

Universidade de Lisboa
Faculdade de Ciências
Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia



Elaboração de chaves de classificação da ocupação do solo em imagens de satélite

Carla Sofia Guerreiro Patinha

Projeto

Mestrado em Engenharia Geográfica

2014

Universidade de Lisboa
Faculdade de Ciências
Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia



Elaboração de chaves de classificação da ocupação do solo em imagens de satélite

Carla Sofia Guerreiro Patinha

Projeto

Mestrado em Engenharia Geográfica

Orientadores: Prof. Dr. João Catalão Fernandes e Eng^a. Célia Sousa

2014

Resumo

Esta dissertação descreve o trabalho desenvolvido no IFAP - Instituto de Financiamento da Agricultura e Pescas, I.P., no âmbito do Mestrado em Engenharia Geográfica. O trabalho incidiu essencialmente na integração e acompanhamento das atividades desenvolvidas na Secção de Parcelário, e teve como tema de estudo a elaboração de chaves de interpretação da ocupação do solo e o desenvolvimento de um sistema de verificação célere das declarações prestadas pelos agricultores.

Na vertente de integração das atividades que se desenvolvem no Instituto, produziram-se e controlaram-se posicionalmente ortofotografias, correspondentes às Folhas 410 e 411, da série M888 da Carta Militar de Portugal do Instituto Geográfico do Exército (IGeoE). No âmbito da Deteção Remota, foram utilizadas imagens de muito alta resolução espacial, provenientes do satélite *GeoEye-1*. Utilizaram-se quatro regiões distintas de Portugal: Reguengos de Monsaraz e Alvito, para a produção, controlo posicional e equalização de ortoimagens; e Vale de Cambra e Palmela, para o desenvolvimento do tema de estudo.

A produção de ortofotografias e de ortoimagens, englobou três fases importantes, tais como: a triangulação aérea e em bloco (respetivamente), a extração do modelo digital do terreno de forma automática e na fase final a respetiva ortoretificação.

O desenvolvimento do tema de estudo considerou as seguintes fases: a escolha das áreas de estudo e definição da nomenclatura a utilizar, a demarcação das áreas de treino, a classificação automática das imagens de satélite através de um método de classificação supervisionado e a sua avaliação. Por fim foi ainda desenvolvida uma metodologia de extração automática das zonas não agrícolas para verificação das áreas declaradas, nos pedidos de ajuda comunitários. No decorrer deste trabalho, a análise de resultados é realizada posteriormente à descrição e metodologia utilizadas, sendo o último capítulo destinado às conclusões finais.

Abstract

The dissertation describes the role of activities developed at IFAP - Instituto de Financiamento da Agricultura e Pescas, I.P., in order to finish the Master Degree in Geomatic Engineering. The thesis was focused on the enrolment of the student in the development of the current activities of the IFAP Cadastral Section (1st part) and in the elaboration of interpretation keys for the soil occupation, supporting the development of a simple and quick check system for the farmers declaration about cultures (2nd part).

Concerning the enrolment of the student on the Institute current activities (1st part), particularly in the production of orthophotographies from aerial images, and making its positional control for the geographic area correspondent to Sheet 410 e 411 of the Military Chart of Portugal, Series M888, from the Instituto Geográfico do Exército (IGeoE). Regarding remote sensing field (2nd part), it were used very high spatial resolution images from *GeoEye-1* satellite. The satellite images cover four distinct regions of Portugal: Reguengos de Monsaraz and Alvito (in the South) were used for the production of ortoimages and it was made its positional control and equalization. The satellite images that cover the area of Vale de Cambra (in the North) and Palmela (at the centre) were used for the thematic investigation development.

The production of ortophotoimages and ortoimages were made in digital environment and divided in three main steps: aerial triangulation and on block (accordingly), the automatically digital elevation model extraction and finally the orthorectification.

The thematic investigation and development was divided according the follow main tasks: the study area selection and the nomenclature to use in the classification of the soil occupation, the training areas demarcation, the automatic classification of the satellite images using a supervised classifier and the results evaluation. The final task considered the development of a methodology to automatically extract the non-agriculture areas declared on the European guarantee funds for agriculture. The results are discussed after the parts description and methodologies, the chapter was final reserved to ending considerations.

Agradecimentos

Gostava de remeter os meus agradecimentos,

Ao Professor Doutor João Catalão Fernandes pela oportunidade que me concedeu, para realizar o estágio na Secção de Parcelário do IFAP, assim como pela disponibilidade e orientação demonstrada ao longo de todo este percurso;

Ao IFAP – Instituto de Financiamento da Agricultura e Pescas, principalmente ao Eng.º João Falcão e Eng.ª Célia Sousa por me receberem e permitirem que ali desenvolvesse este projeto. Não podia deixar de marcar um agradecimento especial ao João Afonso, que sempre esteve disponível para ajudar, transmitir os seus conhecimentos e muitas vezes adiar o seu trabalho em prol do auxílio nas mais diversas fases do projeto. A todas as outras pessoas, da Secção de Parcelário, que de alguma forma, proporcionaram uma boa integração, apoio e motivação para continuar;

Aos meus colegas e amigos de curso, assim como aos amigos de sempre e a todos aqueles que de alguma forma contribuíram com o seu apoio durante todos estes anos de partilha, conselhos e amizade;

Ao meu namorado, companheiro e amigo, pelas muitas horas de acalma das minhas aflições e incertezas, assim como, pelos momentos de alegrias e concretizações partilhadas. Obrigada pela paciência, pelos conselhos e pela motivação de todos os dias;

E como não poderia deixar de ser, o meu maior agradecimento dirijo-o à minha mãe, à minha avó e ao meu irmão, pela educação, formação e valores que sempre me inculcaram, não me deixando nunca desistir apesar das adversidades da vida. Sem eles e sem a sua força, o meu caminho de vida certamente não teria sido o mesmo!

Índice Geral

Resumo	i
Abstract.....	ii
Agradecimentos	iii
Índice Geral	iv
Índice de Figuras	vi
Índice de Tabelas	ix
Índice de Anexos	x
Acrónimos	xi
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento.....	1
1.2. Contexto Histórico do IFAP	2
1.3. Objetivo	3
1.4. Contributos	4
1.5. Organização do Trabalho.....	4
2. Materiais e Métodos	6
2.1. A Detecção Remota.....	6
2.2. Características do Satélite Utilizado.....	8
2.3. <i>Software</i> Utilizado	13
2.3.1. ERDAS IMAGINE.....	13
2.3.1.1. <i>Leica Photogrammetry Suite</i>	13
2.3.1.2. <i>Pyramids Layers</i>	16
2.3.1.3. <i>Mosaic Pro from 2D View</i>	16
2.3.1.4. <i>AutoSync Workstation</i>	17
2.3.2. ENVI.....	19
2.3.2.1. <i>Regions of Interest</i>	20
2.3.2.2. <i>Maximum Likelihood Classification</i>	20
2.3.2.3. <i>Confusion Matrix</i>	22
2.3.2.4. <i>Band Math</i>	25
2.4. Conceitos Utilizados no Parcelário Agrícola.....	26
3. Produção de Ortoimagens.....	28

3.1. Produção de Ortofotografias e Controlo Posicional	31
3.1.1. Área de Estudo	31
3.1.2. Características da Cobertura Aerofotográfica e do Voo.....	32
3.1.3. Metodologia.....	33
3.1.4. Análise de Resultados e Conclusões	37
3.2. Produção de Ortoimagens e Controlo Posicional	39
3.2.1. Área de Estudo	40
3.2.2. Metadados das Imagens de Satélite	40
3.2.3. Metodologia.....	41
3.2.4. Análise de Resultados e Conclusões	44
3.3. Equalizar Ortoimagens	45
3.3.1. Apresentação do Problema e Objetivo	45
3.3.2. Metodologia.....	45
3.3.3. Resultados e Conclusões	47
4. Elaboração de Chaves de Classificação da Ocupação do Solo	49
4.1. Análise e Tratamento da Informação.....	52
4.1.1. Áreas de Estudo	52
4.1.2. Metadados das Imagens de Satélite	53
4.1.3. Pré-Processamento	54
4.1.4. Identificação das Classes de Ocupação do Solo.....	61
4.2. Processo de Extração das Classes de Ocupação do Solo.....	78
4.2.1. Classificação	78
4.2.2. Análise de Resultados.....	86
4.2.3. Avaliação da Classificação	89
4.3. Sistema de Detecção de Falsas Declarações	94
4.3.1. Apresentação do Problema	94
4.3.2. Metodologia Inicial	94
4.3.3. Metodologia Adotada	96
4.3.4. Análise de Resultados.....	100
5. Conclusões Finais	102
Referências Bibliográficas.....	104
Anexos	107

Índice de Figuras

Figura 1 – (à esq.) Estrutura Interna do Satélite GeoEye-1; (à dir.) Satélite GeoEye-1...	9
Figura 2 – Arquitetura do Sistema de Funcionamento do <i>GeoEye-1</i>	9
Figura 3 – Sistema de Varrimento <i>Pushbroom</i>	10
Figura 4 – Exemplos da Forma de Aquisição do Satélite <i>GeoEye-1</i>	11
Figura 5 – (à esq.) Imagem <i>GeoEye-1</i> Multiespectral RGB e IVP e (à dir.) Imagem <i>GeoEye-1</i> Pancromática	11
Figura 6 – Imagem <i>GeoEye-1</i> Fusionada com Resolução de 0.50m.....	11
Figura 7 – Exemplo da Sobreposição de um Par Estereoscópico para Geração de um MDS	15
Figura 8 – Comparação Entre Dois Tipos de <i>Seamlines</i> Utilizados.....	17
Figura 9 – Limite de Aceitação do Classificador de Máxima Verosimilhança.....	21
Figura 10 – Exemplo da Tabela de Contingência	23
Figura 11 – Classificação da Ocupação do Solo	27
Figura 12 – Associação entre Escala do Levantamento do Voo Fotográfico e a Resolução Média no Terreno.....	33
Figura 13 – Exemplificação do Planeamento das 3 Fiadas relativa à CM410 e os Respetivos Pontos de Tomada de Fotografia Disponibilizado pela Entidade Adjudicada	34
Figura 14 – Extrato do Ficheiro .txt Importado com os Parâmetros de Orientação Externa da CM 410.....	34
Figura 15 – Resultado Final da Georreferenciação da CM410	36
Figura 16 – Mosaico Recortado pela Quadrícula da CM410	36
Figura 17 – Mosaico Recortado pela Quadrícula da CM411	37
Figura 18 – (à esq.) Folha de Campo do PF 41001 e (à dir.) Local Aproximado do PF 41001 na Ortofoto.....	38
Figura 19 – Enquadramento da Região das Imagens de Satélite a Georreferenciar.....	40
Figura 20 – Conjunto de Pontos Homólogos Adquiridos de Forma Automática em que (à esq.) é o Mosaico de Ortofotos de Referência e a Imagem A1; e (à dir.) é o Mosaico de Ortofotos de Referência e a Imagem A2	43
Figura 21 – Resultado Final da Georreferenciação e Recorte das Imagens da Região de Reguengos de Monsaraz.....	43
Figura 22 – (à esq.) Imagens Originais; (à dir.) Imagens Equalizadas da Região de Alvito.....	47

Figura 23 – (à esq.) Imagens Equalizadas no <i>MosaicPro</i> ; (à dir.) Exemplo das Fronteiras entre as Imagens	48
Figura 24 – Resultado Final do Mosaico do <i>site</i> da Região de Alvito	48
Figura 25 – Esquematização do Processo a Desenvolver.....	51
Figura 26 – Enquadramento das Imagens de Satélite de Vale de Cambra e Palmela	53
Figura 27 – Esquematização Final do Processo de Ortorectificação	55
Figura 28 – Recorte da Área de Estudo de Vale de Cambra, (à esq.) a fusão das 4 bandas na composição colorida RGB (321) e (à dir.) a mesma fusão das 4 bandas mas com otimização linear.....	56
Figura 29 – Histograma Espectral e Respetiva Estatística da Área de Estudo de Vale de Cambra	57
Figura 30 – Área de Estudo de Vale de Cambra com Otimização Linear	58
Figura 31 – Recorte da Área de Estudo de Palmela, (à esq.) a fusão das 4 bandas na composição colorida RGB (321) e (à dir.) a mesma fusão das 4 bandas mas com otimização linear.....	59
Figura 32 – Histograma Espectral e Respetiva Estatística da Área de Estudo de Palmela	59
Figura 33 – Área de Estudo de Palmela com Otimização Linear.....	60
Figura 34 – Exemplos de Área Social com Telha de Cerâmica; Telha Branca ou Metalizada e Telha Escura.....	63
Figura 35 – Exemplos dos Vários Tipos de Estradas de Alcatrão Considerados.....	65
Figura 36 – Exemplos de Zonas Húmidas Com e Sem Reflexo	66
Figura 37 – Exemplos de Áreas com Sombra Provocada por Área Social e Árvores....	69
Figura 38 – Exemplos de Terrenos Incultos	70
Figura 39 – Exemplo de Floresta com Presença de Eucalipto, Pinheiro Bravo e Outras Espécies	74
Figura 40 – Distinção entre o Pinheiro Manso e as Outras Espécies Arbustivas a partir de Fotografia de Campo	76
Figura 41 – Distinção entre Pinheiro Manso e Sobreiro através da Imagem de Satélite de Palmela (à esq.) e da Imagem do <i>Google Earth 3D</i>	76
Figura 42 – Histograma e Respetiva Estatística da Resposta Espectral do Sobreiro	77
Figura 43 - Mapa Temático para a Região de Vale de Cambra	80
Figura 44 - Mapa Temático para a Região de Palmela.....	81
Figura 45 – Distribuição das Espécies nas Florestas da Região Norte.....	87
Figura 46 – Correspondência entre as Amostras de Treino (TR) e as de Teste (TS).....	91
Figura 47 – (à esq.) Recorte de uma Área de Vale de Cambra; (à dir.) Resultado do Cálculo do NDVI.....	95

Figura 48 – Histograma Resultante do Cálculo do NDVI da Imagem de Vale de Cambra	95
Figura 49 – Histograma Resultante da Aplicação Direta da Equação 7 à Imagem de Satélite de Vale de Cambra	97
Figura 50 – A1) Extrato da Imagem de Satélite de Vale de Cambra; A2) Extrato com Aplicação da Equação 7; A3) Máscara Binária; A4) Resultado Final	98
Figura 51 – Histograma Resultante da Aplicação Direta da Equação 7 à Imagem de Satélite de Palmela.....	99
Figura 52 – B1) Extrato da Imagem de Satélite de Palmela; B2) Extrato com Aplicação da Equação 7; B3) Máscara Binária; B4) Resultado Final.....	99
Figura 53 – Mapa Temático Referente a um Extrato da Área de Estudo de Vale de Cambra com Sobreposição, do Ficheiro de Parcelas de Ocupação do Solo e das Máscaras Binárias Provenientes das Duas Técnicas Utilizadas	101
Figura 54 – Mapa Temático Referente a um Extrato da Área de Estudo de Palmela com Sobreposição, do Ficheiro de Parcelas de Ocupação do Solo e das Máscaras Binárias Provenientes das Técnicas Utilizadas.....	101

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Características Técnicas do Satélite <i>GeoEye-1</i>	12
Tabela 2 – Desempenho do Índice <i>Kappa</i>	24
Tabela 3 – Desvios Planimétricos da CM410	39
Tabela 4 – Desvios Planimétricos Referentes à CM410	39
Tabela 5 – Metadados das Imagens de Satélite da Região de Reguengos de Monsaraz	41
Tabela 6 – Desvios Planimétricos da Ortoimagem A1.....	44
Tabela 7 – Desvios Planimétricos da Ortoimagem A2.....	44
Tabela 8 – Metadados da Imagens de Satélites de Vale de Cambra e Palmela.....	54
Tabela 9 – Correlação entre as 4 bandas que compõem a Imagem de Satélite de Vale de Cambra	58
Tabela 10 – Correlação entre as 4 bandas que compõem a Imagem de Satélite de Palmela	60
Tabela 11 – Equivalência da Nomenclatura Utilizada pelo IFAP e a Nomenclatura Adotada.....	62
Tabela 12 – Conjunção de Extratos Correspondente à Classe de Área Social.....	82
Tabela 13 – Extratos Correspondente à Classe de Estradas de Alcatrão.....	82
Tabela 14 – Conjunção de Extratos Correspondente à Classe de Zonas Húmidas	83
Tabela 15 – Extratos Correspondente à Classe de Sombra	83
Tabela 16 – Extratos Correspondente à Classe de Terrenos Incultos.....	84
Tabela 17 – Extratos Correspondente à Classe de Vegetação Rasteira.....	84
Tabela 18 – Conjunção de Extratos Correspondente à Classe de Espaço Florestal Arborizado/Eucalipto e Espaço Florestal Arborizado/Pinheiro Manso	85
Tabela 19 – Comparação entre a Dimensão da Amostra de Treino e a Dimensão da Área Classificada em cada Classe de Ocupação do Solo para Vale de Cambra	86
Tabela 20 – Comparação entre a Dimensão da Amostra de Treino e a Dimensão da Área Classificada em cada Classe de Ocupação do Solo para Palmela	88
Tabela 21 – Tabela de Contingência da Imagem de Vale de Cambra.....	93
Tabela 22 – Tabela de Contingência da Imagem de Palmela.....	93
Tabela 23 – Resultados da Precisão Global e Índice <i>Kappa</i> para as Imagens de Vale de Cambra e Palmela.....	93

Índice de Anexos

Anexo A – Resultado da Calibração da Câmara Fotográfica <i>UltraCamEagle</i>	107
Anexo B – Controlo Posicional da CM 410	108
Anexo C – Controlo Posicional da CM 411	109
Anexo D – Resultado da Triangulação em Bloco da Imagem A1 realizada no LPS (subcapítulo 3.2)	110
Anexo E – Resultado da Triangulação em Bloco da Imagem A2 realizada no LPS (subcapítulo 3.2)	112
Anexo F – Número de Amostras de Treino e Teste Para Vale de Cambra e Palmela .	114
Anexo G – Tabela de Contingência Referente à Imagem de Satélite de Vale de Cambra e Palmela	115
Anexo H – Número de Amostras de Treino e Teste Para Vale de Cambra e Palmela.	116

Acrónimos

AFN – Autoridade Florestal Nacional

APM – *Automatic Point Measurement*

CAP – Confederação dos Agricultores Portugueses

CM – Carta Militar

COS – Carta de Ocupação do Uso do Solo

IFADAP – Instituto Financeiro de Apoio ao Desenvolvimento da Agricultura e Pescas

IFAP – Instituto de Financiamento da Agricultura e Pescas, I.P.

IGeoE – Instituto Geográfico do Exército

INGA – Instituto de Intervenção e Garantia Agrícola

INS – *Inertial Navigation System*

GCP – *Ground Control Points*

GMT – *Greenwich Mean Time*

GPP – Gabinete de Planeamento e Política

GPS – *Global Positioning System*

MDS – Modelo Digital de Superfície

ND – Número Digital

LPS – *Leica Photogrammetry Suite*

PAC – Política Agrícola Comum

PAL – Palmela

PAMAF – Programa de Apoio à Modernização Agrícola e Florestal

PF – Ponto Fotogramétrico

POCS – Parcelas de Ocupação do Solo

RMSE – *Root Mean Square Error*

RNES – Reserva Natural do Estuário do Sado

ROI – Região de Interesse

RPC – *Rational Polynomial Coefficients*

SIP – Sistema de Identificação de Parcelas

TIFF – *Tagged Image File Format*

VC – Vale de Cambra

1. Introdução

1.1. Enquadramento

Este relatório incide sobre o trabalho desenvolvido, no IFAP - Instituto de Financiamento da Agricultura e Pescas, que decorreu durante 4 meses, entre 2 de Outubro de 2013 e 31 de Janeiro de 2014, mais concretamente na seção de Parcelário Agrícola, também designado por Sistema de Identificação de Parcelas (SIP). É neste Instituto que é prestado auxílio direto aos agricultores, na apresentação dos seus pedidos de ajuda, assim como é assegurado o controlo das parcelas e o correto pagamento das ajudas. A criação deste sistema permitiu gerar uma base de dados geográfica com a identificação de mais de 400 000 produtores e a referenciação geográfica de cerca de 3 000 000 de parcelas agrícolas, de forma única e coerente, através da atribuição de um número único a cada elemento da exploração (IFAP, 2014).

Em 2012, João Machado (Presidente da Confederação dos Agricultores Portugueses - CAP) numa entrevista publicada no suplemento do Diário Económico de 23 de julho de 2013, sobre a Agricultura e o Regresso à Terra, afirma que Portugal importou menos mil milhões de euros de produtos agrícolas, deixando o setor agrícola português mais dinâmico do que nunca. Este facto deveu-se essencialmente à realidade que Portugal atravessa atualmente, levando muitas pessoas a direcionarem os seus investimentos para o cultivo dos seus terrenos até então “descurados”.

Devido à expansão desta área promissora, poderá vir a ser possível desenvolver técnicas automáticas ou pelo menos quase-automáticas para interpretar a ocupação do solo com o rigor, rapidez e eficácia que se exige, denotando que o IFAP controla parcelas agrícolas a partir da dimensão mínima de 100m².

A fotointerpretação constitui uma das tarefas fundamentais para a atualização da plataforma *online* (iSIP), que permite aos agricultores ou associações de agricultores demarcarem as suas parcelas agrícolas. A chave de fotointerpretação desenvolvida para as fotografias aéreas é uma das ferramentas de apoio à identificação das ocupações do

solo das parcelas identificadas no SIP, permitindo ao técnico relacionar os ortofotomapas com a respetiva classe de ocupação do solo real através de exemplos representativos (IFAP, 2013b).

As imagens disponibilizadas atualmente na plataforma provêm de fotografias aéreas nos anos em que é realizado voo fotográfico e atualizada com imagens de satélite de alta ou muito alta resolução, nos anos intermediários aos voos fotográficos.

Presentemente, devido à utilização das imagens de satélite, o IFAP sentiu a necessidade de avaliar se era possível construir uma chave de interpretação semelhante à que havia construído para fotografias aéreas. A sua realização possibilitaria um controlo de perdas mais célere, através da extração da informação espectral dos vários elementos que compõem a superfície terrestre, de forma pormenorizado, que necessitaria de menos recursos físicos como seriam necessários em caso de fotointerpretação.

1.2. Contexto Histórico do IFAP

Portugal, influenciado pelos demais países hoje pertencentes à União Europeia, sentiu a necessidade de valorizar e modernizar a economia portuguesa, através da internacionalização do seu investimento, tentando captar capitais externos e canalizar projetos com efeitos estruturantes para o tecido empresarial nacional (DR, 1996a).

Para que tal se sucedesse foi necessário implementar uma reforma na Política Agrícola Comum (PAC), com o objetivo de promover a agricultura deixando de ser apenas para produção de bens alimentares para passar a incluir a vertente ambiental. A reestruturação do Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas, proporcionou um desenvolvimento mais eficiente, assumindo duas estratégias: a agro-comercial (visão de produção e venda) e a de eco-rural (visão direcionada para a natureza). Três das medidas implementadas para redução do impacte ambiental e com repercussões relevantes no espaço rural, passavam por diminuir a utilização de poluentes na agricultura, mudança ou manutenção dos sistemas agrícolas tradicionais e a conservação dos recursos e da paisagem rural.

Assim desta forma também o Programa de Apoio à Modernização Agrícola e Florestal (PAMAF) foi reestruturado, ficando as respetivas candidaturas sujeitas a análise e decisão do Instituto Financeiro de Apoio ao Desenvolvimento da Agricultura e Pescas (IFADAP). A este Instituto competia desenvolver e manter os programas informáticos necessários à gestão das candidaturas, celebrar os contratos de concessão das ajudas e efetuar os pagamentos das mesmas, assim como assegurar o controlo e fiscalização dos compromissos contratuais estabelecidos com os beneficiários (DR, 1996b).

Em fins de 2002, é criado um conselho de administração único para o IFADAP e o Instituto de Intervenção e Garantia Agrícola (INGA), canalizando quase na totalidade todos os apoios nacionais e comunitários destinados aos sectores agrícola e das pescas (DR, 2002).

O IFAP surge assim em Março de 2007, resultante da fusão entre o IFADAP e o INGA, tendo como missão validar e proceder ao pagamento do financiamento dos beneficiários, no âmbito da agricultura e do desenvolvimento rural, assim como propor políticas e estratégias de informação e comunicação para garantir a conceção, execução e avaliação das iniciativas propostas pelo Ministério, dentro dos prazos estabelecidos e com a racionalização de recursos disponíveis (DR, 2007).

1.3. Objetivo

O presente trabalho de projeto tem como objetivos a elaboração de chaves de classificação da ocupação do solo para uso em imagens de satélite e o desenvolvimento de um sistema de deteção precoce de falsas declarações, a partir da chave de classificação obtida e pelo ensaio de uma técnica de separação de zonas de agrícolas e não agrícolas.

Para o efeito serão utilizadas duas imagens de muito alta resolução, do satélite *GeoEye-1*, nas regiões de Vale de Cambra e Palmela.

Foi solicitada a discriminação de 7 classes principais de ocupação do solo: área social, estradas de alcatrão, zonas húmidas, terrenos improdutivos, floresta e, inerente a esta, a distinção entre eucalipto e pinheiro manso.

Para além dos objetivos concretos e determinados quanto à temática em estudo, foi objetivo fundamental deste estágio a inserção, perceção e participação em atividades desenvolvidas no Instituto. As atividades desenvolvidas tiveram como propósito o conhecimento de um novo *software*, de novas ferramentas de trabalho, estimular a resolução de problemas e aplicar conhecimentos que foram sendo adquiridos durante a Licenciatura e Mestrado em Engenharia Geográfica e que são utilizados nas atividades diárias do Instituto.

1.4. Contributos

Com o projeto desenvolvido no IFAP, é deixado como contributo para o Instituto o reconhecimento do comportamento espectral de alguns dos objetos que compõem a superfície terrestre, por forma a elaborar uma chave de interpretação para duas regiões de Portugal Continental, utilizando imagens de muito alta resolução. Outro dos contributos fundamentais que foi concedido ao Instituto foi através da obtenção de uma máscara de separação entre as zonas de cultivo e as zonas de inviabilização agrícola. Apesar dos resultados poderem vir a ser otimizados, considera-se que o estudo realizado, as experiências e as limitações encontradas ao longo de todo o projeto e documentadas neste relatório, terão o seu maior contributo na posteridade, em trabalhos futuros.

Este trabalho vem de certa forma contribuir para colmatar uma parte de informação que estava em falta, sendo expectável que este seja um dos primeiros passos para uma evolução ascendente no domínio da caracterização agrícola com base em imagem de satélite.

1.5. Organização do Trabalho

Este relatório está organizado em 5 capítulos, que se subdividem em subcapítulos.

No primeiro capítulo é descrito o enquadramento do trabalho e percurso histórico do Instituto relativamente às funções desempenhadas no quotidiano e onde decorreu toda a componente prática inerente a este projeto e é apresentado o objetivo e contributos propostos para o estágio.

No segundo capítulo são referidos alguns conceitos teóricos relativos à Detecção Remota, por ser a área responsável pelo manuseamento e análise de imagens de satélite, descrevendo também as características principais do satélite e sensor de que provêm as imagens utilizadas. É ainda feita uma descrição pormenorizada do modo de funcionamento das ferramentas a que foi necessário recorrer nos dois *softwares* utilizados e a apresentação de alguns conceitos de referência utilizados no âmbito do SIP.

O terceiro capítulo apresenta as atividades que foram desenvolvidas fora do contexto do tema de estudo, que incidiu essencialmente na produção de ortoimagens e equalização das mesmas.

O quarto capítulo é responsável pela temática de estudo e compreende 3 fases: a de tratamento da informação, a de extração das classes de ocupação do solo e o sistema de deteção de falsas declarações.

No quinto e último capítulo são apresentadas as considerações finais a retirar de todo o trabalho e algumas considerações a ter em conta no futuro, para o desenvolvimento de técnicas de aperfeiçoamento da extração e separação das classes de interesse para o Instituto.

Na parte final do relatório encontram-se as referências bibliográficas e os anexos referentes a alguns documentos utilizados e informação produzida ao longo do trabalho.

2. Materiais e Métodos

2.1. A Detecção Remota

“ A Terra só foi observada como uma esfera azulada no meio do Espaço por uma vintena de privilegiados: os astronautas que viajaram à Lua... Felizmente todos podem ter essa visão da Terra, na atualidade, graças aos satélites de Detecção Remota!” (Satelmac, 2012)

A Detecção Remota, definida na literatura inglesa como *Remote Sensing*, teve a sua origem em meados do século XX, na sequência do lançamento de um dos primeiros foguetes V-2 acoplado com pequenas câmaras fotográficas. Apesar da fraca qualidade das fotografias obtidas, esta técnica inovadora mudou de forma significativa a conceção que se tinha, até então, sobre a aquisição de informação fotográfica da superfície terrestre, revelando a sua potencialidade.

Os bons resultados obtidos pelos vários satélites LANDSAT, lançados ao longo do tempo, foram o fator decisivo para suscitar um grande interesse da comunidade científica internacional e da sociedade em geral, pela área da Detecção Remota, marcando a atualidade de muitos dos estudos científicos, com base nas imagens adquiridas pelos mais variados satélites existentes atualmente (Satelmac, 2012).

Os satélites de observação da Terra têm três componentes essenciais: a plataforma de suporte, o objeto ou alvo a observar e o sensor para receber e registar a informação sobre o objeto. O sensor capta a energia solar que é refletida pela superfície dos objetos, registando-a sob a forma de radiação nas várias regiões do espectro eletromagnético, sendo que o olho humano só consegue ver numa região muito ínfima do mesmo (0.4 μ m – 0.7 μ m). A deteção remota veio assim aumentar o nosso campo de visão, permitindo o acesso a informação adicional sobre a composição da superfície terrestre. A diferenciação entre estas zonas do espectro eletromagnético (resolução espectral), assumem a designação de bandas ou canais, produzindo uma imagem composta por *pixels*. Os *pixels* que compõem cada imagem (i.e. entenda-se que se refere ao conjunto das bandas disponíveis no sensor) têm sempre a mesma dimensão associada a uma área do terreno;

ou seja, têm todos a mesma resolução espacial, que no âmbito deste trabalho serão de muito alta resolução com um *pixel* inferior a 1x1m (ex. *Quick-Bird* e *GeoEye-1*) (ESA, 2014).

Todas as bandas, independentemente do sensor, apresentam-se sob a forma de uma matriz, formato *raster*, em que cada número que a compõe representa o Número Digital (ND) associado a um determinado *pixel*, numa gama de valores inteiros, que por norma varia entre 0 e 255 níveis de cinzento, no caso de uma imagem de *8bits*. Desta forma, por quantos forem os níveis de cinzento (i.e. ND) que componham cada banda, assim se define a sua resolução radiométrica. Quanto à frequência com que um satélite passa por um mesmo ponto da superfície, num determinado período de tempo, é designado por resolução temporal (ex. *GeoEye-1* são 2 a 3 dias).

Devido ao facto do sistema de aquisição de imagens a partir de satélite ser um sistema dinâmico, as imagens originais recebidas apresentam degradações devido a desajustes na calibração dos sensores e erros na transmissão de dados (correção radiométrica), a influências atmosféricas (correção atmosférica) e distorções geométricas (correção geométrica). Estes erros, quando não corrigidos, podem vir a comprometer os resultados obtidos e, por isso, normalmente as empresas que fornecem as imagens de satélite, corrigem previamente muitos desses erros (Figueiredo, 2005).

A qualidade das imagens de satélite, adquiridas atualmente, conduziu ao crescente interesse pela produção de mapas de ocupação do solo, capazes de aproximar as imagens à realidade do terreno. Cada objeto reflete de forma diferenciada a energia que recebe, como é o caso da água, da vegetação ou do solo, assim como de tantas outras que de tão complexas, tornam o seu estudo desafiante e trabalhoso, para interpretar, classificar e validar cada classe que ocupa a superfície terrestre. A interpretação e classificação das classes de ocupação do solo permitem atualizar base de dados geográficas, com o intuito de auxiliar todos os serviços ou repartições, a prestar mais e melhores informações seja no sector da agricultura, da construção civil ou do planeamento urbano (Meneses, 2013).

Mesmo considerando os avanços tecnológicos presentes na deteção remota, a extração de classes de ocupação do solo a partir de imagens de satélite continua a ser um processo muito complexo, em que a classificação se apresenta como um dos principais alicerces

desse processo (Chilar, 2000; Caetano *et al.*, 2002). A classificação consiste no reconhecimento de padrões espectrais, recorrendo a algoritmos matemáticos, que permitem a conversão da energia captada pelo sensor, em informação sobre a ocupação do solo da superfície terrestre (Jensen, 2004).

O interesse crescente sobre os métodos de classificação do solo permitiu que fossem desenvolvidos vários métodos nas últimas décadas (Lu and Weng, 2007), permitindo ter-se classificadores ao nível do *pixel* (método supervisionado – máxima verosimilhança e distância mínima e método não supervisionado – *k-means* e *isodata*), classificadores orientados ao objeto (árvores de decisão e redes neuronais), ou ainda classificadores difusos (*fuzzy*).

De todos os classificadores até hoje desenvolvidos, não existiu ainda nenhum que satisfizesse completamente todas as situações, pelo que autores como Qian *et al.* (2007) considerou testar vários classificadores e adotar o que obtivesse melhor exatidão temática.

Contudo, e devido à crescente disponibilidade de imagens, a investigação continuará a estar focada no desenvolvimento de novos classificadores, capazes de dar resposta e capitalizar o investimento feito no desenvolvimento da tecnologia espacial, com vista a emergente produção de cartografia de ocupação do solo.

2.2. Características do Satélite Utilizado

Para a concretização deste trabalho, foram utilizadas imagens de satélite de muito alta resolução, provenientes do satélite *GeoEye-1*. A empresa e-GEOS ASI/*Telespazio Company* é a entidade a quem são adquiridas as imagens, por intermédio da Comissão Europeia.

O satélite *GeoEye-1*, anteriormente conhecido como *OrbView-5*, foi lançado a 6 de setembro de 2008. Um dos principais investidores deste satélite é a *Google*, tendo acesso direto às imagens e disponibilizando-as através do *Google Maps* e *Google Earth*.

Este satélite dispõe de 1 banda pancromática e 4 bandas multiespectrais: Azul (B), Verde (G), Vermelho (R) e Infravermelho Próximo (IVP) com diferentes comprimentos de onda – Ver Tabela 1.

A nave espacial (i.e. veículo para viagens interplanetárias, com capacidade para viajar acima da atmosfera), que juntamente com um telescópio principal, alguns giroscópios, dois recetores de GPS e outros elementos importantes que compõem o satélite *GeoEye-1*, são estabilizados em 3 eixos com um sistema de controlo de altitude sofisticado, que lhe permite estar muito estável, dentro dos limites estabelecidos, enquanto plataforma de imagem rotativa. Na nave foi introduzida uma bateria e sete painéis solares (Figura 1), capazes de recolher energia solar suficiente para manter o satélite de quase 2000kg sempre em pleno funcionamento (EoPortalDirectory, 2014).



Figura 1 – (à esq.) Estrutura Interna do Satélite GeoEye-1; (à dir.) Satélite GeoEye-1
Fonte: [Adaptado de EoPortalDirectory, 2014]

Os dados recolhidos são armazenados nas unidades de memória RAM a bordo e recolhidos a partir do comando e controlo da sede do *GeoEye*, nas estações terrestres de aquisição de imagens. No total são necessárias quatro estações próprias, mais quatro arrendadas a empresas regionais, capazes de receber os dados primários, devido à grande quantidade de dados que são adquiridos pelo satélite (Croft, 2008). Na Figura 2, apresenta-se o esquema representativo da arquitetura do sistema de funcionamento do *GeoEye-1*.

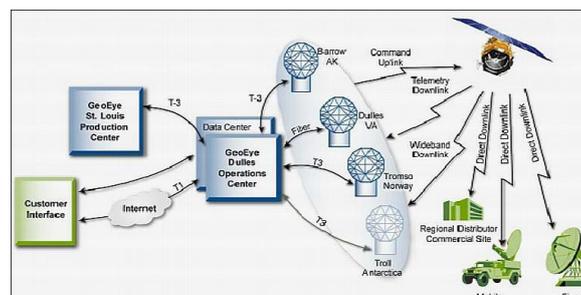


Figura 2 – Arquitetura do Sistema de Funcionamento do *GeoEye-1*
Fonte: [Schuster, 2007]

A radiação, depois de passar pelo telescópio, passa através de duas ranhuras paralelas ao plano focal, que compõem o dispositivo de carga dos sensores (CCD) pancromáticos e logo abaixo os sensores multiespectrais estão dispostos sob quatro filas, em que cada uma filtra a radiação do espectro respetiva (RGB e IVP). Cada *pixel* presente no sensor (CCD) que filtra a banda pancromática tem uma dimensão de cerca de $8\mu\text{m}$, dos mais de 35000 sensores que compõem o vetor linear. Por outro lado, cada *pixel* presente no sensor (CCD) que filtra as bandas multiespectrais, tem uma dimensão de $32\mu\text{m}$, dos mais de 9300 sensores que compõem o vetor linear. Esta é a razão principal pela qual o *GeoEye-1* consegue ter uma maior nitidez e resolução espacial, relativamente aos satélites existentes (Croft, 2008).

Considerando ainda o tipo de varrimento feito por estes sensores, pode verificar-se que o mesmo é do tipo *pushbroom*, ou seja, onde as linhas que compõem o vetor estão alinhadas na direção perpendicular ao movimento do satélite (*cross-track*), varrendo toda a largura da imagem em paralelo, como se demonstra pela Figura 3 abaixo apresentada (GeoEye, 2007 e Orbital, 2014).

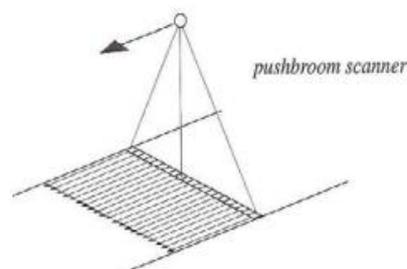
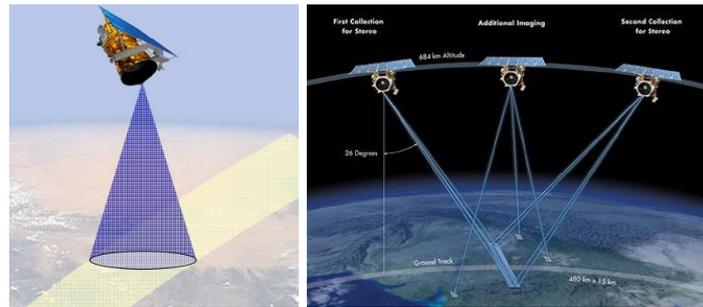


Figura 3 – Sistema de Varrimento *Pushbroom*

Fonte: [Catalão, 2012]

As imagens resultantes deste satélite provêm da aquisição de duas imagens, mais uma imagem adicional, durante uma única passagem, de um mesmo ponto da superfície mas com diferentes perspetivas, como está representado na Figura 4. O conjunto de imagens adquirido é composto por uma imagem obtida num ângulo de 26° *along track* relativamente à superfície e por uma segunda imagem num ângulo de maior amplitude. A distância a que as duas imagens são adquiridas é a necessária para manter uma consistência na tonalidade entre as imagens e assim, permitir uma melhor interpretação da informação recolhida para a realização operações de estereoscopia.

Figura 4 – Exemplos da Forma de Aquisição do Satélite *GeoEye-1*

Fonte: [Schuster, 2007; Eurimage, 2014]

O *GeoEye-1* é um dos mais atuais satélites de observação da superfície terrestre, com capacidade para adquirir imagens de muito alta resolução – 0.41m na banda do pancromático e 1.65m nas bandas multiespectrais – Figura 5.

Figura 5 – (à esq.) Imagem *GeoEye-1* Multiespectral RGB e IVP e (à dir.) Imagem *GeoEye-1* Pancromática

Fonte: [Zhang, 2009]

Fazendo *pansharp*, i.e. aumentar a resolução das bandas multiespectrais através da fusão com a banda pancromática, a sua resolução pode atingir os 0.50m, salientando melhor os contornos dos objetos (Figura 6).

Figura 6 – Imagem *GeoEye-1* Fusionada com Resolução de 0.50m

Fonte: [Zhang, 2009]

Relativamente à sua *órbita*, ela é heliosíncrona, que se encontra a uma altitude de 684km, com um período de 98 minutos e uma inclinação de 98.1°. O tempo médio aproximado de revisita é de 2 a 3 dias, dependendo do ângulo de visualização. Devido à forte agilidade da sua câmara, esta consegue varrer uma largura de faixa de 15.2km no nadir numa única passagem, sendo capaz de recolher 700 000km² por dia na banda do pancromático e 350 000km² por dia, nas bandas multiespectrais.

Esta plataforma *orbital* consegue fornecer imagens muito detalhadas, detentoras de rigor e precisão suficiente, que permitam a geração de mapas de ocupação do uso do solo e deteção de alterações com um resultado bastante apreciável. Outras das aplicações destas imagens, passam pela fiscalização e monitorização agrícola, interpretação visual, estudos de desenvolvimento económico, sector imobiliário, defesa e segurança nacional, transportes marítimos e aéreos, energia, petróleo e gás.

Na Tabela 1 apresentam-se de forma sintetizada as características técnicas do satélite em causa.

Tabela 1 – Características Técnicas do Satélite *GeoEye-1*
Fonte: [Adaptado de *Satellite Imaging Corporation*, 2014]

Características		Satélite GEOEYE-1
Lançamento	Data e Local	6 de setembro de 2008 Base Aérea de Vandenberg, Califórnia, EUA
	Tempo de Vida da Missão	Expectável > 10Anos
Órbita	Altitude	684km
	Tipo e Período	Heliosíncrona; 98minutos
	Inclinação	98°
	Velocidade	7.5km/seg
	Cruza a Linha do Equador	10h30
Sensor	Tipo	CCD – GIS (Kodac ITT)
	Abertura Ótica	1.1m
	Distância Focal	13.3m
	Detetores	35 000 Linhas (PAN); 9 300 Linhas (MULTI)
Sistema de Varrimento	Tipo	<i>Pushbroom</i>
	Ângulo Máximo de Visada Off-Nadir	60° ou 45° <i>along-track</i>
Resolução Radiométrica	-	11 <i>bits/pixel</i>
Resolução Temporal	-	8.3dias – 10° off-nadir 2.8dias – 28° off-nadir 2.1dias – 35° off-nadir
Capacidade de Recolha	PAN; MULTI	700 000km ² por dia; 350 000km ² por dia
	Largura da Faixa de Captura (<i>Swath</i>)	15.2km No Nadir
Resolução Espacial	Banda PAN - No Nadir	0.41m
	Banda PAN - Com Elevação de 60°	0.50m
	Bandas MULTI - No Nadir	1.65m
	Bandas MULTI - Com Elevação de 60°	2m
Intervalo Espectral	Pancromático	450 – 800nm
	Azul	450 – 510nm
	Verde	510 – 580nm
	Vermelho	655 – 690nm
	Infravermelho Próximo	780 – 920nm

2.3. Software Utilizado

Para a concretização deste trabalho de projeto foi utilizado *software* distinto consoante a necessidade requerida. Para o desenvolvimento das atividades propostas, algumas correntes no dia-a-dia na seção de parcelário agrícola, foi utilizado o *Erdas Imagine*. Quanto ao tema de estudo, foi desenvolvido com o auxílio do *software Envi* sendo que numa fase final deste foi utilizado o *ArcGIS*. Este último foi também utilizado para produção de alguns mapas e principalmente para visualização de informação vetorial. Será descrito nos subcapítulos seguintes algumas das características, vantagens e desvantagens mais importantes, ferramentas mais utilizadas e alguns conceitos matemáticos e/ou teóricos inerentes às funcionalidades utilizadas.

2.3.1. ERDAS IMAGINE



Este *software* é propriedade da *Intergraph Corporation Part of Hexagon*. Este é muito útil no tratamento, equalização e classificação de imagem com base em métodos bem conhecidos. Este programa tem um ambiente de trabalho agradável, de fácil adaptação e utilização das ferramentas que o compõe.

O *ERDAS IMAGINE* foi desenvolvido para integrar aplicações geo-espaciais, com relevância para o processamento digital de imagens, permitindo a importação ou exportação de dados em diversos formatos, ortorectificação, a geração de mosaicos de imagens, disponibilizando vários métodos de classificação supervisionada e não supervisionada, assim como técnicas de Interferometria Radar e Lidar que não irão ser exploradas no contexto deste projeto (Intergraph, 2012).

2.3.1.1. Leica Photogrammetry Suite

Uma das componentes de maior interesse deste *software* é a possibilidade de criar um projeto denominado por *Leica Photogrammetry Suite* (LPS), que permite triangular e

ortorectificar imagens de forma relativamente rápida, a partir de vários tipos de câmaras digitais e sensores de satélite.

O LPS permite gerar projetos fotogramétricos com introdução ou medição e execução de *Ground Control Points* (GCP) manual ou automaticamente, fazendo a triangulação aérea de várias imagens automaticamente, realizar o controlo de qualidade para verificar a exatidão do produto final, integrar dados *Global Positioning System* (GPS) e extrair Modelos Digitais de Superfície (MDS, ou *Digital Surface Model, DSM*, em inglês) diretamente a partir das imagens (Intergraph, 2012).

No projeto LPS é conjugada a relação matemática entre pontos coordenados no terreno/espaciais das fotografias/imagens inseridas nesse projeto e os parâmetros de orientação interna da câmara/sensor utilizado. Tanto o processo de triangulação aérea (que utiliza fotografias aéreas) como o de triangulação em bloco (que utiliza imagens de satélite) consistem na determinação das coordenadas do terreno a partir da medição de pontos fotogramétricos (PF's).

Com o avanço da fotogrametria digital, o LPS passou a incorporar uma técnica matemática conhecida como ajustamento do bloco (*block adjustment*), para processar a triangulação, que se baseia em três funções fundamentais:

- Para determinar a posição e a orientação de cada imagem no momento de exposição fotográfica ou por sensor, são estimados os parâmetros de orientação externa recorrendo a um mínimo de três pontos de controlo para todo o bloco, independentemente da quantidade de imagens que estão inclusas no projeto;

- Para determinar as coordenadas do terreno de quaisquer pontos de ligação, quer seja manual ou automaticamente, estes são medidos nas áreas de sobreposição das várias imagens, o que se torna útil para gerar pontos de controlo, que em grande quantidade permitem gerar um MDS, interpolando esses mesmos pontos;

- Para minimizar e distribuir os erros associados, é feito um ajustamento em bloco, que processa as informações do bloco inteiro de uma só vez, utilizando técnicas estatísticas de identificação, distribuição e remoção automática do erro.

A informação resultante da triangulação é exigida pela ferramenta LPS, para a produção do MDS e como entrada para a ortoretificação.

A geração do MDS de forma automática envolve que estejam disponíveis os parâmetros de orientação interna referentes à câmara ou sensor com que foram adquiridas as imagens. Este processa-se segundo um algoritmo robusto que correlaciona as posições de duas imagens, nas zonas de sobreposição das mesmas, calculando a posição tridimensional (3D) no sistema de projeção do bloco, representando digitalmente a forma da superfície da Terra (Intergraph, 2012).

A extração automatizada do MDS tem como principais funções:

- A capacidade de extrair os dados de elevação do terreno a partir de um par de imagens;
- Poder extrair MDS individuais ou num único mosaico abrangendo o bloco todo, sendo apenas necessário definir o tamanho da célula de saída, o nome e o tipo de MDS;
- Poder minimizar a área de sobreposição entre um dado par de imagens, introduzindo um valor percentual (Figura 7), o que ajuda à eliminação de partes das imagens que poderiam acrescentar erros no processo de extração.

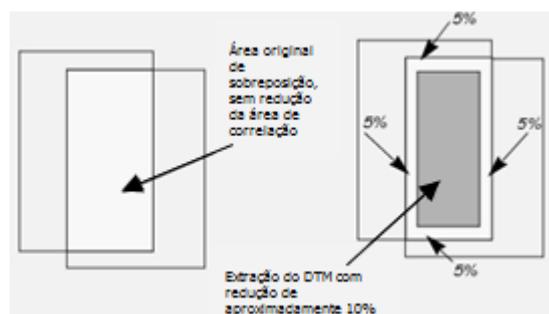


Figura 7 – Exemplo da Sobreposição de um Par Estereoscópico para Geração de um MDS

Fonte: [Adaptado de Intergraph, 2012]

A ortoretificação constitui a fase final do processo de produção cartográfica e do projeto LPS e é caracterizada pelo método de extrair ortofotos, que não são mais que imagens corrigidas dos deslocamentos do terreno, a nível geométrico.

2.3.1.2. *Pyramids Layers*

O cálculo das pirâmides, é opcional, mas facilita e otimiza a exibição de grandes volumes de dados, num tempo de processamento mais curto. O número de pirâmides geradas é variável consoante o tamanho da imagem. Por defeito, utiliza uma interpolação binomial (*kernel*) com uma janela de 3×3 *pixels*, ou seja, com 9 *pixels* vizinhos do nível de resolução mais alta para atingir o *pixel* no nível atual da pirâmide.

As informações da imagem original são preservadas porque a interpolação, apesar de suavizar moderadamente a imagem, conserva as características óticas mais significativas da mesma. O seu tempo de processamento é muito idêntico ao da matriz de 2×2 , mas consideravelmente mais rápido que a matriz de 4×4 .

O cálculo das pirâmides fica acoplado à imagem sob a forma de um ficheiro cuja extensão é o *.rrd* (Intergraph, 2012; Leica, 2007a).

2.3.1.3. *Mosaic Pro from 2D View*

O *Mosaic Pro* é uma ferramenta que permite juntar várias imagens num mosaico, dando coesão a uma determinada porção de terreno. Quanto às suas características, permite compor, visualizar e corrigir o mosaico antes de este ser processado. Este permite que se juntem imagens com diferentes projeções e diferente resolução espacial, mas em contrapartida todas as imagens têm que ter a mesma resolução espectral (mesmo número de bandas).

Para a obtenção de um mosaico mais homogeneizado, foram utilizadas para correção da cor as seguintes ferramentas: a *Illumination Equalized*, (corrige as variações de iluminação ou cor de zonas das imagens muito escuras ou brilhantes), o *Color Balancing*, (elimina as variações de brilho, assumindo que estas variações podem ser modeladas como uma superfície), o *Image Dodging* (corrige irregularidades radiométricas) ou o *Histogram Matching* (permite fazer coincidir, histogramas de imagens que tenham sido adquiridas em dias distintos, e que por isso tenham pequenas diferenças de elevação do sol ou efeitos atmosféricos) – (Intergraph, 2012).

Como método de intersecção entre as imagens foram utilizados dois dos quatro modos disponíveis, por se verificar serem os que apresentavam melhores resultados para a definição das linhas de junção (*seamlines*), com base na geometria ou na ponderação dos pesos atribuídos.

As *seamlines* com base na geometria, utilizam a geometria das zonas de sobreposição em vez dos valores dos *pixels*. Numa região de sobreposição que envolva apenas duas imagens, divide a sobreposição em duas partes iguais. Este tipo de junção adapta-se bem a regiões planas e de cor homogénea, porém não se adapta a regiões que contenham urbanizações com prédios muito altos, pontes ou estradas.

Relativamente às *seamlines* com base na ponderação do peso, estas são divididas em pequenos segmentos, cujos *pixels* são comparados com os *pixels* adjacentes, gerando *seamlines* computacionalmente mais complexas que as baseadas na geometria (Ver exemplo na Figura 8). As *seamlines* podem ser modificadas se o mosaico apresentar falhas de informação nas zonas de sobreposição (Intergraph, 2012; Leica, 2007b).

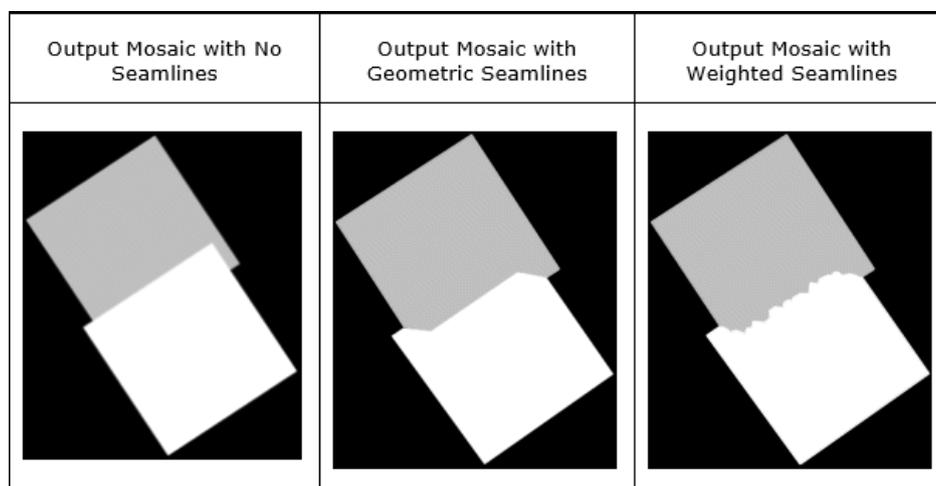


Figura 8 – Comparação Entre Dois Tipos de *Seamlines* Utilizados
Fonte: [Intergraph, 2012]

2.3.1.4. *AutoSync Workstation*

O *Autosync Workstation*, tal como o LPS, apresenta-se como das ferramentas de grande interesse, complexa e com alguma intervenção do utilizador. Esta ferramenta tem como utilidade principal a calibração ou reamostragem de fotografias aéreas ou imagens de

satélite, através da utilização de uma imagem já georreferenciada (de referência) e um MDS que cubra a área de interesse.

O *Autosync Workstation* funciona essencialmente a partir da definição das propriedades introduzidas no seu projeto. Inicialmente é definida a estratégia de medição automática de pontos (*Automatic Point Measurement – APM*) que consiste na identificação das características semelhantes entre a imagem a corrigir e a imagem de referência. Para uma utilização eficaz da APM, a qualidade e o tipo de imagem são fatores determinantes, pelo que é necessário testar estratégias diferentes para que se possa obter uma grande amostra de pontos, com grande qualidade (Intergraph, 2012).

Na definição da estratégia APM, pode optar-se por escolher uma distribuição padrão ou um padrão definido. A distribuição padrão consiste na sobreposição de uma grelha regularmente espaçada em cada imagem, na tentativa de encontrar pontos correspondentes num padrão bem distribuído. A APM tenta detetar pontos dentro de uma grelha de 512×512 pixels, se nenhum ponto for encontrado repete a procura para a grelha seguinte, otimizando a probabilidade de encontrar pontos bem distribuídos e minimiza o tempo de procura em imagens grandes. No caso de se optar pelo padrão definido e se utilizar os valores que vêm por defeito no *software*, é possível determinar-se a localização exata dos pontos homólogos entre as duas imagens. Assim, são discriminados vários parâmetros que melhor descrevem a imagem a corrigir, em vez de se introduzir apenas o número de pontos que se deseja gerar, como acontece na distribuição padrão.

Acedendo às propriedades avançadas do projeto, é possível definir parâmetros como a densidade, correlação, qualidade mínima para os pontos a adquirir, a precisão inicial, opção de evitar as sombras, para otimizar a aquisição automática de pontos homólogos (Intergraph, 2012).

Quanto à escolha do modelo geométrico, estão disponíveis 4 tipos de transformação, de entre as quais se optou por utilizar a transformação polinomial com introdução dos coeficientes polinomiais racionais (*Rational Polynomial Coefficients – RPC*) presentes no ficheiro *rpc.txt* que acompanha a imagem de satélite. Segundo Silva (2007), os RPC estão diretamente relacionados com as imagens de muito alta resolução espacial que são obtidas a partir de visadas oblíquas, o que agrava muito a distorção causada pela

topografia do terreno. Assim, para que se obtenham imagens com elevada qualidade geométrica, é necessário que estas imagens sofram um processo de ortoretificação que reduza significativamente essa distorção. Para uma boa correção da imagem era essencial a utilização do MDS, mas tendo em conta que este tem um elevado custo associado, as entidades que disponibilizam as imagens de satélite passaram a fornecer os parâmetros que permitem ao cliente proceder ele mesmo à correção das imagens. Em vez de serem introduzidos os dados referentes à geometria do sensor e parâmetros *orbitais*, introduzem-se os RPC, que consistem fundamentalmente na associação entre um ponto da imagem de referência (ortoretificada), através da relação entre as coordenadas geodésicas (latitude – φ , longitude – λ e altitude – h), com um ponto da imagem a corrigir (não ortoretificada) através das coordenadas da imagem (linha, coluna). Os coeficientes são estimados pelo método de mínimos quadrados, ajustando os dados fornecidos pelo modelo físico 3D do sensor, onde os parâmetros de orientação da imagem derivam dos dados das efemérides e atitude do sensor, sem recorrer à utilização de pontos de controlo medidos no terreno (Fraser *et al.*, 2006).

Quanto à projeção, esta é seleccionada de acordo com a da imagem de referência, e como *datum* vertical introduz-se o MDS disponível.

Se os resultados obtidos no final do processo da estratégia APM não forem satisfatórios, pode recorrer-se à aquisição manual de pontos e proceder novamente à correção da imagem.

2.3.2. ENVI



O ENVI é propriedade de *Exelis Visual Information Solutions*. Este é um *software* que combina a tecnologia de processamento e análise espectral, com um interface amigável, intuitivo e moderno, com bastante informação disponível para consulta.

Este foi seleccionado para integrar parte deste projeto, devido à limitação que o software anterior apresentou quando se recorreu aos seus histogramas, para demonstração da resposta espectral das amostras de treino, nas quatro bandas do sensor, uma vez que este

não permitia ter sempre o mesmo campo de comparação (i.e. se a resposta espectral de uma determinada classe A, variasse de 30 – 115 na banda do azul e entre 50 – 90 na banda do vermelho, os valores do histograma apenas eram restritos a esses valores, sem possibilidade de ajuste). Desta forma adotou-se o ENVI para o desenvolvimento do tema de estudo, descrito no Capítulo 4.

2.3.2.1. *Regions of Interest*

As regiões de interesse (abreviadas por ROIs) configuram-se numa pequena amostra de um *raster*, que são demarcados com um propósito específico, seja para selecionar áreas correspondentes à água, à vegetação, a estradas ou a qualquer outro objeto. Podem ser utilizadas em algumas ferramentas presentes no ENVI, tais como classificação e cálculo de estatísticas. As regiões podem ser do tipo ponto, linha ou polígono e facilmente são convertidas para *shapefile* e vice-versa.

2.3.2.2. *Maximum Likelihood Classification*

Para a extração das classes de ocupação do solo, foi utilizado um método de classificação supervisionado: o de Máxima Verosimilhança.

Este método foi escolhido como parte integrante deste projeto, devido à sua forma acessível de cálculo, mas de forma rigorosa, muito utilizado em Detecção Remota.

A classificação de máxima verosimilhança pressupõe a distribuição dos valores dos *pixels* da imagem, em cada área de treino, sendo descrita como uma função densidade de probabilidade. As estatísticas calculadas para cada classe e em cada banda seguem uma distribuição normal, calculando a probabilidade de um determinado *pixel* pertencer à classe que tem a maior probabilidade de ocorrência (i.e. probabilidade máxima). Se for selecionado um limite de probabilidade e se a maior probabilidade for menor que esse limite, então o *pixel* não é classificado (Figura 9). Por outro lado, se não for definido nenhum limite de probabilidade, então todos os *pixels* serão classificados (Richards and Jia, 2006).

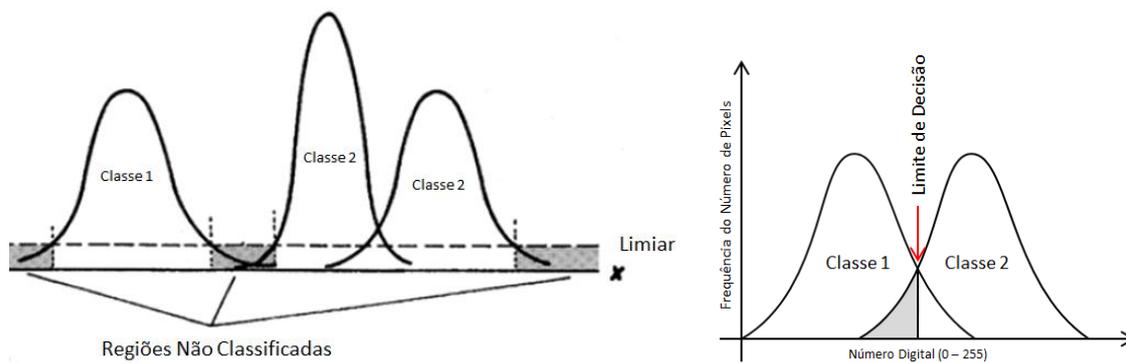


Figura 9 – Limite de Aceitação do Classificador de Máxima Verosimilhança

Fonte: [Adaptado de Richards and Jia, 2006]

Segundo Richards and Jia (2006), o classificador de máxima verosimilhança apresenta-se no *software* sob a seguinte função matemática (Equação 1) discriminante de cada *pixel* da imagem:

$$g_i(x) = \ln p(\omega_i) - \frac{1}{2} \ln |\Sigma_i| - \frac{1}{2} (x - m_i)^T \Sigma_i^{-1} (x - m_i) \quad (\text{Equação 1})$$

Onde i representa a classe; x é a dimensionalidade dos dados (n) em que n representa o número de bandas; $p(\omega_i)$ representa a probabilidade que a classe ω_i ocorra na imagem e assumido para todas as classes; $|\Sigma_i|$ é o determinante da matriz de covariâncias dos dados na classe ω_i ; Σ_i^{-1} é a matriz inversa e m_i é o vetor médio dos *pixels* pertencentes a uma dada classe i .

Antes do processo de classificação, é possível ainda gerar uma imagem-regra associada à classificação, com o objetivo de produzir resultados intermédios no processo anterior à atribuição final das classes. A geração da imagem-regra permite a sua utilização posterior para criar uma nova imagem, sem ter que recalcular a classificação inteira (Richards and Jia, 2006).

Há ainda a considerar que neste tipo de classificação o operador deve conhecer bem a imagem a ser classificada, de maneira a que possa definir classes que sejam representativas, uma vez que o tamanho da amostra condiciona de forma significativa a construção da matriz de covariâncias. Assim, se se verificar que as amostras de treino estão limitadas na imagem, deverá optar-se por outro método de classificação, que não utilize a matriz de covariâncias (ex. Mínima Distância ou Paralelepípedo).

2.3.2.3. *Confusion Matrix*

Segundo Congalton and Green (2009) a tabela de contingência ou também denominada por matriz de confusão, é uma matriz quadrada que expressa de forma simplificada a precisão com que foi obtida uma determinada classificação. Este cálculo efetua-se comparando um pequeno conjunto de *pixels* da classificação obtida (Dados Classificados) com outro conjunto de *pixels* conhecidos no terreno quanto à sua cobertura (Dados de Referência). O *software* permite que se calcule a tabela de contingência através de uma imagem considerada como verdadeiramente correspondente à ocupação do solo ou através de regiões de interesse. Da matriz pode extrair-se a precisão global da classificação e a precisão do utilizador e do produtor, associados aos erros cometidos na classificação por omissão ou comissão.

A precisão global da classificação, determina-se a partir do quociente entre a soma do número de *pixels* corretamente classificados e o número total de *pixels*. O número de *pixels* corretamente classificados encontra-se presente na diagonal da matriz, e representa a relação entre os dados classificados e os dados de referência, correspondendo-lhes a mesma classe.

Neste processo, quando uma classe dos dados de referência (ex. água) é atribuída a outras classes (ex. solo e vegetação), é considerado um erro de omissão. Os erros de comissão surgem quando a uma classe resultante da classificação (ex. água) na realidade pertence a várias classes da amostra de referência (ex. água, solo e vegetação). Estes erros estão relacionados com as precisões do produtor e do utilizador, respetivamente.

A precisão do produtor consiste no quociente entre o número de unidades de amostra corretamente atribuídas a uma determinada classe (diagonal da matriz) e o número de amostras que efetivamente pertencem a essa classe (colunas). A precisão do utilizador determina-se a partir do quociente entre o número de unidades de amostra corretamente atribuídas a uma determinada classe (diagonal da matriz) e o número de unidades de amostra atribuídas, corretamente ou não, a essa mesma classe (linhas). É possível observar-se na tabela de contingência da Figura 10 um exemplo dos cálculos descritos (Congalton and Green, 2009).

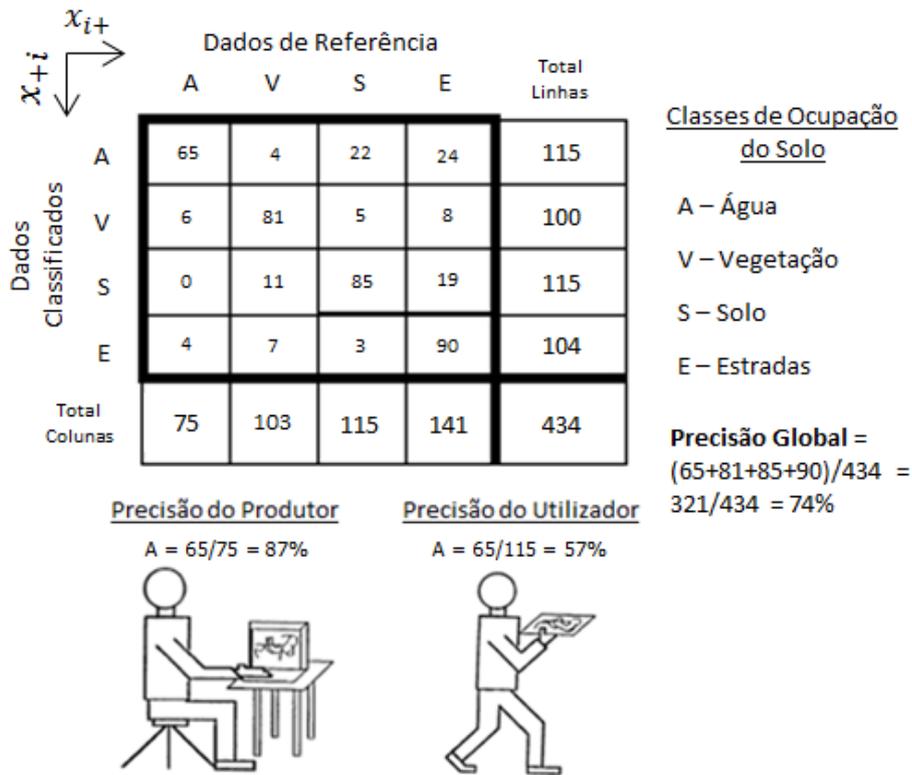


Figura 10 – Exemplo da Tabela de Contingência
 Fonte: [Adaptado de Congalton and Green, 2009]

Para além das medidas descritas, extraídas da tabela de contingência, alguns autores (Richards and Jia (2006); Congalton and Green (2009)) consideram ainda o cálculo do índice *Kappa*, visto que este exhibe resultados satisfatórios para avaliação da precisão da classificação. Este índice, ao contrário da Precisão Global, considera todos os elementos da tabela de contingência, incluindo os elementos fora da diagonal da matriz que representam os erros da classificação.

O índice *Kappa* foi definido por Coehn (1960), como um índice de concordância entre os dados de referência no terreno e os dados classificados, através da seguinte expressão matemática (Equação 2):

$$K = \frac{n \sum_{i=1}^k x_{ii} - \sum_{i=1}^k x_{i+} x_{+i}}{n^2 \sum_{i=1}^k x_{i+} x_{+i}} \tag{Equação 2}$$

Onde K é uma estimativa do índice *Kappa*; n é o número de classes da classificação; x_{ii} é o valor correspondente à linha e coluna i (matriz diagonal); x_{i+} é a soma da linha i e x_{+i} é a soma da coluna i da matriz de confusão.

O resultado do índice *Kappa* normalmente é comparado com os valores apresentados na Tabela 2, proposto por Landis and Koch (1977), com o intuito de avaliar qualitativamente a classificação obtida.

Tabela 2 – Desempenho do Índice *Kappa*
Fonte: [Adaptado de Landis and Koch, 1977]

Índice <i>Kappa</i>	Desempenho
< 0	Péssimo
$0 < k \leq 0.2$	Mau
$0.2 < k \leq 0.4$	Razoável
$0.4 < k \leq 0.6$	Bom
$0.6 < k \leq 0.8$	Muito Bom
$0.8 < k \leq 1.0$	Excelente

Quanto à dimensão da amostra dos dados de referência, esta pode ser obtida a partir de uma amostra aleatória, aleatória estratificada, sistemática ou a partir de agrupamentos de *pixels* (*clusters*), não estando regras muito bem definidas quanto à sua dimensionalidade. Para Congalton and Green (2009), a melhor amostra de validação seria aquela que tivesse uma predisposição completamente aleatória com um mínimo de 50 *pixels* por classe. De certa forma deverá ser tido em conta que a amostra tem que ser substancialmente grande, capaz de gerar uma análise estatística com significado, mas de outra forma, é preciso não esquecer que a recolha de dados de referência para pontos de validação é um processo que exige muitos recursos (tempo e custo).

Para a avaliação da classificação de grandes volumes de dados, Congalton and Green (2009), sugere que a amostra seja construída a partir de agrupamento de *pixels*, sendo que cada polígono não deverá ter menos do que 10 *pixels* e mais do que 25 *pixels* contíguos. O autor considera que mais do que 25 *pixels* contíguos, para além de não acrescentar nenhuma mais-valia de informação, ainda torna a amostra mais dependente dos *pixels* vizinhos.

Seria também favorável à avaliação da classificação, que se fosse um outro operador a demarcar os polígonos de avaliação, uma vez que a amostra já é condicionada pelo facto de se utilizar o agrupamento de *pixels*. Não sendo possível, o produtor da classificação pode então gerar a sua amostra de dados de referência, considerando a demarcação de polígonos, de forma idêntica à forma como adquiriu a amostra de dados para a classificação (Richards and Jia, 2006). A determinação do número mínimo da amostra de dados de referência pode ser calculada a partir do modelo binomial, proposto por Congalton and Green (2009):

(Equação 3)

$$n = \frac{B \Pi_i (1 - \Pi_i)}{b_i^2}$$

Onde n é o número de amostras; B é obtido a partir da tabela de distribuição do qui-quadrado com 1 grau de liberdade $(1 - \alpha) / k$, onde α é o nível de significância (em que os mais utilizados são os níveis de 5% e 1%) e k o número de classes; Π_i representa a proporção da classe com maior área classificada e b_i é o erro máximo admissível quanto ao número apropriado de amostras, que por regra se utiliza 5%.

Como já se referiu, não existe uma forma padrão nem regras perentórias de validação da classificação, e muitos autores têm vindo até a criticar os modelos binomiais utilizados até então, e estão agora a optar por utilizar modelos multinomiais (Congalton and Green, 2009).

2.3.2.4. *Band Math*

A matemática de bandas é uma ferramenta de processamento de imagem, que permite definir a banda ou imagem de entrada, a função matemática e imagem de saída num ficheiro ou em memória. Na matemática de bandas estão disponíveis operadores aritméticos como a soma, a subtração ou a multiplicação, operadores relacionais como maior ($>$ e \geq), menor ($<$ e \leq) e igual ($=$) e operadores lógicos como a conjunção (*AND*), disjunção (*OR*) e complementar (*NOT*).

Para o cálculo de índices que utilizem o quociente (ex. NDVI), então é necessário recorrer ao *Band Ratio* para realizar a divisão entre o numerador e o denominador, sendo que é a única função aritmética que a matemática de bandas não realiza.

2.4. Conceitos Utilizados no Parcelário Agrícola

Nesta seção considerou-se essencial, ainda definir e explicitar alguns conceitos e técnicas relevantes, utilizadas no Parcelário Agrícola, para uma melhor compreensão do trabalho desenvolvido.

Um dos conceitos base mais importante é o de Parcela de Referência, que segundo o Manual de Conceitos e Regras de Delimitação (IFAP, 2013a) e a Norma Técnica divulgada pelo Gabinete de Planeamento e Política (GPP) definem que é a «Área delimitada geograficamente com uma identificação única conforme registado no SIP, com base no conceito de “Bloco de Agricultor” decorrente das orientações da Comissão Europeia». Esta consiste na «... porção contínua de terreno homogéneo com limites estáveis agronómica e geograficamente, com uma identificação única conforme registado no SIP, classificada em função da categoria e classe de ocupação do solo». Encontram-se definidas 5 categorias de ocupação do solo (Figura 11) que são: a Superfície Agrícola, a Superfície Agro-Florestal, a Superfície Florestal, Outras Superfícies e Superfícies Lineares e da Paisagem. Quanto a classificação do solo em função da respetiva ocupação, foram definidas 28 classes divididas pelas 5 categorias, como por exemplo, culturas temporárias, culturas protegidas, espaço agro-florestal arborizado de sobreiros, bosque, aceiro florestal, área social, vias, elemento da paisagem galerias ripícolas, elemento linear de linha de água, sebes e corta ventos. Para facilitar a compreensão das categorias e classes de ocupação de solo descritas apresenta-se na Figura 11, a sua esquematização, assim como as siglas atribuídas.

Categoria	Classe de Ocupação de Solo	Sigla
1. Superfície Agrícola	1.1. Cultura Temporária	CTP-CA
	1.2. Pastagem Permanente	PPE-PP
	1.3. Vinha	VIN-VN
	1.4. Cultura Frutícola	POM-PM
	1.5. Olival	OLI-OL
	1.6. Misto de Culturas Permanentes	MXP-MX
	1.7. Culturas Protegidas	CPR-OA
	1.8. Outras Superfícies Agrícolas	OUT-OA
2. Superfície Agro-florestal	2.1. Espaço agro-florestal arborizado de Sobreiros	AFS-SB
	2.2. Espaço agro-florestal arborizado de Quercíneas	AFS-QU
	2.3. Espaço agro-florestal arborizado com aproveitamento no sob coberto	AFS-PM
	2.4. Espaço agro-florestal não arborizado	AFN-FR
3. Superfície Florestal	3.1. Espaço florestal arborizado	FFL-FL
	3.2. Bosquete	FBQ-FL
	3.3. Aceiro florestal	ACE-ON
	3.4. Zonas de Protecção/conservação	ZPC-ON
4. Outras Superfícies	4.1. Área social	SAS-AS
	4.2. Vias	VIA-AS
	4.3. Improdutivo	IMP-AI
	4.4. Massas de água	MAG-ON
	4.5. Zonas húmidas	ZPH-ON
	4.6. Outras áreas	OUT-ON
5. Elementos Lineares e da Paisagem	5.1. Elemento da Paisagem Bosquete	FBQ-EP
	5.2. Elemento da Paisagem Galerias Ripícolas	GRP-EP
	5.3. Elemento Linear Linha de Água	LAG-EL
	5.4. Elemento Linear em Orizicultura	ORI-EL
	5.5. Elemento Linear Zonas de Protecção Lagunar ou Ribeirinha	ZPL-EL
	5.6. Sebes e Corta Ventos	SCV-EL

Figura 11 – Classificação da Ocupação do Solo

Fonte: [IFAP, 2013a]

3. Produção de Ortoimagens

No decorrer deste trabalho de projeto, foi registado num cronograma semanal as atividades que foram sendo desenvolvidas. No cronograma surgem, mais atividades do que as descritas nos Capítulos 3 e 4. Isto deve-se ao facto de algumas das atividades serem repetidas ou pouco relevantes para o objetivo em causa.

Inicialmente foi dado a conhecer pelo IFAP, documentação relativa à caracterização da ocupação do solo e a forma e precisão com que a comissão europeia exige que seja feita a ortoretificação das imagens. Depois houve uma familiarização com o *software* utilizado, e procedeu-se à produção de ortimagens a partir de fotografia aérea e de imagens de satélite e determinaram-se os respetivos erros posicionais. Realizou-se também, a equalização de imagens através da aplicação de técnicas de melhoramento de imagem.

Para além das atividades realizadas no contexto quotidiano do IFAP, foi desenvolvida a identificação de algumas classes de ocupação do solo e um sistema de deteção de falsas declarações, por parte dos agricultores. Devido à extensão e pouca relação entre as atividades relatadas anteriormente com este desenvolvimento, considerou-se desenvolvê-lo num capítulo à parte (Capítulo 4).

Quanto ao sistema cartográfico de referência adotado pelo Instituto e projetado em todos os produtos concebidos, assumirá ao longo do desenvolvimento do texto a denominação de DT73_IFAP ou *Datum 73 Hayford-Gauss* com falsa origem (quando se tratar de mapas). Este tem como sistema geodésico o *Datum 73* e como elipsóide de referência o *Hayford-Gauss* ou Internacional 1924. O seu ponto origem do *Datum 73*, está situado no Vértice Geodésico de Melriça e o centro da projeção cartográfica no ponto central ($\phi = 39^\circ 40' N$ e $\lambda = -8^\circ 07' 54''.862$), com a falsa origem deslocada para oeste 200180.598m e para sul 299913.010m, a sudoeste do Cabo de São Vicente (Catalão, 2007).

Período Semanal	Tarefas Desempenhadas
02/Out/2013 a 04/Out/2013	<ul style="list-style-type: none"> - Leitura de manuais de apoio do trabalho desenvolvido no IFAP; - Enquadramento e análise das fotografias aéreas delimitadas pela quadrícula das Cartas Militares 410 e 411; - Conversão das fotografias aéreas de 16Bits para 8Bits; - Processamento automático das fotografias aéreas para extração do DSM da Carta 411.
07/Out/2013 a 11/Out/2013	<ul style="list-style-type: none"> - Processamento manual das fotografias aéreas para extração do DSM da Carta 410; - Geração e junção dos ortofotos individuais correspondentes à quadrícula das Cartas Militares 410 e 411 e posteriormente divididos em 16 blocos, à escala aproximada de 1/10000; - Validação das coordenadas dos PF's, nos ortofotos por forma a detetar alguns erros cometidos em todo o processo;
14/Out/2013 a 18/Out/2013	<ul style="list-style-type: none"> - Verificação de PF's para validação dos ortofotos e da cartografia existente, correspondentes à quadrícula das Cartas Militares de 26 a 34 (Ilha de São Miguel – Açores); - Obtenção do ortoimagem Satélite <i>GeoEye-1</i> da região de Reguengos de Monsaraz e Controlo de Qualidade; - Leitura de Literatura correspondente ao tema de estudo;
21/Out/2013 a 25/Out/2013	<ul style="list-style-type: none"> - Processamento de classificação não supervisionada da imagem do satélite <i>GeoEye-1</i> anteriormente georreferenciada; - Processamento de classificação não supervisionada da imagem do satélite <i>GeoEye-1</i> da região de Sines; - Equalização manual e automática de ortoimagens da região de Oleiros;
28/Out/2013 a 01/Nov/2013	<ul style="list-style-type: none"> - Continuação da equalização manual e automática de ortoimagens da zona de Reguengos de Monsaraz, Chamusca e Arcos de Valdevez; - Redação do relatório de estágio;
04/Nov/2013 a 08/Nov/2013	<ul style="list-style-type: none"> - Continuação da equalização manual e automática de ortoimagens da zona de Reguengos e Arcos de Valdevez;
11/Nov/2013 a 15/Nov/2013	<ul style="list-style-type: none"> - Equalização manual e automática de ortoimagens da zona de Alvito;
18/Nov/2013 a 22/Nov/2013	<ul style="list-style-type: none"> - Equalização das ortoimagens da zona de Alvito com apenas 3 das suas 4 bandas (RGB), devido à dificuldade em equalizá-las da forma comum; Utilização do <i>GDAL_Translate</i> para retirar o IV; - Pesquisa de algumas técnicas capazes de classificar a ocupação do solo de forma automática (Exemplo: <i>Feature Analyst</i>);

25/Nov/2013 a 29/Nov/2013	<ul style="list-style-type: none"> - Continuação da equalização manual e automática de ortoimagens da zona de Alvito; - Redação parcial do relatório de estágio;
02/Dez/2013 a 06/Dez/2013	<ul style="list-style-type: none"> - Teste com as 6 ortoimagens <i>GeoEye-1</i> de Oleiros, das funcionalidades de identificação de objetos com o <i>Feature Analyst (ArcGIS)</i> e com o <i>Objective Manager (Erdas Imagine)</i>;
09/Dez/2013 a 13/Dez/2013	<ul style="list-style-type: none"> - Exploração das técnicas de análise de imagem e métodos de classificação disponibilizados pelo <i>Erdas Imagine</i> (Testes com um Ortoimagem <i>GeoEye-1</i> de Oleiros: <i>Signature Editor</i>, <i>Image Segmentation</i>, Classificação Supervisionada);
16/Dez/2013 a 20/Dez/2013	<ul style="list-style-type: none"> - Exploração do <i>software ENVI</i> devido à ineficácia do <i>software</i> anterior para apresentação dos histogramas de identificação das classes a discriminar; - Obtenção dos histogramas de identificação das classes de interesse através das regiões de interesse (ROI); - Extração de objetos da imagem através da segmentação baseada em regras de forma e disposição dos elementos;
23/Dez/2013 a 27/Dez/2013	<ul style="list-style-type: none"> - Redação do relatório de estágio;
30/Dez/2013 a 03/Jan/2013	<ul style="list-style-type: none"> - Redação do relatório de estágio;
06/Jan/2013 a 10/Jan/2013	<ul style="list-style-type: none"> - Obtenção dos histogramas de identificação espectral de algumas das classes (Áreas Sociais; Estradas; Floresta e Zonas Húmidas (<i>ENVI 5.1</i>); - Exploração do <i>software open source InterImage</i> e do <i>software</i> comercial <i>E-Cognition</i> para extração automática de objetos;
13/Jan/2013 a 17/Jan/2013	<ul style="list-style-type: none"> - Continuação da exploração dos <i>softwares</i> (testes); - Verificar zonas de predominância de Eucalipto e Pinheiro Manso, porque a zona de teste de Oleiros não as contém; - Classificação por Máxima Verosimilhança das classes já identificadas com o histograma;
20/Jan/2013 a 24/Jan/2013	<ul style="list-style-type: none"> - Georreferenciação de 2 imagens de satélite <i>GeoEye-1</i>, referentes à zona de Vale de Cambra (contém Eucalipto) e zona de Palmela (contém Pinheiro Manso); - Demarcação das áreas de treino das 3 classes em falta (Terreno Inculto, Eucalipto e Pinheiro Manso); - Histogramas, estatísticas, classificação de Máxima Verosimilhança de todas as classes acima referidas e validação da classificação;
27/Jan/2013 a 31/Jan/2013	<ul style="list-style-type: none"> - Desenvolvimento do sistema de falsas declarações, a partir de 2 técnicas, a primeira utilizando a aplicação directa da fórmula descrita por Ray <i>et al.</i> (2013), e a segunda utilizando as classes de não vegetação provenientes da classificação de Máxima Verosimilhança.

3.1. Produção de Ortofotografias e Controlo Posicional

De acordo com as cláusulas técnicas, do caderno de encargos, a aquisição das coberturas aerofotográficas apoiadas por GPS aerotransportado e sistema de navegação inercial (INS – *Inertial Navigation System*), tem como propósito, a produção de Ortofotografias Digitais, para atualização da base de controlo do pedido único de ajudas, no âmbito do sistema de identificação de parcelas e do controlo físico (IFAP, 2012).

No contexto desta atividade foram gerados e controlados posicionalmente ortofotos obtidos a partir de duas formas diferentes: 1) com recurso à utilização de Pontos Fotogramétricos (PF's) e com aquisição manual de pontos homólogos entre as fotografias aéreas; e 2) sem a utilização de PF's e com aquisição automática de pontos homólogos.

Ao longo do trabalho, será utilizada a denominação de CM para designar Carta Militar, para que seja facilitada a identificação dos diferentes ortofotos, sendo apenas uma referência à quadrícula estabelecida nas Cartas Militares, para Portugal Continental.

A diferença na metodologia justifica-se pelo facto de que, para gerar os ortofotos na região de enquadramento da CM410 foram utilizados PF's que se encontravam bem visíveis nesta zona e mais próximos da fiada, determinando 6 como pontos de controlo; enquanto, que para a geração dos ortofotos na região de enquadramento da CM411 apenas foram utilizadas as coordenadas terreno de tomada de foto da projeção central, sem a utilização de PF's, por forma a verificar qual dos métodos apresentava menores erros posicionais.

3.1.1. Área de Estudo

Para a geração de ortofotos com utilização de PF's, foi utilizada a região envolvente da CM410, que se localiza na fronteira dos concelhos de Mora, Sousel, Estremoz e Arraiolos, integrados na região do Alentejo e sub-Região do Alto-Alentejo, pertencente ao distrito de Évora.

Para a produção de ortofotos sem recorrer à utilização de PF's, foi utilizada a região envolvente da CM411, localizando-se a este da anterior, com predominância da sua área no concelho de Estremoz.

O *software* utilizado neste processo foi o *ERDAS IMAGINE* e o sistema de coordenadas, o D73_IFAP.

3.1.2. Características da Cobertura Aerofotográfica e do Voo

As especificações técnicas estabelecidas no caderno de encargos para a execução do levantamento fotográfico, deverão ser tidas em consideração, porque as coberturas aerofotográficas apenas serão aceites por parte da entidade contratante se se verificarem as condições mínimas exigidas. Assim o voo deverá ser planeado, considerando a área a ser fotografada, a sua localização e os limites da mesma. Para efeitos de produção de Ortofotografias e Foto Interpretação, como é o caso, a entidade contratante exige que:

- Nas zonas limites de fronteira deverá ser incluído pelo menos um par estereoscópico completo quer em território espanhol como nas zonas litorais;
- As fotografias aéreas a obter com câmara digital deverão ser adquiridas com cobertura estereoscópica e com resolução de 50 centímetros no solo;
- A cobertura seja feita com equipamento dotado de GPS aerotransportado com INS/IMU, para posterior determinação dos ângulos de orientação (*Omega, Phi, Kappa*), proporcionando condições que permitam a ortoretificação das imagens;
- A sobreposição longitudinal deverá ser igual ou superior a 70% entre fotografias sucessivas e a sobreposição lateral média entre fiadas consecutivas, deverá ser igual ou superior a 40%;
- As linhas de voo deverão ser sucessivas e paralelas, segundo a direção Este-Oeste, e conforme a rede divisional de 1/5000, obtida a partir do enquadramento das cartas militares do IGeoE, 1/25000;

- Nas zonas do país onde o relevo for mais acentuado deverão ser realizadas fiadas complementares, com direções oblíquas, por forma a salvaguardar as condições anteriores (IFAP, 2012).

O voo foi realizado dia 13/06/2012, utilizando uma câmara fotogramétrica digital ULTRACAM EAGLE, com uma distância focal de 79.8mm (Ver Anexo A – Certificado de Calibração). O sistema de coordenadas inerente à aquisição das fotografias aéreas foi o D73_IFAP e com unidade linear métrica. A área de interesse foi sobrevoada a uma altura média de voo de 7160m, com o intuito de produzir ortofotografias à escala 1/10 000 e com uma resolução média no terreno de 0.5m. De acordo com o Artigo 64º do RTCAP (2006), para a escala 1/10 000, a resolução no terreno deveria ser de 0.34m (Figura12).

Escala do levantamento	Resolução média no terreno em metros
1:1 000	0,07
1:2 000	0,12
1:5 000	0,24
1:10 000	0,34
1:25 000	0,50

Figura 12 – Associação entre Escala do Levantamento do Voo Fotográfico e a Resolução Média no Terreno

O voo fotográfico foi acompanhado por dois recetores GPS colocados em pontos fixos com coordenadas bem conhecidas, para determinação dos centros de projeção (RTCAP, 2006).

3.1.3. Metodologia

Para a geração dos ortofotos correspondentes à quadrícula da CM410 e CM411, foram necessárias 39 fotografias aéreas por cada CM, que se dividiam em 3 fiadas.

Na Figura 13 apresenta-se a esquematização da região da quadrícula da CM410, juntamente com a resenha das fiadas a adquirir no voo, pontos de tomada de foto e os PF's existentes na região envolvente.

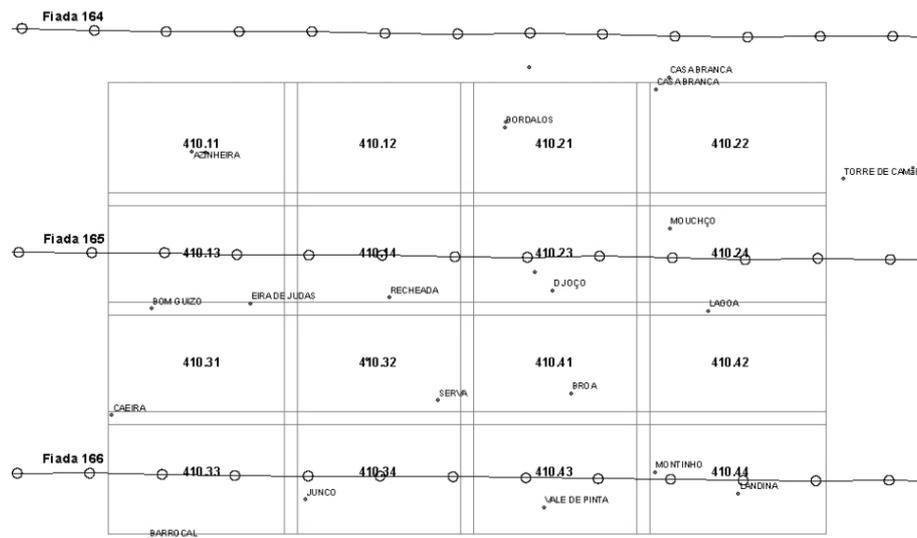


Figura 13 – Exemplificação do Planeamento das 3 Fiadas relativa à CM410 e os Respetivos Pontos de Tomada de Fotografia Disponibilizado pela Entidade Adjudicada

Relativamente ao procedimento em si, foi necessário converter as fotografias aéreas, de TIFF de 16bits, para formato .img de 8bits, reduzindo a resolução radiométrica das fotografias para 255 níveis de cinzento. Depois da conversão, geraram-se dois projetos LPS (descrito no subcapítulo 2.3.1.1), um relativo à CM410 e o outro relativo à CM411. Inicialmente foi necessário definir a forma como foram adquiridas as fotografias, o sistema de coordenadas a adotar, o sistema de rotação, a altura média de voo, os parâmetros de calibração da câmara (parâmetros de orientação interna) e importar um ficheiro .txt, contendo os parâmetros de orientação externa adquiridos por GPS com INS/IMU (coordenadas terreno (M,P), a altitude elipsoidal (h), em metros e os ângulos de rotação (*Ómega*, *Phi* e *Kappa*) em graus, e os respetivos erros associados a cada um dos elementos descritos). Na Figura 14 apresenta-se um extrato do ficheiro .txt que foi importado para o projeto LPS.

```

- Exterior Orientation Data -
Coordinate System : HGD73-MIL
Angular Units: Degree (0.360°)
Linear Units: Meter

The rotation angles between image and object space are defined as follows:
Omega: X as Primary
Phi: Y as Secondary
Kappa: Z as Tertiary

Camera: UltraCam Eagle, S/N UC-Eagle-1-50016095

Format:
Photo Strip Date UTC GPSTime Easting Northing EllipHeight Omega Phi Kappa SE SN SH SO-SP SK
Header lines to Skip : 22
EO DATA:
03916 166 2012-06-13 10:09:26 295781.314309 213709.889 211148.524 7172.489 -1.341344 -0.392274 -0.309203 0.020 0.024 0.048 0.003 0.009
03917 166 2012-06-13 10:09:39 295794.722517 215358.188 211149.387 7168.547 0.686703 0.103663 0.171892 0.020 0.024 0.048 0.003 0.009
03918 166 2012-06-13 10:09:53 295808.007475 217001.135 211124.731 7164.360 0.069043 0.060100 0.121939 0.020 0.024 0.048 0.003 0.009
03919 166 2012-06-13 10:10:06 295821.306088 218651.033 211096.912 7166.374 -0.089489 0.017228 0.235753 0.020 0.024 0.048 0.003 0.009
03920 166 2012-06-13 10:10:19 295834.705369 220314.278 211085.542 7172.828 -0.521336 -0.226265 0.668909 0.020 0.024 0.048 0.003 0.009
03921 166 2012-06-13 10:10:32 295847.909727 221951.146 211083.630 7175.574 0.144538 -0.33276 0.879212 0.020 0.024 0.048 0.003 0.009
03922 166 2012-06-13 10:10:46 295861.202775 223603.581 211067.495 7167.199 0.733662 0.075468 0.761391 0.020 0.024 0.048 0.003 0.009
    
```

Figura 14 – Extrato do Ficheiro .txt Importado com os Parâmetros de Orientação Externa da CM 410

Para iniciar o processo de Triangulação Aérea, adquiriram-se alguns pontos homólogos manualmente, demarcando 12 PF's de apoio e 6 como pontos de controlo (Ver Anexo B). Os pontos homólogos foram adquiridos através das ferramentas de adicionar e criar ponto, estabelecendo a correspondência entre pontos homólogos de duas fotografias consecutivas, e atribuindo-lhes as coordenadas descritas no ficheiro de base de PF's disponibilizado pelo IFAP.

De seguida, procedeu-se à aquisição automática de pontos, determinando-se mais pontos de ligação para enriquecer a amostra já obtida, assumindo como coordenadas verdadeiras os 6 pontos de controlo demarcados manualmente.

Decorrido o processo de Triangulação Aérea, com base nos pontos homólogos determinados, e obteve-se uma variância à posteriori ($\hat{\sigma}_0^2$) inferior a $1\mu\text{m}$ (i.e. 1×10^{-6}) o que se considerou aceitável, pois representa um erro muito pequeno aquando a projeção no terreno. Geraram-se então os MDS's referentes a cada par estereoscópico.

Tendo como finalidade obter um único MDS, gerou-se uma superfície de junção dos vários MDS obtidos, com auxílio de *Tools -> Terrain Preparation -> Surface DSM*, com uma malha de 5m x 5m. Para visualizar melhor o resultado utilizou-se o *Shaded Relief*, que salientava melhor os declives do terreno.

Obtido o DSM da área de interesse, recorreu-se ao *Start Ortho* ainda dentro do projeto LBS, para gerar os vários ortofotos individuais, correspondentes à junção das fotografias aéreas com o DSM obtido (Figura 15).

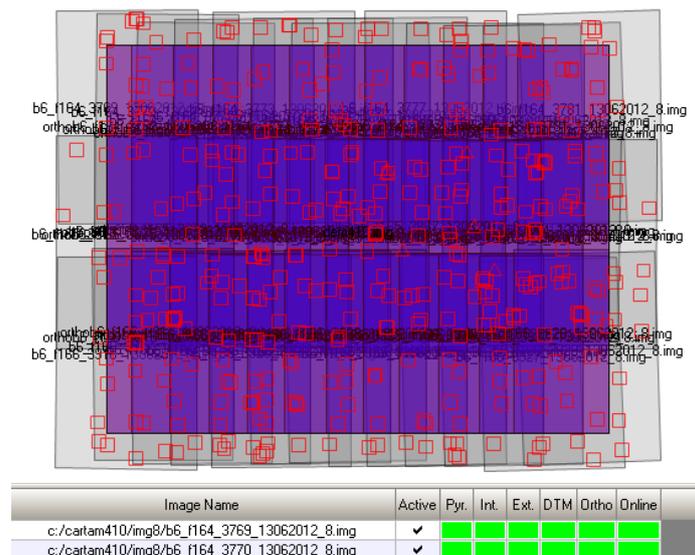


Figura 15 – Resultado Final da Georreferenciação da CM410

Como objetivo final, depois de gerados os 39 ortofotos individuais, recorreu-se ao *MosaicPro2D*, para gerar o Ortofoto final, composto pelos seus 16 quadrantes. O resultado final da CM410 encontra-se presente na Figura 16.

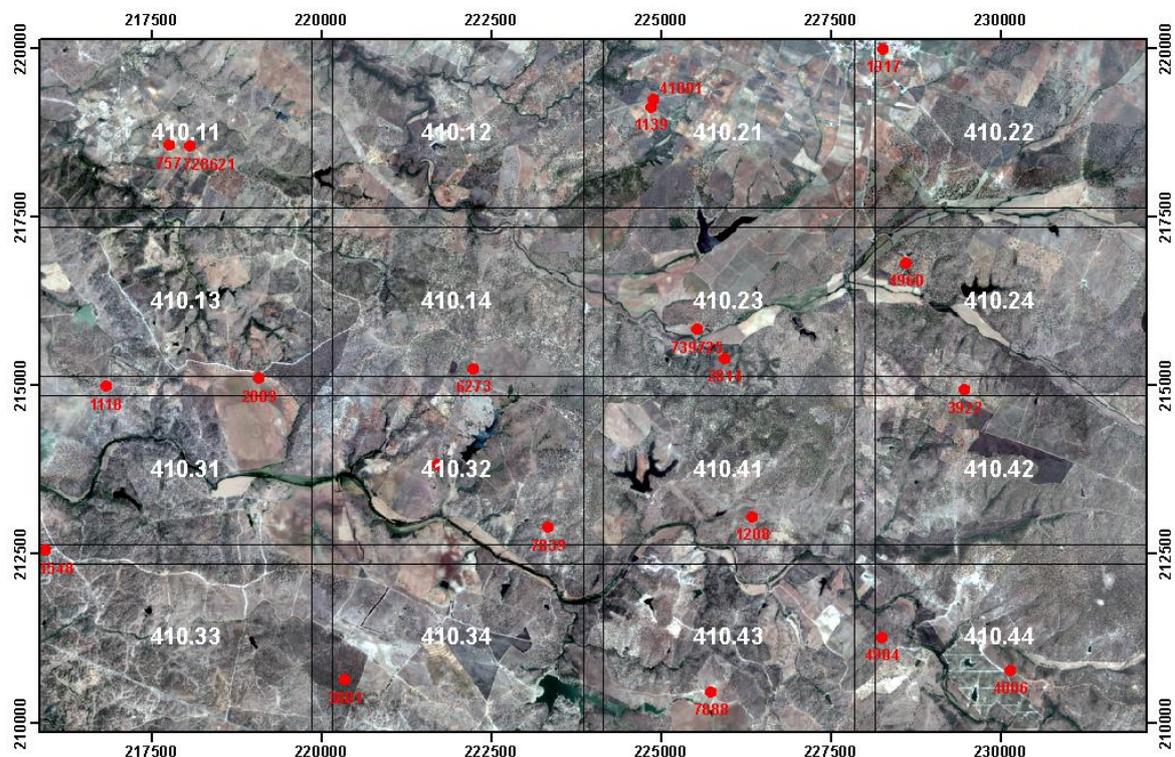


Figura 16 – Mosaico Recortado pela Quadrícula da CM410

Relativamente à georreferenciação das fotografias aéreas correspondentes à CM411, todo o processo decorreu da mesma forma exceto, na aquisição dos pontos homólogos que na

CM410, foram introduzidas as coordenadas dos PF's e só depois adquiridos mais pontos de forma automática mas assumindo PF's como sendo coordenadas verdadeiras, e na CM411 procedeu-se logo à aquisição automática de pontos homólogos, tendo como referência (coordenadas aproximadas) as coordenadas terreno dos pontos de tomada de foto. Como resultado da triangulação aérea, surgiu uma $\hat{\sigma}_0^2$ de $1.5\mu\text{m}$. Todos os restantes processos foram conseguidos à semelhança da CM410. Como resultado final da CM411 obteve-se o mosaico apresentado na Figura 17.

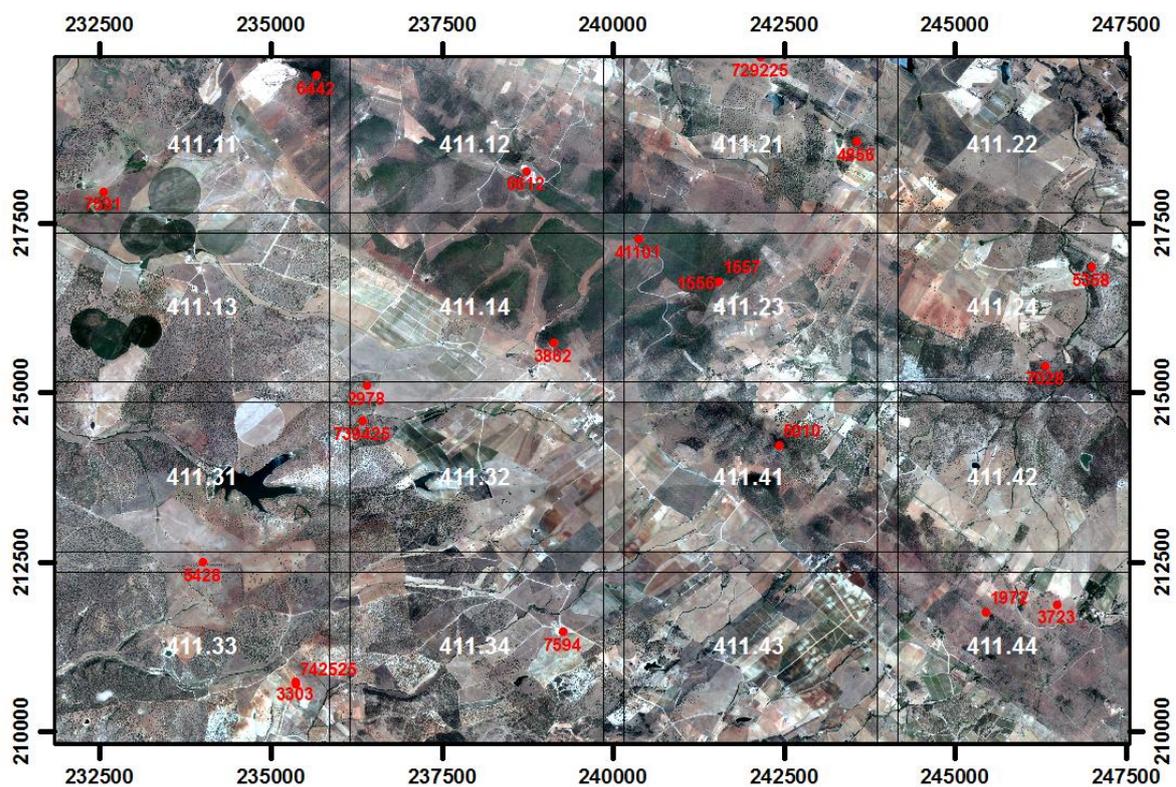


Figura 17 – Mosaico Recortado pela Quadrícula da CM411

3.1.4. Análise de Resultados e Conclusões

Após a geração das ortofotografias, deve ser executado o controlo de qualidade posicional, que é parte integrante de um sistema de garantia de qualidade, para aceitação ou não dos ortofotos. Este controlo surge devido à execução dos vários procedimentos de forma sistemática e em algumas fases de forma automatizável, podendo acarretar erros sistemáticos ou anómalos.

O controlo de qualidade posicional consistiu na avaliação de 12 PF's na CM410 e de 10 PF's na CM411. Para controlar os PF's, recorreu-se às folhas de campo e à lista de PF's do Instituto para verificar o local descrito e registaram-se as coordenadas observadas, como se pode verificar pela Figura 18.



Figura 18 – (à esq.) Folha de Campo do PF 41001 e (à dir.) Local Aproximado do PF 41001 na Ortofoto

É de salientar que os pontos de apoio utilizados foram recolhidos no ano de 1996 e sendo que as fotografias aéreas são de 2012, a ocupação do solo já se modificou e a descrição presente na folha de campo, em muitos casos já não corresponde à realidade presente nos ortofotos.

Foram anotadas todas as coordenadas observadas e as coordenadas verdadeiras (Anexo B e C, respetivos à CM410 e CM411) e determinados os seus desvios planimétricos, que se encontram representados na Tabela 3 e 4. Segundo, o caderno de encargos (IFAP, 2012), os pormenores topográficos ao nível do terreno ortoretificados, tem de apresentar um erro médio quadrático (E.M.Q) inferior a 2.50 m em planimetria, em que 90% dos pontos observados não podem apresentar desvios planimétricos superiores a 4m.

A análise estatística apresentada é a recomendada por Kapnias *et al.* (2008) na diretriz de boas práticas e de controlo de qualidade posicional, em que é calculado o erro médio, o erro máximo, o desvio-padrão, o E.M.Q e uma avaliação qualitativa do estado de aceitação ou não da informação produzida.

Observando os 12 elementos controlados na CM410, verifica-se que tanto o erro máximo como o EMQ entre as coordenadas observadas e as coordenadas verdadeiras em M foi de 1.57m e 0.82m e em P de 0.81m e 0.41m respetivamente, o que valida os ortofotos gerados, uma vez que têm um erro abaixo do erro admissível de 2.50m, como foi descrito anteriormente.

Tabela 3 – Desvios Planimétricos da CM410

CM410	Desvios em M	Desvios em P
Nº de Elementos	12	
Erro Médio [m]	0.73	0.34
Erro Máximo [m]	1.57	0.81
Desvio-Padrão [m]	0.39	0.24
E.M.Q. [m]	0.82	0.41
Estado	Aceite	Aceite

Observando agora os 10 elementos controlados na CM411, verifica-se que tanto o erro máximo como o EMQ entre as coordenadas observadas e as coordenadas verdadeiras em M e em P se apresenta superior ao erro admissível de 2.50m e pelo menos um dos seus pontos ultrapassa os 4m, o que invalidaria os ortofotos gerados (Kapnias *et al.*, 2008).

Tabela 4 – Desvios Planimétricos Referentes à CM410

CM410	Desvios em M	Desvios em P
Nº de Elementos	10	
Erro Médio [m]	0.77	0.35
Erro Máximo [m]	3.17	6.99
Desvio-Padrão [m]	1.41	3.14
E.M.Q. [m]	1.55	3.01
Estado	Aceite	Recusado

Perante os resultados obtidos, é possível constatar-se que o método (1), utilizando a demarcação manual de PF's, ainda que estes sejam poucos e alguns já desatualizados, conseguiu superar-se ao método (2) que utilizou apenas os pontos de tomada de foto.

3.2. Produção de Ortoimagens e Controlo Posicional

Neste subcapítulo, descreve-se uma das formas como poderão ser gerados e controlados posicionalmente ortofotos, i.e. denominação adotada para a geração de imagens de satélite georreferenciadas.

3.2.1. Área de Estudo

A área de estudo em causa envolve a região dos concelhos de Reguengos de Monsaraz, Moura e Mourão. Das 6 imagens do satélite *GeoEye-1* que compunham o *site*, foram escolhidas duas imagens para se proceder à sua georreferenciação e posterior delimitação. As duas imagens escolhidas enquadram-se nas quadrículas das CM 482, 483, 491 e 492 (Figura 19).

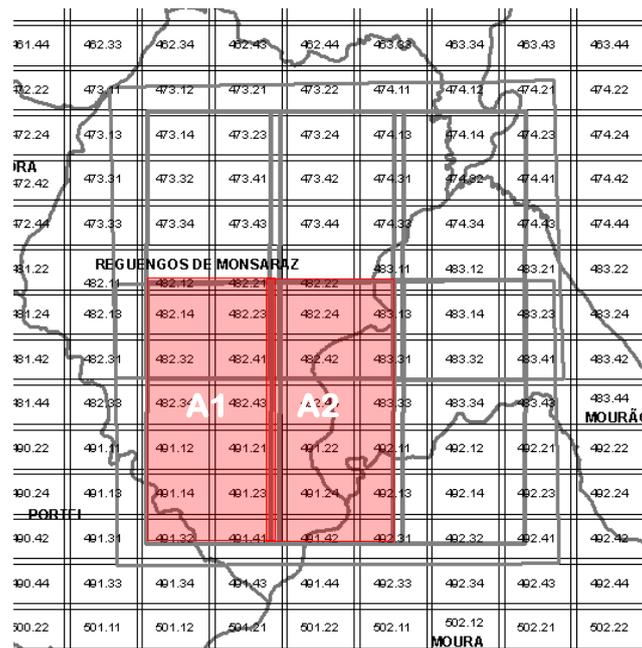


Figura 19 – Enquadramento da Região das Imagens de Satélite a Georreferenciar

3.2.2. Metadados das Imagens de Satélite

Todas as imagens provenientes do satélite *GeoEye-1*, disponibilizadas pela Comissão Europeia ao IFAP, vêm divididas nas suas 4 bandas multiespectrais fusionadas com a imagem pancromática (RGB e IVP), acompanhadas de um ficheiro metadata.txt e de 4 ficheiros rpc.txt contendo os parâmetros de orientação interna do sensor e os parâmetros de orientação externa de aquisição das imagens. As imagens não vêm corrigidas geometricamente, apenas vêm com uma localização aproximada, no sistema de coordenadas *Datum* WGS84.

As imagens consideradas foram adquiridas no dia 20/04/2013, pelas 11:25GMT, abrangendo uma área total de aproximadamente 213km². Na Tabela 5, apresentam-se os metadados das imagens utilizadas nesta atividade.

Tabela 5 – Metadados das Imagens de Satélite da Região de Reguengos de Monsaraz

Zona	Reguengos de Monsaraz
Nome do Sensor	<i>GeoEye-1</i>
Tipo de Sensor	Satélite
Produtor	Geo
Data de Aquisição	20/04/2013
Hora de Aquisição (GMT)	11:25
Nível de Processamento	Localização Aproximada
Tipo de Imagem	PAN/MSI
Método de Interpolação	Cúbica
Projeção Cartográfica	Universal Transversa de Mercator
Parâmetros da Projeção	29N
<i>Datum</i>	WGS84
Direção do <i>Scan</i>	Inversa
Ângulo de Azimute do Sol	(A1) 148.0290°; (A2) 147.9746°
Ângulo de Elevação do Sol	(A1) 59.8739°; (A2) 59.7584°
Dimensão do <i>Pixel</i> (m)	0.5
Bits por <i>Pixel</i>	11
Altitude de Referência (m)	223.1812

3.2.3. Metodologia

A produção de ortoimagens é uma das operações de grande importância no contexto do IFAP, uma vez que é a partir da georreferenciação e recorte das imagens de satélite, que estas podem ser disponibilizadas no iSIP, permitindo que a base fotográfica esteja, tanto quanto possível, o mais atualizado. O recorte das várias ortoimagens é feito pelo enquadramento da quadrícula da Carta Militar de Portugal, série M888 do IGeoE, à escala 1:25 000.

A metodologia adotada, para a geração das ortoimagens, será descrita no singular porque o procedimento decorreu da mesma maneira nas duas imagens. Inicialmente foi necessário converter radiometricamente a imagem, de TIFF de 16bits para o formato do *Erdas .img* de 8bits, de cada banda individualmente. Posteriormente as 4 bandas foram juntas através da ferramenta *Layer Stack*, gerando uma única imagem.

Tal como aconteceu para a produção de ortofotos, também aqui foi necessário gerar um projeto LPS, mas só que em vez se definir como modo de aquisição, a câmara fotográfica, escolheu-se em *rational functions*, o sensor *GeoEye-1*. As *rational functions* são a forma como o *software* distingue a aquisição das imagens provenientes de satélite, sendo que a sua denominação se deve aos parâmetros polinomiais racionais que acompanham as imagens de satélite. Como parâmetros de orientação interna, foi carregado o ficheiro correspondente a esses parâmetros, de uma das bandas no formato *rpc.txt*.

Tendo em conta que os resultados obtidos no controlo posicional dos ortofotos verificado no subcapítulo 3.1.4, foram claramente melhores utilizando a aquisição manual de alguns pontos, definidos como pontos de controlo, a georreferenciação realizada para as imagens de satélites também foi através da introdução manual de alguns PF's.

Foram demarcados 9 PF's na imagem A1, 3 como pontos de controlo e 8 PF's na imagem A2, 2 como pontos de controlo. Tanto numa como na outra imagem os PF's estavam em locais pouco perceptíveis, assim como outros que devido à subida da margem do rio, se apresentavam à data das imagens de Abril de 2013, submersos.

Os pontos homólogos foram adquiridos com recurso às ferramentas de adicionar e criar ponto, estabelecendo a correspondência entre os pontos homólogos das imagens (A1 e A2) e o mosaico de ortofotos de 2012 gerado para cobrir a região em estudo. Aos PF's demarcados foram-lhes atribuídas as coordenadas descritas no ficheiro de base de PF's disponibilizado pelo IFAP.

De seguida, procedeu-se à aquisição automática de mais pontos homólogos para enriquecer a amostra já obtida, assumindo como coordenadas verdadeiras os 7 pontos de controlo acima descritos (Figura 20). Seguiu-se o processo de triangulação em bloco (Ver Anexos D e E), com base nos pontos homólogos determinados, e obteve-se um *root mean square error* (RMSE) em M e P, de 0.89m e 1.04m (respetivamente) para a imagem A1 e um RMSE em X e Y, de 0.02m e 0.09m (respetivamente) na imagem A2, o que se considerou aceitável, tendo em conta que a unidade mínima da imagem é de 0.5m.

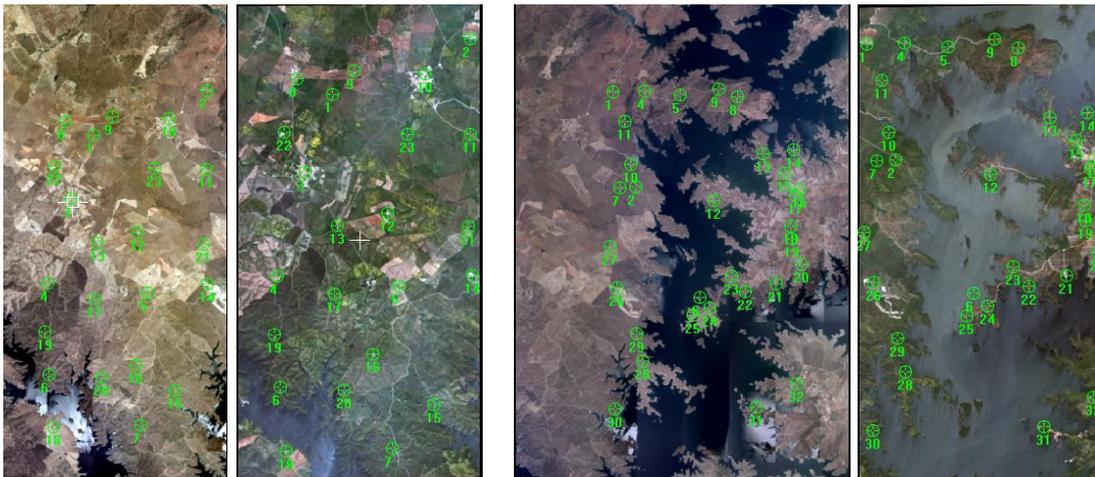


Figura 20 – Conjunto de Pontos Homólogos Adquiridos de Forma Automática em que (à esq.) é o Mosaico de Ortofotos de Referência e a Imagem A1; e (à dir.) é o Mosaico de Ortofotos de Referência e a Imagem A2

Georreferenciada a imagem procedeu-se à extração dos MDS e produção das duas ortoimagens, em que estas duas sofreram ainda uns pequenos ajustes na iluminação e contraste para que ficassem com uma coloração mais homogénea.

Como o objetivo final, era obter ortoimagens delimitadas pela quadrícula da CM que cobrem Portugal Continental, recorreu-se ao *MosaicPro2D*, para recortar o mosaico das ortoimagens produzidas. O resultado final encontra-se presente na Figura 21.



Figura 21 – Resultado Final da Georreferenciação e Recorte das Imagens da Região de Reguengos de Monsaraz

3.2.4. Análise de Resultados e Conclusões

O controlo posicional destas duas imagens consistiu na validação de 5 PF's na imagem A1 e de 6 PF's na imagem A2. Esta verificação, não é de todo segura, porque a amostra é apresenta pouco significativa, devido aos poucos PF's disponíveis na base de PF's do IFAP e porque alguns se encontram desatualizados.

Ainda assim, com vista a validar os ortoimagens obtidos, recorreu-se ao mesmo tipo de análise estatística efetuada para a validação das ortofotos. Verifica-se na Tabela 6, que o erro máximo e o EMQ da ortoimagem A1 é de 1.34m e 0.77m em M e 0.63m e 0.49m em P, pelo que, considerando a pequena amostra de PF's, estas ortoimagens poderiam ser aceites porque a informação a ser produzida com um *pixel* de 0.50m, tem um erro tolerável de 2.5m.

Tabela 6 – Desvios Planimétricos da Ortoimagem A1

Imagem A1	Desvios em M	Desvios em P
Nº de Elementos	5	
Erro Médio [m]	0.67	0.08
Erro Máximo [m]	1.34	0.63
Desvio-Padrão [m]	0.41	0.54
E.M.Q. [m]	0.77	0.49
Estado	Aceite	Aceite

O mesmo se verifica na ortoimagem A2 (Tabela 7), em que o erro máximo e o EMQ é de 1.47m e 0.83m em M e 0.61m e 0.26m em P, e mais uma vez considerando tratar-se de uma pequena amostra de validação, os Ortoimagens poderiam ser aceites, tendo em conta que se encontram abaixo do erro admissível.

Tabela 7 – Desvios Planimétricos da Ortoimagem A2

Imagem A2	Desvios em M	Desvios em P
Nº de Elementos	6	
Erro Médio [m]	0.535	0.035
Erro Máximo [m]	1.468	0.606
Desvio-Padrão [m]	0.688	0.283
E.M.Q. [m]	0.825	0.261
Estado	Aceite	Aceite

3.3. Equalizar Ortoimagens

Neste subcapítulo apresenta-se a equalização de ortoimagens, i.e. homogeneização dos níveis de cinzento que compõem cada imagem, para que estas se assemelhem visualmente, através da alteração dos seus histogramas.

As imagens a serem equalizadas foram recebidas já georreferenciadas, no sistema de coordenadas DT73_IFAP e em TIFF de 16 *bits*.

3.3.1. Apresentação do Problema e Objetivo

As imagens provenientes dos satélites, raramente têm o mesmo aspeto visual, seja devido aos efeitos atmosféricos, à altura do sol ou à presença de nuvens em que são adquiridas, apresentando-se muitas vezes desequilibradas, destoantes umas das outras. Para colmatar esta situação, aplicam-se-lhes algumas operações de realce, como é o caso da expansão linear de contraste do histograma que a descreve. Estas ortoimagens equalizadas, devem conseguir-se obtê-las quase fiéis à tonalidade, brilho e intensidade da superfície tal como ela é, o que nem sempre se torna uma tarefa fácil. Esta atividade teve como propósito, a disponibilização das imagens mais recentes, na plataforma de suporte aos agricultores.

Foram equalizadas ortoimagens do ano transato (2013), de várias regiões do país, e cada *site* apresentou as suas dificuldades específicas.

3.3.2. Metodologia

Manualmente, as ortoimagens foram escaladas para 8*bits*, aplicando-lhe normalmente a técnica de *Minimum – Maximum* disponível na operação de *rescale* do *ERDAS*. Esta operação permitiu diminuir a resolução radiométrica das imagens “esticando” o seu histograma para os limites mínimo e máximo impostos, visando uma melhoria na qualidade de visualização da imagem. Esta técnica é calculada segundo a expressão matemática (Equação 4) abaixo apresentada,

$$DN_{out} = Min_{out} + \frac{(DN_{in} - Min_{in}) \times (Max_{out} - Min_{out})}{Max_{in} - Min_{in}}$$

(Equação 4)

Em que Min_{in} o mínimo valor presente na imagem, Max_{in} é o máximo valor presente na imagem, Min_{out} é o limite máximo inferior (0) e Max_{out} é o limite máximo superior (255) admissível para a imagem de saída a $8bits$.

É de notar, que em geral, quase todas as imagens que foram equalizadas apresentavam um baixo contraste, o que condicionou, a que não houvesse em nenhuma delas uma expansão muito significativa do histograma depois da utilização da técnica de *Minimum – Maximum*, deixando as imagens finais com uma tonalidade escura e com uma fraca separação da fronteira dos objetos.

Apresenta-se mais à frente nos resultados e conclusões um exemplo que se refere, ao *site* da região de Alvito, às quais foram aplicadas, o método acima descrito. Como se pode verificar, pela Figura 22 (à esq.), as imagens originais apresentavam um baixo contraste e alguns problemas a serem corrigidos, para uma melhor visualização.

Na grande maioria das equalizações foram ainda aplicadas pequenas alterações nos seus *breakpoints*, i.e. pontos de quebra que por regra estão no início e no fim da gama de valores (0 e 255), descrevendo uma reta com uma inclinação de 45° . Podem ser introduzidos ou retirados *breakpoints*, com vista a melhoria das fronteiras dos objetos, ajustando a iluminação e o contraste.

É fundamental ter a perceção que este tipo de operações de imagem altera o ND dos *pixels*. Este procedimento apenas deverá ser utilizado em casos muito específicos, que tal como este, as imagens têm como finalidade uma boa visualização.

É de considerar ainda que em algumas das imagens, cuja equalização se apresentou muito dificultada, recorreu-se à transformação das imagens de quatro bandas, para três bandas em que a banda do IVP é removida, ficando apenas as bandas RGB. Verificou-se que de facto eliminando a banda do IVP, principalmente nas zonas de sobreposição das imagens, estas apresentaram um resultado mais favorável, com uma coloração mais uniforme. Esta eliminação só foi ponderada, porque para disponibilização no iSIP, para a demarcação das parcelas por parte do utilizador, o essencial é uma boa apresentação visual, sendo que esta remoção não é válida, para todos e quaisquer outros fins.

3.3.3. Resultados e Conclusões

Sempre que era terminada a equalização dos *sites*, estes eram submetidos a um processo de corte pelo enquadramento da quadrícula da Carta Militar de Portugal, série M888 do IGeoE, à escala 1:25000, através do módulo *MosaicPro*. Era necessário introduzir o ficheiro vetorial contendo a quadrícula correspondente à região do *site*, definir o tipo de *color correction* (i.e. método de correção da cor) a utilizar, definir as *seamlines* (i.e. a linha de junção entre as imagens).

Em muitos outros *sites*, o processo final decorreu facilmente e com resultados favoráveis. No caso particular das imagens da região de Alvito, devido à junção de muitas imagens, assim como pelas sobreposições entre imagens serem mínimas, apresentou alguns cuidados adicionais a ter em consideração nesta fase final do processo.

Na Figura 22 apresentam-se as imagens originais apenas georreferenciadas, sem qualquer equalização e o resultado da equalização manual.



Figura 22 – (à esq.) Imagens Originais; (à dir.) Imagens Equalizadas da Região de Alvito

No *MosaicPro*, utilizando como método de correção da cor o *illumination equalizing* e o *geometric seamlines* (definidos no subcapítulo 2.3.1.3), para a delimitação das fronteiras de ligação das imagens, observa-se que existiram fronteiras que não ficaram corretamente delimitadas, e por isso foi necessário corrigi-las, com o editor de *seamlines*. A correção

consiste na delimitação de um polígono na região onde a imagem ficou em falta, preenchendo-a com partes das imagens adjacentes (Figura 23).

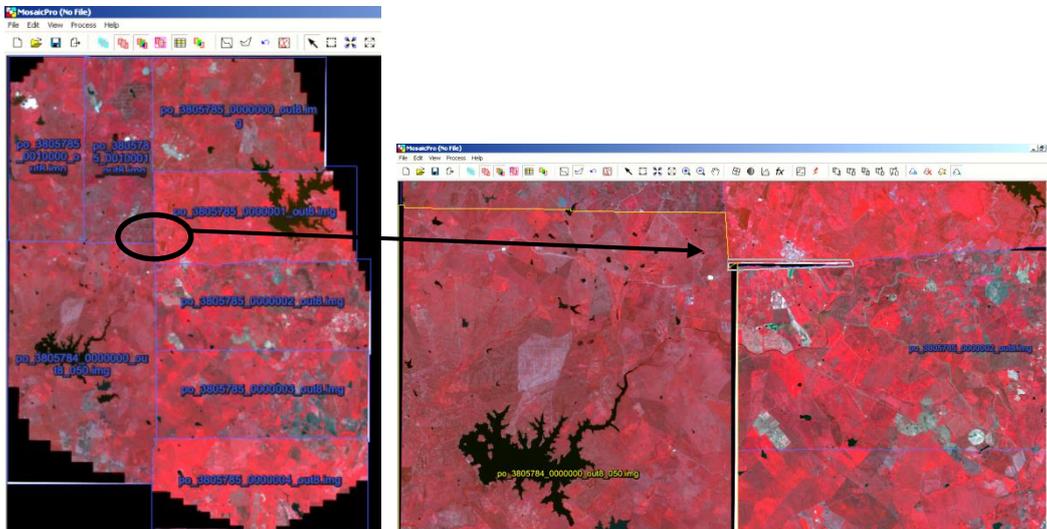


Figura 23 – (à esq.) Imagens Equalizadas no *MosaicPro*; (à dir.) Exemplo das Fronteiras entre as Imagens

Decorrido o processo, obteve-se o resultado final (Figura 24), com os ortos imagens equalizados e recortados enquadramento da quadrícula da Carta Militar de Portugal.



Figura 24 – Resultado Final do Mosaico do *site* da Região de Alvito

Por fim, e ainda antes da disponibilização das imagens no iSIP, é necessário converter cada uma das pequenas ortos imagens para GeoTiff, utilizando a linha de comandos do GDAL (por ser simples e objetivo), com a função *translate*:

```
gdal_translate -of GTiff -b 1 -b 2 -b 3 (localização da imagem .img) (localização da imagem de saída .tif)
```

4. Elaboração de Chaves de Classificação da Ocupação do Solo

Um dos grandes desafios na atualidade, referente à Detecção Remota é a aplicação de técnicas capazes de melhorar o desempenho e utilidade do uso das imagens de satélite que hoje dispomos.

A construção de chaves interpretativas da ocupação do solo, a partir de imagem de satélite tem como motivação principal, a aprendizagem sobre a maneira como se manifesta determinado conjunto de objetos, numa determinada região, porque não existe uma chave interpretativa única, que discrimine toda a superfície terrestre uniformemente!

No contexto deste tema de estudo, para elaborar as chaves de interpretação, geraram-se regiões de interesse (áreas de treino) referentes a cada uma das classes e o cálculo dos respectivos histogramas espectrais.

Foram requeridas pelo Instituto 7 classes principais [Área Social, Zonas Húmidas, Estradas de Alcatrão, Terrenos Improdutivos, Floresta, Eucalipto e Pinheiro Manso], com a vista a construção da sua chave espectral, e definir uma forma como estas se podem extrair de forma quase-automática.

Das 7 classes, houve uma que não foi possível detetar: Terrenos Improdutivos. Como terrenos improdutivos, definem-se terrenos estéreis, com existência de comunidades vegetais ou com capacidade de crescimento limitada, com cobertura vegetal inferior a 10%, resultante de causas naturais ou de ações antropogénicas, i.e. ações causas por atividades humanas. Esta classe pressupunha abranger áreas, como pedreiras, minas, dunas, areal de preia-mar e baixa-mar, e afloramentos rochosos (ICNF, 2013). Foram analisadas as imagens de satélite disponíveis no Instituto, com intuito de detetar a classe improdutivo em alguma delas. Das imagens que abrangiam terrenos improdutivos, a sua área era tão mínima ou de clara confusão com outras classes, que acabou por se retirar do estudo em questão.

Assim, foram definidas para a realização deste trabalho, 11 classes, mais 5 para além das 6 que foram inicialmente solicitadas para obter uma melhor representação da ocupação do solo.

Para a extração das classes de ocupação do solo foram utilizadas duas regiões, uma metodologia e 9 classes comuns.

Para validar a informação obtida recorreu-se à matriz de contingência e ao índice *kappa* para avaliar os resultados obtidos na classificação.

Quanto ao desenvolvimento do sistema de falsas declarações, foram seguidas duas técnicas distintas, que serão descritas no subcapítulo 4.3, e estão esquematicamente representadas na Figura 25.

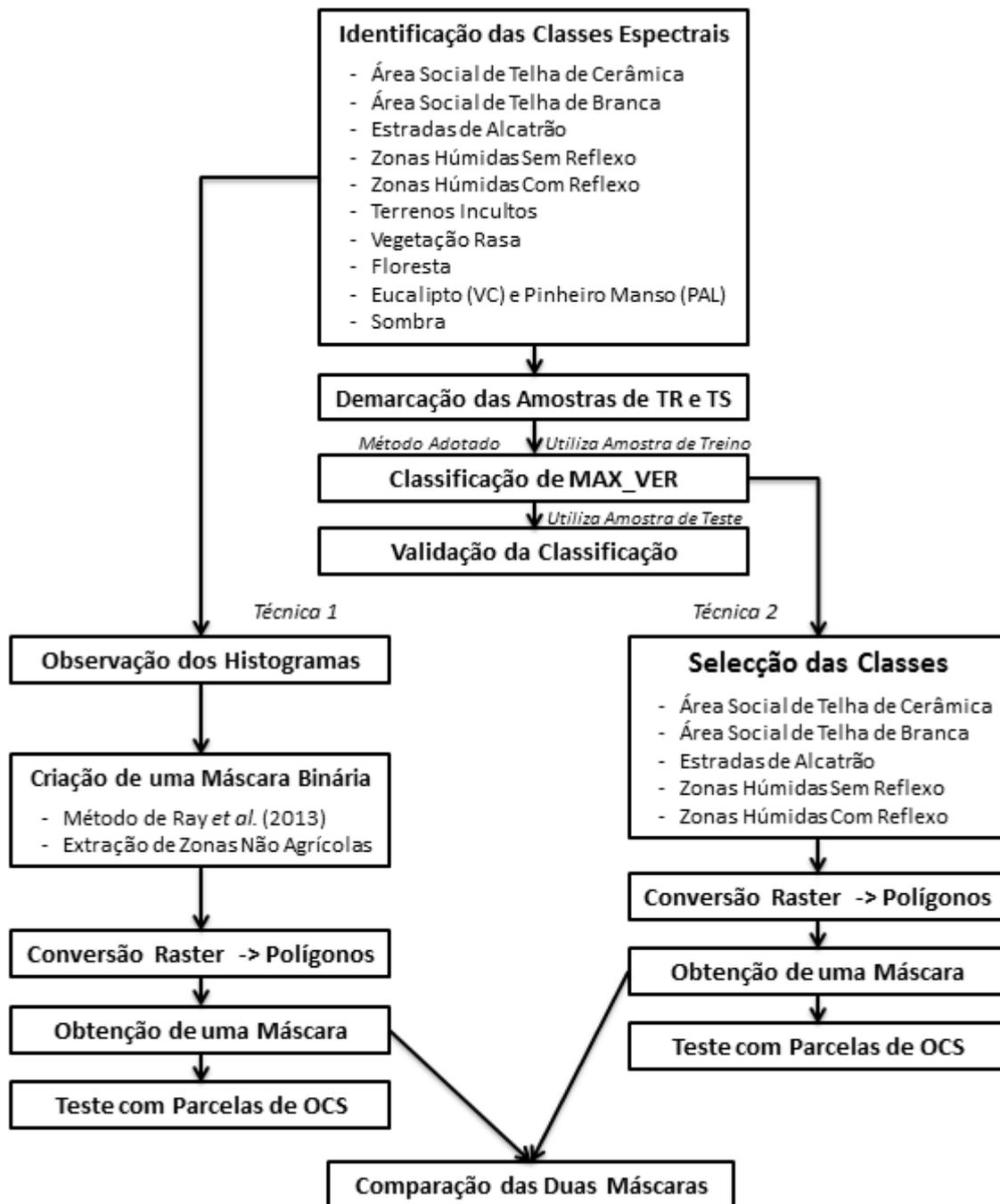


Figura 25 – Esquematização do Processo a Desenvolver

4.1. Análise e Tratamento da Informação

4.1.1. Áreas de Estudo

Para a elaboração da chave de interpretação ocupação do solo, recorreu-se a duas regiões específicas do país, Norte e Centro. Esta escolha teve como principal critério a presença abundante de Eucalipto e Pinheiro Manso, já que qualquer uma das outras classes de ocupação do solo que se pretendem determinar, estão presentes em quase todo o território português, exceto no caso do improdutivo, como já foi referido anteriormente.

A Norte foi escolhido o *site* que envolvia o concelho de Vale de Cambra (VC), pertencente ao distrito de Aveiro. A escolha recaiu sobre este concelho, porque era a zona a Norte do país, onde o IFAP tinha imagens de satélite e a que mais proximamente estava da zona de predominância de Eucalipto, que se localiza segundo alguns estudos (Soares, 2006; Lé, 2012), na Linha entre Coimbra, Sever do Vouga e Porto.

Quanto ao Pinheiro Manso, e investigando sobre a localização mais provável para a sua presença, surgiu a Mata Nacional de Valverde, onde está plantado o “Solar do Pinheiro Manso” com cerca de 900ha, localizado no concelho de Alcácer do Sal, distrito de Setúbal. Como o Instituto não dispunha de imagens de satélite nessa zona, optou-se pelo *site* que envolvia o concelho de Palmela (PAL), pertencente ao mesmo distrito, mais precisamente a aldeia de Águas de Moura, na freguesia da Marateca. A zona é circundada a oeste pelo Estuário do Rio Sado, a norte pelo poceirão e atravessada pela linha de comboio, e pertence à Reserva Natural do Estuário do Sado (RNES).

Por outro lado, foi também tido em consideração o facto de serem duas regiões com características distintas, tornando possível a verificação de possíveis diferenças nos espectros das várias classes.

Quanto à dimensão das zonas a utilizar, no caso de Vale de Cambra, serão cerca de 12km², dos 99km², que compunham a imagem de satélite original, e no caso de Palmela, cerca de 20km², dos 104km², que compunham a imagem de satélite original. As áreas têm uma dimensão ainda um pouco extensa, propositadamente, com o intuito de abranger uma maior variabilidade de amostras representante de cada classe. Na Figura 26

apresenta-se o enquadramento das imagens de satélite escolhidas e a região que foi utilizada neste estudo.

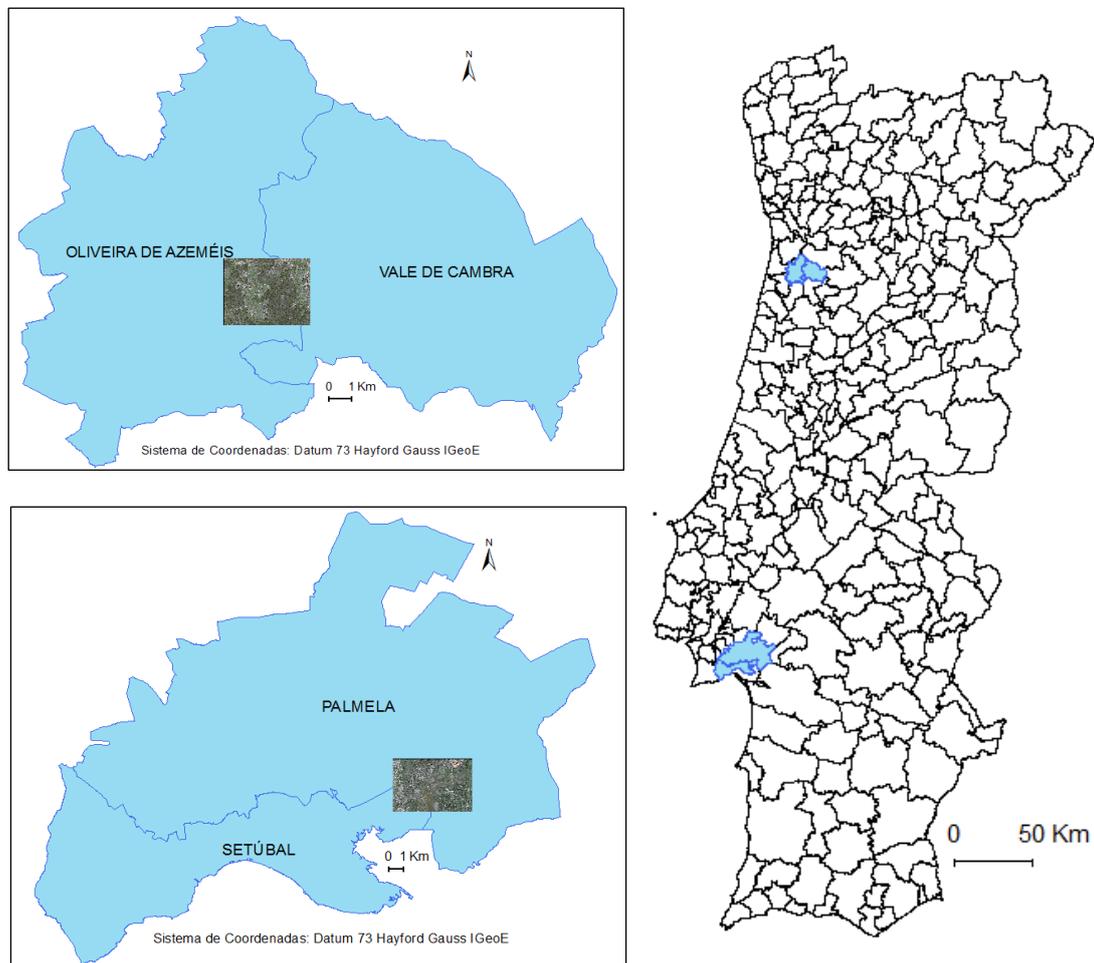


Figura 26 – Enquadramento das Imagens de Satélite de Vale de Cambra e Palmela

4.1.2. Metadados das Imagens de Satélite

Quanto aos Metadados das imagens de satélite, estas foram adquiridas no dia 23/04/2013, pelas 11:33 e 11:34 GMT. Tal como referido no subcapítulo 3.2.2, as imagens disponibilizadas pela Comissão Europeia, provenientes do satélite *GeoEye-1*, vêm divididas nas suas 4 bandas multiespectrais fusionadas com a pancromática (RGB e IVP), acompanhadas de um ficheiro metadata.txt e de 4 ficheiros rpc.txt contendo os parâmetros de orientação interna do sensor e os parâmetros de orientação externa de aquisição das imagens. As imagens não vêm corrigidas geometricamente vêm apenas com uma localização aproximada, com coordenadas em *Datum* WGS84.

Apresentam-se resumidamente na Tabela 8 os Metadados das imagens de Vale de Cambra e Palmela.

Tabela 8 – Metadados da Imagens de Satélites de Vale de Cambra e Palmela

Zona	Vale de Cambra	Palmela
Nome do Sensor	<i>GeoEye-1</i>	<i>GeoEye-1</i>
Tipo de Sensor	Satélite	Satélite
Produtor	Geo	Geo
Data de Aquisição	23/04/2013	23/04/2013
Hora de Aquisição (GMT)	11:33	11:34
Nível de Processamento	Localização Aproximada	Localização Aproximada
Tipo de Imagem	PAN/MSI	PAN/MSI
Método de Interpolação	Cúbica	Cúbica
Projeção Cartográfica	Universal Transversa de Mercator	Universal Transversa de Mercator
Parâmetros da Projeção	29N	29N
Datum	WGS84	WGS84
Direção do <i>Scan</i>	Inversa	Inversa
Ângulo de Azimute do Sol	151.7574°	149.1868°
Ângulo de Elevação do Sol	59.0881°	60.8493°
Dimensão do <i>Pixel</i> (m)	0.5	0.5
Bits por <i>Pixel</i>	11	11
Altitude de Referência (m)	549.7548	97.8625

4.1.3. Pré-Processamento

O pré-processamento consiste nas operações que as imagens sofrem antes de puderem ser analisadas e trabalhadas, nas condições que se pretendem assim como nos *softwares* requeridos.

Tal como foi referido acima, as imagens são disponibilizadas nas 4 bandas separadamente em TIFF, de 16bits. Inicialmente foi necessário juntar as 4 bandas, numa só imagem BGR e IVP, formato .img, para que esta possa ser ortoretificada. O método utilizado para corrigir as imagens de satélite foi a ferramenta *AutoSync* (subcapítulo 2.4.1.4). Recorrendo à utilização do ficheiro contendo os coeficientes racionais polinomiais, obtiveram-se as imagens georreferenciadas com um erro inferior a 2.5m. O MDS utilizado tem uma grelha de 10m, e como imagem de referência introduziu-se um mosaico dos ortofotos de 2012, sendo que esta é a última aquisição fotográfica disponível no Instituto, com o sistema de coordenadas D73_IFAP.

Resultou da georreferenciação, uma ortoimagem com sistema de coordenadas D73_IFAP, de 16bits, e em formato .img, que se converte seguidamente para 8bits, para facilitar o seu manuseamento.

Para o seguimento do projecto, foi necessário converter as imagens para TIFF e separá-las em 4 bandas, por forma a conseguir-se usufruir das ferramentas do *software* na sua totalidade. A transição para o ENVI, que apesar de não ter formato próprio de imagem, não se enquadra bem com o cabeçalho da imagem .rrd gerado pelo *ERDAS*.

Apresenta-se na Figura 27 um esquema que resume todos os passos do pré-processamento acima descritos.

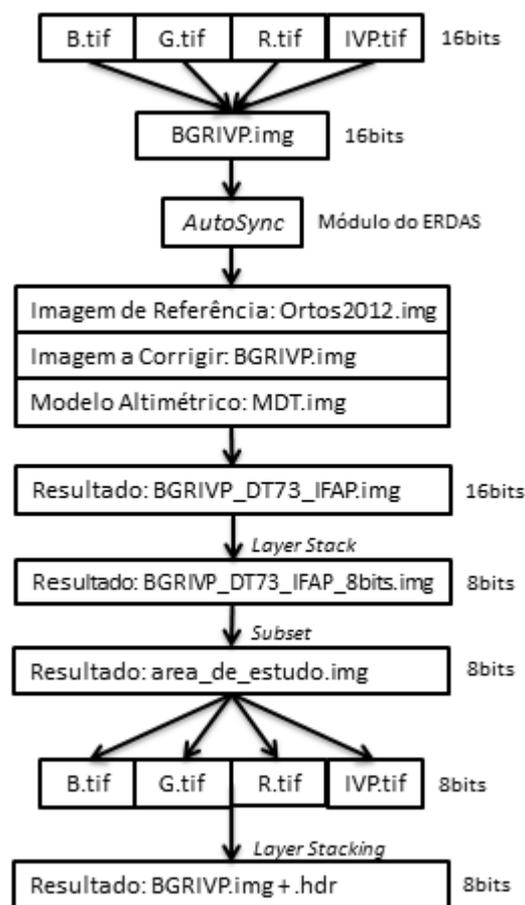


Figura 27 – Esquematização Final do Processo de Ortorectificação

Da última etapa descrita no esquema acima apresentado, resulta a ortoimagem (recortada pela área de estudo) e um cabeçalho .hdr que lhe fica acoplado, contendo a informação

sobre o conteúdo da imagem. O pré-processamento descrito foi executado da mesma maneira para as duas imagens de satélite Vale de Cambra e Palmela.

Por se considerar relevante para as fases do trabalho que se sucederão, apresenta-se de seguida um pequeno recorte da área de estudo de Vale de Cambra (Figura 28), com o resultado final da fusão das 4 bandas sem e com aplicação do método de otimização linear. A otimização linear é um dos métodos de melhoria de imagem, que foi aplicado apenas “visualmente”, ou seja, para que a demarcação das áreas de treino das várias classes fosse facilitada. Esta otimização não ficou intrínseca à imagem, e por isso os DN's não foram alterados.



Figura 28 – Recorte da Área de Estudo de Vale de Cambra, (à esq.) a fusão das 4 bandas na composição colorida RGB (321) e (à dir.) a mesma fusão das 4 bandas mas com otimização linear

Como é possível observar pela Figura 28 (à esq.), percebe-se que a ortoimagem após a fusão das bandas fica demasiado escura, sendo que o seu histograma espectral também se apresentou muito condensado nos níveis de cinza mais baixos (Figura 29).

No histograma apresentado, as cores associadas à resposta espectral da imagem, estão de acordo com a banda respetiva, i.e. a banda 1 tem a cor azul e corresponde à banda do azul, a banda 2 tem a cor verde e corresponde à banda do verde, a banda 3 tem a cor vermelha e corresponde à banda do vermelho e por fim a banda 4 tem a cor branca e corresponde à banda do infravermelho próximo.

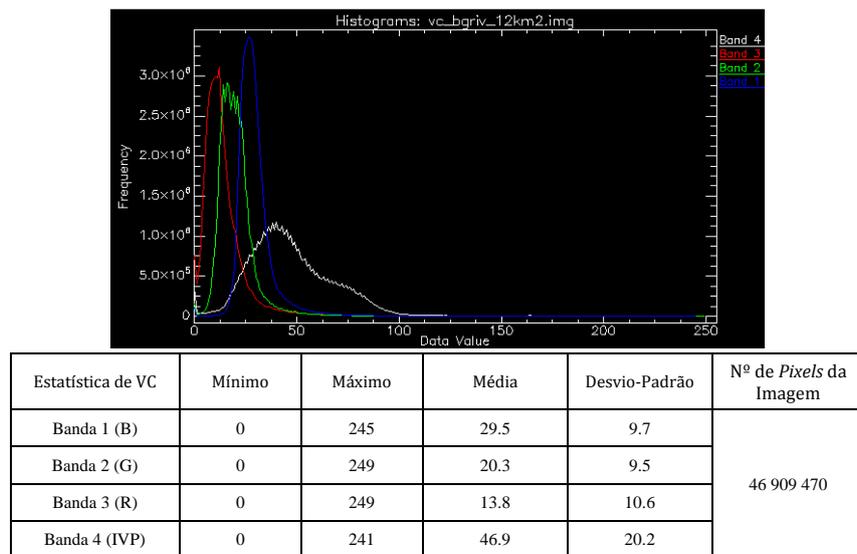


Figura 29 – Histograma Espectral e Respetiva Estatística da Área de Estudo de Vale de Cambra

Relativamente à estatística extraída da resposta espectral da imagem de Vale de Cambra, verifica-se pela estatística, que os valores médios se apresentam concentrados entre os DN's 13 e 47, demonstrando que a imagem tem uma fraca resolução espectral. Pareceria coerente que a uma imagem com fraca resolução espectral, se lhe aplicasse um método de equalização, tal como foi executado no subcapítulo 3.3. Tal não foi executado porque, uma expansão do contraste ou uma alteração da iluminação da imagem, ou qualquer outra operação aplicada, com vista a sua “melhoria” visual, alteraria os valores dos *pixels* originais.

Se o objetivo do estudo fosse, a posterior disponibilização das imagens, tal como em 3.3, convinha que estas tivessem uma boa visibilidade, e dever-se-ia aplicar-lhe os métodos de equalização de imagens. Mas se o objetivo for, como neste caso de estudo, a caracterização de classes de interesse através da resposta espectral, então não devem ser aplicados métodos que poderiam deturpar as respostas espectrais presentes na imagem de satélite original.

Para além disso, para uma uniformização das respostas espectrais dos objetos da superfície terrestre, as análises espectrais deverão ser executadas aos DN's o menos alterado possível, para que possam esboçar-se modelos de comparação.

Apresenta-se assim na Figura 30, a área total de estudo de Vale de Cambra com a aplicação da otimização linear.

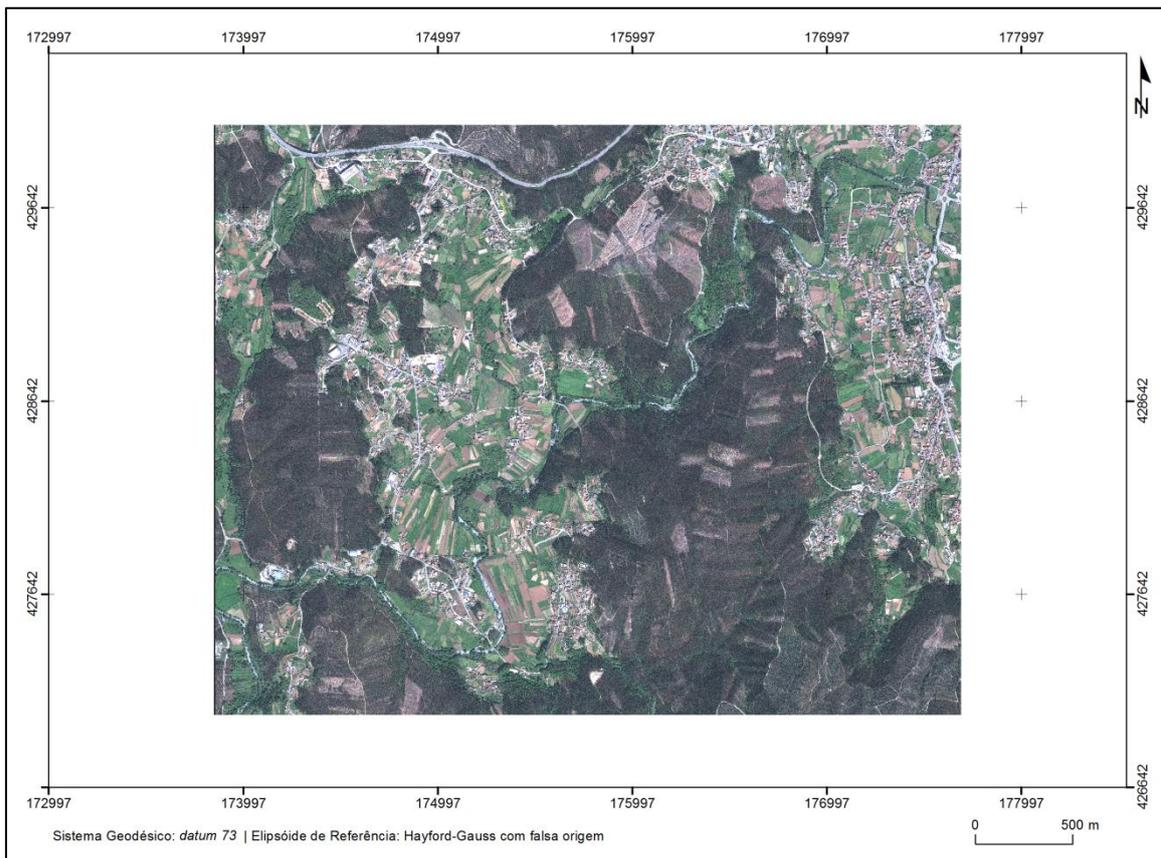


Figura 30 – Área de Estudo de Vale de Cambra com Otimização Linear

Da estatística calculada, extraiu-se também informação relativa às correlações entre as 4 bandas da imagem. Como se pode observar pela Tabela 9, as bandas 1 e 2, e as bandas 2 e 3, são as que apresentam um coeficiente de correlação acima dos 95%, o que significa que a informação contida nestas bandas apresenta uma elevada redundância, i.e. são semelhantes. Já a correlação da banda do IVP com as restantes bandas, apresenta uma correlação na ordem dos 60 e 70%, o que leva a uma redundância menor da informação, ou seja, esta banda diferencia-se melhor das outras restantes.

Tabela 9 – Correlação entre as 4 bandas que compõem a Imagem de Satélite de Vale de Cambra

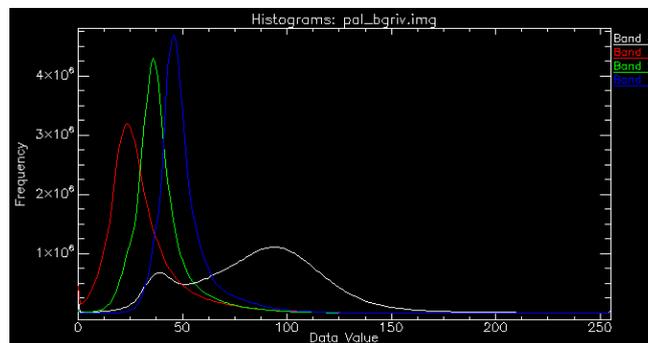
Correlações	Banda 1 (B)	Banda 2 (G)	Banda 3 (R)	Banda 4 (IVP)
Banda 1 (B)	1,0000	0,9779	0,9590	0,5883
Banda 2 (G)	0,9779	1,0000	0,9664	0,7072
Banda 3 (R)	0,9590	0,9664	1,0000	0,5978
Banda 4 (IVP)	0,5883	0,7072	0,5978	1,0000

Apresentadas as características descritivas da qualidade espectral da área de estudo de Vale de Cambra, apresenta-se agora a Figura 31 idêntica à Figura 28, mas referente ao recorte de uma porção da área de estudo de Palmela.



Figura 31 – Recorte da Área de Estudo de Palmela, (à esq.) a fusão das 4 bandas na composição colorida RGB (321) e (à dir.) a mesma fusão das 4 bandas mas com otimização linear

O histograma espectral de Palmela, comparativamente com Vale de Cambra, apresenta um melhor aproveitamento do espectro, com uma distribuição das bandas ao longo dos 255 níveis de cinzento, apresentando um nível de contraste e luminosidade mais equilibrados (Figura 32).



Estatística de PAL	Mínimo	Máximo	Média	Desvio-Padrão	Nº Total de Pixels da Imagem
Banda 1 (B)	0	255	50.3	13.4	81 227 350
Banda 2 (G)	0	255	39.3	13.9	
Banda 3 (R)	0	255	30.3	17.4	
Banda 4 (IVP)	0	255	85.5	32.7	

Figura 32 – Histograma Espectral e Respetiva Estatística da Área de Estudo de Palmela

Em valores numéricos, essa melhoria da qualidade visual da imagem, também foi sentida, uma vez que os valores de DN médio variam entre os 30 e os 85.

Tendo em conta que o objetivo da utilização das imagens de Palmela é o mesmo de Vale de Cambra, analisar os espectros das classes de treino, a esta também apenas lhe foi

aplicada uma otimização linear “visualmente”, sem estar intrínseca à imagem. Devido a este facto os valores dos *pixels* originais, não se alteraram. Apresenta-se na Figura 33, a área total de estudo de Palmela com a aplicação da otimização linear.

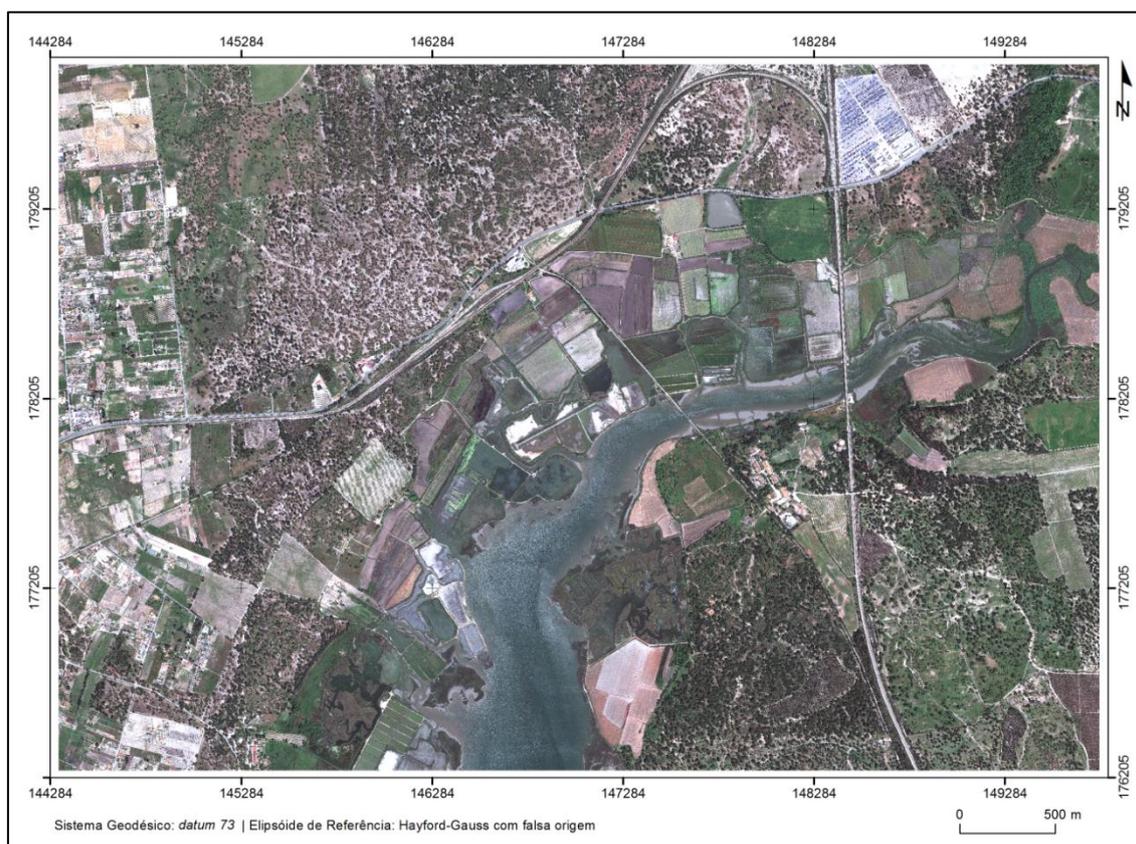


Figura 33 – Área de Estudo de Palmela com Otimização Linear

Quanto à correlação entre as 4 bandas referentes a Palmela (Tabela 10), verifica-se o mesmo que aconteceu em Vale de Cambra, ou seja, existe uma forte correlação, acima dos 95% entre os pares de bandas 1 e 2 e as bandas 2 e 3, e uma baixa correlação na ordem dos 60, 70% entre os pares de bandas do IVP e as restantes bandas.

Tabela 10 – Correlação entre as 4 bandas que compõem a Imagem de Satélite de Palmela

Correlações	Banda 1 (B)	Banda 2 (G)	Banda 3 (R)	Banda 4 (IVP)
Banda 1 (B)	1.0000	0.9810	0.9731	0.5843
Banda 2 (G)	0.9810	1.0000	0.9806	0.6895
Banda 3 (R)	0.9732	0.9806	1.0000	0.6521
Banda 4 (IVP)	0.5843	0.6895	0.6521	1.0000

4.1.4. Identificação das Classes de Ocupação do Solo

A exploração e melhoria da Carta de Ocupação do Solo (COS) desenvolvida para o território nacional têm-se assumido como uma ferramenta de grande interesse, que permite gerir e planear de uma melhor forma a ocupação e o uso que se faz do solo. Esta utiliza uma nomenclatura onde são discriminadas cerca de 193 classes no seu nível mais detalhado, com uma unidade mínima cartográfica de 1ha.

Quanto ao IFAP, este atualmente utiliza uma base de dados geográfica que contém o parcelário de todo o território continental e ilhas. O seu conteúdo precisa de ser atualizado constantemente, quer seja através das declarações emitidas pelos agricultores, ou quando são detetados alguns erros pelas salas de parcelário.

Segundo a Comissão Europeia, existem ocupações do solo português, que estão equivocadas, geradas principalmente pela errada demarcação da dimensão e localização das parcelas. Para colmatar estas falhas de informação geográfica, será necessário uma classificação do uso do solo mais fiel e de forma relativamente mais rápida, ou que pelo menos o Instituto tenha em sua posse uma base cartográfica onde haja uma clara diferenciação entre o que pode e não pode ser cultivado.

Desta forma e no âmbito do projeto desenvolvido, foram discriminadas as seguintes classes: Área Social de Telha de Cerâmica, Área Social de Telha Branca ou Metalizada, Estradas de Alcatrão, Zonas Húmidas Com e Sem Reflexo, Sombra, Terrenos Incultos, Vegetação Rasteira, Espaço Florestal Arborizado, e englobado nesta última a diferenciação de Eucalipto e Pinheiro Manso. Para gerar as áreas de treino representativas de cada classe foi necessário gerar as regiões de treino (formato polígono), correspondentes às classes acima descritas, e demarcar as zonas em que constassem os *pixels* que melhor descrevessem a respetiva classe e com maior abrangência possível da variedade espectral.

Foram adotadas as siglas presentes na Tabela 11, que diferem um pouco da designação atribuída pelo IFAP conforme a Figura 11, por as classes geradas não corresponderem totalmente aos critérios definidos no Manual de Conceitos e Regras de Delimitação (IFAP, 2013a).

Tabela 11 – Equivalência da Nomenclatura Utilizada pelo IFAP e a Nomenclatura Adotada

Categoria	Classe	Sigla	Classe Adotada	Sigla Adotada
2. Superfície Agro-Florestal	2.4. Espaço Agro-Florestal Não Arborizado	AFN-FR	Terrenos Incultos	TEIN
3. Superfície Florestal	3.1. Espaço Florestal Arborizado	FFL-FL	Espaço Florestal Arborizado	EAF
4. Outras Superfícies	4.1. Área Social	SAS-AS	Área Social de Telha Branca e/ou Metalizada	ASTB
			Área Social de Telha de Cerâmica	ASTC
	4.2. Vias	VIA-AS	Estradas de Alcatrão	EA
	4.3. Improdutivo	IMP-AI	Improdutivo	Classe Excluída do Estudo
	4.4. Massas de Água 4.5. Zonas Húmidas	MAG-ON ZPH-ON	Zonas Húmidas Com Reflexo	ZHCR
			Zonas Húmidas Sem Reflexo	ZHSR
-	-	-	Eucalipto	EU
-	-	-	Pinheiro Manso	PM
-	-	-	Sombra	SO

Para a demarcação das áreas de treino, para além da interpretação visual, recorreu-se ao ficheiro vetorial que contém as Parcelas de Ocupação do Solo (POCS) na perspetiva de esclarecer dúvidas que surgissem quanto à ocupação do solo.

Às classes solicitadas e as que foram criadas adicionalmente, foram atribuídas nomenclaturas que por vezes podem suscitar algumas dúvidas quanto ao que pretende de cada classe em particular. Assim, de seguida será feita uma breve descrição de cada uma das 12 classes, e apresentada a resposta espectral correspondente às áreas de treino demarcadas.

– Área Social (Telha de Cerâmica e Branca e/ou Metalizada) –

Será considerado área social, o terreno edificado com construções efetuadas pelo Homem, incluindo prédios, moradias e área envolvente que lhe pertença, armazéns, fábricas, entre outros, que se possam integrar a mesma resposta espectral que os anteriormente descritos.

Para a nomenclatura de área social, serão apresentados duas classes, correspondentes aos telhados das construções presentes nas imagens de satélite escolhidas poderem ser de telha de cerâmica e de telha branca ou metalizada. Esta diferenciação surgiu após a tentativa de encaixar os seus espectros, tão distintos, na mesma classe. Também tinha sido considerada a área social de telha escura, mas esta apresentou muita confusão com a classe de estradas de alcatrão, devido à sua coloração e à falta de amostras significativas que a discriminassem melhor (Figura 34).

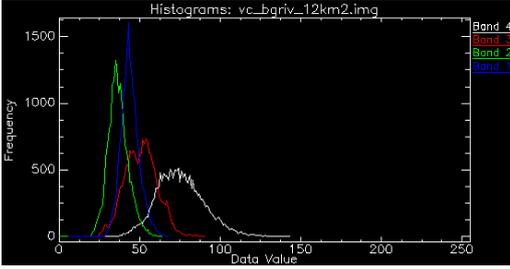


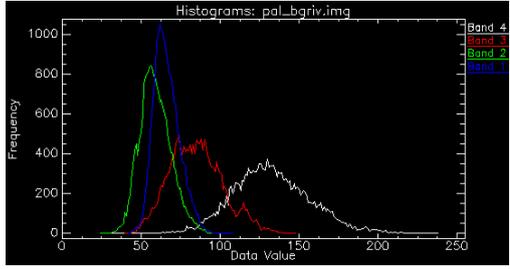
Figura 34 – Exemplos de Área Social com Telha de Cerâmica; Telha Branca ou Metalizada e Telha Escura
Fonte: [Google Earth 3D, 2014]

Considerando a área social de telha de cerâmica e de telha branca ou metalizada, esta representa a grande maioria do tipo de telha utilizada em Portugal, e por isso foi relativamente fácil demarcar várias áreas de treino que continham no total, no caso de Vale de Cambra 17 651 *pixels* e no caso de Palmela 19 461 *pixels*, para a telha de cerâmica, e 16 995 em Vale de Cambra e 14 693 em Palmela para telha branca ou metalizada.

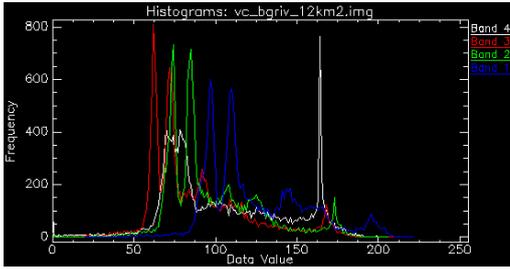
Apresentam-se nas tabelas que se seguem, recortes de uma zona de treino das imagens de satélite, os histogramas espectrais e as respetivas estatísticas, de Vale de Cambra e de Palmela. Os recortes são apresentados sob as combinações de bandas RGB (321) e em Falsa Cor (432).

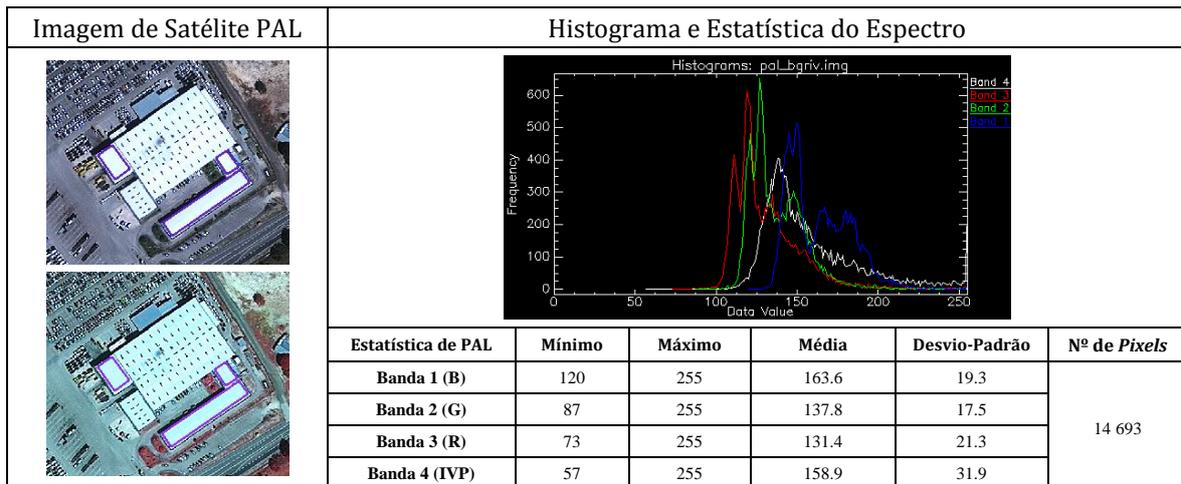
Área Social (Telha de Cerâmica)

<p>Imagem de Satélite VC</p>	<p>Histograma e Estatística do Espectro</p>				
					
<p>Estatística de VC</p>	<p>Mínimo</p>	<p>Máximo</p>	<p>Média</p>	<p>Desvio-Padrão</p>	<p>Nº de Pixels</p>
<p>Banda 1 (B)</p>	<p>6</p>	<p>68</p>	<p>44.0</p>	<p>5.7</p>	<p>17 651</p>
<p>Banda 2 (G)</p>	<p>0</p>	<p>64</p>	<p>36.6</p>	<p>6.3</p>	
<p>Banda 3 (R)</p>	<p>3</p>	<p>90</p>	<p>50.8</p>	<p>10.0</p>	
<p>Banda 4 (IVP)</p>	<p>0</p>	<p>143</p>	<p>75.4</p>	<p>14.9</p>	

<p>Imagem de Satélite PAL</p>	<p>Histograma e Estatística do Espectro</p>				
					
<p>Estatística de PAL</p>	<p>Mínimo</p>	<p>Máximo</p>	<p>Média</p>	<p>Desvio-Padrão</p>	<p>Nº de Pixels</p>
<p>Banda 1 (B)</p>	<p>42</p>	<p>108</p>	<p>66.2</p>	<p>8.1</p>	<p>19 461</p>
<p>Banda 2 (G)</p>	<p>24</p>	<p>107</p>	<p>59.1</p>	<p>9.8</p>	
<p>Banda 3 (R)</p>	<p>40</p>	<p>148</p>	<p>84.9</p>	<p>16.7</p>	
<p>Banda 4 (IVP)</p>	<p>28</p>	<p>238</p>	<p>132.8</p>	<p>24.3</p>	

Área Social (Telha Branca e/ou Metalizada)

<p>Imagem de Satélite VC</p>	<p>Histograma e Estatística do Espectro</p>				
					
<p>Estatística de VC</p>	<p>Mínimo</p>	<p>Máximo</p>	<p>Média</p>	<p>Desvio-Padrão</p>	<p>Nº de Pixels</p>
<p>Banda 1 (B)</p>	<p>20</p>	<p>221</p>	<p>124.2</p>	<p>30.4</p>	<p>16 995</p>
<p>Banda 2 (G)</p>	<p>0</p>	<p>206</p>	<p>97.6</p>	<p>28.7</p>	
<p>Banda 3 (R)</p>	<p>0</p>	<p>209</p>	<p>88.2</p>	<p>30.7</p>	
<p>Banda 4 (IVP)</p>	<p>0</p>	<p>203</p>	<p>103.5</p>	<p>38.1</p>	



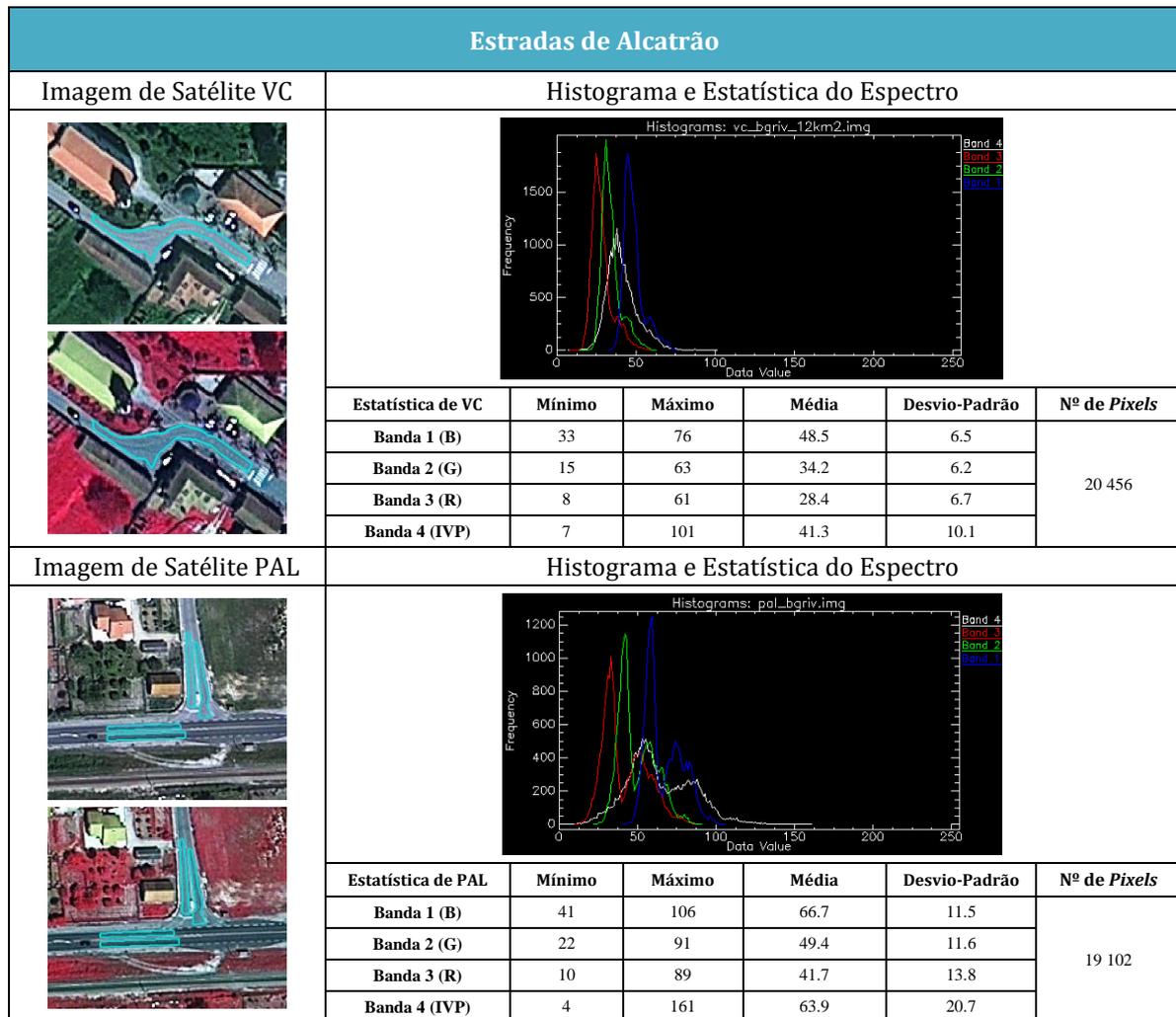
– Estradas de Alcatrão –

Será considerado nesta classe, todos os caminhos ou vias alcatroadas, que liguem um ponto ao outro (sejam estradas municipais, nacionais ou autoestradas), assim como todos os pavimentos que sejam revestidos de alcatrão, como é o caso dos parques de estacionamento e entrada de moradias (Figura 35).



Figura 35 – Exemplos dos Vários Tipos de Estradas de Alcatrão Considerados
 Fonte: [Google Earth 3D, 2014]

Foram demarcadas áreas que abrangessem a maior variedade possível de tipos de alcatrão disposto nos pavimentos. Devido à avultada presença de pavimentos alcatroados nas duas imagens de satélite, foi relativamente simples demarcar um número significativo de *pixels* caracterizador desta classe, sendo que em Vale de Cambra foram demarcados 20 456*pixels* e em Palmela 19 102*pixels*.



– Zonas Húmidas (Com e Sem Reflexo) –

Serão consideradas, zonas húmidas, todo o terreno que se apresente coberto ou saturado de água durante todo o ano ou apenas numa parte significativa do mesmo. Esta classe incluirá estuários ou grandes cursos de água, rios, lagoas, albufeiras, pauis, sapais, salinas, assim como cursos de água de menor dimensão, originados apenas em anos chuvosos (Figura 36).



Figura 36 – Exemplos de Zonas Húmidas Com e Sem Reflexo

Fonte: [Google Earth 3D, 2014]

Nas imagens de satélite escolhidas para este estudo, verificou-se que estas apresentavam uma grande percentagem de zonas húmidas com reflexo do sol. Devido a este facto, discriminou-se a classe zonas húmidas em duas classes, divididas pela presença ou não de reflexo. Esta discriminação surgiu, porque aquando a extração da resposta espectral como uma única classe o resultado abrangia muitos outros objetos presentes na superfície terrestre.

Na imagem de Vale de Cambra foram demarcadas uma quantidade mínima de áreas que discriminassem bem cada uma das classes geradas, por ser notória a distinção entre zonas com reflexo e sem reflexo. As zonas húmidas com reflexo apresentam um tom mais “espelhado”, enquanto, as zonas húmidas sem reflexo apresentam um tom “esverdeado”. No caso de Vale de Cambra, as zonas húmidas com reflexo é que eram em menor abundância que em Palmela, que engloba parte do estuário do Sado, e por isso o número de *pixels* extraído também reflete isso. Ainda assim, obtiveram-se em Vale de Cambra cerca de 18 265*pixels*, para zonas húmidas sem reflexo e 5 577*pixels* para zonas húmidas com reflexo. Em Palmela obtiveram-se cerca de 283 634*pixels* para zonas húmidas sem reflexo e 356 096*pixels* para zonas húmidas com reflexo.

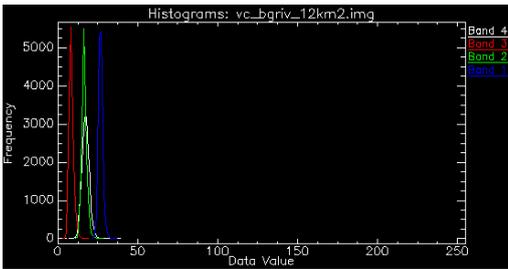
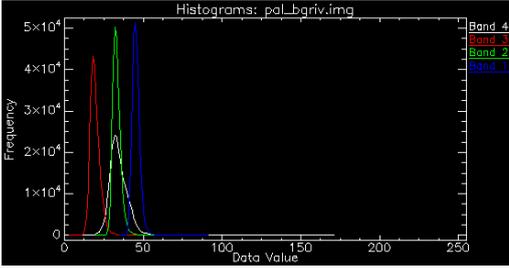
Zonas Húmidas sem Reflexo					
Imagem de Satélite VC	Histograma e Estatística do Espectro				
					
Estatística de VC	Mínimo	Máximo	Média	Desvio-Padrão	Nº de <i>Pixels</i>
Banda 1 (B)	22	37	26.8	1.4	18 265
Banda 2 (G)	11	28	16.5	1.6	
Banda 3 (R)	3	19	8.4	1.5	
Banda 4 (IVP)	7	39	17.4	2.3	

Imagem de Satélite PAL		Histograma e Estatística do Espectro				
						283 634
Estatística de PAL		Mínimo	Máximo	Média	Desvio-Padrão	
Banda 1 (B)	35	91	45.4	2.4		
Banda 2 (G)	20	88	33.2	2.6		
Banda 3 (R)	3	83	19.4	3.1		
Banda 4 (IVP)	2	171	34.4	5.7		

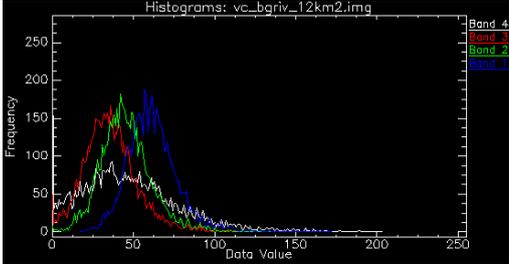
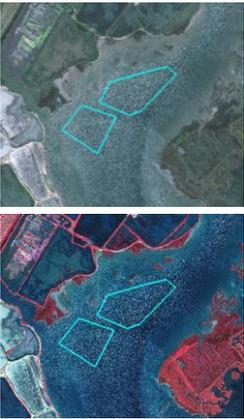
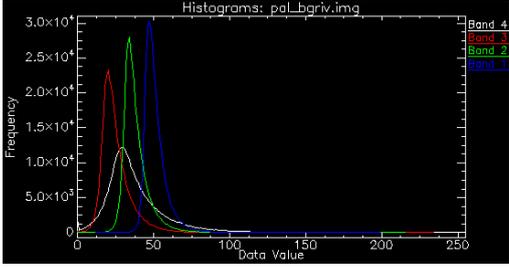
Zonas Húmidas com Reflexo						
Imagem de Satélite VC		Histograma e Estatística do Espectro				
						5577
Estatística de VC		Mínimo	Máximo	Média	Desvio-Padrão	
Banda 1 (B)	17	172	61.7	15.5		
Banda 2 (G)	0	165	45.7	16.3		
Banda 3 (R)	0	161	35.9	16.9		
Banda 4 (IVP)	0	203	46.7	31.5		

Imagem de Satélite PAL		Histograma e Estatística do Espectro				
						356 096
Estatística de PAL		Mínimo	Máximo	Média	Desvio-Padrão	
Banda 1 (B)	12	199	50.9	7.3		
Banda 2 (G)	0	215	38.1	8.5		
Banda 3 (R)	0	234	25.0	10.0		
Banda 4 (IVP)	0	255	37.4	20.0		

– Sombra –

Será considerado como sombra, regiões escuras, proporcionadas pela presença de um obstáculo, seja edifícios ou árvores (Figura 37).



Figura 37 – Exemplos de Áreas com Sombra Provocada por Área Social e Árvores
 Fonte: [Google Earth 3D, 2014]

Esta classe foi considerada como tal, devido principalmente à presença de grandes zonas de sombra, na imagem de Palmela.

Sombra						
Imagem de Satélite VC		Histograma e Estatística do Espectro				
		Estatística de VC	Mínimo	Máximo	Média	Desvio-Padrão
		Banda 1 (B)	12	36	26.5	2.8
		Banda 2 (G)	0	25	14.9	2.5
		Banda 3 (R)	0	17	8.1	2.3
		Banda 4 (IVP)	0	33	17.7	4.5
		Nº de Pixels				
		6012				
Imagem de Satélite PAL		Histograma e Estatística do Espectro				
		Estatística de PAL	Mínimo	Máximo	Média	Desvio-Padrão
		Banda 1 (B)	10	84	37.8	4.9
		Banda 2 (G)	0	73	22.5	5.7
		Banda 3 (R)	0	73	12.3	5.1
		Banda 4 (IVP)	0	131	32.1	14.1
		Nº de Pixels				
		5173				

– Terrenos Incultos –

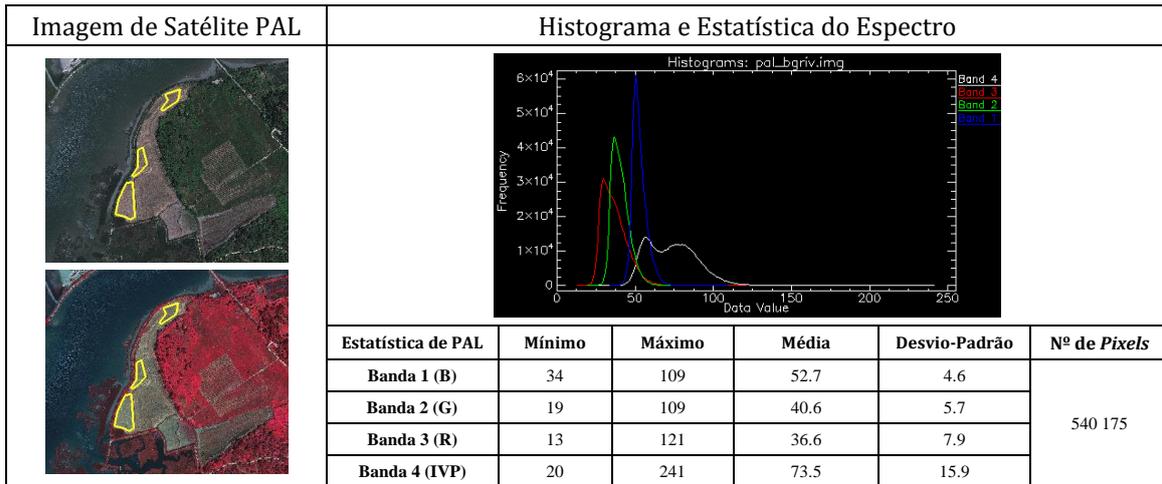
Será considerado Terrenos Incultos, toda a porção de terreno onde se verifique que a presença de vegetação é muito escassa ou até inexistente. Estes terrenos normalmente enquadram-se na situação de terreno em pousio, terreno gradados para semear, ou até de já plantado mas que ainda não é visível a sua cultura (Figura 38).



Figura 38 – Exemplos de Terrenos Incultos
 Fonte: [Google Earth 3D, 2014]

A criação desta classe surgiu da necessidade de enquadrar este tipo de terrenos como terreno vegetados ou de possível cultivo, pois a sua resposta espectral é muitas vezes confundida com outros objetos da superfície não condizentes com a característica vegetativa. Este tipo de terrenos apresenta, por norma, uma cor semelhante ao castanho, mais escuro ou mais claro, consoante se foram ou não gradados e o tempo que passou desde então. Tanto no caso de Vale de Cambra como de Palmela, este tipo de terrenos distinguem-se bastante bem e no caso de Palmela os terrenos têm áreas consideravelmente extensas, pelo que foram demarcados 551 480 pixels em Palmela e apenas 29 340 pixels em Vale de Cambra.

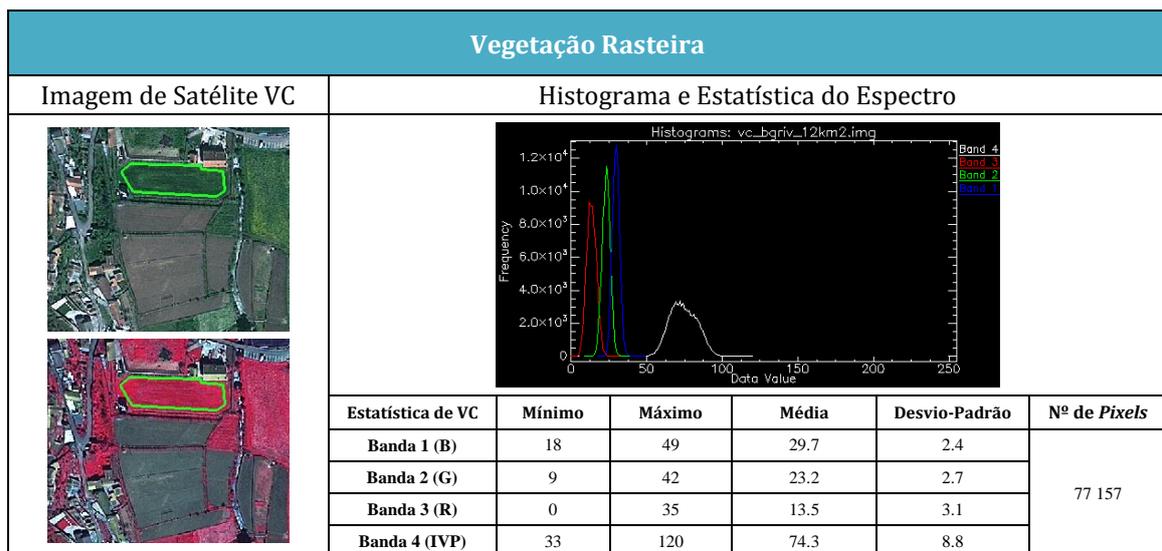
Terrenos Incultos					
Imagem de Satélite VC	Histograma e Estatística do Espectro				
Estatística de VC	Mínimo	Máximo	Média	Desvio-Padrão	Nº de Pixels
Banda 1 (B)	17	62	32.5	3.2	29 340
Banda 2 (G)	5	54	21.9	3.4	
Banda 3 (R)	0	52	18.6	4.1	
Banda 4 (IVP)	1	104	38.4	8.8	

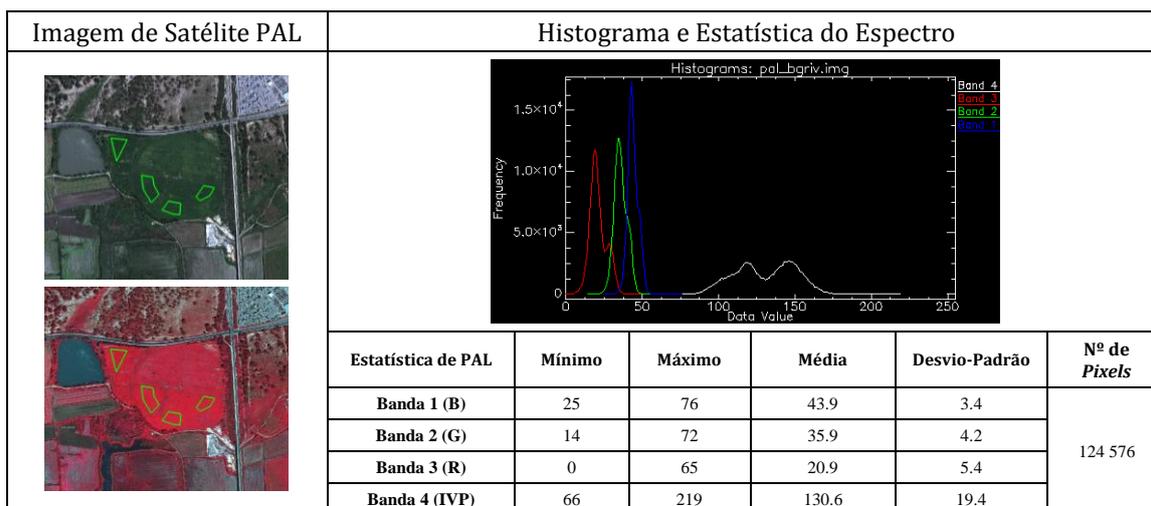


– Vegetação Rasteira –

Será considerada Vegetação Rasteira, toda a porção de terreno que esteja coberta de espécies vegetais com uma resposta espectral, na composição de bandas de falsa cor RGB (432), muito intensa. Esta distingue-se muito bem dos Terrenos Incultos, porque a sua resposta é pouco intensificada, e distingue-se bem da floresta porque ou adquire uma forma arredondada da copa das árvores ou então tem uma resposta espectral intensa, mas mais escurecida.

Foram demarcados 77 157 pixels em Vale de Cambra e 124 576 pixels em Palmela.

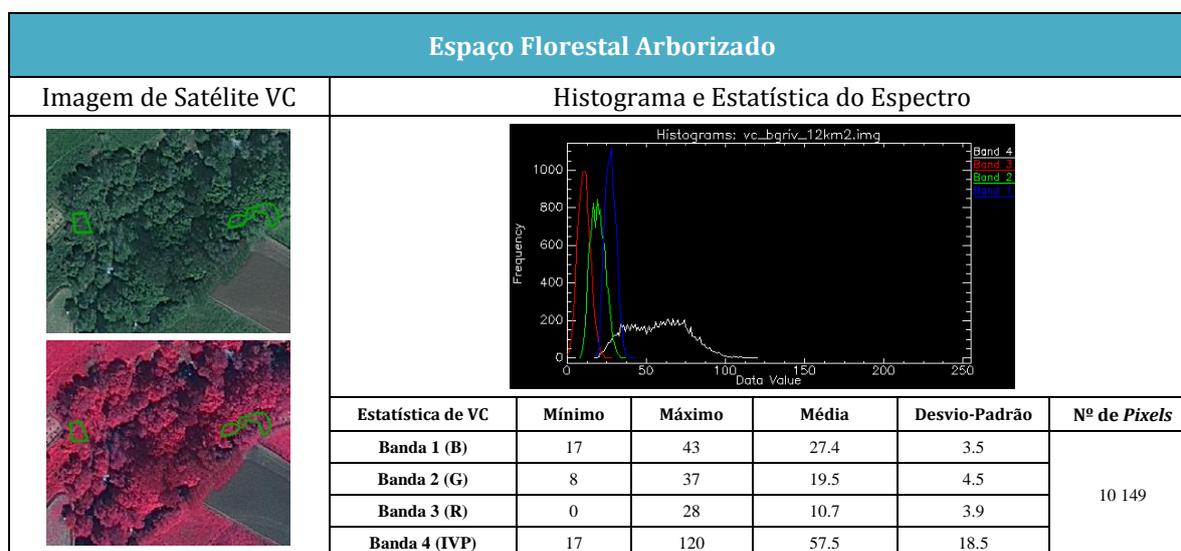


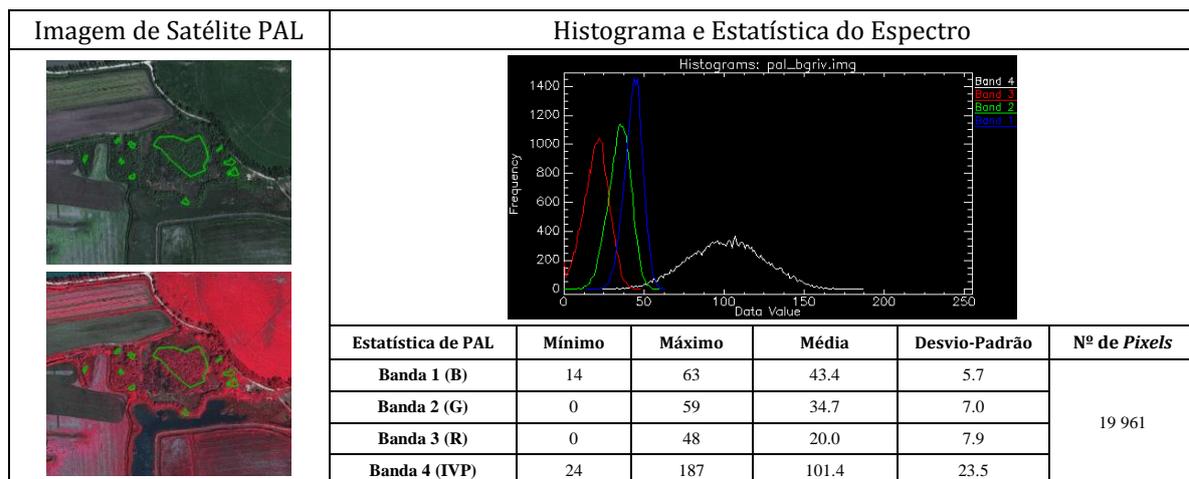


– Floresta –

Será considerado como Floresta, toda a porção de terrenos em que se verifiquem a presença de espécies florestais, cujo coberto das mesmas abranja mais de 10% da área em causa (ICNF, 2013).

Como já foi referido, foi solicitado pelo IFAP que se tentasse discriminar dois tipos específicos de floresta, e por isso a classe Floresta tentará fazer-se representar por todo o tipo de árvores florestais, exceto o eucalipto e/ou pinheiro bravo em Vale de Cambra e o pinheiro manso em Palmela. Dada a variabilidade desta classe, foram identificados como *pixels* de treino cerca de 10 149 em Vale de Cambra e 19 961 em Palmela, com o maior rigor que foi possível.





– Eucalipto e/ou Pinheiro Bravo –

O Eucalipto foi introduzido em Portugal na segunda metade do século XIX, e é considerada como uma espécie arbustiva na categoria de folhosas, e existem mais de 600 variedades espalhadas por todo o mundo. A espécie *Eucalyptus Globulus* é a que tem maior predominância em Portugal, e é considerada mundialmente como sendo a espécie que tem a fibra ideal para a produção de papel de alta qualidade. Em Portugal, este prefere regiões litorais com climas temperados e húmidos, e de altitudes inferiores a 700m. Tolerava bem todo o tipo de solos, excetuando-se os calcários, tem uma capacidade de resistência superior a outras espécies ao encharcamento do solo, mas não resiste tanto ao vento e ao ensombramento. Esta espécie florestal é plantada com o intuito principal de extração e produção de pasta e papel, assim como em menor escala a extração do óleo produzido pelo Eucalipto, para a produção de infusões e rebuçados, devido às suas propriedades balsâmicas e antissépticas (António, 2014).

Quanto à discriminação da sua classe, o Eucalipto mostrou-se ser uma espécie arbustiva de difícil extração a título individual devido à configuração que as suas árvores e folhagem apresentam.

Não sendo possível uma verificação de campo, da concentração de Eucalipto, foi apenas através da visualização 3D do *Google Earth* (Figura 39), que se conseguiram registar algumas áreas com um mínimo de certeza da sua presença. Não é de todos o melhor método, mas foi o melhor conseguido, porque nas POCS disponibilizadas pelo IFAP o

Eucalipto não é discriminado, pelo que não houve qualquer meio de verificação. Para além da sua interpretação já não ser fácil e de não existir nenhum eucaliptal na região de Vale de Cambra, esta espécie quando cresce esporadicamente tende a estar envolta de muitas outras espécies, principalmente o pinheiro bravo, árvore florestal também ela predominante na região Norte e Centro do país.



Figura 39 – Exemplo de Floresta com Presença de Eucalipto, Pinheiro Bravo e Outras Espécies
 Fonte: [Google Earth 3D, 2014]

Pensa-se que as zonas a que fizeram correspondem eucaliptos, tenham também a presença frequente de pinheiro bravo, e que se apresentam na imagem de satélite com um tom mais escuro, do que a floresta envolvente. Foi desta forma que foram demarcados 5 955pixels que melhor descreviam as características das espécies em questão.

Eucalipto e Pinheiro Bravo						
Imagem de Satélite VC	Histograma e Estatística do Espectro					
	Estatística de VC	Mínimo	Máximo	Média	Desvio-Padrão	Nº de Pixels
	Banda 1 (B)	19	34	24.2	1.9	5955
	Banda 2 (G)	8	26	14.2	2.2	
	Banda 3 (R)	1	20	7.4	2.3	
Banda 4 (IVP)	12	64	29.8	9.1		

– Pinheiro Manso –

O Pinheiro Manso, designado *Pinus Pinea*, é uma espécie que teve a sua origem ainda antes do século XV, na região do Mediterrâneo, tendo preferência por solos frescos, profundos e arenosos. Adapta-se a solos calcários se não forem muito argilosos, prefere boa luminosidade e temperaturas quentes, sendo comum encontrá-lo entre a proximidade do mar e até aos 1000m de altitude. É uma espécie florestal resinosa, que normalmente tem porte médio de cerca de 25-30m de altura, com uma copa densa e arredondada. A sua folhagem é persistente, de cor verde, em forma de agulhas agrupadas aos pares (Plantar Portugal, 2014). Desde sempre que foi muito apreciada devido ao fruto que produz, o pinhão. Este continua a ser uma das grandes valorizações assim como a extração da resina que o Pinheiro Manso produz. Quanto à extração da madeira, esta é muito dura, difícil de trabalhar mas muito impermeável, o que lhe permite ter uma qualidade superior, comparativamente à madeira extraída do Eucalipto, quer seja para a produção de mobiliário, construção naval ou carpintaria, sendo já utilizada nas construções dos barcos para as navegações marítimas como na reconstrução da baixa pombalina após o terramoto de 1755. O seu grande problema prende-se com a sua fraca rentabilidade a curto prazo, uma vez que demora cerca de 4 anos para produzir fruto pela primeira vez e 35 anos para que se possa extrair a primeira camada consistente de madeira, apesar de esta ser uma espécie arbustiva que possa durar até 250 anos (GreenSavers, 2013). O Pinheiro Manso tem ainda uma importante função, na proteção de solos arenosos, auxiliando na fixação de dunas e protegendo solos de fracas condições nutricionais.

Uma das grandes plantações de Pinheiro Manso reside na Península de Setúbal, que corresponde a 60% da quantidade total existem no país (CGD, 2014).

A região escolhida de Palmela teve em conta este facto, como já foi referido antes, e detetou-se que mesmo um pouco mais afastado da região de Alcácer do Sal, a presença desta espécie é comum ao longo do litoral centro e sul. A demarcação das áreas de treino efetuou-se com base nas parcelas de OCS, na visualização 3D do *Google Earth* e de interpretação visual. Inicialmente foi sentida alguma dificuldade em detetar os tipos de vegetação presentes, mas recorrendo a uma visita de campo à região de estudo verificou-se que a sua diferenciação era bem notória. Isto deveu-se essencialmente à presença de

Pinheiro Manso em zonas em que predomina outra espécie, que é o Sobreiro. Estas duas espécies encontram-se muito próximas, porque era e talvez ainda continue a ser comum, fazer-se uma plantação de Sobreiros e intercalar com Pinheiros Mansos (Figura 40). Este tipo de plantação era feito para aproveitamento de espaço, uma vez que os Sobreiros entre si necessitam de estar bem distanciados, enquanto o Pinheiro não necessita de tamanha distância, nem se torna concorrente com o Sobreiro, em termos nutricionais.



Figura 40 – Distinção entre o Pinheiro Manso e as Outras Espécies Arbustivas a partir de Fotografia de Campo

Quanto às áreas demarcadas, estas comparativamente com o Eucalipto foram registadas com uma melhor certeza, porque na imagem de satélite com a combinação de bandas RGB (432) o Pinheiro Manso destaca-se pela resposta espectral da copa que lhe é característica (Figura 41).

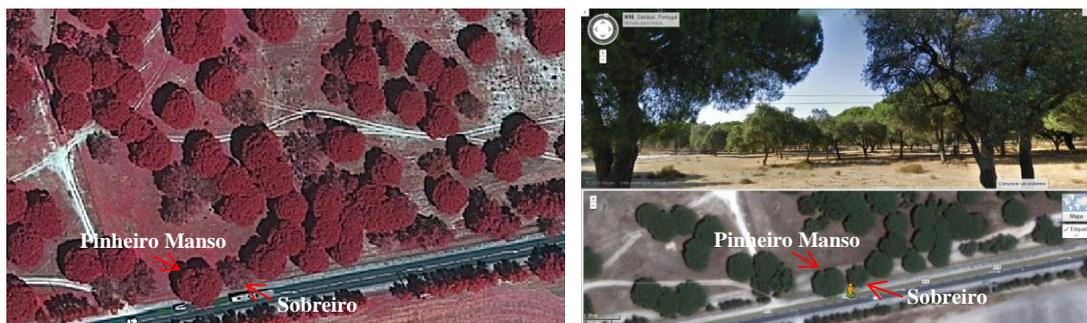
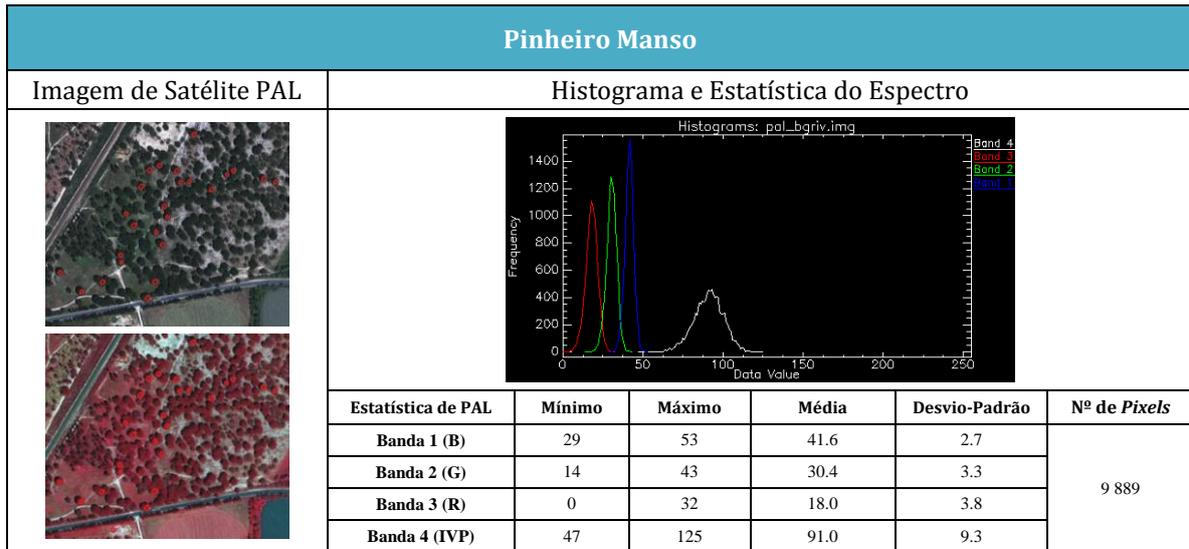


Figura 41 – Distinção entre Pinheiro Manso e Sobreiro através da Imagem de Satélite de Palmela (à esq.) e da Imagem do Google Earth 3D

Fonte: [Google Earth 3D, 2014]

Assim foram demarcados no total 9889pixels correspondentes à presença de Pinheiro Manso.



Por curiosidade, foram também demarcadas algumas áreas de treino correspondentes ao Sobreiro para detetar se a sua resposta espectral diferia ou não da resposta do Pinheiro Manso, uma vez que através de interpretação visual são relativamente fáceis de se distinguirem. Obtido o histograma, presente na Figura 42, pode perceber-se que a sua resposta espectral é em tudo muito idêntica à do Pinheiro Manso, e que os seus limites estão dentro da mesma escala de valores, o que permite constatar que se, pretender fazer uma classificação baseada apenas na resposta espectral estes dois tipos de espécies florestais provavelmente não se deverão conseguir distinguir.

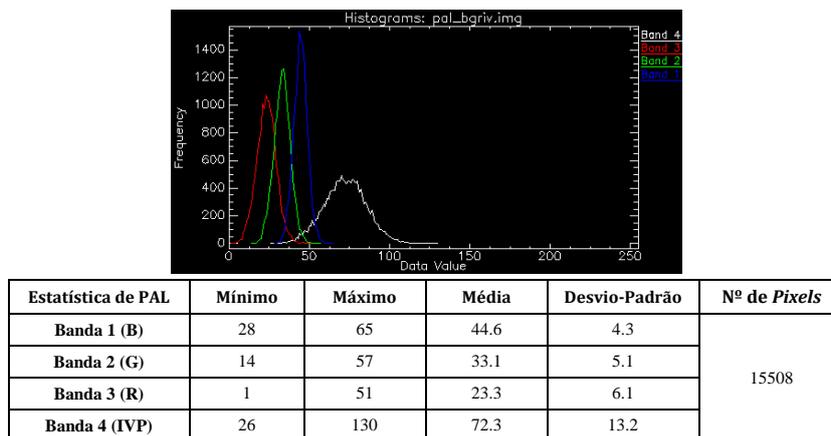


Figura 42 – Histograma e Respetiva Estatística da Resposta Espectral do Sobreiro

4.2. Processo de Extração das Classes de Ocupação do Solo

A extração automática e/ou semiautomática de classes que descrevem a ocupação do solo, apresenta-se como um meio poderoso de extração de informação atualizada, com custos relativamente acessíveis e de muita utilidade, “viabilizando uma análise mais célere, menos dispendiosa e espectralmente mais abrangente” (Rocha e Tenedório, 2001).

4.2.1. Classificação

Para o processo de extração das classes de ocupação do solo, recorreu-se ao método de classificação de máxima verosimilhança (CLASS_MAX_VEROSIM). Este método, tal como foi referido em 2.4.2.2., foi definida uma probabilidade máxima de 90%, sendo esta a que obteve melhores resultados, para maximizar a semelhança entre os *pixels* que pertencem a uma mesma classe. A probabilidade escolhida vai de encontro ao proposto por Richards and Jia (2006), porque um valor superior como 95%, significava que a amostra de treino era totalmente confiável, e apenas 5% apresentava dúvidas. Por outro lado uma probabilidade muito inferior, levaria a que se considerasse que a amostra de treino era pouco confiável, e por isso deixaria de classificar muitos dos *pixels*. É ainda definido um segundo parâmetro na classificação, que se relaciona com a resolução radiométrica da imagem, sendo que as imagens utilizadas neste projeto são de 8 *bits* então o parâmetro *Data Value* foi definido como 255, representante dos níveis de cinzento das respetivas imagens.

É de notar ainda, que apenas foram selecionadas as classes de treino, com terminação TR, para o cálculo da classificação, enquanto as classes com terminação de TS são as que compõem a amostra de teste, a ser utilizada apenas na fase de validação da classificação (Figura 46).

Do método de classificação aplicado, apresenta-se na Figura 43 e 44, os mapas temáticos finais para as regiões de Vale de Cambra e Palmela, respetivamente. Tal como a nomenclatura utilizada, também as cores utilizadas para descrever cada classe de ocupação do solo, foram distintas das que são usualmente utilizadas na produção de mapas temáticos, devido à especificidade das classes extraídas.

Devido ao facto das imagens utilizadas serem extensas e por isso o resultado produzido refletir com pouca clareza a extração das várias classes, considerou-se essencial apresentar um pequeno extrato dos resultados obtidos individualmente (Tabelas 13, 15, 16 e 17) ou em conjunto para classes idênticas, como é o caso da área social de telha de cerâmica e telha branca (Tabela 12), e as zonas húmidas com e sem reflexo (Tabela 14). Todas as tabelas à exceção da Tabela 18, são dispostas em duas linhas principais em que na linha superior está presente as imagens referentes a Vale de Cambra, com a denominação de Vale de Cambra, e na linha inferior está presente as imagens referentes a Palmela, com a denominação de Palmela, para uma mesma classe de ocupação do solo. Quanto à Tabela 18, esta apresenta-se disposta na vertical porque as classes de espaço florestal arborizado e eucalipto, e espaço florestal arborizado e pinheiro manso, são apresentados individualmente nas suas regiões de referência, mas também a sua conjugação, respetivamente.

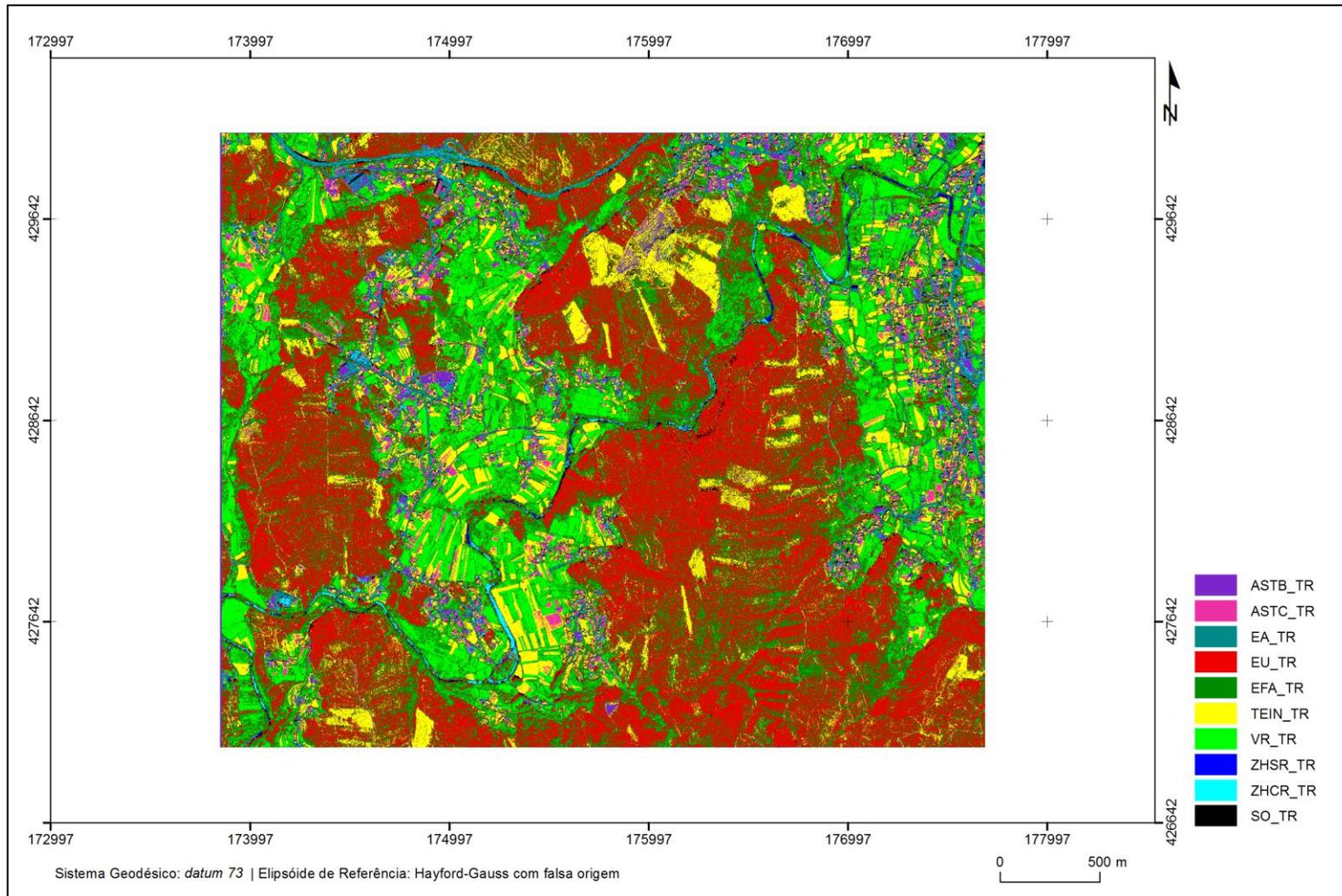


Figura 43 - Mapa Temático para a Região de Vale de Cambra

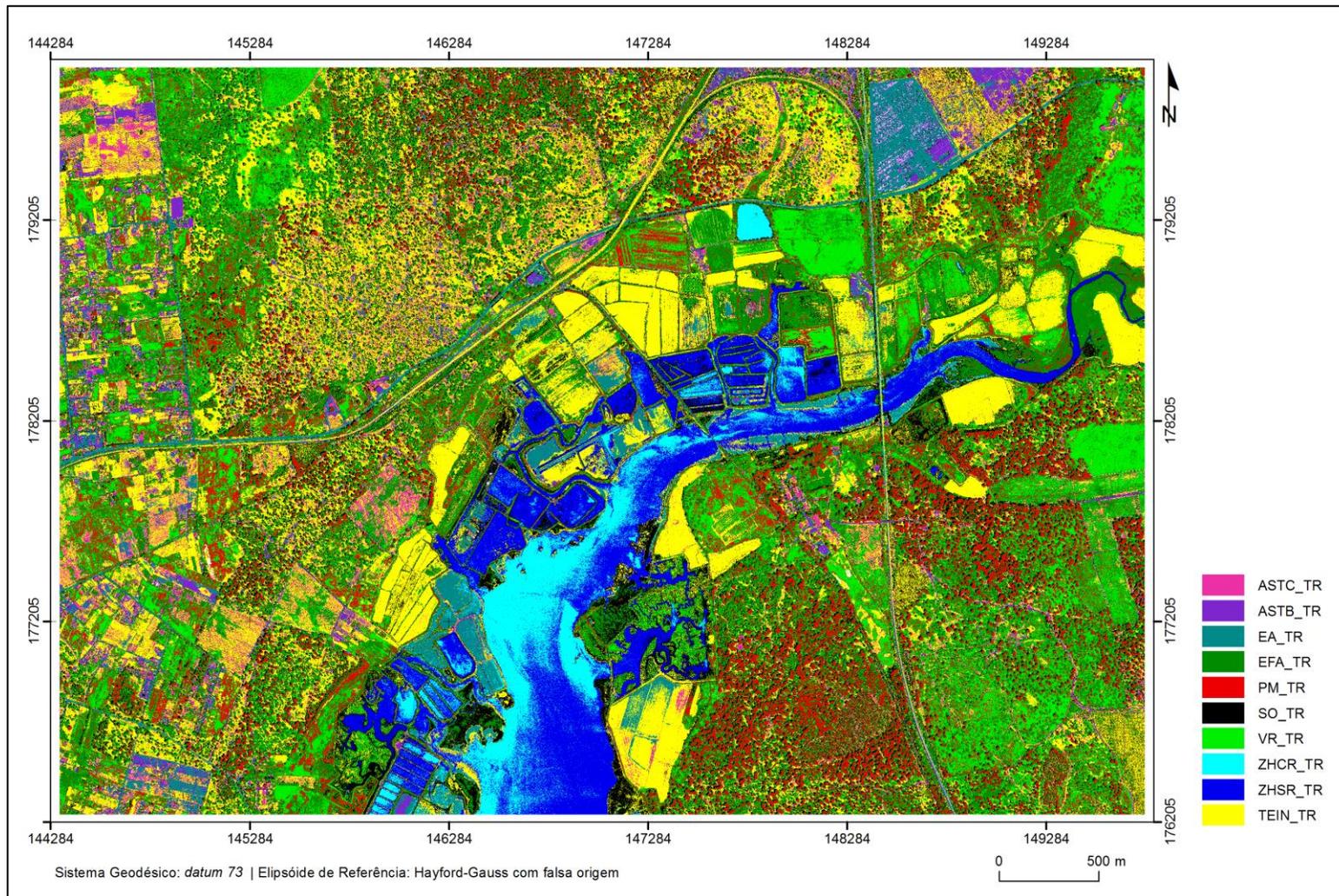


Figura 44 - Mapa Temático para a Região de Palmela

Tabela 12 – Conjunção de Extratos Correspondente à Classe de Área Social

Área Social (Telha Branca e Telha de Cerâmica) <div style="float: right; font-size: small;"> ASTB_TR ASTC_TR </div>	
Imagem de Satélite de VC	Resultado VC_CLASS_MAX_VEROSIM
	
Imagem de Satélite de PAL	Resultado PAL_CLASS_MAX_VEROSIM
	

Tabela 13 – Extratos Correspondente à Classe de Estradas de Alcatrão

Estradas de Alcatrão	
Imagem de Satélite de VC	Resultado VC_CLASS_MAX_VEROSIM
	
Imagem de Satélite de PAL	Resultado PAL_CLASS_MAX_VEROSIM
	

Tabela 14 – Conjunção de Extratos Correspondente à Classe de Zonas Húmidas

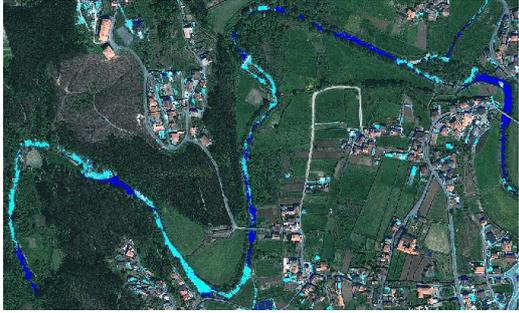
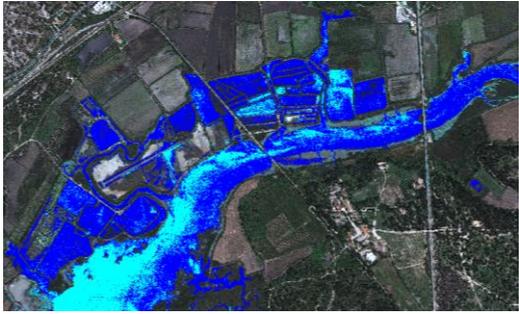
Zonas Húmidas Com e Sem Reflexo	
	■ ZHCR_TR ■ ZHSR_TR
Imagem de Satélite de VC	Resultado VC_CLASS_MAX_VEROSIM
	
Imagem de Satélite de PAL	Resultado PAL_CLASS_MAX_VEROSIM
	

Tabela 15 – Extratos Correspondente à Classe de Sombra

Sombra	
Imagem de Satélite de VC	Resultado VC_CLASS_MAX_VEROSIM
	
Imagem de Satélite de PAL	Resultado PAL_CLASS_MAX_VEROSIM
	

Tabela 16 – Extratos Correspondente à Classe de Terrenos Incultos

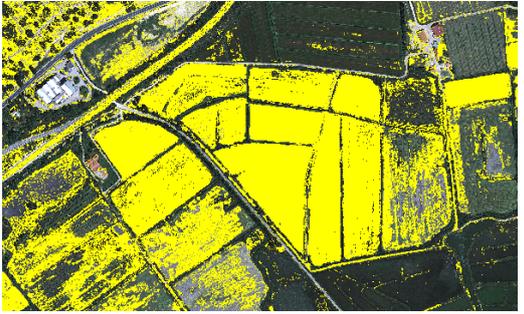
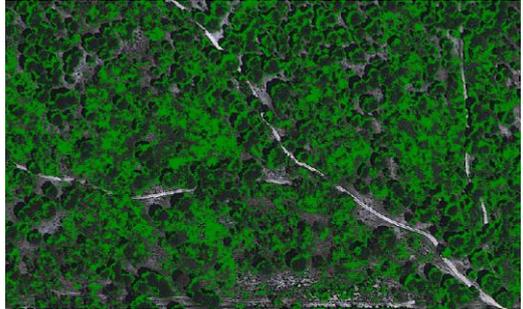
Terrenos Incultos	
Imagem de Satélite de VC	Resultado VC_CLASS_MAX_VEROSIM
	
Imagem de Satélite de PAL	Resultado PAL_CLASS_MAX_VEROSIM
	

Tabela 17 – Extratos Correspondente à Classe de Vegetação Rasteira

Vegetação Rasteira	
Imagem de Satélite de VC	Resultado VC_CLASS_MAX_VEROSIM
	
Imagem de Satélite de PAL	Resultado PAL_CLASS_MAX_VEROSIM
	

Tabela 18 – Conjunção de Extratos Correspondente à Classe de Espaço Florestal Arborizado/Eucalipto e Espaço Florestal Arborizado/Pinheiro Manso

Espaço Florestal Arborizado (EFA) e Eucalipto (EU) ■ EFA_TR ■ EU_TR	Espaço Florestal Arborizado (EFA) e Pinheiro Manso (PM) ■ EFA_TR ■ PM_TR
Imagem de Satélite de VC	Imagem de Satélite de PAL
	
Resultado EFA para VC_CLASS_MAX_VEROSIM	Resultado EFA para PAL_CLASS_MAX_VEROSIM
	
Resultado EU para VC_CLASS_MAX_VEROSIM	Resultado PM para PAL_CLASS_MAX_VEROSIM
	
Resultado EFA e EU para VC	Resultado EFA e PM para PAL
	

4.2.2. Análise de Resultados

Obtida a classificação por Máxima Verosimilhança das duas imagens, há que analisar os resultados obtidos e detetar quais as classes que melhor se fizeram representar assim como as que “visualmente” detiveram maior e menor confusão.

Recorrendo ao *Class Estatics*, pôde calcular-se a estatística relativa ao resultado da classificação, extraíndo um relatório de síntese relativo ao comportamento das classes.

Na Tabela 19 e 20, apresenta-se a comparação entre o número de *pixels* demarcados para constituir a amostra de treino e o número de *pixels* classificados em cada classe e a sua percentagem relativamente à dimensão da imagem de Vale de Cambra e Palmela.

No caso de Vale de Cambra a imagem de satélite era composta por 46 909 470 *pixels*, correspondentes a uma área total de 11.73km². Quanto à amostra de treino, esta representou 0.44% da imagem, correspondendo a 207 557 *pixels*.

Tabela 19 – Comparação entre a Dimensão da Amostra de Treino e a Dimensão da Área Classificada em cada Classe de Ocupação do Solo para Vale de Cambra

Classes de Ocupação do Solo de VC	Nº <i>Pixels</i> por Área de Treino	Área de Treino (%)	Nº de <i>Pixels</i> Classificados	Área Classificada (%)	Área Classificada (ha)
Não Classificado	-	-	3 913	0,01%	0,10
Área Social (Telha Branca)	16995	0,04%	1 838 425	3,92%	45,96
Área Social (Telha Cerâmica)	17651	0,04%	909 100	1,94%	22,73
Espaço Florestal Arborizado	10149	0,02%	12 879 477	27,46%	321,91
Estradas de Alcatrão	20456	0,04%	1 232 462	2,63%	30,81
Eucalipto	5955	0,01%	15 021 077	32,02%	375,53
Sombra	6012	0,01%	1 189 137	2,54%	29,73
Terrenos Incultos	29340	0,06%	5 618 367	11,98%	140,46
Vegetação Rasteira	77157	0,16%	7 655 959	16,32%	191,40
Zonas Húmidas Com Reflexo	5577	0,01%	442 564	0,94%	11,06
Zonas Húmidas Sem Reflexo	18265	0,04%	118 989	0,25%	2,97
TOTAL	207557	0,44%	46 909 470	100,00%	1172,56

Como se pode constatar-se, cerca de 32% da imagem foi classificada como Eucalipto e/ou Pinheiro Bravo. Inicialmente, o resultado obtido chegou a considerar-se um pouco excessivo, mas na sequência da análise dos resultados obtidos no 5º Inventário Florestal

Nacional, verificou-se que a presença destas duas espécies na região entre o Douro e o Vouga, têm uma grande predominância comparativamente com outras espécies, como o carvalho e outras folhosas (Figura 45). Desta forma e não tendo sido possível investigar a veracidade dos factos, porque como já foi referido as parcelas de ocupação do solo, disponibilizadas pelo IFAP, não contêm a espécie eucalipto, a apreciação global do resultado considera-se positiva e concordante com o referido pela Autoridade Florestal Nacional (AFN).

Dados 2005/2006	Pinheiro-bravo (ha)	Eucalipto (ha)	Carvalho (ha)	Castanheiro (ha)	Outras folhosas (ha)
NUT III - Ave	109.000	162.000	2.500	200	3.400
NUT III - Grande Porto	55.000	123.000	0	0	1.100
NUT III - Entre Douro e Vouga	83.000	303.000	500	0	2.400
TOTAL	247.000	588.000	3000	200	6.900

Figura 45 – Distribuição das Espécies nas Florestas da Região Norte

Fonte: [Creporto, 2010]

É de salientar que os *pixels* constituintes da amostra de treino recolhidos para representar a classe de Eucalipto e/ou Pinheiro Bravo, foram mínimas, e conseguidas apenas e só através da visualização 3D do *Google Earth*.

A outra grande fatia resultante da classificação da imagem de Vale de Cambra, foi classificada como pertencente à classe de Espaço Florestal Arborizado com cerca de 27% da imagem. Adicionando as duas percentagens, estas representam 60% da imagem revestida de coberto florestal, o que examinando a Figura 43, se concede como “aparentemente” verdadeiros os resultados obtidos.

Quanto a Palmela a imagem de satélite era composta por 81 227 250 *pixels*, correspondentes a uma área de 20.21km². Quanto à amostra de treino, esta representou 1.71% da imagem correspondente a 1 392 760 *pixels*.

Tabela 20 – Comparação entre a Dimensão da Amostra de Treino e a Dimensão da Área Classificada em cada Classe de Ocupação do Solo para Palmela

Classes de Ocupação do Solo de PAL	Nº <i>Pixels</i> por Área de Treino	Área de Treino (%)	Nº de <i>Pixels</i> Classificados	Área Classificada (%)	Área Classificada (ha)
Não Classificado	-	-	471 537	0,58%	11,79
Área Social (Telha Branca)	14 693	0,02%	1 710 928	2,11%	42,77
Área Social (Telha Cerâmica)	19 461	0,02%	3 793 205	4,67%	94,83
Espaço Florestal Arborizado	19 961	0,02%	13 979 296	17,21%	349,48
Estradas de Alcatrão	19 102	0,02%	3 277 516	4,03%	81,94
Pinheiro Manso	9 889	0,01%	9 127 711	11,24%	228,19
Sombra	5 173	0,01%	10 153 599	12,50%	253,84
Terrenos Incultos	540 175	0,67%	17 375 658	21,39%	434,39
Vegetação Rasteira	124 576	0,15%	13 446 868	16,55%	336,17
Zonas Húmidas Com Reflexo	356 096	0,44%	2 748 233	3,38%	68,71
Zonas Húmidas Sem Reflexo	283 634	0,35%	5 142 799	6,33%	128,57
TOTAL	1 392 760	1,71%	81 227 350	100,00%	2030,68

Na classificação desta segunda imagem, não houve uma incidência tão notória sobre uma classe de ocupação do solo em específico, mas verifica-se que as maiores percentagens de área classificada se situa entre os 10 e os 20%, e se restringem às classes agrícolas (Terrenos Incultos, Vegetação Rasteira, Espaço Florestal Arborizado e Pinheiro Manso) e Sombra.

A Sombra foi constituída classe no âmbito deste projeto, devido essencialmente à imagem de Palmela, porque a sua presença era evidente, e se não fosse discriminada a sua resposta, como se verificou em alguns testes iniciais, era facilmente atribuída à classe Zonas Húmidas Sem Reflexo. Assim como a Sombra, as Zonas Húmidas Com Reflexo, também foi constituída classe, porque os seus *pixels* eram atribuídos erradamente à classe de Área Social com Telha Branca ou Metalizada.

As restantes 5 classes apresentaram uma predominância inferior em torno dos 4%, o que ao se examinar a Figura 44, se constata através de interpretação visual a sua fidelidade, para com a presença de Área Social, Estradas e Zonas Húmidas ser consideravelmente menor que as relatadas anteriormente.

Destacam-se ainda mais alguns erros observados no resultado da classificação, comuns às duas imagens, tais como:

- Clara confusão entre telhados de telha muito escura ou até mesmo preta, com a classe de Estradas de Alcatrão;
- Notável confusão entre os carros e/ou outros veículos com tejadilhos metalizados com a classe de Área Social de Telha Branca ou Metalizada, assim como os caminhos de terra batida que também se assemelham a esta classe;
- Na imagem de Palmela os carris do comboio foram erradamente atribuídos à classe de Terrenos Incultos;
- Alguma confusão, entre terrenos plantados com vinha e Terrenos Incultos, porque a vinha à altura da imagem de satélite (mês de Abril) não contém folhagem verde quase nenhuma, e os seus troncos são tão finos, que a sua resposta espectral se assemelha em tudo à de um terreno por cultivar.

Para além dos erros detetados por interpretação visual, também se evidenciam alguns resultados muito favoráveis tais como:

- Boa discriminação das classes de Zonas Húmidas, tanto Com como Sem Reflexo, sem causar grande confusão com outras classes;
- Notável a extração da classe de Pinheiro Manso (Tabela 18), quando este apresenta uma resposta espectral tão idêntica à do Sobreiro, mas através da boa amostra de treino utilizada na classificação foi possível denotar-se muito bem a copa arredondada que caracteriza o Pinheiro Manso;

Analisando os mapas temáticos finais gerados, estes apresentam alguma coerência e homogeneidade quanto aos problemas comuns, considerando-se aceitável do ponto de vista qualitativo. Esta análise foi obtida quase exclusivamente através de fotointerpretação, com auxílio das parcelas de ocupação do solo, sem qualquer confirmação com dados recolhidos em campo, devido à sua inexistência.

4.2.3. Avaliação da Classificação

Para além da análise qualitativa, é essencial avaliar também quantitativamente os resultados gerados. Para a avaliação dos resultados, deve-se utilizar um conjunto de

dados verdadeiro mas não utilizado pelo classificador (Amostra de Teste), como propõe Congalton and Green (2009), por forma a verificar o desempenho do classificador.

A avaliação do desempenho do classificador permite estimar a capacidade de adaptação e sensibilidade do classificador aquando a utilização de um diferente conjunto de dados e permite avaliar a estabilidade do classificador, através da análise da sua variância (Campello, 2013).

Tal como referido em 2.3.2.3, a amostra de teste deveria ser gerada com recurso à equação 3, mas uma vez que o *software* requer que a amostra de teste seja gerada ao mesmo tempo que a amostra de treino, entenda-se ao mesmo tempo como antes do processo de classificação, então não foi possível estimar-se o número de amostras de teste com base na classe que apresente a maior área classificada. Assim a dimensão da amostra de teste foi estimada, segundo uma divisão aleatória de *pixels* com base na relação de 2/3 para a amostra de treino e 1/3 para a amostra de teste, sendo que estes dois conjuntos são independentes entre si (técnica utilizada quando existe uma amostra grande de dados) (Stefanowski, 2010).

Contida na secção de operadores de pós-classificação, foi através da ferramenta *Confusion Matrix*, que se produziu a matriz de contingência. Nesta são introduzidas a imagem classificada e a imagem original por classificar contendo as amostras de treino e de teste.

Tal como apresentado na Figura 46, para a construção da tabela de contingência são feitas corresponder as classes de treino (TR) com as de teste (TS), sendo esta última a amostra de referência ou de verdade de terreno.

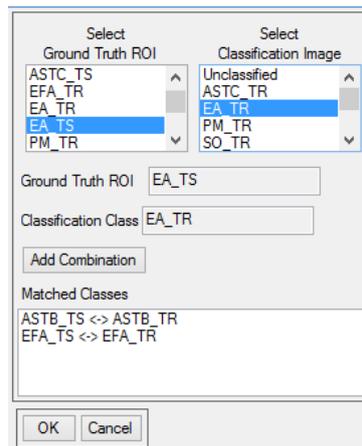


Figura 46 – Correspondência entre as Amostras de Treino (TR) e as de Teste (TS)

Na avaliação quantitativa realizada para o mapa temático gerado para Vale de Cambra, observa-se pela Tabela 21, que 5 das 10 classes utilizadas têm uma conformidade espectral (precisão do produtor) acima dos 90% e apenas 3 classes estão abaixo dos 80%. Destas 3 classes, fazem parte as classes de Zonas Húmidas Sem Reflexo e Sombra, que apresentam confusão espectral que ronda os 30%, onde a probabilidade do classificador obteve maior semelhança com a classe sombra quando na realidade eram zonas húmidas. Outra das confusões de maior relevância prende-se com a confusão espectral de cerca de 25% da amostra de teste que pertencia à classe de Espaço Florestal Arborizado, foi na realidade atribuído pelo classificador à classe de Vegetação Rasa. Observando a coluna referente à precisão do utilizador verifica-se que as classes de Espaço Florestal Arborizado, Eucalipto e Sombra foram as que o classificador mais erros de comissão cometeu. Quanto à precisão global da classificação, esta ronda os 90%, revelando-se concordante com a análise qualitativa anteriormente feita. O índice *kappa*, com 0.8720, revela uma boa adaptação do classificador à amostra de teste, e situa-se assim na escala de excelência de Landis and Koch (1977), apresentado na Tabela 2.

Relativamente ao mapa temático gerado para Palmela, observa-se pela Tabela 22, que 8 das 10 classes consideradas tem uma precisão do produtor, acima dos 90%, ou seja, a grande maioria dos *pixels* referidos como verdade de terreno foram bem classificados. Tal como em Vale de Cambra, também na imagem de Palmela existiu uma confusão de quase 34%, entre *pixels* que pertenciam ao Espaço Florestal Arborizado e foram atribuídos à Vegetação Rasa. Outra das situações mais evidentes relaciona-se com as classes de Zonas Húmidas Com Reflexo e Sem Reflexo, atribuindo a esta segunda quase 30% dos *pixels*

que na realidade são Zonas Húmidas Com Reflexo. Quanto à precisão global da classificação da imagem de Palmela, esta ronda os 86%, revelando-se também esta concordante com a análise qualitativa anteriormente feita. O índice *kappa*, com 0.8171, sendo um índice mais “pessimista”, no sentido que tem em conta todos os elementos da matriz, bem ou mal classificados, revela ainda assim uma boa adaptação do classificador à amostra de teste, e situa-se assim também ele na escala de excelência de Landis and Koch (1977), apresentado na Tabela 2.

Tabela 21 – Tabela de Contingência da Imagem de Vale de Cambra

Classes de VC	ASTB_TS (%)	ASTC_TS (%)	EFA_TS (%)	EA_TS (%)	EU_TS (%)	SO_TS (%)	TEIN_TS (%)	VR_TS (%)	ZHCR_TS (%)	ZHSR_TS (%)	Precisão do Utilizador
NC	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-
ASTB_TR	98.32	0.07	0.00	0.00	0.00	1.23	0.00	0.00	3.85	0.03	98.16%
ASTC_TR	0.00	99.93	0.00	0.00	0.00	0.29	12.30	0.00	0.00	0.00	82.69%
EFA_TR	0.00	0.00	70.50	0.00	6.87	3.33	0.00	5.11	0.00	1.89	62.84%
EA_TR	0.02	0.00	0.00	99.53	0.00	0.15	0.00	0.00	12.24	0.00	96.64%
EU_TR	0.00	0.00	4.52	0.00	92.83	19.91	0.00	0.00	0.00	3.59	69.81%
SO_TR	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	62.14	0.00	0.00	0.11	30.45	40.36%
TEIN_TR	0.00	0.00	0.00	0.22	0.00	4.51	87.70	0.00	0.00	0.34	98.56%
VR_TR	0.00	0.00	24.97	0.00	0.20	0.00	0.00	94.89	0.00	0.00	96.14%
ZHCR_TR	1.61	0.00	0.00	0.25	0.00	0.88	0.00	0.00	83.76	0.08	92.38%
ZHSR_TR	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.55	0.00	0.00	0.05	63.62	96.18%
Precisão do Produtor	98.32%	99.93%	70.50%	99.53%	92.83%	62.14%	87.70%	94.89%	83.76%	63.62%	89.62%

Tabela 22 – Tabela de Contingência da Imagem de Palmela

Classes de PAL	ASTB_TS (%)	ASTC_TS (%)	EFA_TS (%)	EA_TS (%)	PM_TS (%)	SO_TS (%)	TEIN_TS (%)	VR_TS (%)	ZHCR_TS (%)	ZHSR_TS (%)	Precisão do Utilizador
NC	3.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.57	0.00	0.00	0.02	0.00	-
ASTB_TR	96.04	0.00	0.00	0.40	0.00	0.00	0.01	0.00	0.11	0.00	96.27%
ASTC_TR	0.00	99.79	0.12	0.00	0.00	0.51	0.55	0.00	0.01	0.00	86.18%
EFA_TR	0.00	0.00	58.95	0.00	3.20	0.79	0.51	5.80	0.02	0.00	52.96%
EA_TR	0.04	0.00	0.00	99.49	0.00	2.16	0.50	0.00	1.20	0.01	72.53%
PM_TR	0.00	0.00	4.92	0.00	96.18	0.00	0.02	3.43	0.00	0.00	63.87%
SO_TR	0.00	0.00	1.90	0.00	0.00	95.06	1.35	0.00	0.35	9.27	12.34%
TEIN_TR	0.00	0.21	0.21	0.00	0.00	0.57	96.18	0.00	0.04	0.00	99.95%
VR_TR	0.00	0.00	33.90	0.00	0.62	0.00	0.87	90.78	0.00	0.14	90.33%
ZHCR_TR	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	0.06	0.00	0.00	70.14	6.09	93.51%
ZHSR_TR	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	0.00	0.00	28.10	84.48	70.59%
Precisão do Produtor	96.04%	99.79%	58.95%	99.49%	96.18%	95.06%	96.18%	90.78%	70.14%	84.48%	86.39%

Tabela 23 – Resultados da Precisão Global e Índice *Kappa* para as Imagens de Vale de Cambra e Palmela

Resultados	Vale de Cambra	Palmela
Precisão Global	89.6238%	86.3872%
Índice <i>Kappa</i>	0.8720	0.8171

4.3. Sistema de Detecção de Falsas Declarações

4.3.1. Apresentação do Problema

Para o desenvolvimento do sistema de deteção precoce de falsas declarações, proveniente da demarcação feita pelas associações de agricultores ou pelos próprios, era pretendido nesta primeira fase de investigação, a elaboração de um sistema simples e de fácil implementação, que pudesse distinguir duas grandes classes:

- Zonas Agrícolas (i.e. toda a porção de terreno que possa ser ou já esteja cultivada, e por isso, corresponde a uma área em que é possível requer ajuda comunitária);
- Zonas Não Agrícolas (i.e. toda a porção de terreno em que não seja possível cultivar e por isso, corresponde a uma área que não deve estar incluída nas áreas declaradas nos pedidos de ajuda dos agricultores).

Devido à heterogeneidade da ocupação do solo foi necessário verificar o proveito de alguns índices e/ou combinação de bandas, apresentadas em vários estudos referentes à análise e extração das classes de ocupação do solo, para o objetivo em causa.

Foram utilizadas duas técnicas distintas e são depois comparadas entre si e com o conteúdo das parcelas de ocupação do solo disponibilizado pelo IFAP.

4.3.2. Metodologia Inicial

Como metodologia inicial utilizou-se o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) proposto por Pearson *et al.* (1976), por este ser muito utilizado nos mais variados estudos e de fácil separabilidade das zonas de cobertura vegetal, devido à forma como estas reagem na região do visível e do IVP. Em comprimentos de onda referentes à banda do vermelho, as plantas devido à presença de clorofila absorvem fortemente a radiação solar (processo de fotossíntese), enquanto na região do IVP a radiação é fortemente refletida pela estrutura interna das folhas.

(Equação 5)

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

Os valores do índice variam entre -1 e 1, onde normalmente os valores positivos correspondem a solo e vegetação e os valores negativos a zonas de água. Para Vale de Cambra foi obtido o resultado que se apresenta na Figura 47. Não é exposto o resultado para a imagem de Palmela, porque se verificaram exatamente os mesmos problemas.



Figura 47 – (à esq.) Recorte de uma Área de Vale de Cambra; (à dir.) Resultado do Cálculo do NDVI

Analisando a Figura 47 (à dir.) e os valores obtidos no histograma (Figura 48) pode verificar-se, que os valores compreendidos entre -1 e 0 representam zonas húmidas, algumas sombras e parte de estradas de alcatrão. Quanto aos picos visíveis no histograma em 0.35 e 0.6, estes deveriam gerar a clara separação entre zonas de edificado (< 0.35) e solos pouco ou nada vegetados ($0.35 < \text{solo} < 0.60$), de solos em que a presença de vegetação rasteira e floresta fossem muito significativos (> 0.60).

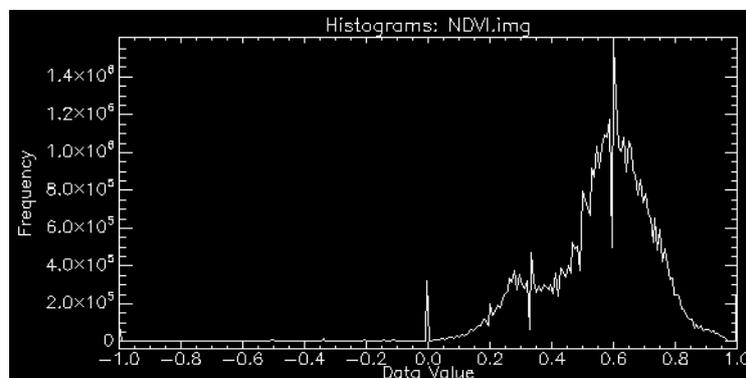


Figura 48 – Histograma Resultante do Cálculo do NDVI da Imagem de Vale de Cambra

Realizaram-se alguns testes, utilizando uma máscara binária, e limitou-se o resultado a partir dos intervalos de valores extraídos do histograma. Era espectável que algum valor limite pudesse satisfazer uma boa separabilidade das duas grandes classes, o que acabou por não se verificar, porque os terrenos incultos, apresentam uma assinatura espectral idêntica à da grande classe de Zonas Não Agrícolas. Os terrenos incultos, tal como descrito no capítulo 4, são terrenos possíveis de ser ou já cultivados, mas que a sua resposta visual se apresenta com maior semelhança espectral com os objetos de Zonas Não Agrícolas devido à sua tonalidade “acastanhada”.

Desta forma, concluiu-se que o NDVI não servia para o propósito a que se submetia, a separação entre Zonas Agrícolas e Zonas Não Agrícolas.

4.3.3. Metodologia Adotada

– Técnica 1 –

Verificada a ineficácia do NDVI, explorou-se uma técnica desenvolvida por Ray *et al.* (2013) para extração de solos não cultiváveis, através da conjugação das bandas (RED e NIR) e de operações algébricas, conforme a seguinte expressão matemática (Equação 6):

(Equação 6)

$$\text{Zona Não Agrícola} = 3 \times [\{ (RED + L) \times (255 - NIR) \} \times (RED - NIR)]^{\frac{1}{2}}$$

Onde L se apresenta como um fator de variação, consoante a vegetação presente na área de trabalho.

Foram ensaiados alguns testes, para as áreas de estudo de Vale de Cambra e Palmela e a resposta inicial não foi positiva. Recorrendo aos histogramas espectrais, constatou-se que as bandas que melhor separavam a classe de Terrenos Incultos das classes de Área Social, Zonas Húmidas e Estradas de Alcatrão, era a banda do azul. Adaptando a expressão matemática, desenvolvida por Ray *et al.* (2013), onde em vez de estar presente a banda do vermelho esta seja substituída pela banda do azul e onde está presente a banda do IVP, esta seja substituída pela banda do vermelho e com $L = 0.5$ (Equação 7), surge que:

(Equação 7)

$$\text{Zona Não Agrícola} = 3 \times [\{ (BLU + L) \times (255 - RED) \} \times (BLU - RED)]^{\frac{1}{2}}$$

Esta técnica apesar da pouca bibliografia disponível e sem ter sido testada por mais nenhum autor científico foi a solução que apresentou resultados mais interessantes para com o requerido por parte do IFAP, nos testes efetuados às imagens de Vale de Cambra e Palmela. Fez-se ainda variar o fator L, mas pouco ou nada influenciou nas duas imagens de teste, e portanto manteve o valor utilizado inicialmente de $L = 0.5$.

Apresenta-se na Figura 49, os extratos são referentes às três fases a que a imagem de satélite de Vale de Cambra foi sujeita, até à extração final das Zonas Não Agrícolas.

No extrato A1, exibe-se apenas a imagem de satélite de Vale de Cambra; quanto ao extrato A2, este representa a aplicação direta da Equação 7 sobre o extrato A1; o extrato A3 foi obtido, a partir da limiarização do resultado do extrato A2, onde se observou que o valor que melhor separava as duas grandes classes de Zonas Agrícolas e Não Agrícolas se aproximava dos 1200, correspondente ao final da curvatura do histograma.

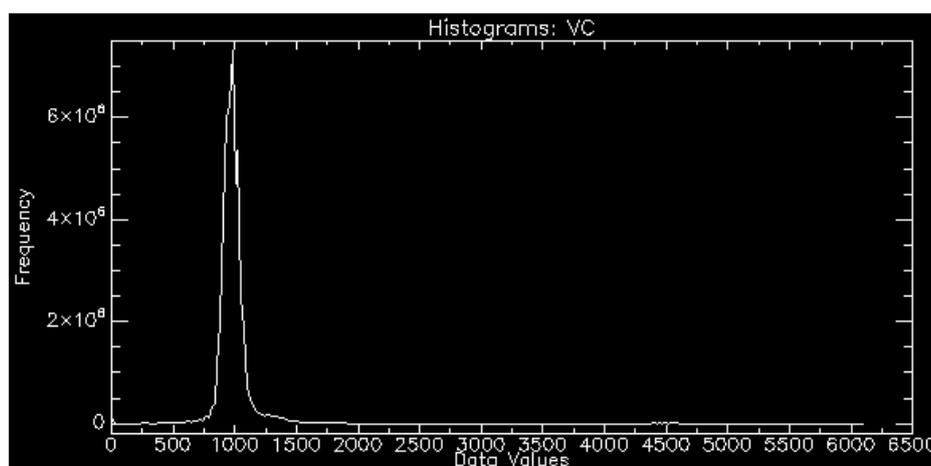


Figura 49 – Histograma Resultante da Aplicação Direta da Equação 7 à Imagem de Satélite de Vale de Cambra

Relativamente ao extrato A3 este foi obtido pela operação algébrica da multiplicação entre as 4 bandas da imagem original e a máscara binária.

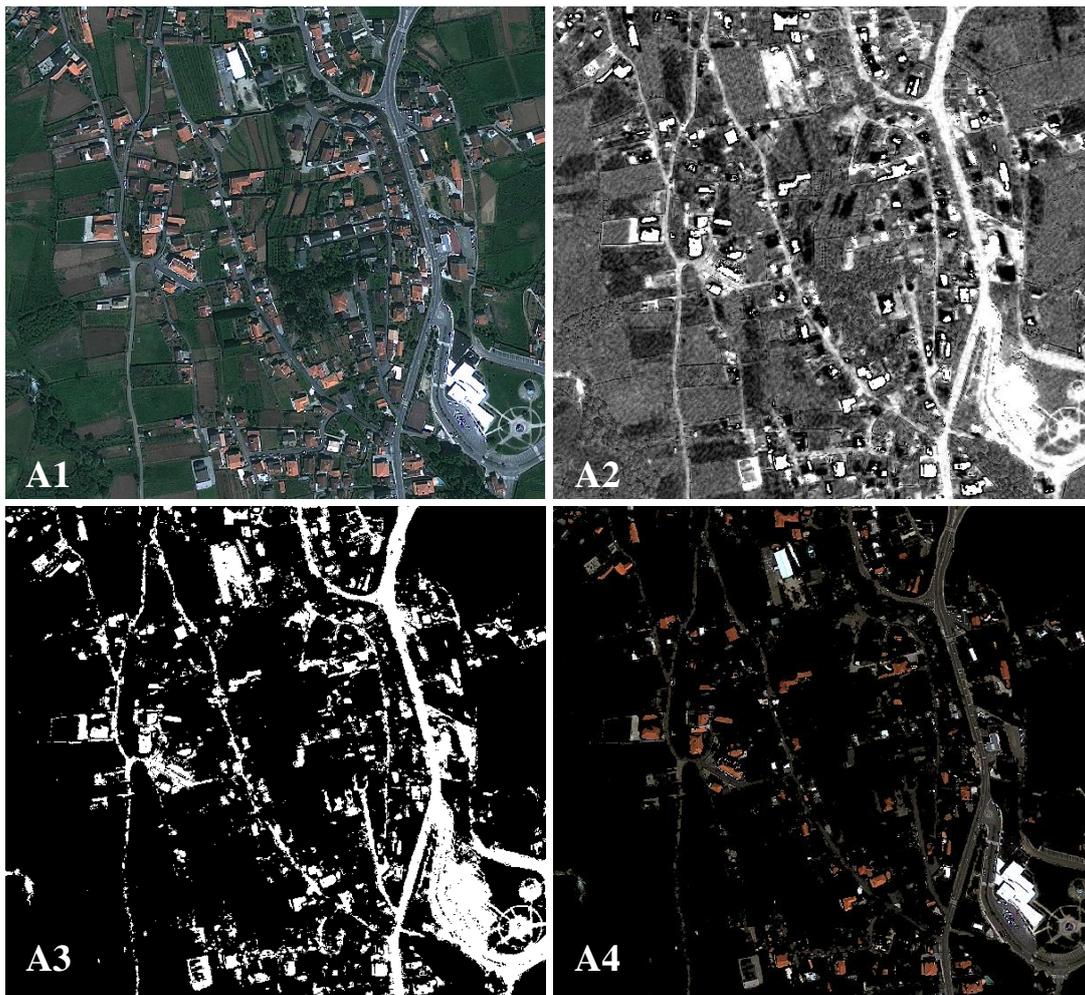


Figura 50 – A1) Extrato da Imagem de Satélite de Vale de Cambra; A2) Extrato com Aplicação da Equação 7; A3) Máscara Binária; A4) Resultado Final

Todo o processo para Palmela se desenvolveu à semelhança de Vale de Cambra, diferenciando-se na fase de limiarização (B2), que no caso de Palmela se situou nos 1600, observando-se através da curvatura do histograma que era o melhor valor de separação entre Zonas Agrícolas e Não Agrícolas (Figura 51).

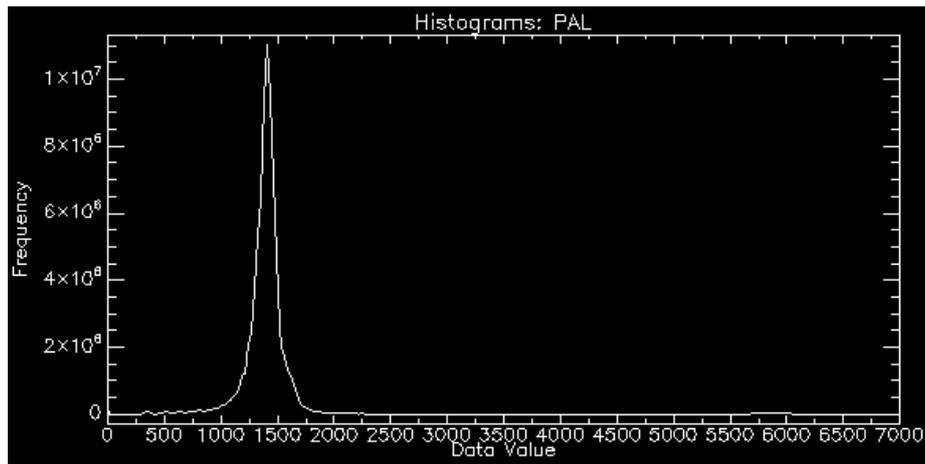


Figura 51 – Histograma Resultante da Aplicação Direta da Equação 7 à Imagem de Satélite de Palmela

Na Figura 52, apresentam-se as mesmas três fases a que a imagem de satélite foi sujeita, até à extração final das Zonas Não Agrícolas, mas agora para a região de Palmela.

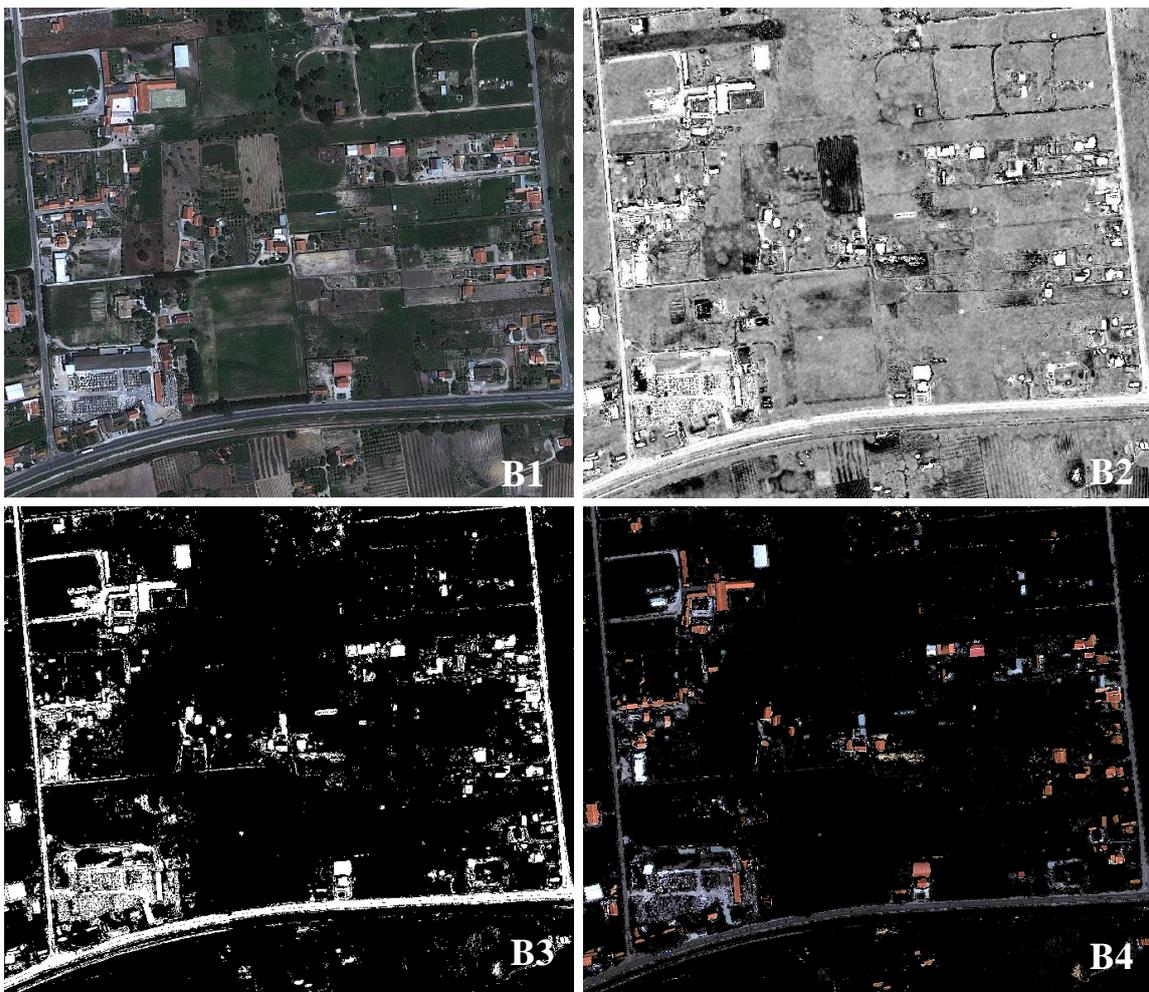


Figura 52 – B1) Extrato da Imagem de Satélite de Palmela; B2) Extrato com Aplicação da Equação 7; B3) Máscara Binária; B4) Resultado Final

– Técnica 2 –

Esta segunda técnica adotada surgiu a partir do resultado extraído da classificação de máxima verosimilhança. Converteu-se para uma única *layer*, através da ferramenta de *Convert Classification for Vector*, as classes de Área Social de Telha Branca e de Cerâmica, as de Zonas Húmidas Com e Sem Reflexo, e a classe de Estradas de Alcatrão. Não foi considerada a classe Sombra para compor o sistema de falsas declarações, porque as áreas correspondentes a esta classe são dúbias, podem ou não pertencer a Zonas Não Agrícolas. Esta foi mais uma das razões pela qual se percecionou o interesse em discriminar a classe Sombra, porque de outra forma esta estaria incluída nas classes de Zonas Húmidas, podendo desta forma induzir-se à geração de mais erros de comissão.

4.3.4. Análise de Resultados

Comparando a informação que o IFAP dispõe no ficheiro de POCS (considerou-se apenas representar a categoria 4, da Figura 11, excluindo a classe de ocupação do solo de improdutivo), é possível verificar que utilizando qualquer uma das técnicas testadas, estas acrescentam informação relevante e mais pormenorizada para a grande classe de Zona Não Agrícola correspondentes nas Figuras 53 e 54, às zonas de transparência. As zonas que se identificam com cores reais da ortoimagem no mapa temático, correspondem a zonas que o IFAP tem delimitadas as POCS, ou seja Zonas Agrícolas conhecidas.

A técnica 1, como se pode verificar excluiu totalmente os terrenos incultos que podem ser cultivados, enquanto a técnica 2 apesar de incluir, ainda que em pequena proporção, terrenos incultos, caracteriza melhor a área social, devido à demarcação das áreas de treino.

Nesta primeira fase de investigação, e considerando aceitáveis os resultados obtidos, poderiam vir a ser convergidas as duas máscaras, e poderia obter-se uma caracterização mais completa, para verificação rápida da coerência das declarações prestadas no iSIP.



Figura 53 – Mapa Temático Referente a um Extrato da Área de Estudo de Vale de Cambra com Sobreposição, do Ficheiro de Parcelas de Ocupação do Solo e das Máscaras Binárias Provenientes das Duas Técnicas Utilizadas

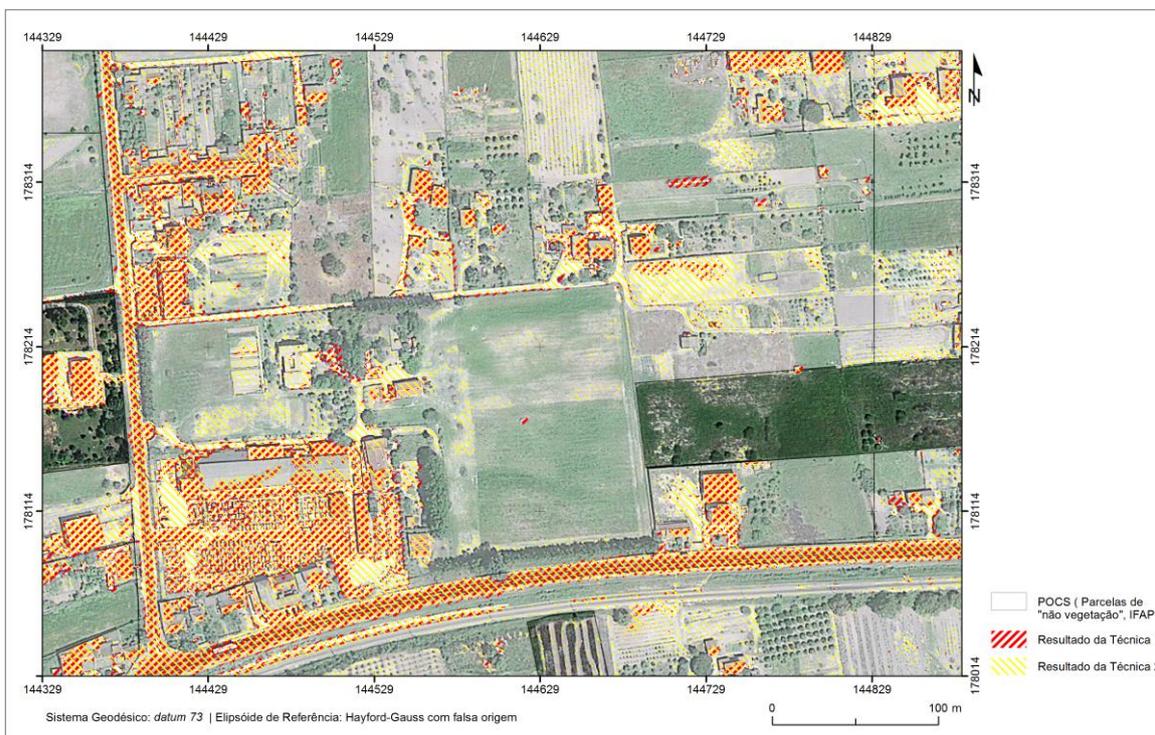


Figura 54 – Mapa Temático Referente a um Extrato da Área de Estudo de Palmela com Sobreposição, do Ficheiro de Parcelas de Ocupação do Solo e das Máscaras Binárias Provenientes das Técnicas Utilizadas

5. Conclusões Finais

Neste trabalho de projeto foi executada a produção de ortoimagens, com recurso a 78 fotografias aéreas (cobertura de 2012) e imagens de satélite de muito alta resolução (*GeoEye-1*, cobertura de 2013). Para além disso foram ainda testados, um método de classificação supervisionado, o de máxima verosimilhança, com vista a extração automática das classes de ocupação do solo e uma metodologia para deteção de falsas declarações, utilizando uma máscara binária de separação de terrenos agrícolas e não agrícolas.

A produção dos ortoimagens é um processo de extrema importância no quotidiano da secção de parcelário agrícola, e contribuiu essencialmente para a integração e conhecimento das novas técnicas de obtenção dos mesmos, assim como para familiarização com um novo *software*.

Relativamente à identificação das classes de ocupação do solo, considera-se que é uma técnica vantajosa o desenvolvimento e apresentação dos seus histogramas espectrais, porque a partir do seu resultado é possível extrair-se as mais variadas informações sobre o comportamento espectral dos objetos constituintes da superfície terrestre nas duas áreas de estudo (Vale de Cambra e Palmela).

O método de máxima verosimilhança utilizado para extrair as classes de ocupação do solo de forma automática, revelou-se positivo, com uma precisão global de aproximadamente 90% para Vale de Cambra e 86% para Palmela, e um nível de desempenho do classificador, mensurado pelo índice *Kappa* de 87% para Vale de Cambra e 81% para Palmela, situados ambos na escala de excelência de avaliação qualitativa do índice *Kappa*.

Quanto à metodologia utilizada para a construção do sistema de falsas declarações, foram testadas duas abordagens: uma baseada na aplicação de uma expressão matemática proposta por Ray *et al.* (2013) para extrair zonas não agrícolas e a outra a partir da junção das classes não agrícolas resultantes da classificação de máxima

verosimilhança. A primeira técnica foi a metodologia que se revelou mais coerente com os objetivos requeridos e de fácil implementação e uso, bastando apenas definir o limiar de separação entre Zonas Agrícolas e Zonas Não Agrícolas.

Analisando os resultados obtidos nas duas técnicas, denota-se que estas não foram totalmente concordantes, uma vez que a técnica 1, apesar de não incluir os terrenos incultos como era o objetivo, diminuiu a área de abrangência da área social. No entanto, a técnica 2 incluí uma parte da classe de terrenos incultos, mas por outro lado, extraí muito melhor a classe de área social.

Desta forma, não considero que estas duas técnicas estejam para já testadas o suficiente para se proceder à sua implementação, mas poderá constituir um caminho a ser tido em consideração pelo Instituto, numa outra fase de avaliação e análise mais concreta.

Como trabalho futuro saliento:

- A necessidade de se recorrer a estudos de caracterização das espécies arbóreas, nomeadamente do Eucalipto e do Pinheiro Manso, assim como uma amostra de validação requerida no terreno para que a análise da qualidade da informação seja mais rigorosa;
- O desenvolvimento de uma técnica baseada na classificação por objetos, que se tem revelado muito interessante em alguns estudos, em vez de ao nível do *pixel* que tem algumas limitações e já se encontra documentado e experienciado neste trabalho de projeto.

Saliento ainda, que como o trabalho foi desenvolvido num período de tempo restrito, não foi possível aprofundar os conhecimentos quanto à técnica de classificação por objetos, como era do meu interesse pessoal assim como por parte do Instituto, porque foi considerado numa fase já avançada do estágio.

Referências Bibliográficas

- António, N. (2014): <http://naturlink.sapo.pt/Natureza-e-Ambiente/Fichas-de-Especies/content/Ficha-do-Eucalipto?bl=1>, acessido em fevereiro de 2014.
- Caetano, M., T. Santos e L. Gonçalves (2002) “Cartografia de ocupação do solo com imagens de satélite: estado da arte” Atas do VII Encontro de Utilizadores de Informação Geográfica (ESIG'2002), Oeiras.
- Campello, R. (2013) “Classificação IV: Avaliação de Classificadores” Texto não Publicado, Departamento de Ciências de Computação do Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo.
- Catalão, J. (2007) “Projeções Cartográficas”, Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 76 pp.
- Catalão, J. (2012) “Apontamentos de Princípios e Aplicações de Detecção Remota” Texto não Publicado, Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, pp.14.
- CGD (2014): <http://www.florestacaixa.com/as-nossas-florestas/solar-do-pinheiro-manso>, acessido em janeiro de 2014.
- Cihlar, J. (2000) “Land cover mapping of large areas from satellites: status and research priorities” *International Journal of Remote Sensing* 21: 1093-1114.
- Cohen, J. (1960) “A coefficient of agreement for nominal scales” *Educational and Psychological Measurement* 20 (37):46.
- Congalton, R. and K.Green (2009) “Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices” 2nd Edition. CRC Taylor & Francis, Boca Raton. pp. 15-18; 74-80.
- Creporto (2010) “Um Retrato da Biodiversidade na Área Metropolitana do Porto” Centro Regional de Excelência em Educação para o Desenvolvimento Sustentável da Área Metropolitana do Porto, Porto.
- Croft, J. (2008) “GeoEye & ITT Team Up” *Imaging Notes – IPY Project, Earth Remote Sensing for Security Energy and the Environment*, Spring 2008, Vol.23, No.1, pp. 26-29.
- DR (1996a): Decreto Regulamentar n.º2/96 de 16 de Maio. *Diário da República n.º 114 – I Série B*. Ministério da Economia, Lisboa. pp.1170-1172.
- DR (1996b): Portaria n.º745-O/96 de 18 de Dezembro. *Diário da República n.º 292 – I Série B*. Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas e do Ambiente, Lisboa. pp.4532 (26) – 4532 (27).
- DR (2002): Decreto-Lei n.º250/2002 de 21 de Novembro. *Diário da República n.º 269 – I Série A*. Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas, Lisboa. pp.7308 – 7310.
- DR (2007): Decreto-Lei n.º87/2007 de 29 de Março. *Diário da República n.º 63 – I Série*. Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas, Lisboa. pp.1880 – 1882.
- EoPortalDirectory (2014): <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/g/geoeye-1>, acessido em fevereiro de 2014.

- ESA (2014): http://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_PT/SEM46765P1G_0.html, acessido em fevereiro de 2014.
- Eurimage (2014) “GeoEye-1 - The World’s Highest-Resolution Commercial Satellite” Products & Services, <http://www.avmap.gr/attachments/article/273/geoeeye-1.pdf>, acessido em fevereiro de 2014.
- FCUP (2003) “Normas para apresentação de referências bibliográficas” Conselho Pedagógico da ESAB, Faculdade de Ciências do Porto, Porto.
- Figueiredo, D. (2005) “Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto”, Texto não Publicado.
- Fraser, C. S., G. Dial, J. Grodecki (2006) “Sensor orientation via RPCs” *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 60, pp. 182-194.
- GeoEye (2007) “GeoEye-1: The World’s Highest Resolution Commercial Earth-Imaging Satellite” Fact-Sheet. U.S.A.
- GreenSavers (2013) “Eucalipto destrona pinheiro bravo como primeira espécie da floresta portuguesa” Green Savers.
- ICNF (2013) “6º Inventário Florestal Nacional – Áreas dos Usos do Solo e das Espécies Florestais de Portugal Continental”, Resultados Preliminares, Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas. Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território, Lisboa. 34 pp.
- IFAP (2012) “Caderno de Encargos para Concurso Público para a Aquisição de Serviços de Actualização da Cartografia Utilizada no Parcelário e no Controlo – Ano de 2012” IFAP, Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas.
- IFAP (2013a) “Manual de Conceitos e Regras de Delimitação” Texto não Publicado, Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território, Governo de Portugal, Versão 3.0.
- IFAP (2013b) “Manual de Fotointerpretação” Texto não Publicado, Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território, Governo de Portugal, Versão 3.0.
- IFAP (2014): http://www.ifap.min-agricultura.pt/portal/page/portal/ifap_publico/GC_informacoes/GC_parcelario, acessido em março de 2014.
- Intergraph (2012) “Help for Erdas” Technical Documentation.
- Jensen, J.R. (2004) “Introductory Digital Image Processing: a Remote Sensing Perspective” 3ª Edição, New Jersey, Prentice-Hall.
- Kapnias, D., P. Milenov, S. Kay (2008) “Guidelines for Best Practice and Quality Checking of Ortho Imagery – Issue 3.0” *JRC Scientific and Technical Reports*, Institute for the Protection and Security of the Citizen, European Commission.
- Landis, J. and G. Koch (1977) “The measurement of observer agreement for categorical data” *Biometrics*, Vol. 33, pp. 159–174.
- Lé, J. (2012) “Plantações de eucalipto Povoamentos existentes – Necessidades da indústria instalada” Debate sobre a Floresta e a Crise – Cenários e consequências para a Biodiversidade, Comissão de Protecção da Natureza, Secção de Agricultura, Sociedade de Geografia de Lisboa.
- Leica (2007a) “ERDAS Field Guide” Technical Documentation, Leica Geosystems Geospatial Imaging, Norcross, GA, USA. Vol. I.

- Leica (2007b) "ERDAS Field Guide" Technical Documentation, Leica Geosystems Geospatial Imaging, Norcross, GA, USA. Vol. II.
- Lu, D. and Q. Weng (2007) "A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance" *International Journal of Remote Sensing* 28 (5): 823–870.
- Mendes, V. B e M. A. Silva (1996) "Normas de referência bibliográfica para o Curso de engenharia geográfica", Departamento de Matemática, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- Meneses, B. (2013) "Análise das alterações do uso e ocupação do solo no Vale do Varosa (Portugal) mediante imagens Landsat-TM e sua influência na conservação do solo" *GeoFocus (Artículos)*, nº 13-1, p. 270-290. ISSN: 1578- 5157.
- Orbital (2014) "GeoEye-1: Highest Resolution Commercial Imager Launched to Date" Fact-Sheet, Orbital Sciences Corporation, Dulles, Virginia.
- Pearson, R., C. Tucker and L. Miller (1976) "Spectral mapping of shortgrass prairie biomass" *Photogrammetry and Remote Sensing* 42 (3), 317-323.
- PlantarPortugal (2014): <https://www.plantarportugal.org/index.php/especies-autoctones/153-pinheiro-manso-pinus-pinea.html>, acessado em janeiro de 2014.
- Qian, J., Q. Zhou, Q. Hou (2007) "Comparison of pixel-based and object-oriented classification methods for extracting built-up areas in aridzone" *ISPRS Workshop on Updating Geo-spatial Databases with Imagery & The 5th ISPRS Workshop on DMGISs*. Urumchi, China.
- Ray, R., S. Mondal, S. Mandal (2013) "Application of Supervised Enhancement Technique for Crop Land Mapping from Landsat Digital Data – A case Study on Bardhaman Block, Bardhaman District, West Bengal, India" *International Journal of Science and Nature*, Vol. 4(2), pp. 265-273.
- Richards, J. and X. Jia (2006) "Remote Sensing Digital Image Analysis – An Introduction" 4th Edition, Springer. pp. 194-201, 304.
- Rocha, J. e J. Tenedório (2001) "Classificação de Imagens de Satélite Com Recurso a Informação Multi-Fonte e Multi-Resolução", http://www.apgeo.pt/files/docs/CD_IV_Congresso_APG/Actas_CD/Comunica/cart_tecn/satelt.pdf
- RTCAP (2006) "Regulamento Técnico das Coberturas Aerofotográficas Para Fins Cíveis" Divisão de Regulação e Fiscalização, Direção Geral do Território. Versão 2006. 27pp.
- Satelmac (2012) "Satélites para Detecção Remota aplicada à Gestão Territorial".
- SatelliteImagingCorporation (2014): <http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/geoeeye-1/>, acessado em janeiro de 2014.
- Schuster, W. (2007) "GeoEye Corporate Overview" JACIE Civil Commercial Imagery Evaluation Workshop, GeoEye, Fairfax, VA, USA.
- Silva, A. (2007) "O uso de polinômios racionais na ortorectificação de imagens de satélite" *Anais XIII Simpósio Brasileiro do Sensoriamento Remoto*, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Florianópolis, Brasil. pp. 1289-1295.
- Soares, J. (2006) "Florestas e Eucaliptos Mitos e Realidades" SEMAPA, Grupo Portucel Soporcel.
- Stefanowski, J. (2010) "Data Mining -Evaluation of Classifiers" Institute of Computing Sciences Poznan University of Technology Poznan, Poland.

Anexos

Anexo A – Resultado da Calibração da Câmara Fotográfica *UltraCamEagle*



UltraCamEagle, Serial Number UC-Eagle-1-50016095

Panchromatic Camera

Large Format Panchromatic Output Image

Image Format	long track	68.016mm	13080pixel
	cross track	104.052mm	20010pixel
Image Extent		(-34.01, -52.02)mm	(34.01, 52.02)mm
Pixel Size		5.200µm*5.200µm	
Focal Length	ck	79.800 mm	± 0.002mm
Principal Point (Level 2)	X_ppa	0.000 mm	± 0.002mm
	Y_ppa	0.000 mm	± 0.002mm
Lens Distortion	Remaining Distortion less than 0.002mm		

Multispectral Camera

Medium Format Multispectral Output Image
(Upscaled to panchromatic image format)

Image Format	long track	68.016mm	4360pixel
	cross track	104.052mm	6670pixel
Image Extent		(-34.01, -52.02)mm	(34.01, 52.02)mm
Pixel Size		15.600µm*15.600µm	
Focal Length	ck	79.800 mm	
Principal Point (Level 2)	X_ppa	0.000 mm	± 0.002mm
	Y_ppa	0.000 mm	± 0.002mm
Lens Distortion	Remaining Distortion less than 0.002mm		

Vexcel Imaging GmbH • Anzengrubergasse 8/4 • A-8010 Graz, Austria
Phone: +43-316-849-0660 • Fax: +43-316-849-0669 • www.microsoft.com/ultracam

Page 3 of 14

Anexo B – Controlo Posicional da CM 410

PF	FOLHA	NOME	M_OBS	P_OBS	M_VERD	P_VERD	DIF_M	DIF_P	TIPO	OBS
757	36-A	AZINHEIRA	217769,830	218568,800	217769,241	218569,278	0,589	-0,478	VERT_GEOD	-
1118	36-A	BOM GUIZO	216849,020	214987,580	216847,884	214988,388	1,136	-0,808	VERT_GEOD	-
1139	36-A	BORDALOS	224864,960	219133,540	-	-	-	-	VERT_GEOD	Ponto de Controlo
1208	36-A	BROA	226366,510	213053,040	226366,081	213052,429	0,429	0,611	VERT_GEOD	-
1548	36-A	CAEIRA	215941,510	212554,490	215941,320	212554,896	0,190	-0,406	VERT_GEOD	-
1917	36-A	CASA BRANCA	228291,190	219994,320	-	-	-	-	VERT_GEOD	Ponto de Controlo
2814	36-A	D JOÇO	225959,290	215404,010	225957,718	215403,617	1,572	0,393	VERT_GEOD	-
2889	36-A	EIRA DE JUDAS	219095,500	215107,020	219094,746	215107,158	0,754	-0,138	VERT_GEOD	-
3881	36-A	JUNCO	220351,270	210627,520	220350,884	210627,390	0,386	0,130	VERT_GEOD	-
3922	36-A	LAGOA	229482,500	214938,250	-	-	-	-	VERT_GEOD	Ponto de Controlo
4006	36-A	LANDINA	230168,740	210767,250	230168,114	210767,367	0,626	-0,117	VERT_GEOD	-
4904	36-A	MONTINHO	228269,050	211260,040	228268,561	211259,759	0,489	0,281	VERT_GEOD	-
4960	36-A	MOUCHÇO	228619,000	216825,010	-	-	-	-	VERT_GEOD	Ponto de Controlo
6273	36-A	RECHEADA	222242,210	215251,970	222243,344	215251,889	-1,134	0,081	VERT_GEOD	-
7039	36-A	SERVA	223342,540	212894,980	223341,733	212894,482	0,807	0,498	VERT_GEOD	-
7888	36-A	VALE DE PINTA	225753,760	210451,280	225753,076	210451,371	0,684	-0,091	VERT_GEOD	-
41001	-	-	224899,450	219257,440	-	-	-	-	APOIO	Ponto de Controlo
728621	-	-	-	-	218071,565	218552,067	-	-	APOIO	Peq. Oliveira (1996)
739725	-	-	225551,690	215828,580	225550,939	215828,371	0,751	0,209	APOIO	Ponto de Controlo
739821	-	-	-	-	221729,056	213833,226	-	-	APOIO	Peq. Azinheira (1996)

Anexo C – Controlo Posicional da CM 411

PF	FOLHA	NOME	M_OBS	P_OBS	M_VERD	P_VERD	DIF_M	DIF_P	TIPO	OBS
1555	36-B	CAIXEIRO	-	-	241543,77	216629,10	-	-	VERT_GEOD	Não Identificável
1556	36-B	CAIXEIRO-EE	241545,28	216630,22	241546,22	216629,10	-0,94	1,12	VERT_GEOD	-
1557	36-B	CAIXEIRO-EW	-	-	241541,23	216627,57	-	-	VERT_GEOD	Não Identificável
1972	36-B	CASARÕES	245447,76	211759,77	245447,02	211759,62	0,74	0,15	VERT_GEOD	-
2978	36-B	ESCATELAS	236395,83	215090,72	236394,36	215090,60	1,47	0,12	VERT_GEOD	-
3303	36-B	FLORES	-	-	235357,13	210733,817	-	-	VERT_GEOD	Não Identificável
3723	36-B	GRANJA	-	-	246486,57	211870,00	-	-	VERT_GEOD	Não Identificável
3862	36-B	JORDANA	239124,79	215729,81	239123,71	215729,65	1,08	0,16	VERT_GEOD	-
4856	36-B	MONTE RUIVO2	243551,72	218678,82	243551,63	218679,75	0,09	-0,93	VERT_GEOD	-
5010	36-B	MURADA	242428,32	214204,30	242425,15	214210,21	3,17	-5,91	VERT_GEOD	-
5358	36-B	PAMPLONA	-	-	246992,13	216842,91	-	-	VERT_GEOD	Não Identificável
5428	36-B	PAVIANA	234003,56	212492,93	234002,74	212492,51	0,82	0,42	VERT_GEOD	-
6442	36-B	S BARTOLOMEU	-	-	235658,02	219663,99	-	-	VERT_GEOD	Não Identificável
6612	36-B	S MIGUEL DA SERRA	238736,78	218256,55	238735,70	218253,50	1,08	3,05	VERT_GEOD	-
7028	36-B	SERRINHA	246323,75	215384,73	246322,63	215384,04	1,12	0,70	VERT_GEOD	-
7591	36-B	TORRE DE CAMÕES	232546,20	217950,38	232548,35	217952,38	-2,15	-2,00	VERT_GEOD	-
7594	36-B	TORRE DE BÍCORO	239268,21	211469,73	239266,23	211462,74	1,98	6,99	VERT_GEOD	-
41101	-	-	-	-	240365,82	217250,948	-	-	APOIO	Não Identificável
739425	-	-	-	-	236331,80	214573,64	-	-	APOIO	Peq. Arbusto (1996)
742525	-	-	-	-	235365,67	210703,64	-	-	APOIO	Não Identificável

Anexo D – Resultado da Triangulação em Bloco da Imagem A1 realizada no LPS (subcapítulo 3.2)

```

Triangulation Report With LPS

The output image x, y units:      pixels
The output ground X, Y, and their residual units: meters
The output ground Z and its residual units: meters

      Input Image Coordinates
      Image ID = 1
Point ID      x      y
1      5699.534    5697.505
2      14101.478   2271.592
3      4040.432    10510.353
4      2344.493    16875.532
5      9764.068    17487.124
6      2524.503    23700.981
7      9383.490    27438.509
8      3572.125    4727.125
9      7022.375    4295.875
10     11300.125   4460.875
11     14082.875   8183.125
12     9055.184    12994.456
13     6012.588    13781.663
14     14217.589   16825.119
15     11886.885   24754.833
16     8161.375    21651.125
17     5830.375    17969.875
18     2906.471    27626.313
19     2175.597    20468.595
20     6428.588    23863.412
21     13929.430   13813.413
22     2757.735    8067.239
23     10238.682   8150.401

Initial values of correction parameters
      a[0]=1.9606
      b[0]=-8.5189
Initial standard deviation of parameters
      sa[0]=5
      sb[0]=5

Coordinates of control points
Point ID      X      Y      Z      Overlap
1      255233.0910  155146.2950  249.5800  1
2      259456.5324  156820.8877  205.5600  1
3      254385.0580  152747.9650  226.5600  1
4      253498.2030  149572.8180  284.5100  1
5      257212.2854  149231.7581  237.2400  1
6      253564.0040  146158.0000  226.9700  1
7      256977.6560  144257.1360  215.8900  1

OUTPUT OF BUNDLE BLOCK REFINEMENT

iteration number = 1      unit-weight standard error = 0.9053
      maximum correction of the object points =0.00000

iteration number = 2      unit-weight standard error = 0.9053
      maximum correction of the object points =0.00000

      Final adjustment parameters
      Image ID = 1
      a[0]=1.9606
      b[0]=-8.5189

      Adjustment parameter accuracy
      Image ID = 1
      sa[0]=0.34208

```

```

sb[0]=0.34208

Control point residuals
Point ID      rX      rY      rZ
All residuals of fixed GCP are zero.

The difference of intersected and measured control points
Point ID      rX      rY      rZ

The image residuals of intersected GCP

Object point coordinates
Point ID      X          Y          Z      Overlap
1      255233.0910    155146.2950    249.5800    1
2      259456.5324    156820.8877    205.5600    1
3      254385.0580    152747.9650    226.5600    1
4      253498.2030    149572.8180    284.5100    1
5      257212.2854    149231.7581    237.2400    1
6      253564.0040    146158.0000    226.9700    1
7      256977.6560    144257.1360    215.8900    1
Total number of object points = 7

Image point residuals

Point Image      Vx      Vy
1      1      -0.610    0.434

Point Image      Vx      Vy
2      1      -0.601   -1.748

Point Image      Vx      Vy
3      1      1.920   -1.444

Point Image      Vx      Vy
4      1     -0.890    0.680

Point Image      Vx      Vy
5      1      0.454    1.151

Point Image      Vx      Vy
6      1      0.054    0.611

Point Image      Vx      Vy
7      1     -0.326    0.316

Control point image residuals

The image ID = 1
Point ID      Vx      Vy
1      -0.610    0.434
2      -0.601   -1.748
3      1.920   -1.444
4     -0.890    0.680
5      0.454    1.151
6      0.054    0.611
7     -0.326    0.316
meanx=0.000, meany=0.000
rmsex=0.889, rmsey=1.041

Total number of all control image points = 7
Total meanx = 0.000, meany = 0.000
Total rmsex = 0.889, rmsey = 1.041

```

Anexo E – Resultado da Triangulação em Bloco da Imagem A2 realizada no LPS (subcapítulo 3.2)

```

Triangulation Report With LPS

The output image x, y units:      pixels
The output ground X, Y, and their residual units: meters
The output ground Z and its residual units: meters

      Input Image Coordinates
      Image ID = 1
Point ID      x      y
1      455.453    2520.454
4      2746.375    2469.125
5      5381.125    2698.875
6      6951.125    17788.375
2      2165.052    9610.011
7      1032.490    9663.841
8      9600.185    2815.826
9      8208.655    2256.293
10     1789.425    7932.587
11     1339.808    4741.906
12     7975.131    10530.681
13     11543.913    7032.205
14     13844.902    6745.292
15     13174.467    8437.503
16     14262.510    9646.510
17     14023.401    10168.563
18     13631.893    12397.772
19     13691.572    13327.763
20     14488.269    15271.998
21     12583.900    16708.008
22     10298.500    17343.428
23     9335.763    16163.989
24     7747.643    18578.696
25     6485.104    19152.551
26     885.329    17143.000
27     283.419    14062.374
28     2807.369    22600.035
29     2328.768    20568.195
30     779.726    26165.085
31     11187.934    25910.711
32     14205.463    24136.181

Initial values of correction parameters
      a[0]=1.2397
      b[0]=-7.9873
Initial standard deviation of parameters
      sa[0]=5
      sb[0]=5

Coordinates of control points
Point ID      X      Y      Z      Overlap
1      259456.3280    156819.7760    205.5600    1
2      260280.8440    153266.1280    185.4800    1

OUTPUT OF BUNDLE BLOCK REFINEMENT

iteration number = 1      unit-weight standard error = 0.1488
      maximum correction of the object points =0.00000

iteration number = 2      unit-weight standard error = 0.1488
      maximum correction of the object points =0.00000

Final adjustment parameters
      Image ID = 1
      a[0]=1.2397
      b[0]=-7.9873

```

```

Adjustment parameter accuracy
  Image ID = 1
  sa[0]=0.1051
  sb[0]=0.1051

Control point residuals
Point ID    rX      rY      rZ
All residuals of fixed GCP are zero.

The difference of intersected and measured control points
Point ID    rX      rY      rZ

The image residuals of intersected GCP

Object point coordinates
Point ID    X          Y          Z      Overlap
  1      259456.3280    156819.7760    205.5600    1
  2      260280.8440    153266.1280    185.4800    1
Total number of object points = 2

Image point residuals
Point  Image    Vx      Vy
  1      1      -0.243    0.086

Point  Image    Vx      Vy
  2      1       0.243   -0.086

Control point image residuals

The image ID = 1
Point ID    Vx      Vy
  1      -0.243    0.086
  2       0.243   -0.086
meanx=0.000, meany=0.000
rmsex=0.243, rmsey=0.086

Total number of all control image points = 2
Total meanx = 0.000, meany = 0.000
Total rmsex = 0.243, rmsey = 0.086

```

Anexo F – Número de Amostras de Treino e Teste Para Vale de Cambra e Palmela

Classes de VC	Nº Pixels por Área de Treino	Área de Treino (%)	Nº de Pixels de Teste	Área de Teste (%)
Área Social (Telha Branca)	16995	0,04%	5 656	0,01%
Área Social (Telha Cerâmica)	17651	0,04%	5 908	0,01%
Espaço Florestal Arborizado	10149	0,02%	3 980	0,01%
Estradas de Alcatrão	20456	0,04%	6 811	0,01%
Eucalipto	5955	0,01%	2 008	0,00%
Sombra	6012	0,01%	2 039	0,00%
Terrenos Incultos	29340	0,06%	10 001	0,02%
Vegetação Rasteira	77157	0,16%	26 189	0,06%
Zonas Húmidas Com Reflexo	5577	0,01%	1 896	0,00%
Zonas Húmidas Sem Reflexo	18265	0,04%	6 135	0,01%
TOTAL	207557	0,44%	70 623	0,15%

Classes de PAL	Nº Pixels por Área de Treino	Área de Treino (%)	Nº de Pixels de Teste	Área de Teste (%)
Área Social (Telha Branca)	14 693	0,02%	4947	0,01%
Área Social (Telha Cerâmica)	19 461	0,02%	6703	0,01%
Espaço Florestal Arborizado	19 961	0,02%	6825	0,01%
Estradas de Alcatrão	19 102	0,02%	6425	0,01%
Pinheiro Manso	9 889	0,01%	3374	0,00%
Sombra	5 173	0,01%	1768	0,00%
Terrenos Incultos	540 175	0,67%	188606	0,23%
Vegetação Rasteira	124 576	0,15%	42394	0,05%
Zonas Húmidas Com Reflexo	356 096	0,44%	119045	0,15%
Zonas Húmidas Sem Reflexo	283 634	0,35%	95054	0,12%
TOTAL	1 392 760	1,71%	475 141	0,58%

Anexo G – Tabela de Contingência Referente à Imagem de Satélite de Vale de Cambra e Palmela

Classes de VC	ASTB_TS	ASTC_TS	EFA_TS	EA_TS	EU_TS	SO_TS	TEIN_TS	VR_TS	ZHCR_TS	ZHSR_TS	TOTAL
NC											
ASTB_TR	5561	4	0	0	0	25	0	0	73	2	5665
ASTC_TR	0	5904	0	0	0	6	1230	0	0	0	7140
EFA_TR	0	0	2806	0	138	68	0	1337	0	116	4465
EA_TR	1	0	0	6779	0	3	0	0	232	0	7015
EU_TR	0	0	180	0	1864	406	0	0	0	220	2670
SO_TR	0	0	0	0	2	1267	0	0	2	1868	3139
TEIN_TR	0	0	0	15	0	92	8771	0	0	21	8899
VR_TR	0	0	994	0	4	0	0	24852	0	0	25850
ZHCR_TR	91	0	0	17	0	18	0	0	1588	5	1719
ZHSR_TR	0	0	0	0	0	154	0	0	1	3903	4058
TOTAL	5656	5908	3980	6811	2008	2039	10001	26189	1896	6135	70620
Classes de PAL	ASTB_TS	ASTC_TS	EFA_TS	EA_TS	PM_TS	SO_TS	TEIN_TS	VR_TS	ZHCR_TS	ZHSR_TS	TOTAL
NC	194	0	0	0	0	10	2	0	19	0	225
ASTB_TR	4751	0	0	26	0	0	25	0	133	0	4935
ASTC_TR	0	6689	8	0	0	9	1039	0	17	0	7762
EFA_TR	0	0	4023	0	108	14	965	2457	27	3	7597
EA_TR	2	0	0	6392	0	38	947	0	1427	7	8813
PM_TR	0	0	336	0	3245	0	47	1453	0	0	5081
SO_TR	0	0	130	0	0	1675	2539	0	413	8815	13572
TEIN_TR	0	14	14	0	0	10	181394	0	48	4	181484
VR_TR	0	0	2314	0	21	0	1648	38484	1	135	42603
ZHCR_TR	0	0	0	7	0	1	0	0	83504	5791	89303
ZHSR_TR	0	0	0	0	0	5	0	0	33456	80299	113760
TOTAL	4947	6703	6825	6425	3374	1762	188606	42394	119045	95054	475135

Anexo H – Número de Amostras de Treino e Teste Para Vale de Cambra e Palmela

Classes de VC	Erros de Comissão (%)	Erros de Omissão (%)	Erros de Comissão (nº pixels)	Erros de Omissão (nº pixels)
ASTB_TR	1.84	1.68	104/5665	95/5656
ASTC_TR	17.31	0.07	1236/7140	4/5908
EFA_TR	37.16	29.50	1659/4465	1174/3980
EA_TR	3.36	0.47	236/7015	32/6811
EU_TR	30.19	7.17	806/2670	144/2008
SO_TR	59.64	37.86	1872/3139	772/2039
TEIN_TR	1.44	12.30	128/8899	1230/10001
VR_TR	3.86	5.11	998/25850	1337/26189
ZHCR_TR	7.62	16.24	131/1719	308/1896
ZHSR_TR	3.82	36.38	155/4058	2232/6135

Classes de PAL	Erros de Comissão (%)	Erros de Omissão (%)	Erros de Comissão (nº pixels)	Erros de Omissão (nº pixels)
ASTB_TR	3.73	3.96	184/4935	196/4947
ASTC_TR	13.82	0.21	1073/7762	14/6703
EFA_TR	47.04	41.05	3574/7597	2802/6825
EA_TR	27.47	0.51	2421/8813	33/6425
PM_TR	36.13	3.82	1836/5081	129/3374
SO_TR	87.66	4.94	11897/13572	87/1762
TEIN_TR	0.05	3.82	90/181484	7212/188606
VR_TR	9.67	9.22	4119/42603	3910/42394
ZHCR_TR	6.49	29.86	5799/89303	35541/119045
ZHSR_TR	29.41	15.52	33461/113760	14755/95054