sendo possível diferenciar os matos e as *háqueas*, houve a necessidade de juntar ambos numa só classe, o que se traduziu numa limitação dos resultados obtidos.

A maioria da área é ocupada por matos, existe apenas pequenas áreas ocupadas por háqueas.

As acácias apresentam um valor extremamente preocupante em termos de ocupação do solo da área do Concelho, cerca de 3,66% o que equivale a 1077 hectares. Estes números mostram bem o problema existente no território, uma vez que a COS 2015 apenas indica 9 hectares de espécies invasoras.

TABELA 6 - ÁREA POR CLASSE DE OCUPAÇÃO PELO MÉTODO DAS FLORESTAS ALEATÓRIAS

Ocupação	Área Total - Ha	Percentagem de Ocupação %
Água	151,65	0,51 %
Agricultura	1492,69	5,07 %
Áreas Sociais	1181,60	4,01 %
Outras Espécies	21270,34	72,20 %
Matos e háqueas	3475,04	11,80 %
Acacia	1077,85	3,66 %
Solo nu	792,93	2,69 %

5.2.1 Matriz de erro das Florestas Aleatórias

Depois de efetuado o algoritmo das florestas aleatórias, foram criados 134 pontos aleatórios para a área de estudo. Esses pontos foram depois validados através de foto interpretação e conseqüentemente inseridos na tabela de atributos. O que a matriz de erro indica é a percentagem de exatidão entre a ocupação real do solo e a fotointerpretação feita pelo utilizador. Muitos dos pontos aleatórios foram projetados em áreas que supostamente seriam de solo nu, contudo e por conhecimento do terreno essas áreas são hoje ocupadas por floresta de eucaliptos. A matriz de erro construída (Tabela 5) calculou a exatidão da imagem recolhida através da deteção remota e da nossa confirmação no terreno através dos pontos atrás mencionados.

Dos 134 pontos, observamos que existe uma exatidão de 100% nas classes da Água e nas Áreas Sociais; 62 pontos são de áreas florestais e apresentam uma exatidão de 83%, e os cortes e novas plantações apresentam uma exatidão de 95%. Dos 10 pontos

inseridos nas acácias, apenas 5 corresponderam à respetiva ocupação, tendo obtido uma taxa de exatidão de 50%. A semelhança existente entre as acácias e algumas espécies florestais poderá explicar que a restante percentagem de 50% esteja na classe das florestas.

Se compararmos a exatidão do índice *Kappa* com as várias soluções apresentadas nos *Scater Plot* efetuados, conseguimos observar que a matriz de erro traduz 35% de erro e 65% de fiabilidade.

TABELA 7 - MATRIZ DE ERRO DAS FLORESTAS ALEATÓRIAS

Classes	Agua	Agricultura	Social	Floresta	Matos	Acacias	Cortes e novas Plantações	Total	U_Accuracy	Kappa
Agua	10	0	0	0	0	0	0	10	1,00	0
Agricultura	0	8	0	2	0	0	0	10	0,80	0
Social	0	0	5	0	0	0	5	10	0,50	0
Floresta	0	2	0	62	3	5	0	72	0,86	0
Matos	0	0	0	5	7	0	0	12	0,58	0
Acacias	0	0	0	5	0	5	0	10	0,50	0
Cortes e novas Plantações	0	1	0	1	2	0	6	10	0,60	0
Total	10	11	5	75	12	10	11	134	0	0
P_Accuracy	1,00	0,73	1,00	0,83	0,58	0,50	0,55	0	0,77	0
Kappa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,65

Índice Kappa	0,65
--------------	-------------

Depois de analisada a matriz de erro, observamos que existe uma boa qualidade da classificação, obtendo um índice de 0,65%. De acordo com a tabela 5, o índice Kappa apresenta uma qualidade substancial.

5.3. Classificação com a Máquina Vetor de Suporte

À semelhança das florestas aleatórias e seguindo a mesma metodologia, o resultado do classificador semi-automático com aprendizagem automática Máquina Vetor de Suporte pode ser observado na figura 16.

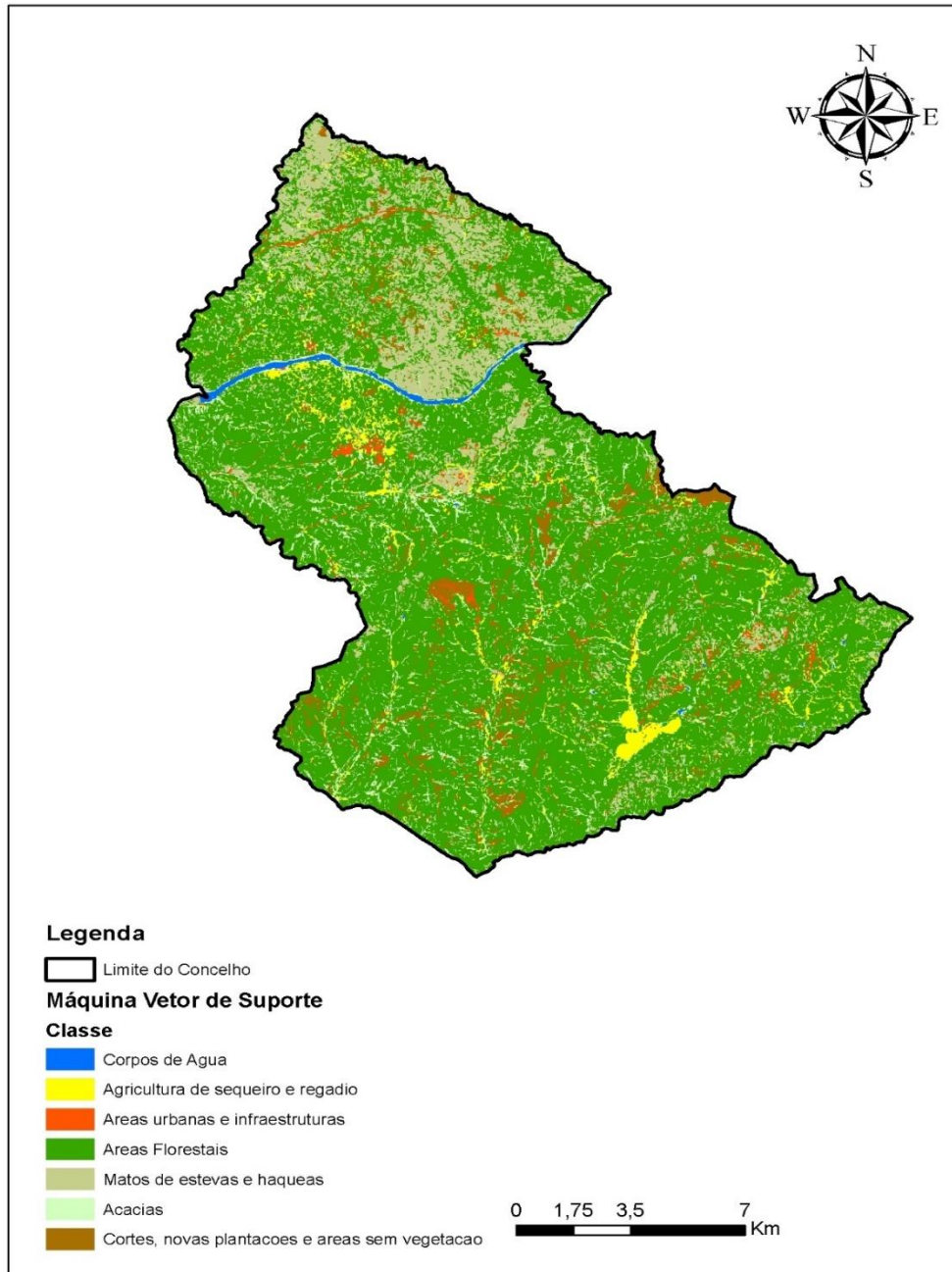


FIGURA 16 - CLASSIFICAÇÃO COM O ALGORITMO MÁQUINA VETOR DE SUPORTE

Comparativamente com o algoritmo das florestas aleatórias, observamos na tabela 8 um decréscimo das áreas compostas por áreas sociais, agricultura e florestas, tendo as restantes classes de ocupação sofrido um aumento. Neste modelo, as acácias quase que duplicam a sua taxa de ocupação, com cerca de 6,43%, 1895 ha. Os matos sofreram um aumento de 1,5% ocupando cerca de 1895 ha. As áreas sociais também

sofrem um decréscimo relevante, perdendo cerca de 2,3%, o que se traduz numa redução de cerca de 650 hectares.

Ambos os modelos, ainda que com valores variáveis, apresentam valores preocupantes, nomeadamente da elevada percentagem de acácias existentes no território.

TABELA 8 - ÁREA DE OCUPAÇÃO DO SOLO PELO MÉTODO DA MÁQUINA VETOR SUPORTE

Ocupação	Área Total - Ha	Percentagem de Ocupação %
Água	181,58	0,61 %
Agricultura	1046,62	3,55 %
Áreas Sociais	552,23	1,87 %
Outras Espécies	20749,95	70,43 %
Matos	3872,94	13,15 %
Acacia	1895,55	6,43 %
Solo nu	1143,25	3,88 %

5.3.1 Matriz de Erro Máquina Vetor Suporte

Dos 134 pontos, observamos que existe uma exatidão de 100% nas classes da Água e áreas sociais; 52 pontos são de áreas florestais e apresentam uma exatidão de 75%, já os cortes e novas plantações apresentam uma exatidão de 57%.

Dos 7 pontos inseridos nas acácias, apenas 4 corresponderam à respetiva ocupação, tendo obtido uma taxa de exatidão de 57%. Face à semelhança existente entre as acácias e algumas espécies florestais, poderá explicar que a restante percentagem de 43% esteja na classe das florestas. Dos 23 pontos inseridos nos matos e *háqueas*, apenas 8 correspondem a essa classe, 11 desses pontos correspondem a floresta, esses pontos podem confundir-se pela idade avançada de algumas zonas de matos (giestas), onde os mesmos já apresentam alturas muito significativas para a espécie.

Comparando a exatidão do índice Kappa deste algoritmo, verificou-se que a matriz de erro traduz 49% de erro e 51% de fiabilidade

TABELA 9 - MATRIZ DE ERRO DO MÁQUINA VETOR SUPORTE

Classe	Água	Agricultura	Social	Floresta	Matos	Acácias	Cortes e novas Plantações	Total	U_Accuracy	Kappa
Água	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,00	1,00	0,00
Agricultura	0,00	6,00	0,00	4,00	0,00	0,00	0,00	10,00	0,60	0,00
Social	0,00	0,00	4,00	2,00	1,00	0,00	3,00	10,00	0,40	0,00
Floresta	0,00	4,00	0,00	52,00	11,00	3,00	0,00	70,00	0,74	0,00
Matos	0,00	0,00	0,00	5,00	8,00	0,00	0,00	13,00	0,62	0,00
Acácias	0,00	1,00	0,00	4,00	1,00	4,00	0,00	10,00	0,40	0,00
Cortes e novas Plantações	0,00	2,00	0,00	2,00	2,00	0,00	4,00	10,00	0,40	0,00
Total	10,00	13,00	4,00	69,00	23,00	7,00	7,00	133,00	0,00	0,00
P_Accuracy	1,00	0,46	1,00	0,75	0,35	0,57	0,57	0,00	0,66	0,00
Kappa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,51

Índice Kappa	0,51
---------------------	-------------

De acordo com a tabela 5 o índice Kappa apresenta uma qualidade Moderada. Analisando as duas matrizes de erro, verificamos que as florestas aleatórias apresentam um índice Kappa relativamente superior, pelo que os seus dados serão mais corretos.

5.4 Área ocupada pelas espécies de *Acacia spp*

A classificação com melhor desempenho foi obtida com as florestas aleatórias, na figura 17 podemos observar as manchas vermelhas que indicam a vasta área ocupada pelas acácias.

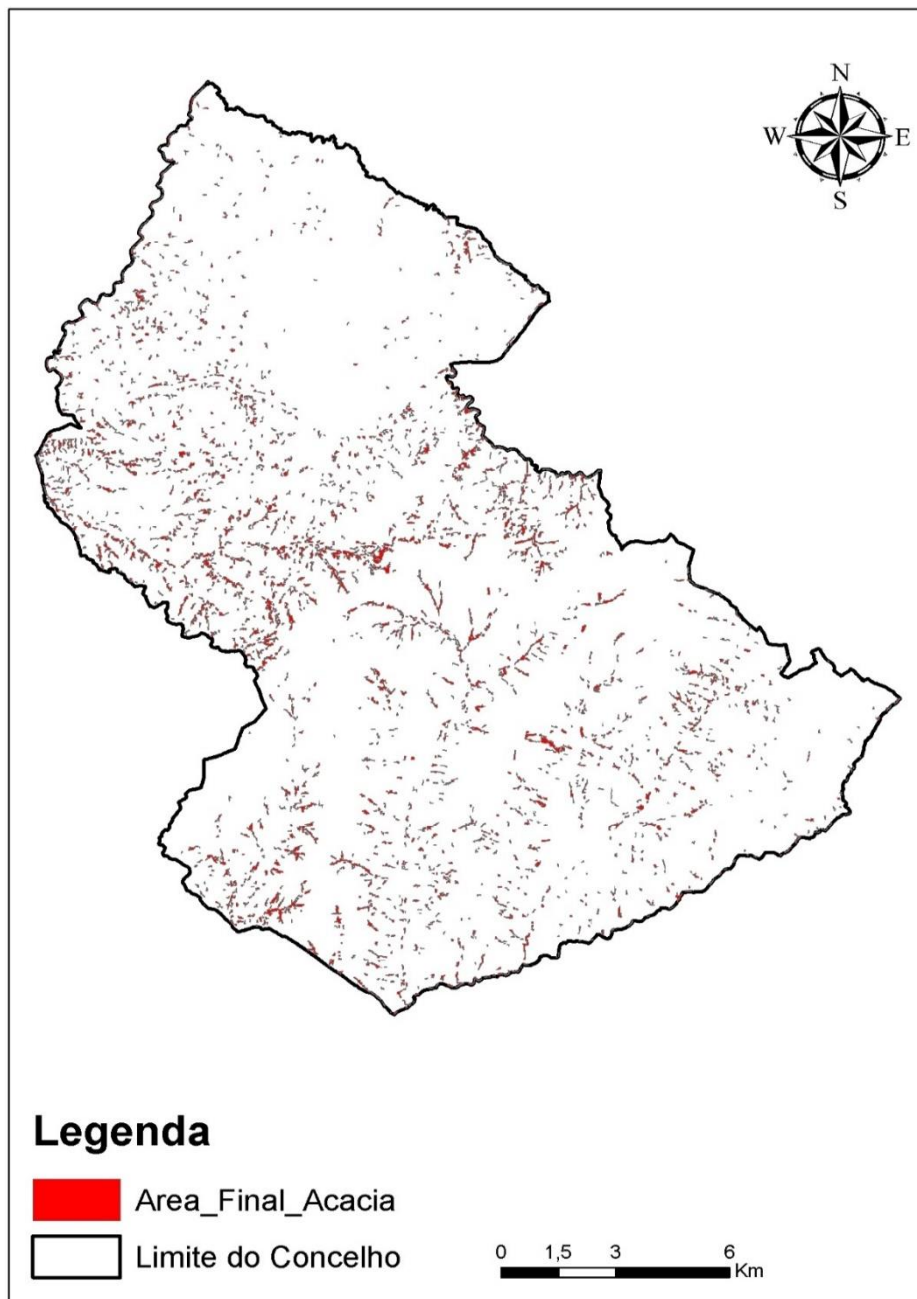


FIGURA 17 - ÁREAS DE ACÁCIAS DO CLASSIFICADOR DAS FLORESTAS ALEATÓRIAS

Analisada a imagem ao pormenor, observamos que a maioria das espécies invasoras se localizam junto às vias comunicação e às linhas de água.

Na figura 19 observamos ainda que a área piloto assinalada com o polígono azul, confirma a presença das acácias, pelo que todos os métodos descritos no capítulo 5.5 são de total aplicabilidade.

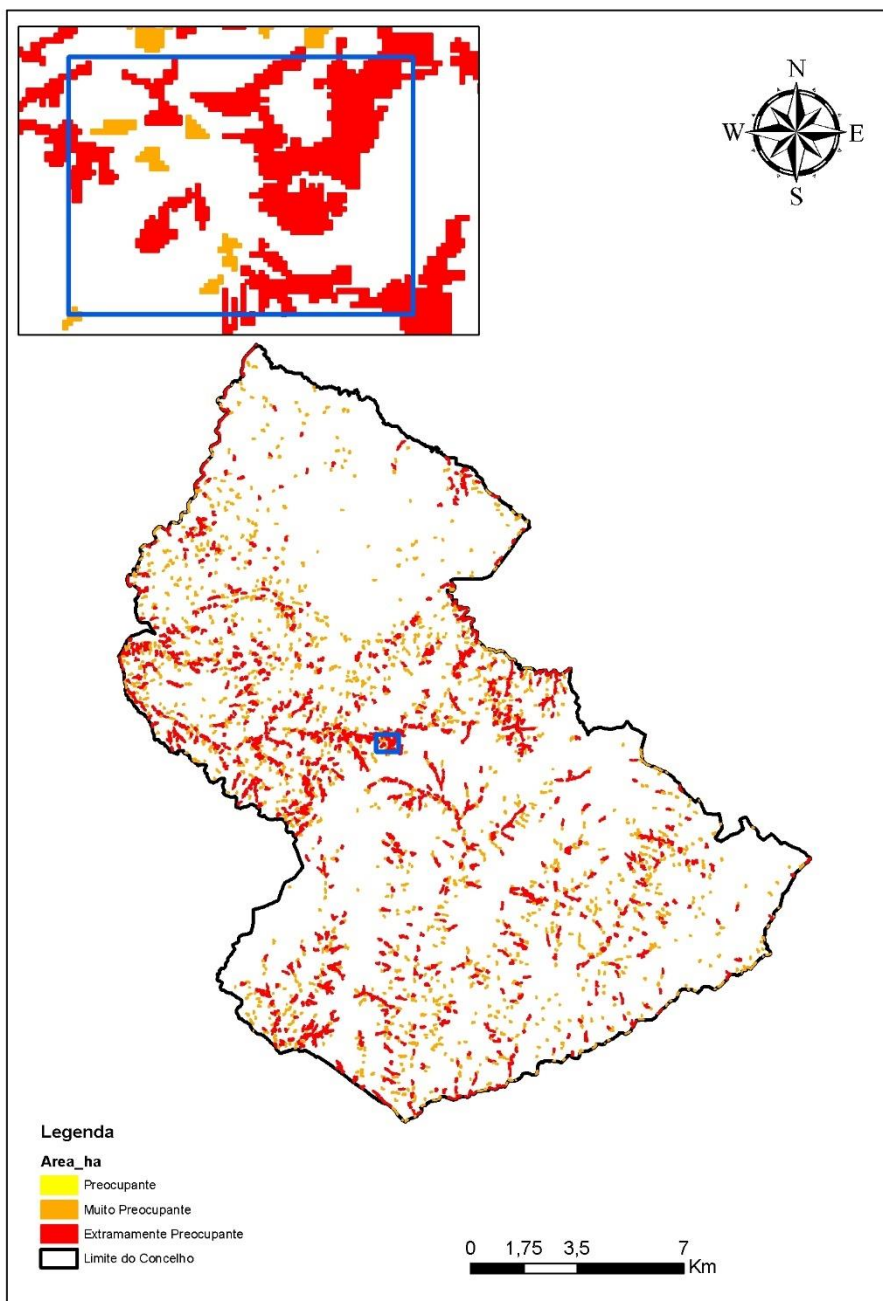


FIGURA 18 - ÁREA FINAL DE ACACIAS DO CLASSIFICADOR DAS FLORESTAS ALEATÓRIAS

De forma a percebermos melhor a situação das espécies invasoras, utilizou-se o quantil para essa análise. Foram estabelecidas três classes: Preocupante (cor amarela), Muito Preocupante (cor laranja) e Extremamente Preocupante (cor vermelha), (figura

19), a maioria das áreas ocupadas por acácias apresenta uma situação extremamente preocupante, como é o caso da área piloto.

5.5. Proposta de métodos de controlo para as espécies de estudo

Os métodos de controlo de espécies invasoras, ainda são nos dias de hoje, um assunto pouco conhecido para quem tem alguma responsabilidade em áreas de atividade abrangidas pelo problema das espécies invasoras. Basta observarmos as vias de comunicações e dia após dia, observamos um aumento do território invadido por espécies invasoras, fruto em parte da aplicação de técnicas de controlo menos adequadas para as respetivas espécies. Dotar a sociedade de conhecimentos de controlo das respetivas espécies, poderá ser uma solução para reduzir o aumento de áreas cada vez maiores, nomeadamente as empresas que prestam serviços de silvicultura. É crucial que a seleção do método de controlo tenha em conta as características das espécies, as suas dimensões e situações onde ocorrem de forma a poder otimizar os resultados do controlo (Marchante et al. 2018). As propostas apresentadas de seguida refletem esses aspetos, sendo claramente distintas para algumas das espécies.

5.5.1 - *Acacia dealbata*

5.5.1.1 Controlo físico

Arranque manual – Este método, como o próprio nome indica, consiste no arranque manual de plântulas e plantas jovens. Em solos mais compactados, o arranque deve ser realizado na época das chuvas de forma a facilitar a remoção do sistema radicular. Deve garantir-se que não ficam raízes de maiores dimensões no solo. É um trabalho que implica um elevado número de pessoas para que se consiga observar a eficácia do trabalho desenvolvido. Pequenas ações de sensibilização podem ser uma boa sugestão para juntar um elevado número de pessoas e iniciar os trabalhos, com custos mais razoáveis, e servindo simultaneamente para aumentar a sensibilização para esta problemática.

Corte com motorroçadora – Este método é usado de preferência em plântulas resultantes de germinação que tenham ainda dimensões muito pequenas, ou em intervenções de controlo de continuidade em que se tenha assistido à formação de rebentos de touça e/ou raiz. Nas plântulas pequenas, deve aplicar-se apenas em dias quentes desde que respeitando as condições de segurança.

Descasque – É a metodologia preferencial para plantas adultas com casca lisa, sem feridas. Aplica-se fazendo uma incisão em anel, contínuo, à volta do tronco, à altura que for mais confortável para o aplicador e removendo depois toda a casca (figura 18) até à superfície do solo, se possível até à raiz. Deve realizar-se apenas quando o câmbio vascular estiver ativo o que pode variar de local para local; as melhores épocas para realização coincidem com temperaturas amenas e com alguma humidade.



FIGURA 19 - REALIZAÇÃO DE CONTROLO DE ACÁCIA-MIMOSA ATRAVÉS DE DESCASQUE.

5.5.1.2 - Controlo físico + químico

Corte combinado com aplicação de herbicida – Este método deverá ser aplicado em plantas adultas que se situem em locais onde seja importante a remoção das árvores rapidamente e onde não faça sentido aplicar descasques. Efetua-se o corte do tronco tão rente ao solo quanto possível e aplica-se imediatamente (impreterivelmente nos segundos que se seguem) um herbicida (princípio ativo: glifosato) na touça. Se houver

formação de rebentos (o que é muito provável, principalmente nas raízes), estes devem ser eliminados através de corte, arranque ou pulverização foliar com herbicida (princípio ativo: glifosato); até 25 a 50 cm de altura. Rebentos de maiores dimensões (a partir de 2-3 cm de diâmetro) podem ser descascados ou repetir a metodologia inicial (corte com aplicação de herbicida). Este método está limitado, uma vez que só pode ser aplicado por técnicos credenciados em aplicação de produtos fitofármacos, e, por questões ambientais, deverá ser sempre que possível evitado.

5.5.1.3 - Controlo químico

Aplicação foliar de herbicida - Aplica-se a rebentos jovens (25-50 cm de altura) ou germinação elevada. Pulverizar com herbicida (princípio ativo: glifosato) limitando a aplicação à espécie-alvo. Este método apresenta as mesmas limitações que o método anterior.

Injeção com herbicida - Aplica-se a plantas adultas. Aplicação de herbicida diretamente no sistema vascular da planta por uma das seguintes técnicas:

Golpe ou furo: fazer vários cortes (com um machado (figura 20), encho ou serrote) ou furos (com um berbequim (figura 21)), à altura que for mais conveniente para o aplicador, num ângulo de 45° até ao alburno, e injetar imediatamente (impreterivelmente nos segundos que se seguem) em cada golpe/ furo cerca de 1ml (0,5 a 2ml consoante o tamanho do corte) de herbicida com um esguicho. Os vários cortes devem ser realizados à mesma altura do tronco de forma a quase se tocarem, deixando ca. 2-4 cm de casca por cortar entre eles. Para indivíduos menores apenas são necessários 2 ou 3 cortes, e não devem ser profundos (para evitar que a planta parta). Os furos devem ser realizados com intervalos de 5-10 cm entre eles. O número de furos a realizar depende do diâmetro da planta. Estes métodos são adequados para situações em que seja importante remover as árvores mais rapidamente do que quando se aplica descasque.



FIGURA 20 - CONTROLO DE INVASORAS ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DE GLIFOSATO.



FIGURA 21 - APLICAÇÃO DE GLIFOSATO ATRAVÉS DO FURO.

5.5.1.4 - Controlo biológico

Começaram a ser desenvolvidos testes em ambiente confinado em Portugal para o controlo biológico da acácia, nomeadamente através do gorgulho *Melanterius*

maculatus Lea (Coleoptera: Curculionidae). Este agente foi libertado na África do Sul para destruição das sementes; o seu estabelecimento está confirmado apesar de ainda não estar quantificado o dano causado à espécie invasora. Ainda que se esteja a iniciar o procedimento para realização de testes para verificar a sua segurança relativamente às espécies nativas, os testes deste agente não foram ainda concluídos em Portugal (http://invasoras.pt/projecto_ganha/), pelo que a sua utilização ainda não constitui uma alternativa no nosso país.

5.5.1.5 - Fogo controlado

Pode ser utilizado estrategicamente com o objetivo de estimular a germinação do banco de sementes, por exemplo, após controlo dos indivíduos adultos (com a gestão adequada da biomassa resultante) ou para eliminação de plantas jovens. Tem como grande vantagem a redução do banco de sementes, quer destruindo uma parte das sementes quer estimulando a germinação das que ficam. Relativamente às desvantagens são várias aquelas que podemos considerar, desde a credenciação dos técnicos para a execução do fogo controlado, elaboração do plano de controlo e respetiva aprovação, bem como a implementação dos recursos necessários à realização do mesmo. As condições meteorológicas são um fator extremamente importante para a aplicação de fogo controlado.

5.5.2.- *Acacia mearnsii*

A *A.mearnsii* apresenta as mesmas metodologias de controlo que a *A. dealbata*, com exceção dos descasques.

Apesar dos descasques serem uma técnica que se pode utilizar em árvores com maiores diâmetros, as mesmas podem apresentar uma maior resistência da casca.

5.5.3. - *Hakea sericea*

5.5.3.1 Controlo físico

Arranque manual: é o método preferencial para plântulas e plantas jovens. Em substratos mais compactados, o arranque deve ser realizado na época das chuvas de forma a facilitar a remoção do sistema radicular.

Corte: metodologia preferencial para plantas jovens e adultas. Corte do tronco tão rente ao solo quanto possível com recurso a equipamentos manuais e/ou mecânicos. Deve ser realizado antes da maturação das sementes. Após o corte, as plantas cortadas devem ser deixadas a secar por 12-18 meses até libertarem as sementes e estas começarem a germinar. De seguida, deve queimar-se (ou destruir de outra forma) a biomassa remanescente, provocando a morte das sementes restantes e das plântulas que, entretanto, germinaram. Alternativamente, pode proceder-se ao destroçamento da biomassa. É uma metodologia eficaz, mas dispendiosa e com consequências para a vegetação nativa, se existir.

5.5.3.2.- Controlo químico

Aplicação foliar de herbicida: pode aplicar-se a plantas jovens ou germinação elevada, mas a sua eficácia é frequentemente reduzida pelo que não se recomenda a sua aplicação. Pulverizar com herbicida (princípio ativo: triclopir) limitando a aplicação à espécie-alvo.

5.5.3.3.- Controlo biológico

Na África do Sul têm-se obtido bons resultados com dois agentes: *Erytenna consputa* Pascoe (Coleoptera: Curculionidae), um gorgulho que se alimenta das sementes, e um outro agente denominado de *Carposina autologa* Meyrick (Lepidoptera: Carposinidae), que destrói também as sementes. Nenhum destes agentes foi ainda testado em Portugal, de forma a verificar a sua segurança relativamente às espécies nativas, pelo que a sua utilização não constitui ainda uma alternativa

5.5.4- *Myriophyllum aquaticum*

5.5.4.1.- Controlo físico

Remoção manual/mecânica (metodologia preferencial). Remoção manual ou com recurso a redes, ou dragagem. Para o sucesso desta metodologia é fundamental que não se criem e/ou fiquem fragmentos na água já que facilmente originarão mais plantas por reprodução vegetativa. Este método apesar de eficaz, apresenta como limitação o elevado custo da remoção mecânica.

Ensombramento das massas de água invadidas. O ensombramento pode ser conseguido quer pela plantação de árvores nas margens das áreas afetadas ou pela colocação de uma cobertura opaca. Este método, apesar de reduzir o vigor da planta invasora está limitado pelo tempo que as árvores levam a crescer.

5.5.4.2- Controlo químico

Aplicação foliar de herbicida. Pulverizar com herbicida (princípio ativo e formulações adaptadas a ambientes aquáticos) limitando a aplicação à espécie-alvo. É aconselhado apenas como última opção já que pode ter efeitos secundários indesejáveis para outras espécies e ambiente.

5.5.4.3.- Controlo biológico

O escaravelho desfolhador *Lysathia sp.* (*Coleoptera: Chrysomelidae*), foi introduzido na África do Sul, em 1994, causando atualmente danos extensos em *Myriophyllum aquaticum*. Este agente não foi ainda testado em Portugal, de forma a verificar a sua segurança relativamente às espécies nativas, pelo que a sua utilização ainda não constitui uma alternativa no nosso país

5.5.5 Síntese das metodologias de controlo

Nas tabelas 10, 11, 12 e 13, apresentadas de seguida, sintetiza-se para cada método de controlo, sugerido para as espécies existentes no território, aspetos importantes a ter em conta aquando da seleção do método que se deve aplicar em cada situação. Nomeadamente, prós e contras do método, EPI e equipamentos necessários, espécies a que se aplica e época do ano em que se pode aplicar.

TABELA 10 – Metodologias de Controlo "Arranque Manual"


Metodologias de controlo	
Objetivo: Arranque Manual 	Espécies Abrangidas pelo método: <ul style="list-style-type: none"> • <i>Acacia dealbata</i> • <i>Acacia mearnsii</i> • <i>Hakea sericea</i>
Equipamentos necessários: Poderá ser necessário recorrer a Enxadas, Sachola, Pás.	
EPI: Luvas	
Época do Ano: Outono, Inverno e Primavera - solos com humidade facilitam a extração das raízes	
Vantagens	Desvantagens
Operação simples e fácil, de reduzido esforço para o ser humano. Operação que não causa danos no ambiente e pode ser muito específica.	Metodologia muito demorada, necessita de muita mão de obra o que a torna dispendiosa. A postura dos indivíduos poderá ser um problema a médio, longo prazo.
Nota:	

TABELA 11 - Metodologias de Controlo Mecânico


Metodologias de controlo	
<p>Objetivo: Controlo com Motorroçadora</p> 	<p>Espécies Abrangidas pelo Método:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Acacia dealbata</i> • <i>Acacia mearnsii</i> • <i>Hakea sericea</i>
<p>Equipamentos necessários: Motorroçadora.</p> <p>EPI: Luvas e todo o equipamento indispensável à utilização do equipamento em segurança</p> <p>Época do ano: Qualquer altura do ano.</p>	
Vantagens	Desvantagens
<p>Operação simples, fácil e rápida.</p> <p>Eficaz em plantas jovens e plântulas ainda que as plantas possam formar rebentos posteriormente. Deve ser aplicado repetidamente, sem deixar as plantas atingirem alturas superiores a ca. 50-60cm, e sempre antes das plantas voltarem a formar fruto.</p>	<p>Operação perigosa, uma vez que necessita de mão de obra especializada.</p> <p>Desgaste do utilizador.</p> <p>Custo da operação.</p>
<p>Nota: Método preferencial para plantas jovens e plântulas.</p>	

TABELA 12 - Metodologia de Controlo "Descasque"



Metodologias de controlo	
<p>Objetivo: Descasque</p> 	<p>Espécies Abrangidas pelo Método:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Acacia dealbata</i> • <i>Acacia mearnsii</i>
<p>Equipamentos necessários: Serrote, Foice, Canivete, Tesoura de poda entre outros.</p> <p>EPI: Luvas</p> <p>Época do ano: Nas épocas de maior atividade do câmbio vascular, o que, na maior parte das situações ocorre na Primavera ou no Outono. Junto à água pode aplicar-se quase todo o ano.</p>	
Vantagens	Desvantagens
<p>Eficaz se for bem aplicado.</p> <p>Amigo do ambiente.</p> <p>Aplicável em árvores de quase todos os tamanhos.</p> <p>Não exige ferramentas complicadas para a sua execução pelo que pode ser aplicado por grupos de voluntários.</p>	<p>Método relativamente demorado o que o torna dispendioso.</p> <p>Se não se tiver cuidado, pode facilitar má postura do operador</p>
<p>Nota: Método preferencial para plantas jovens (DAP > ca. 5cm) e adultas.</p>	

TABELA 13 - Metodologia de Controlo Químico

Metodologias de controlo	
<p>Objetivo: Controlo Químico</p> 	<p>Espécies Abrangidas pelo Método:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Acacia dealbata</i> • <i>Acacia mearnsii</i> • <i>Hakea sericea</i>
<p>Equipamentos necessários: Pulverizador</p> <p>EPI: Luvas, máscara, fato de proteção, óculos de proteção.</p> <p>Época do ano: Na primavera ou mesmo Outono se não se verificarem chuvas.</p>	
Vantagens	Desvantagens
<p>Relativamente eficaz se for bem aplicado (por exemplo, em controlo de continuidade)</p> <p>Operação simples e fácil.</p>	<p>Mão de obra exige aplicadores com formação adequada.</p> <p>Elevados custos dos produtos.</p> <p>Inimiga do ambiente.</p> <p>Pode prejudicar outras espécies na pulverização</p>
<p>Nota: Método preferencial para plântulas.</p>	

5.6. Área piloto - Custos de intervenção

A área piloto, situa-se na União de Freguesias de Gavião e Atalaia, a sensivelmente 2 km da sede de Concelho. Está inserida na Quinta da Margalha e tem uma área de aproximadamente 6.9 hectares (incluindo o plano de água da barragem). Os acessos são razoáveis, sendo possível aceder por qualquer tipo de veículo (figura 22).



FIGURA 22 - ÁREA PILOTO JUNTO À EN 118

Fonte: Google Earth, 25 novembro de 2019

Da primeira recolha de dados das espécies em campo resultou o primeiro mapa de avistamentos (Figura 10).

Após a utilização da Deteção Remota na identificação de Espécies Invasoras, observamos que existe uma grande discrepância entre a ocupação do solo atual e os dados registados à presente data (Tabela 6).

Face ao estado atual da área piloto selecionada como exemplo de área a intervir, na qual se observa vários estados de desenvolvimento da espécie invasora *Acacia dealbata* (plantas adultas adequadas para descasque, dezenas de plântulas no paredão de suporte da barragem que podem ser removidas manualmente, plantas jovens para corte com motorroçadora bem como plantas adultas para corte com motosserra). Face às características da espécie invasora, serão necessárias várias intervenções de controlo, incluindo controlo inicial (Tabela 14), e, pelo menos, duas intervenções de controlo de continuidade (Tabelas 15 e 16) de forma a otimizar a taxa de sucesso. Em cada tabela é apresentada uma previsão dos custos das várias operações necessárias, os quais tenderão a diminuir à medida que se avança no tempo, desde que aplicados nas alturas adequadas, isto é, sem deixar as plantas que reinvadem desenvolver-se muito.

TABELA 14 - 1ª Intervenção – Controlo Inicial

Método / ação	Época	Objetivo	Custo diário / elemento	N.º de elementos	N.º de dias	Custo total
Corte com motosserra	Qualquer altura	Eliminar árvores adultas	95,84 €	3	8	2300,16 €
Corte com motorroçadora	Qualquer altura	Eliminar plantas jovens resultantes de rebentos	95,84 €	4	3	1150,08 €
Descasque	Outono/Primavera	Eliminar árvores adultas	67,48	5	5	1687,00 €
Recolha de resíduos dentro da parcela	*	Recolher os sobrantes dos cortes	58,51 €	4	2	468,08 €
Estilhaçar a madeira na parcela	*	Estilhaçar toda a madeira cortada	72,00 € / hora	2	1 (8 horas)	1152,00 €

Custo Total da 1ª Intervenção – 6757.32€

TABELA 15 - 2ª e 3ª Intervenção - Controlo de continuidade

Método / ação	Época	Objetivo	Custo diário / elemento	N.º de elementos	N.º de dias	Custo total
Arranque Manual	Outono	Eliminar Plantas Jovens provenientes de germinação – principalmente áreas descascadas	58,51 €	5	3	877,65 €
Aplicação foliar de herbicida	Primavera	Eliminar plantas jovens/ rebentos em zonas de elevada densidade	51,99 € / hora	2	1 (8 horas)	831,84 €
Corte com motorroçadora	Outono	Eliminar plantas jovens/ rebentos em zonas de menor densidade	95,84 €	4	2	766,72 €

Custo total da 2ª Intervenção – 2476.21€ x 2 = 4952.42

TABELA 16 -4ª Intervenção – Controlo de continuidade

Método / ação	Época	Objetivo	Custo diário / elemento	N.º de elementos	N.º de dias	Custo total
Arranque Manual	Outono	Eliminar Plantas Jovens	58,51 €	5	1	292,55 €
Corte com motorroçadora	Outono	Eliminar as plântulas	95,84 €	4	3	1150,08 €

Custo total da 3ª Intervenção – 1442.63€

Custo Total da operação – 13152.37€

As intervenções a realizar estão dependentes do vigor das plantas na reinvasão, que são condicionadas pelas condições meteorológicas, podendo ter que se adaptar as respetivas intervenções, podendo inclusive diminuir a intervenção.

Após análise da área piloto (figura 23), e considerando que a sua dimensão dificulta a intervenção em toda a área ao mesmo tempo, de forma a priorizar as intervenções, foi necessário definir critérios e atribuir valores a situações específicas (Tabela 17). Esta matriz deve ser entendida como um exemplo que pode depois ser ajustado e aplicado a outras áreas, incluindo a todo o concelho.

TABELA 17 - CRITÉRIOS DE PRIORIZAÇÃO DE INTERVENÇÃO

Crítérios para priorização das áreas a intervir	
Proximidade a linhas de água (LA)	Pontos
Linha água permanente	2
Linha água temporária	1
Sem linha de água	0
Posição (P)	Pontos
Declive	1
Plana	0
Tipologia (T)	Pontos
Indivíduo isolado	3
Núcleo em expansão	2
Núcleo consolidado	1
Caminhos (C)	Pontos
Caminho com perturbação	2
Caminho sem perturbação	1
Sem caminho	0



FIGURA 23 - Amostra da Área de Estudo

Face às várias situações existentes na área piloto, bem como às espécies existentes e sua localização, a prioridade de intervenção é a seguinte:

TABELA 18 - Prioridade de Intervenção

Prioridade de Intervenção	
Critérios	Total de Pontos
Indivíduo Isolado (3) + LA permanente (2) + Caminho com Perturbação (2)	7
Indivíduo Isolado (3) + LA permanente (2) + Caminho sem Perturbação (1)	6
Núcleo em expansão (2) + Declive (1) + LA permanente (2)	5
Indivíduo Isolado (3) + Caminho com Perturbação (2)	5
Núcleo em expansão (2) + Caminho com Perturbação (2)	4
Núcleo em expansão (2) + LA Temporária (1) + Declive (1)	4
Núcleo em expansão (2) + Caminho com perturbação (2)	4
Núcleo em expansão (2) + LA Temporária (1)	3

A tabela 18 apresenta a prioridade intervenção nas diferentes situações/ áreas da parcela de estudo. Todos os caminhos que garantem o acesso à parcela, apresentam invasão pela espécie *A. dealbata* (figura 24).



FIGURA 24 - *Acacia dealbata* junto ao caminho da parcela de estudo

A intervenção sobre os indivíduos isolados (figura 25) constitui prioridade elevada, devido à simplicidade do contexto de atuação, devendo no entanto, prestar-se atenção à possibilidade das suas vagens se dispersarem pela água e vir a originar invasões noutras locais.



FIGURA 25 - Indivíduo Isolado na parcela de estudo

Praticamente toda a barragem está envolvida por várias manchas de *A. dealbata* (figura 26), o que acaba por causar um transtorno enorme aos seus utilizadores. Este local é recorrentemente utilizado pelos Bombeiros para o abastecimento dos seus

veículos em operações de combate a incêndios rurais. Face ao atual estado de desenvolvimento a barragem é apenas utilizada por meios aéreos.



FIGURA 26 - *Acacia dealbata* em redor de toda a barragem

5.7. Preparação da ação de sensibilização

Como forma de prevenção considera-se essencial a realização de uma ação de sensibilização sobre espécies invasoras a qual será realizada em parceria com o Município de Gavião. O público-alvo são produtores florestais, associações de agricultores, associações de caçadores e regantes, entre outros que queiram estar presentes.

A sessão será dividida em dois momentos: 1) uma primeira parte teórica, onde através do método expositivo se pretende transmitir os aspetos essenciais sobre espécies invasoras existentes no concelho e seus métodos de controlo, e 2) uma segunda parte prática, em campo, onde serão demonstrados alguns dos métodos de controlo de espécies invasoras. Pretende-se que com esta ação se consiga despertar consciências para a problemática das invasoras.

Os métodos que se iram realizar são:

- Descasque;
- Aplicação de herbicida após corte raso
- Aplicação foliar de herbicida
- Injeção com herbicida

- Corte com motorroçadora
- Arranque manual

6. CONCLUSÃO E PERSPETIVAS FUTURAS

A realização do presente trabalho aborda a problemática das “espécies invasoras” no território afeto ao concelho de Gavião, com especial incidência junto às vias de comunicação e linhas de água. Cada vez mais se observam áreas invadidas, principalmente por acácias, estando as mesmas a proliferar cada vez mais no território onde já ocupam entre 3 e 4 %, de acordo com as duas classificações usadas nas Florestas aleatórias, e 6 a 7% no Máquina vetor Suporte.

A falta de conhecimento das metodologias de controlo, bem como do ciclo de vida e outras características das plantas tem levado a que as intervenções efetuadas sirvam para estimular o desenvolvimento das plantas.

Seria importante que as entidades públicas e privadas que realizam trabalhos de silvicultura nas espécies em causa, fossem dotadas de formação adequada para o feito, evitando desse modo as más práticas existentes à data.

A criação das fichas/protocolos de monitorização por parcela seria útil para avaliar a eficácia de cada método de controlo, registando todos os passos e reações das espécies às intervenções, permitindo comparar resultados ao longo do tempo. Estas fichas seriam um instrumento de melhoria contínua, pelo que todas as monitorizações devem ser registadas e partilhadas.

No que diz respeito à deteção remota, verificou-se que a partir de imagens do Sentinel-2 foi possível criar modelos de classificação assistida no software Esri® ArcMap 10.6. As elevadas resoluções espaciais, radiométrica e espectral das imagens do Sentinel-2 e a possibilidade de combinar e realizar operações entre bandas, convertem este tipo de imagens numa ferramenta poderosa na delimitação de espécies invasoras. O reduzido tempo de revisitação dos satélites e a elevada cobertura temporal do programa permitem obter imagens de satélite com elevada frequência.

Os passos mais importantes na criação destes modelos foram a escolha das imagens (sem precipitação e com menos de 5% de nebulosidade), seguida de uma

escolha eficaz da combinação de bandas, de forma a realçar os elementos de maior interesse. A criação de uma quantidade elevada de polígonos de treino, verificou-se de extrema importância para a validação dos dados, permitindo deste modo garantir a fiabilidade dos resultados.

A maior dificuldade encontrada neste projeto consistiu na difícil identificação através da deteção remota das espécies Hakeas e Matos, ao nível do pixel era muito difícil encontrar as respetivas diferenças. Face à elevada nomenclatura da COS, foi necessário reagrupar algumas classes.

Depois de trabalhados os dados, foram criadas duas matrizes de erro através dos dois algoritmos utilizados, onde através do índice Kappa se conseguiu obter os resultados esperados.

Os resultados foram bastante satisfatórios, uma vez que a classificação das florestas aleatórias apresentaram um índice substancial de qualidade com 65%, já a classificação com a Máquina Vetor Suporte apresentou um índice de qualidade moderada com 51% de qualidade. A elevada quantidade de áreas de treino efetuadas, permitiu uma maior leitura do algoritmo, traduzindo-se depois na fiabilidade dos dados finais.

Percorrendo a área piloto, facilmente observa que os dados da floresta aleatória correspondem à realidade do território, onde se registam situações classificadas como *muito preocupante* e *extremamente preocupante* no que respeita à ocupação por acácias.

A metodologia aplicada permitiu demonstrar o valor e utilidade das imagens de satélite de alta resolução para a identificação de espécies invasoras. As análises estatísticas e caracterização espectral das amostras de treino demonstraram ser uma técnica a considerar para a realização de estudos sobre espécies invasoras, contudo, a metodologia baseada na segmentação automática com recurso ao atributo “cor” poderá não ser suficiente para a produção automática de informação geográfica, sem que haja intervenção do operador na edição vetorial.

A tendência futura será de uma maior utilização da deteção remota por parte das instituições, no sentido de utilizar esta ferramenta para a classificação de determinadas áreas/espécies, bem como para outros estudos, uma vez que a deteção remota tem uma utilização bastante abrangente.

7. Referências Bibliográficas

Alexandra, F., & Serras, J. (2015). Métodos de Aprendizagem Automática Um estudo baseado na avaliação e previsão de clientes bancários. Retrieved from <https://run.unl.pt/bitstream/10362/17371/1/TGI0051.pdf>.

- Amorim, Alexandra (2015) Detecção remota e geoprocessamento automático no estudo da evolução de margens estuarinas (Estuário do Tejo).
- Bethany A. Bradley e John F. Mustard (2006) Characterizing The Landscape Dynamics Of Na invasive Plant And Risk of using remote Sensing, *Ecological Applications*, 16(3), 2006, pp. 1132-1147
- Bradley, B. A. (2014). Remote detection of invasive plants: A review of spectral, textural and phenological approaches. *Biological Invasions*, 16(7), 1411–1425. <https://doi.org/10.1007/s10530-013-0578-9>.
- Campbell J. B., 2007, *Introduction to Remote Sensing Fourth Edition*, The Guilford Press. New York.
- Carvalho, P. E. R. (1999). *Acacia mearnsii* (Acácia-negra). Retrieved from <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/106753/1/AcaciaMearnsii0001.pdf>.
- César de Sá, C. Nuno, C. Sabrina, M. Paula, M. Elizabete e M. Hélia (2017) Using Landsat Time Series to Understand How Management and Disturbances Influence the Expansion of an Invasive Tree.
- C. Huang e G. Asner (2009) Applications of remote sensing to alien invasive plant studies
- C.D.Alves, V.T.G Boulomytis *Uso do Sensoriamento Remoto e do cálculo do índice de GINI para a estimativa da desigualdade social com a expansão da área urbana: caso de Bueno Brandão, Mg.*
- De la Cueva, A. V. (2014). Case studies of the expansion of *Acacia dealbata* in the valley of the river Miño (Galicia , Spain). *Forest Systems*, 23(1), 3–14.
- D. Manuel e L. figeiredo (2018) Análise do potencial de dados Sentinel-2 na classificação da ocupação do solo no controlo de subsídios agrícolas.
- D. Joana (2016) Relatório apresentado ao Instituto Politécnico de Coimbra para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Recursos Florestais - Proposta de gestão de plantas exóticas invasoras no BioRia - criando prioridades.
- Estatuto, P., Weed, A., & Assessment, R. (2015). *Hakea sericea* (háquea-picante).
- Gil, A., A. Lobo & M. Abadi (2013) Mapping invasive woody plants in Azores Protected Areas by using very high-resolution multispectral imagery, *European Journal of Remote Sensing*.

- Gil, A. (2017). Controlo De Acácias Invasoras Em Sítios De Importância Comunitária: Do Planeamento Aos Desafios Da Intervenção (Escola Superior Agrária de Coimbra). Retrieved from https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/20952/1/Revisão_Finalissima_AG_EM_01_12_HM%26EM_03_12AG_em%26hm_AG_em%26hm%281%29.pdf.
- Husain, T., & Agnihotri, P. (2009). Invasive alien species and climate change. National Conference on Invasive Alien Species, (November), 36–38. Retrieved from https://www.iucn.org/sites/dev/files/ias_and_climate_change_issues_brief_final.pdf.
- H. Orca, M, Hauglin (2016) Use of remote sensing for mapping of non-native conifer species.
- H. Viana, J. Aranha (2010) Mapping invasive species (*Acacia dealbata* Link) using ASTER / TERRA and LANDSAT 7 ETM + imagery Departamento de Ciências Florestais e Arquitectura Paisagista , Universidade de Trás- CITAB , Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.
- IBAMA (2007). Manual do usuário. In Sisbio.
- INSTITUTO CONSERVAÇÃO DA NATUREZA E FLORESTAS - 2007 Espécies Exóticas Em Portugal Ponto De Situação.
- invasoras.pt. (2014). *Acacia dealbata* (mimosa). Retrieved from <http://invasoras.pt/wp-content/uploads/2012/10/Acacia-dealbata.pdf>.
- Invasoras.pt. (2015). *Myriophyllum aquaticum* (pinheirinha). <https://doi.org/10.1080/15226510600678431>.
- I. Somodi, A. Carni & D. Ribeiro (2012) Recognition of the invasive species *Robinia pseudacacia* from combined remote sensing and GIS sources.
- Lira, C. (2016). Sistemas de informação geográfica, análise de dados de satélite.
- L. Royimani, O. Mutanga & J. Odindi (2018) Advancements in satellite remote sensing for mapping and monitoring of alien invasive plant species (AIPs).
- Marchante, E., & Marchante, H. (2007). II As outras espécies da floresta portuguesa 4 As exóticas invasoras. Coimbra.
- Martins, F., Alegria, C., & Gil, A. (2016). Mapping invasive alien *Acacia dealbata* Link using ASTER multispectral imagery: A case study in central-eastern of Portugal. *Forest Systems*, 25(3). <https://doi.org/10.5424/fs/2016253-09248>.

- Martins, F., C. Alegria & A. Gil (2015) Mapping invasive alien *Acacia dealbata* Link using ASTER multispectral imagery: A case study in central-eastern of Portugal.
- Martins, F. D. (2012). Utilização de técnicas de deteção remota na identificação de *Acacia* sp. na Região Centro Sul de Portugal Continental. Retrieved from https://repositorio.ipcb.pt/bitstream/10400.11/1586/1/DissertacaoMestrado_FilipeMartins.pdf.
- M. Musole, O. Ololade & F. Sokolic (2019) Characterisation of invasive plant proliferation within remnant riparian green corridors in Lusaka District of Zambia using Sentinel-2 imagery.
- Neves, Ana (2013) Trabalho de Projeto de Mestrado em Gestão do Território, Área de Especialização em Deteção Remota e Sistemas de Informação Geográfica Classificação da Ocupação do Solo Através da Segmentação de uma Imagem de Satélite de Alta Resolução.
- Niphadkar, M., & Nagendra, H. (2016). Remote sensing of invasive plants: incorporating functional traits into the picture. *International Journal of Remote Sensing*, 37(13), 3074–3085. <https://doi.org/10.1080/01431161.2016.1193795>.
- Richardson, D.M. Allsopp, N., D'Antonio, C.M., Milton, S.J. e Rejmanek, M. 2000. Plant invasions - the role of mutualisms. *Biological Reviews* 75, 65-93.
- Silva, L., Land, E. O., Luengo, J. L. R., & Daehler, C. (2000). As invasões Biológicas EM PORTUGAL: HISTÓRIA, DIVERSIDADE E GESTÃO invasoes. *Flora e Fauna Terrestre Invasora Na Macaronésia - TOP 100 Nos Açores, Madeira e Canárias*, 29–50.
- Sousa, A., e Silva, J., (2011). Fundamentos Teóricos de Deteção Remota. In Universidade de Évora - Departamento de Engenharia Rural.
- Simberloff D, Martin JL, Genovesi P, Maris V, Wardle DA, Aronson JA, Courchamp F, Galil B, García-Berthou E, Pascal M, Pyšek P, Sousa R, Tabacchi E, Vilà M (2013) Impacts of biological invasions - what's what and the way forward. *Trends in Ecology and Evolution* 28: 58-66. doi 10.1016/j.tree.2012.07.013.
- S. José e Sousa A. (2011) Fundamentos Teóricos da Deteção Remota - Universidade de Évora.
- T. Husain e P. Agnihotri (2009) Invasive alien species and climate change.
- Vaz, A. S., Alcaraz-Segura, D., Campos, J. C., Vicente, J. R., & Honrado, J. P. (2018).

- Managing plant invasions through the lens of remote sensing: A review of progress and the way forward. *Science of the Total Environment*, 642, 1328–1339. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.134>.
- Vaz, A., S. Alcaraz, C. Domingo, V. João & H. Joana (2018) Managing plant invasions through the lens of remote sensing: A review of progress and the way forward.
- Viana, H., Aranha, J., Estudos, C. De, Saúde, T., & Alagoa, Q. (2010). Mapping invasive species (*Acacia dealbata* Link) using ASTER / TERRA and LANDSAT 7 ETM + imagery *Departamento de Ciências Florestais e Arquitectura Paisagista , Universidade de Trás- CITAB , Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro , 5001-801 Vila Real*. (October), 443–448.
- Wyss, O. (1956). Microbial Adaptation. *Industrial and Engineering Chemistry*, 48(9), 1404–1406. <https://doi.org/10.1021/ie51400a018>.
- <http://invasoras.pt/especies-invasoras-alteracoes-climaticas/> acedido em 14 de julho de 2019
- <http://www.dgterritorio.pt/copernicus/> acedido em 17 de agosto de 2019
- http://www.dgterritorio.pt/cartografia_e_geodesia/cartografia/detecao_remota/copernicus/componente_espaco/breve_descricao_dos_satelites_sentinel/ acedido em 18 de agosto de 2019
- <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions> acedido em 19 de agosto de 2019
- <http://www.dsr.inpe.br/DSR/areas-de-atuacao/sensores-plataformas/lidar> acedido em 24 de novembro de 2019
- http://snig.igeo.pt/Portal/docs/glossario_v08/l/Imagem_pancrom_tica.htm acedido em 24 de novembro de 2019

ANEXOS

ANEXO I – Scater Plot's

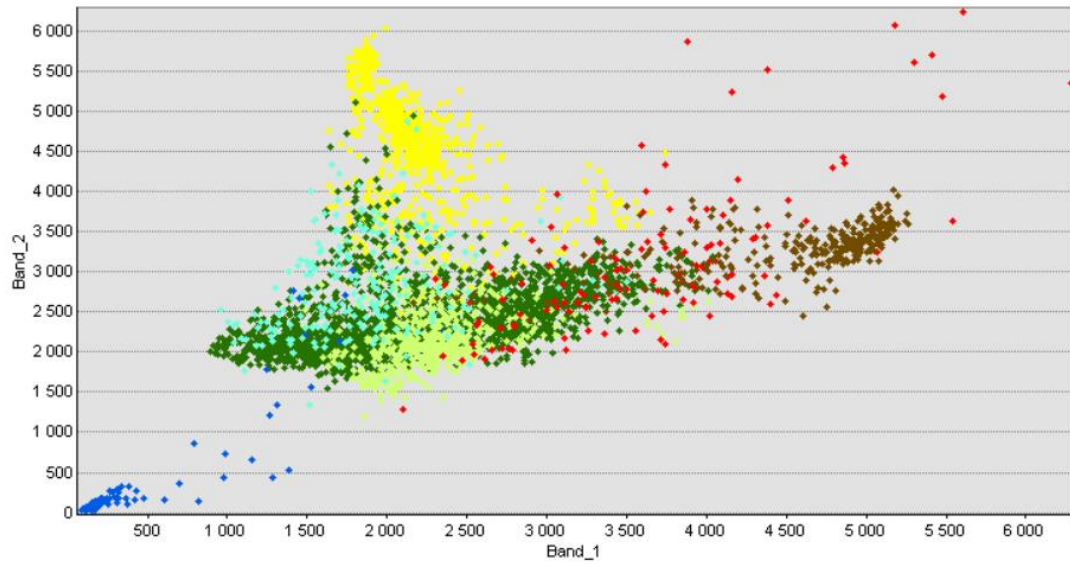


FIGURA 27 -SCATER PLOT DA BANDA 1 E 2 COM ELEVADA SOBREPOSIÇÃO DE AMOSTRAS DE TREINO

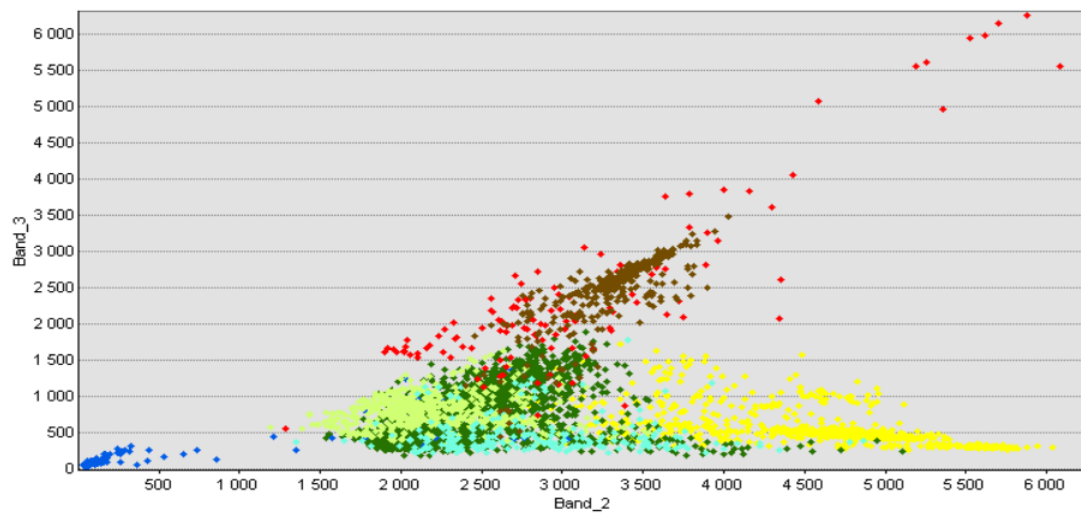


FIGURA 28 – SCATER PLOT DA BANDA 2 E 3 COM ELEVADA SOBREPOSIÇÃO DE AMOSTRAS DE TREINO

ANEXO II – Carta de Ocupação do Solo

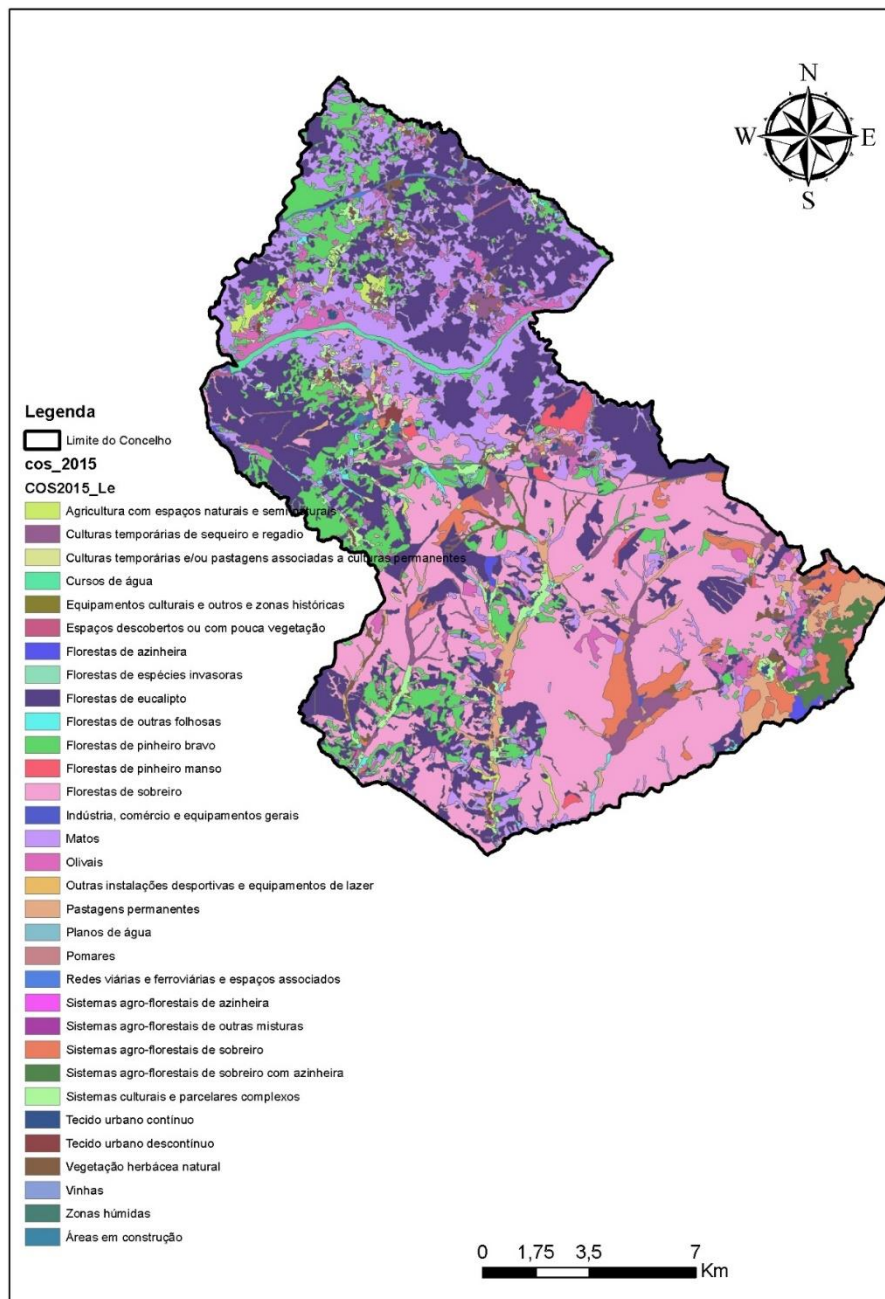


FIGURA 29 - CARTA DE OCUPAÇÃO E USO DO SOLO DE 2015

ANEXO III – Compósito Falsa Cor



FIGURA 30 - COMPÓSITO COLORIDO DE FALSA COR COM AS BANDAS 8,4 E 3

ANEXO IV – Compósito Cor Verdadeira

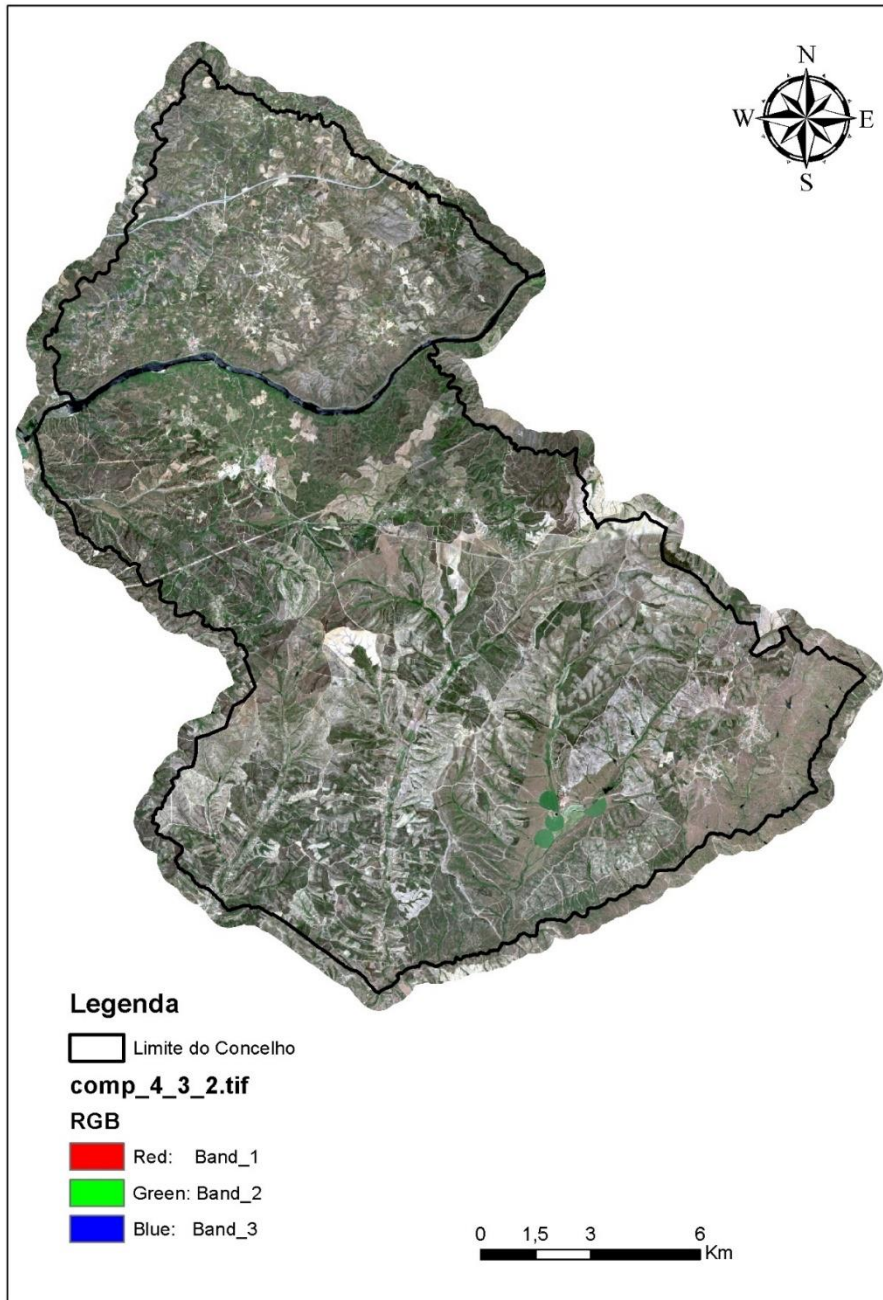


FIGURA 31 - COMPÓSITO COLORIDO COR VERDADEIRA COM AS BANDAS 4, 3 E 2

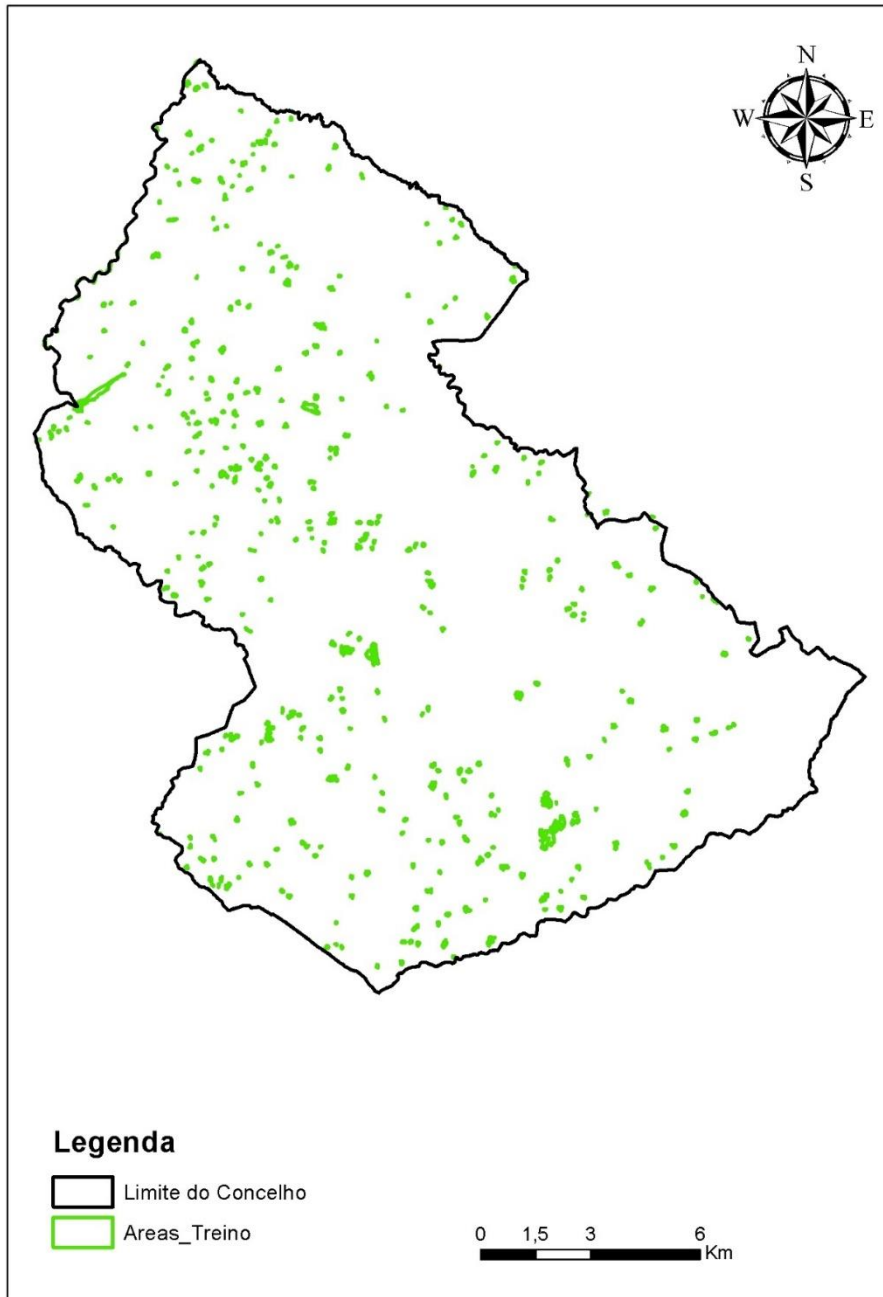


FIGURA 32 - ÁREAS DE TREINO UTILIZADOS PARA A CLASSIFICAÇÃO

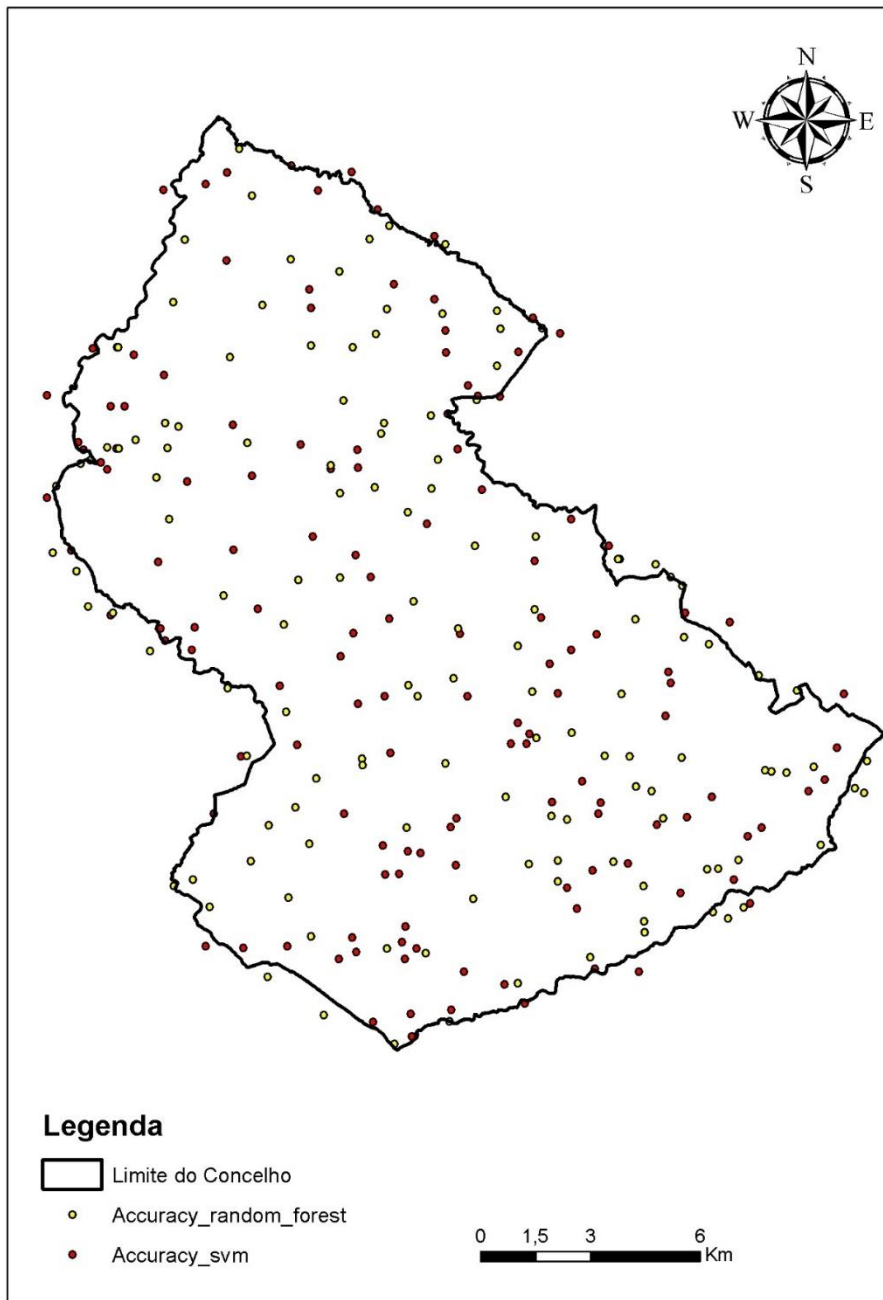


FIGURA 33 - PONTOS ALEATÓRIOS UTILIZADOS NOS DOIS ALGORITMOS

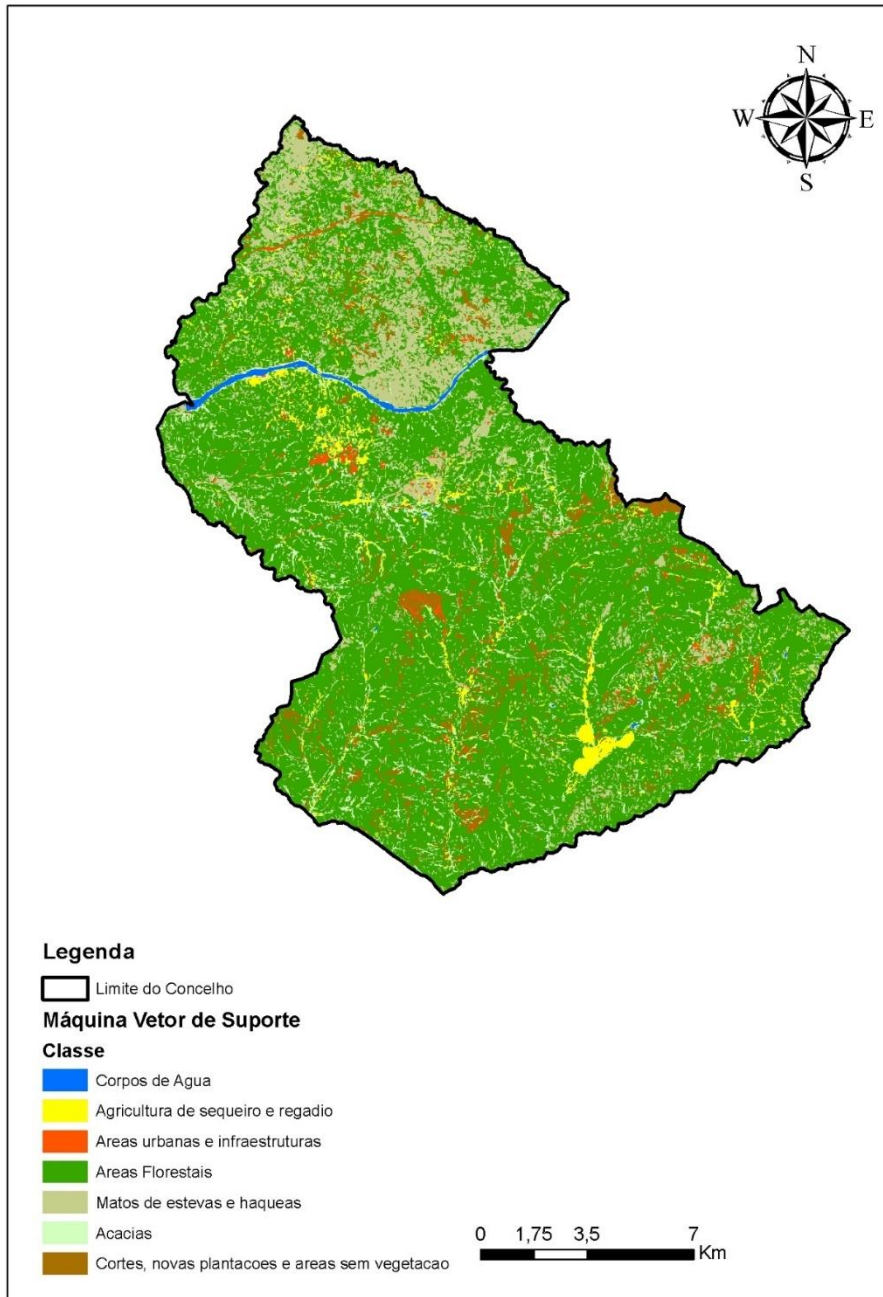


FIGURA 34 - CLASSIFICADOR DE MÁQUINA VETOR SUPORTE

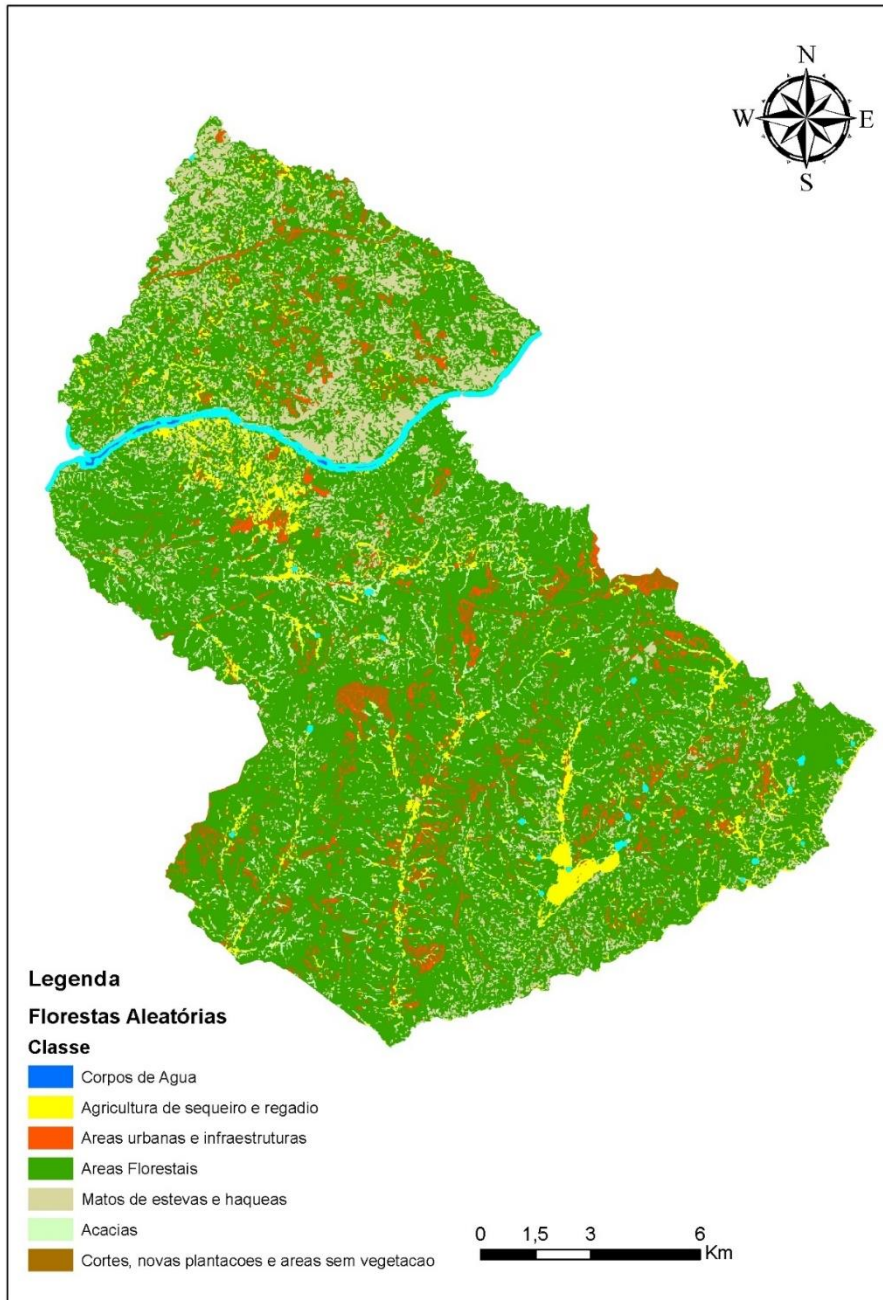


FIGURA 35 - CLASSIFICAR FINAL DAS FLORESTAS ALEATÓRIAS COM A MELHOR CLASSIFICAÇÃO