Tese Nº 300

Faculdade de Ciências da Universidade do Porto
Departamento de Matemática Aplicada

CARACTERIZAÇÃO DA DINÂMICA DA OCUPAÇÃO DO SOLO A PARTIR DE IMAGENS DE SATÉLITE

Dissertação
para a obtenção do grau de Mestre em
Ciências da Engenharia Geográfica

de

Pedro Jorge da Silva Guimarães

UNIVERSIDADE DO PORTO
BIBLIOTECA
Sala .....
Coloc. .....
N.º 48794
FACULDADE DE CIÊNCIAS

BGE 48794

Orientador da Tese : Maria Joana Fernandes
Professora Auxiliar do Departamento de Matemática Aplicada, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto

Abril de 2001

D.R.: 19-07-02

O Presidente do Juiz

Agradecimentos

À Dra. Joana Fernandes, minha orientadora, desejo manifestar o meu profundo agradecimento pelo apoio concedido ao longo da realização do presente trabalho.

Um agradecimento especial ao Eng. Mário Caetano, coordenador do projecto ACTUS100 no qual este trabalho se baseou. A sua extensa experiência nesta área e a disponibilidade que manifestou constituíram uma ajuda valiosa à concretização deste estudo.

A todos os meus professores do curso de Engenharia Geográfica e do Mestrado em Ciências da Engenharia Geográfica, pelos valiosos conhecimentos transmitidos.

Ao Centro Nacional de Informação Geográfica (CNIG) e seus funcionários, por me ter facultado os dados necessários para realização deste estudo. Quero agradecer em particular, à Eng.ª Sofia Fava, à Dr.ª Cristina Seabra e à Eng.ª Teresa Santos.

À Novageo e seus colaboradores, por me terem facultado o acesso a *softwares* de Sistemas de Informação Geográfica e por todo apoio manifestado no decorrer deste trabalho.

À minha família, namorada e amigos, por todo o apoio e estímulo facultado.

Estendo também os meus agradecimentos a todas as pessoas, que directa ou indirectamente me apoiaram durante o período de execução deste trabalho.

Resumo

Este estudo consiste no desenvolvimento de uma metodologia para a produção de mapas de ocupação do solo, à escala 1:50000, para o ano de 1991 (COS91), a partir de imagens do satélite Landsat 5 TM e informação não espectral geo-referenciada. As imagens de satélite utilizadas, foram dos anos compreendidos entre 1990 e 1995, sendo utilizada uma imagem de cada ano. As seis imagens foram escolhidas de modo a serem aproximadamente da mesma época do ano.

A metodologia foi aplicada ao Concelho da Mealhada, para a produção da carta de uso do solo de 1991, com base em técnicas de Detecção Remota complementadas com o recurso a Sistemas de Informação Geográfica.

A detecção de alterações entre duas imagens de anos consecutivos, foi baseada em diferenças de índices de vegetação ARVI (*Atmospherically Resistant Vegetation Index).*
Os algoritmos aplicados permitiram a classificação da carta de ocupação do solo em três grandes classes: Áreas Agrícolas, Áreas Florestais, e Áreas Artificiais.
A utilização de imagens multitemporais teve um papel fundamental na identificação das várias classes, permitindo usar a informação sobre a dinâmica da ocupação do solo.

Os resultados obtidos no presente trabalho revelaram que a zona em estudo não sofreu nenhuma transformação significativa ao nível da ocupação do solo, tendo em conta as classes em estudo, notando-se apenas um conjunto de pequenas alterações dispersas por todo o concelho.

Palavras chave: Carta de Ocupação do Solo, Detecção Remota, Landsat, Índice de Vegetação, Processamento Digital de Imagem, Sistemas de Informação Geográfica

Índice Geral

Agradecimentos

Resumo

Índice Geral

Índice de Quadros

Índice de Figuras

1 Introdução **1**
1.1 Ocupação e uso do solo 1
1.2 Projectos para a criação de mapas de ocupação do solo em Portugal 3
1.3 Objectivos 7
1.4 Estrutura da dissertação 8

2 Detecção Remota **9**
2.1 Principio da radiação 13
2.2 Efeitos atmosféricos na radiação electromagnética 17
2.3 Interacção da radiação com a superfície 21

3 Satélites e sensores do programa Landsat **24**
3.1 Programa Landsat 24
3.1.1 Características dos satélites 27
3.1.2 Sensores 28

4 Processamento digital de imagem **34**
4.1 Rectificação e restauração da imagem 35
4.1.1 Correcções geométricas 35
4.1.2 Correcção radiométrica 38
4.2 Realce da imagem 46
4.2.1 Manipulação do contraste 46
4.2.2 Manipulação espacial 50
4.2.3 Manipulação multiimagens 52

4.3 Classificação 57
4.3.1 Classificação supervisionada 58
4.3.2 Classificação não supervisionada 60
4.3.3 Avaliação da precisão da classificação 61
4.4 Fusão e integração dos dados 65
4.4.1 Fusão de dados multitemporais 65
4.4.2 Fusão de dados multiresoluções 65
4.4.3 Fusão de dados de multisensores 66
4.4.4 Fusão de multidados 67
4.4.5 Incorporação de dados SIG 68
4.5 Modelação biofísica 70

5 Caracterização da área de estudo 71
5.1 Critérios utilizados 71
5.2 Localização da área de estudo 72
5.3 Aspectos geológicos e florestais da área de estudo 73
5.4 Enquadramento a nível de concelho da área de estudo 75

6 Metodologia para a criação do COS91 76
6.1 Imagens e *software* utilizado 76
6.2 Correcção geométrica e correcção radiométrica 77
6.2.1 Correcção geométrica 77
6.2.2 Correcção radiométrica 78
6.3 Criação do índice de vegetação ARVI 80
6.4 Desenvolvimento de um método para detecção de alterações 82
6.4.1 Escolha das Alterações 82
6.5 Fluxograma da metodologia usada na selecção das zonas de alteração a classificar 87
6.6 Detecção e tratamento de zonas de alteração, usando ferramentas de SIG 88
6.6.1 Optimização do *software* de SIG 88
6.6.2 Selecção do COS90 para a Mealhada 89
6.6.3 Tratamento das alterações obtidas pela diferença de índices de vegetação 92
6.7 Classificação das alterações ocorridas entre 1990 e 1991 98
6.7.1 Selecção de amostras 98
6.7.2 Classificação das alterações (1991-1990) com base no COS90 e na análise temporal dos índices ARVI entre anos consecutivos 102
6.8 Obtenção do COS91 104
6.9 Fluxograma da metodologia usada na criação do COS91 107

6.10 Análise de resultados..... 108

7. Conclusão..... 110

Referências bibliográficas

Anexos

A - Descrições e inventários dos Projectos CORINE, COS90 e ACTUS100 (Fonte-CNIG)

B - Coeficientes de calibração das imagens Landsat (1990-1995) cálculos auxiliares (1990) e rotina *Reflectância*

C - Rotina *Alteração*

D - Rotinas para agrupar classes

E - Tratamento das alterações

F - Rotina *Classificação*

G - Alterações classificadas e divididas em três ficheiros

Índice de Quadros

Quadro 2.1 - Tipos de dispersão 17

Quadro 3.1 - Missões Landsat 25

Quadro 3.2 - Bandas dos sensores a bordo dos satélites Landsat 26

Quadro 3.3 - Tipos de aplicações 32

Quadro 4.1 - Índices de vegetação 55

Quadro 6.1 - Georeferenciação das imagens Landsat 5-TM (*path:204;row:32*) 77

Quadro 6.2 - Estatísticas das diferenças de índices ARVI 83

Quadro 6.3 - Valores limite usados nos vários critérios difundidos para a detecção de alterações 84

Quadro 6.4 - Agrupamento dos códigos usados no COS90 por classes 90

Quadro 6.5 - Análise estatística das amostras para as várias classes e anos 100

Quadro 6.6 - Estatísticas das áreas de alteração 105

Quadro 6.7 - Estatísticas das áreas do COS90 105

Quadro 6.8 - Estatísticas das áreas do COS91 105

Índice de Figuras

Figura 2.1 - Pombos ao serviço da detecção remota..... 9

Figura 2.2 - Sistema de detecção remota típico de recolha de imagem..... 12

Figura 2.3 - Radiação electromagnética..... 13

Figura 2.4 - Exitância radiante de vários corpos negros..... 15

Figura 2.5 - Espectro electromagnético..... 16

Figura 2.6 - Impacto de diferentes tipos de partículas atmosféricas em diferentes partes do espectro electromagnético..... 19

Figura 2.7 - Janelas atmosférica..... 20

Figura 2.8 - Interacção da energia incidente com um elemento terrestre..... 21

Figura 2.9 - Tipos de reflectores..... 22

Figura 2.10 - Assinaturas espectrais da água, vegetação e solo..... 23

Figura 3.1 - Configuração do sistema RBV do Landsat 3..... 29

Figura 3.2 - Sistema MSS..... 30

Figura 3.3 - Sistema TM..... 32

Figura 4.1 - Efeito da variação sazonal do ângulo de elevação solar..... 39

Figura 4.2 - Efeitos atmosféricos que influenciam as medidas da energia solar..... 41

Figura 4.3 - Função de resposta radiométrica para um canal TM..... 42

Figura 4.4 - Função de resposta radiométrica inversa para um canal TM..... 44

Figura 4.5 - Exemplo de um filtro de janela 3x3..... 50

Figura 4.6 - Exemplos de filtros passa-baixo..... 51

Figura 4.7 - Exemplos de filtros passa-alto..... 51

Figura 4.8 - Imagem composta com dados obtidos por diferentes sensores..... 66

Figura 5.1 - Localização da área de estudo, utilizando o mapa de concelhos de Portugal do atlas do ambiente 72

Figura 5.2 - Localização do concelho da Mealhada na Beira Litoral..... 73

Figura 5.3 - Mapa de dispersão florestal..... 74

Figura 5.4 - Enquadramento da área de estudo nas folhas topográficas 1:25000 (Série M888)..... 75

Figura 6.1 - Imagem Landsat de 1990, combinação das bandas TM 543..... 80

Figura 6.2 - Índice ARVI 1990..... 81

Figura 6.3 - Diferença de índice ARVI (1991-1990)..... 82

Figura 6.4 - Histograma e estatísticas da diferença de índices ARVI (1991-1990) utilizando o PCI..... 83

Figura 6.5 - Curva de histograma mostrando o estabelecimento dos limites que definem as zonas de alterações, a partira da média (μ) e do desvio padrão (σ) das diferenças de índices ARVI..... 85

Figura 6.6 - Mapa de alterações (1991–1990) usando o critério - $\mu \pm \sigma$..... 86

Figura 6.7 - Mapa de alterações (1991–1990) usando o critério – $\mu \pm 1.5\sigma$..... 86

Figura 6.8 - Mapa de alterações (1991-1990) usando o critério – $\mu \pm 2\sigma$..... 86

Figura 6.9 - Aplicação *M_ACTUS100*..... 88

Figura 6.10 - Sobreposição do concelho da Mealhada com as cartas de ocupação do solo de 1990..... 89

Figura 6.11 - COS90 do concelho da Mealhada agrupado em sete classes..... 90

Figura 6.12 - COS90 do concelho da Mealhada agrupado em três classes..... 90

Figura 6.13 - Zona de alterações negativas (1991-1990) usando as diferenças de índices ARVI e o critério ($\mu - 1.5\sigma$) para todo o concelho da Mealhada..... 92

Figura 6.14 - Alterações negativas (1991-1990), usando as diferenças de índice ARVI e o critério ($\mu - 1.5\sigma$) para a zona A..... 94

Figura 6.15 - Zonas de alteração após a eliminação de pixels isolados (a mais de 50 m de outros pixels)..... 95

Figura 6.16 - Zonas de alteração após a aplicação da rotina *Expansão*..... 95

Figura 6.17 - Zonas de alteração após a aplicação da rotina *Encolhimento*..... 95

Figura 6.18 - Zonas de alteração após a aplicação da rotina *Preenchimento Buracos*..... 96

Figura 6.19 - Zonas de alteração após a aplicação da rotina *Eliminação Pixeis Extremidades*..... 96

Figura 6.20 - Zonas de alteração em formato vectorial..... 96

Figura 6.21 - Zonas finais de alteração após a aplicação a eliminação de áreas inferiores a 1.6 hectares, para a zona A..... 97

Figura 6.22 - Zonas finais de alteração, após a eliminação de áreas inferiores a 1.6 hectares, para todo o concelho da Mealhada..... 97

Figura 6.23 - Áreas não alteradas entre 1990 e 1995 (as zonas a branco representam áreas onde houve alteração; as zonas a azul representam áreas onde não existiu qualquer tipo de alteração durante o período 1990-1995)..... 98

Figura 6.24 - Amostras seleccionadas para cada uma das três classes..... 99

Figura 6.25 - Validação das amostras por comparação com os ortofotomapas de 1995..... 100

Figura 6.26 - Imagem ARVI(255) 1991 - áreas que se alteraram segundo o ARVI 1991-1990..... 102

Figura 6.27 - Alterações classificadas..... 104

Figura 6.28 - COS91..... 106

Figura 6.29 - Gráfico comparativo de áreas por classes entre o COS90 e o COS91. 108

1 Introdução

1.1 Ocupação e uso do solo

A terra onde passeamos, onde temos a nossa casa, onde estacionamos o carro, a praia onde vamos passar férias, os pomares, os campos de cereais, etc, sempre foram e sempre serão muito importantes. O conhecimento do uso e da ocupação do solo torna-se assim muitíssimo importante para muitas actividades de planeamento e gestão, sendo considerado como um elemento essencial para a modelação e compreensão da Terra como um sistema. (Lillesand and Kiefer, 1994).

Mapas de ocupação do solo estão a ser desenvolvidos desde escalas locais até escalas globais.

Aproximadamente desde 1940, que se utilizam fotografias aéreas pancromáticas de média escala para fazer mapas do uso de solo. Mais recentemente, com o desenvolvimento e aperfeiçoamento de novas tecnologias, fotografias aéreas de pequena escala e imagens de satélites começaram a ser utilizadas para o mesmo fim.

O termo ocupação do solo está relacionado com o tipo de elemento presente na superfície da Terra. Campos de vinha, lagos, pomares, vias de comunicação, florestas de pinheiros, arrozais, etc, são exemplos de tipos de ocupação do solo. O termo uso do solo está relacionado com a actividade humana ou com a função económica associada a uma parcela de terra específica.

Idealmente os mapas de ocupação e de uso do solo deverão ser produzidos separadamente, dado que, em geral, têm requisitos diferentes, tanto no que diz respeito à informação necessária à sua elaboração, como ao fim a que se destinam. De um ponto de vista prático, no entanto, poderão existir casos onde se torne crucial o uso dos dois tipos de mapas em conjunto.

Enquanto que a informação sobre a ocupação do solo pode ser directamente extraída das imagens de satélites de detecção remota, informação acerca da actividade na terra, isto é do uso do solo, poderá não ser sempre detectável através dessas mesmas imagens.

Um dos exemplos flagrantes são as actividades recreativas que se desenrolam ao ar livre em extensas porções de terras, que não são de interpretação particularmente fácil a partir de fotografias aéreas ou imagens de satélites.

Por exemplo, a caça, que é uma actividade recreativa muito comum, poderá estar encoberta pelo meio que a envolve, isto é, por terrenos que tenham a classificação de florestas, cordilheiras, pântanos e terrenos agrícolas, e não poder ser identificada. Deste modo fontes de informação adicional são muitas vezes necessárias para complementar a informação obtida através da ocupação do solo.

Existem áreas onde as alterações da ocupação do solo se processam a um ritmo lento, e os mapas demoram alguns anos a ficar desactualizados, enquanto que noutras as alterações se processam num curto período de tempo, implicando uma rápida actualização dos mapas.

A periodicidade da aquisição de imagens, de uma mesma área geográfica em condições de observação semelhantes, torna-se particularmente útil em estudos de detecção de alterações, uma vez que permite analisar o fenómeno que se pretende estudar através da comparação de imagens adquiridas em diferentes períodos de tempo do (Baio, 1996).

Com a generalização do uso das imagens de satélite tornou-se importante o desenvolvimento de modelos com vista à optimização dos vários processos de actualização do uso e ocupação do solo.

A abordagem tradicional para exploração de imagens de satélite consiste na análise dos padrões espectrais ao nível do pixel através de algoritmos de classificação mais ou menos sofisticados (Caetano et al., 1996).

Os mapas de ocupação do solo, também têm sido muito utilizados nos últimos anos como uma componente do planeamento urbano e regional.

1.2 Projectos para a criação de mapas de ocupação do solo em Portugal

Projecto CORINE

A elaboração de mapas de ocupação do solo tornou-se uma realidade com o projecto CORINE (Coordination of Information on the Environment), criado com um intuito intergovernamental de coordenação e gestão de dados.

O CORINE foi criado em 1985 pelo Conselho Europeu de Ministros, com três objectivos principais:

- Recolha de informação do estado do ambiente, para uso prioritário em aplicações comunitárias;
- Coordenar iniciativas nacionais produzidas pelos estados membros e melhorar a informação ao nível internacional;
- Assegurar a consistência das nomenclaturas utilizadas, definições, etc, assim como criar as condições necessárias para comparar dados.

A gestão de dados do sistema de informação Corine tem três componentes:

- Projectos (poluição do ar, biotopos, erosão da costa, ocupação do solo, ambientes marinhos, erosão dos solos e recursos hídricos);
- Dados recolhidos usando a legislação da Comunidade Europeia;
- Dados básicos precisos para análises e apresentações de resultados.

Estas componentes tinham a função de fornecer a informação necessária para atingir os objectivos. Estes conjuntos de dados foram organizados em duas áreas:

- Compilação dos dados ambientais e desenvolvimento de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) do estado do ambiente na Europa;
- Melhoria da consistência, comparabilidade e disponibilidade dos dados ambientais.

A componente essencial do sistema é a sua integração, isto é, a informação proveniente de diferentes fontes deverá ser compatível. O projecto CORINE cooperou com várias organizações: OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico), Conselho da Europa, UN ECE (United Nations European Comittee on Economics) e CERCO (Comittee of the European Union Countries) .

Em Portugal o CORINE é um mapa temático que contem 44 classes de uso de solo (anexo A), realizado a uma escala de 1:100000, no Sistema de projecção Bessel-Bone, compreendendo 53 folhas.

COS90

Com o passar dos anos o Projecto Corine começou a ficar desactualizado. Houve então a necessidade em Portugal, de actualizar os dados existentes, uma vez que o planeamento e ordenamento do território não pode ser feito sem o perfeito conhecimento das características de ocupação e uso do solo. Deste modo surgiu a Carta de Ocupação do Solo (COS).

A Carta de Ocupação do Solo de Portugal Continental de 1990 (COS90) é um projecto do Ministério do Ambiente e Ordenamento do Território, coordenado pelo Centro Nacional de Informação Geográfica (CNIG). Surgiu com o intuito de tentar conhecer as características de ocupação e uso do solo no território continental e colmatar a parca ou mesmo inexistente informação cartográfica actualizada e uniforme nesta área. No anexo A está apresentada uma descrição detalhada do projecto COS90.

O COS90 foi realizado com base na cobertura de fotografia aérea, com filme infravermelho de falsa cor, à escala média de 1:15 000, efectuada em 1990 pela Associação dos Produtores de Celulose e Papel, actual CELPA.
Este conjunto de fotografias aéreas foi oferecido em 1991 ao antigo Ministério do Planeamento e Ordenamento do Território, tendo como contrapartida a produção do COS90.

O produto final do COS90 foi a obtenção de uma cartografia da ocupação do solo integral para Portugal Continental, desde o domínio florestal ao agrícola.
A escala escolhida para a construção desta Carta foi 1:25000, sendo adoptado o sistema de projecção utilizado pelo Instituto Geográfico do Exército (IGeoE) (projecção Hayford-Gauss, datum Lisboa), na carta Militar da mesma escala (Série M888), totalizando 638 folhas.

A área mínima estabelecida foi de 1 hectare, de modo a integrar o máximo de informação possível, embora existissem áreas de dimensão inferior devido às flutuações da escala do filme base e ao rigor da foto-interpretação.
A fotointerpretação foi realizada sobre papel de acetato, recorrendo à utilização de estereoscópios de espelhos.
O trabalho de campo foi efectuado em 30% do território antes da fotointerpretação propriamente dita e em alguns casos depois, para esclarecimento de dúvidas.

Durante o trabalho de campo os técnicos depararam-se com alterações significativas entre o tipo de cobertura existente no local e o observado na fotografia, nomeadamente em zonas florestais e em zonas de incultos. Nesses casos optou-se, sempre que possível, pela limitação das manchas que ocorriam na altura em que foi efectuado o voo, recorrendo, em caso de dúvida à consulta das populações locais.

Na delimitação de massas de água também se verificaram alguns problemas dado que a cobertura aerofotográfica foi realizada num ano de seca. Assim, alguns cursos de água ou albufeiras apresentam um nível de caudal anormal, com grandes zonas de areal descoberto ou ainda leitos completamente cobertos de vegetação herbácea. Nestes casos optou-se por marcar as áreas pelos limites de areal a descoberto.

ACTUS100

Em 10 de Setembro de 1999 foi realizado um protocolo (anexo A) entre a Direcção Geral das Florestas (DGF) e o CNIG com vista ao desenvolvimento e teste de metodologias, para actualização de cartografia de ocupação do solo com base em imagens de satélite, e no COS90. Este protocolo resultou no projecto ACTUS100.
O principal objectivo do projecto é produzir uma cartografia de ocupação do solo com periodicidade anual para o território português continental, à escala 1:100000, com base em imagens de satélite (Landsat-TM) e na carta de ocupação de solo de 1990.

A metodologia a testar assentou na actualização da cartografia já existente para 1990 à escala 1:25000 (COS90), e pode ser resumida nos seguintes passos:

- Criação de uma máscara para delimitar áreas cuja probabilidade de se alterarem de um ano para outro é baixa e que inclui áreas artificializadas e corpos de água. A metodologia assume que áreas ocupadas por estas classes não se alteram de um ano para o outro;
- Identificação dos principais tipos de alteração da ocupação do solo, nomeadamente: expansão urbana (contígua, ou não, a áreas artificializadas existentes), plantações florestais, cortes de povoamentos florestais, incêndios florestais, nova rede viária, alterações em áreas florestais ardidas;
- Desenvolvimento de metodologias para identificar cada uma das principais alterações da ocupação do solo.

Área de estudo

A metodologia será desenvolvida num conjunto de três folhas da COS90 da região Centro do país coberta pela imagem Landsat TM *(path-204,row-32)* e testada num conjunto de três folhas da COS90, diferentes das usadas no desenvolvimento da metodologia.

O produto final será cartografia 1:100000 para os anos: 1991, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996 e 1997 para as áreas cobertas pelas seis folhas da COS90 (1:25000).

Base de dados a utilizar

Os dados necessários para a execução do trabalho proposto foram disponibilizados pelas instituições participantes:

- DGF: fotopontos de 1995, áreas ardidas de 1990 a 1997 e imagens de satélite Landsat TM;
- CNIG: carta de ocupação do solo 1:25000 de 1990 (COS90), fotografias orto-rectificadas em formato digital de 1995, CORINE *Land Cover*, Modelo Digital de Terreno e imagens de satélite Landsat TM.

Presentemente o projecto ACTUS100 encontra-se em fase inicial da sua execução.

1.3 Objectivos

Este estudo tem por objectivo o desenvolvimento de metodologias que permitam a actualização e produção de mapas de ocupação do solo com base numa análise dos padrões espectrais das imagens de satélite e na caracterização da dinâmica da ocupação do solo. Neste trabalho são usadas técnicas de Detecção Remota, complementadas com técnicas de Sistemas de Informação Geográfica.

Pretende-se aplicar esta metodologia a uma área de estudo, o concelho da Mealhada, de modo a produzir a carta de ocupação do solo deste concelho para o ano de 1991 (COS91) à escala 1:50000.

O trabalho desenvolvido nesta tese de mestrado, enquadra-se no âmbito dos objectivos gerais do projecto ACTUS100 (em fase inicial de desenvolvimento).

Ao invés dos projectos CORINE e COS90 a ênfase deste trabalho é no desenvolvimento e aplicação de metodologias para a detecção de alterações e não na obtenção de uma carta de ocupação do solo usando um grande número de classes. Por isso na carta de ocupação do solo serão apenas definidas três grandes classes: Áreas Agrícolas, Áreas Florestais e Áreas Artificiais.

As imagens de satélite que serão utilizadas, são imagens Landsat TM compreendidas entre os anos 1990-1995. Será utilizada uma imagem de cada ano, sensivelmente da mesma época.

1.4 Estrutura da dissertação

Esta dissertação está estruturada em 6 capítulos. Neste capítulo inicial, é apresentada uma descrição sumária do estado da arte em estudos de ocupação do solo em Portugal, usando técnicas de detecção remota, sendo referidos dois projectos já realizados (CORINE e COS90), e um outro presentemente em curso, o ACTUS100. São também apresentados os objectivos principais deste trabalho.

No capítulo 2 são apresentadas algumas noções introdutórias de detecção remota. São descritos de uma forma resumida os principais fenómenos que intervêm no processo de aquisição de uma imagem por um sensor remoto.

O capítulo 3 descreve sumariamente o programa Landsat assim como, as características dos vários satélites e sensores do programa, bem como algumas aplicações das imagens Landsat.

No capítulo 4 é feita uma descrição de algumas das técnicas de processamento digital de imagens e de Sistemas de Informação Geográfica, com especial relevo para as técnicas usadas neste trabalho nas várias fases da concretização da metodologia proposta para esta dissertação.

No capítulo 5 é feita a caracterização da área de estudo relativamente à sua localização, aspectos geológicos e florestais e respectivo enquadramento ao nível do concelho, sendo apresentado os critérios apresentados na sua escolha

Por último, nos capítulos 6 e 7, descreve-se a metodologia desenvolvida bem como a sua aplicação à área de estudo, e analisam-se os resultados obtidos dessa mesma aplicação.

2 Detecção Remota

A detecção remota é normalmente designada pela ciência ou arte de obter informações acerca de um objecto, área ou fenómeno, através da análise de dados obtidos por um sensor, que não está em contacto com o objecto, área, ou fenómeno (Lillesand and Kiefer,1994).

A detecção remota, começou por volta de 1840, (Remote Sensing and Photo Interpretation Tutorial, 2000) com os balonistas a tirarem fotografias usando a recém criada câmara fotográfica. No princípio do século XX numa tentativa inovadora usou-se uma câmara agarrada aos pombos correios (figura 2.1). Esta câmara tirava uma fotografia em cada 30 segundos.

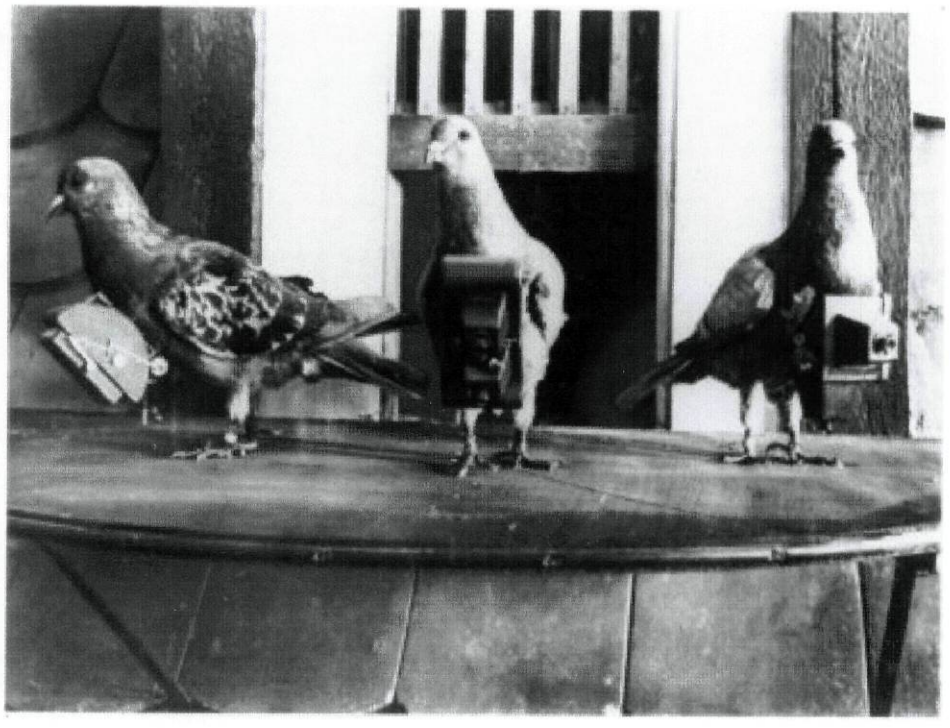


Figura 2.1 - Pombos ao serviço da detecção remota
(http://rsf.gsfc.nasa.gov)

A fotografia aérea foi evoluindo, e durante a Primeira Grande Guerra tornou-se numa mais valia, levando a que detecção remota tivesse sido considerada como ciência em 1930. Durante a Segunda Grande Guerra, voltaria mais uma vez a demonstrar todo o seu potencial.

Mais tarde no período de 1946 a 1950, com o aparecimento da era espacial, surgiu a detecção remota espacial devido a pequenas câmaras que eram transportadas a bordo dos foguetões alemães V-2. Nos anos seguintes realizaram-se varias missões envolvendo fotografias a bordo de foguetões, mísseis balísticos, satélites e naves tripuladas. Nos primeiros voos as fotografias tiradas eram em regra geral de qualidade inferior pois as missões eram feitas com outros propósitos. Ao mesmo tempo começam a ser desenvolvidos os satélites meteorológicos sendo o primeiro, o Tiros-1, lançado em 1960. A detecção remota dá outro grande passo em frente com o aparecimento das missões espaciais tripuladas na década de 60, sendo responsáveis por isso os programas Mercury, Gemini e Apollo.

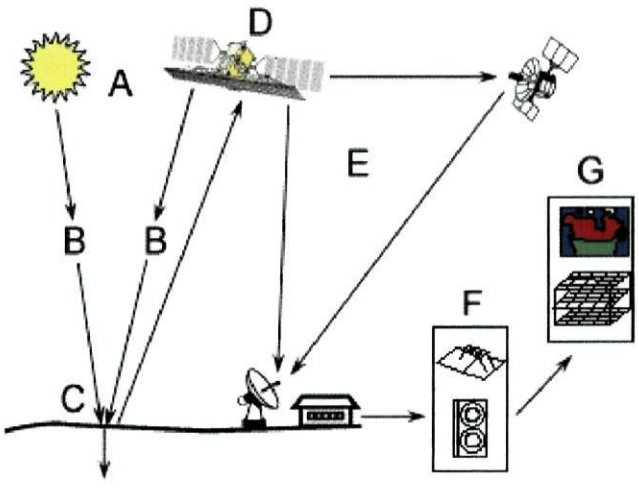
Com as sensacionais informações dos recursos do planeta que os satélites meteorológicos e as missões das naves espaciais possibilitavam, abriu-se um novo caminho para uma nova geração de satélites, que viriam a revolucionar o mundo ao nível do conhecimento dos recursos do planeta.

Em julho de 1972 a NASA (National Aeronautics and Space Administration) lança o primeiro satélite para o estudo dos recursos da Terra, o ERTS-1, que mais tarde seria rebatizado de Landsat 1. Com esta nova tecnologia, os dados multiespectrais fornecidos pelos sensores a bordo, melhoraram significativamente o conhecimento sobre as colheitas, minerais, Solos, crescimento urbano, e muitas outras características e processos da Terra. Mais tarde surgiram outros satélites com o mesmo intuito, como foi o caso do SPOT (Systeme Pour l'Observation de la Terre), ERS (European Remote Sensing Satellite) e JERS (Japanese Earth Resource Satellite).

Através destes e outros satélites têm sido feito imensos estudos e monitorizado vários fenómenos, sendo os casos seguintes alguns dos muitos exemplos realizados: o estudo do buraco do ozono na Antárctica em 1985; o caso da explosão do reactor nuclear de Chernobyl na Ucrânia em 1986; desflorestações na Amazónia comparando imagens de 1975 e 1986, os incêndios dos poços de petróleo no Kuwait em 1991 causados pela Guerra do Golfo; o furacão Andrew em 1992 que desbastou o Sul da Florida nos Estados Unidos; as cheias do rio Mississipi em 1993. Estes foram apenas alguns dos exemplos que no decorrer destes últimos anos usaram técnicas de detecção remota, permitindo em muitos casos o salvamento de muitas vidas humanas e a preservação dos nossos recursos naturais do planeta.

Actualmente a detecção remota envolve, não só a aquisição de dados, mas também o processamento automático dos dados, a análise, interpretação e apresentação da informação extraída desses mesmos dados (Howard, 1991).

Hoje em dia é impensável viver sem a informação fornecida pelos vários sensores quer estejam na superfície terrestre ou acima desta a bordo de plataformas aéreas ou espaciais.
Através dos sensores é possível medir a energia emitida ou reflectida por um certo objecto. Essa energia abrange várias zonas do espectro electromagnético: ultravioleta (UV), visível, infravermelho (próximo (NIR), intermédio (MIR) e térmico (TIR)), e microndas.
A figura 2.2 representa os elementos envolvidos num sistema de detecção remota típico de recolha de imagem:



A	**Fonte de Energia ou Iluminação**	O primeiro requisito da detecção remota é que haja uma fonte de energia que ilumine ou forneça energia electromagnética ao objecto de interesse.
B	**Radiação e Atmosfera**	No seu caminho desde a fonte até ao objecto a energia interage com a atmosfera. Esta interacção pode tomar lugar uma segunda vez quando a energia viaja do objecto até ao sensor.
C	**Interacção com o objecto**	Ao atingir o objecto a energia interage com este, dependendo essa interacção das propriedades do objecto e da radiação.
D	**Recolha da energia pelo sensor**	Depois de a energia ter sido dispersa ou emitida pelo objecto o sensor remoto capta e recolhe a radiação electromagnética.
E	**Transmissão, Recepção e Processamento**	A energia recolhida pelo sensor é transmitida para uma estação que recebe e processa essa informação, guardando-a sobre a forma de numa imagem em formato analógico ou digital.
F	**Interpretação e análise**	A imagem processada é interpretada, visualmente ou através de processamento digital, de forma a extrair informação sobre o objecto iluminado.
G	**Aplicação**	O elemento final do processo de detecção remota é atingido quando se aplica a informação extraída da imagem acerca do objecto, de modo a compreendê-lo melhor, revelar informação adicional, ou ajudar a reSolver um problema particular.

Figura 2.2 - Sistema de detecção remota típico de recolha de imagem
(http://ccrs.nrcan.gs.ca/ccrs/sduref/tutorial)

2.1 Princípio da radiação

A radiação electromagnética é uma forma de transferência de energia no espaço livre, que exibe ambas as propriedades da onda e da partícula (Lo, 1986). De acordo com as propriedades da onda, a energia electromagnética parece viajar no espaço através de uma onda harmónica padrão à velocidade da luz (C) de 299 782 km/s. A onda consiste num campo eléctrico (E) e num campo magnético (M), que são ortogonais entre si e perpendiculares à direcção da propagação da onda (figura 2.3).

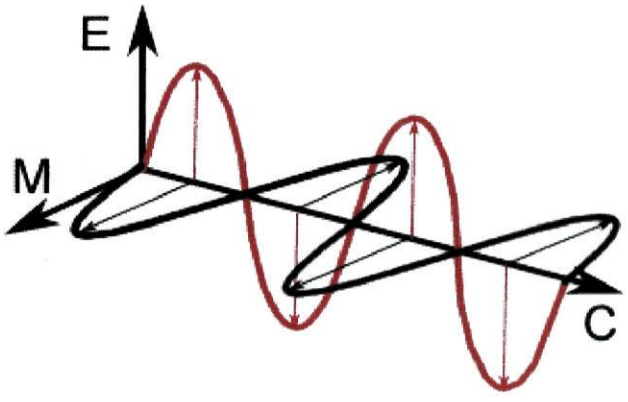


Figura 2.3 - Radiação electromagnética

A onda pode ser descrita em termos de comprimento do onda (λ), distância de separação entre picos de onda adjacentes ou da frequência (f), número de picos de onda que passam num ponto fixo num dado intervalo de tempo. A relação entre estas quantidades e a velocidade da luz, c, é a seguinte:

$$\lambda f = c$$

ou

$$f = c/\lambda \qquad [2.1]$$

Estas propriedades das ondas são exibidas pela radiação electromagnética, representando a energia e a matéria numa escala microscópica (Lo, 1986).

Por outro lado, a energia electromagnética é também observada como sendo a energia transferida entre unidades discretas, chamadas fotões. A energia de um fotão pode ser representada por:

$$E=hf \qquad [2.2]$$

Ou, de forma equivalente:

$$E=hc/\lambda \qquad [2.3]$$

em que h é a constante de Planck ($h= 6.6260*10^{-34}$ J .s).

Assim, a energia de um fotão varia directamente com a frequência e inversamente com o comprimento de onda da radiação. Estas propriedades representam as interacções entre energia e matéria numa escala atómica e molecular (Lo, 1986).

Um corpo negro é um corpo hipotético que absorve toda a radiação sobre ele incidente, reemitindo em seguida toda essa energia em todos os comprimentos de onda.

A quantidade total de radiação emitida por um corpo negro, em todos os comprimentos de onda, a uma dada temperatura T (T em Kelvin) é dada pela lei de Stefan-Boltzmann:

$$M=\sigma T^4 \qquad [2.4]$$

onde M é a energia radiada por unidade de tempo, por unidade de área da superfície do corpo, e σ é a constante Stefan-Boltzmann ($5.669*10^{12}$ W/cm^2K^4).

Para um corpo real, a equação tem a seguinte forma:

$$M=\varepsilon\sigma T^4 \qquad [2.5]$$

onde ε é a emissividade do corpo ($0 \leq \varepsilon \leq 1$).

Para um dado comprimento de onda λ, a energia emitida por um corpo negro nesse comprimento de onda, é dada pela lei de Planck:

$$M(\lambda)=C_1/\lambda^5(\exp(C_2/\lambda T)-1) \qquad [2.6]$$

Nesta expressão, $C_1=3.74151*10^8$ e $C_2= 1.43879*10^4$ são constantes, λ é o comprimento de onda em μm, T a temperatura em Kelvin, e M (λ) a energia radiada em $W\mu m^{-2}m^{-1}$. Verifica-se que todos os corpos com temperaturas acima do zero absoluto (0 K ou -273°C) emitem radiação electromagnética numa vasta série de comprimentos de onda. O comprimento de onda correspondente à emissão máxima de radiação (λ_{max}) é dado pela lei de Wien:

$$\lambda_{max}=k/T \qquad [2.7]$$

onde k = 2,898 μmK. Esta relação é representada graficamente na figura 2.4 que mostra a diminuição do comprimento de onda dominante, correspondente à emissão máxima da radiação, à medida que a temperatura do corpo negro aumenta de 300 K para 6000K.

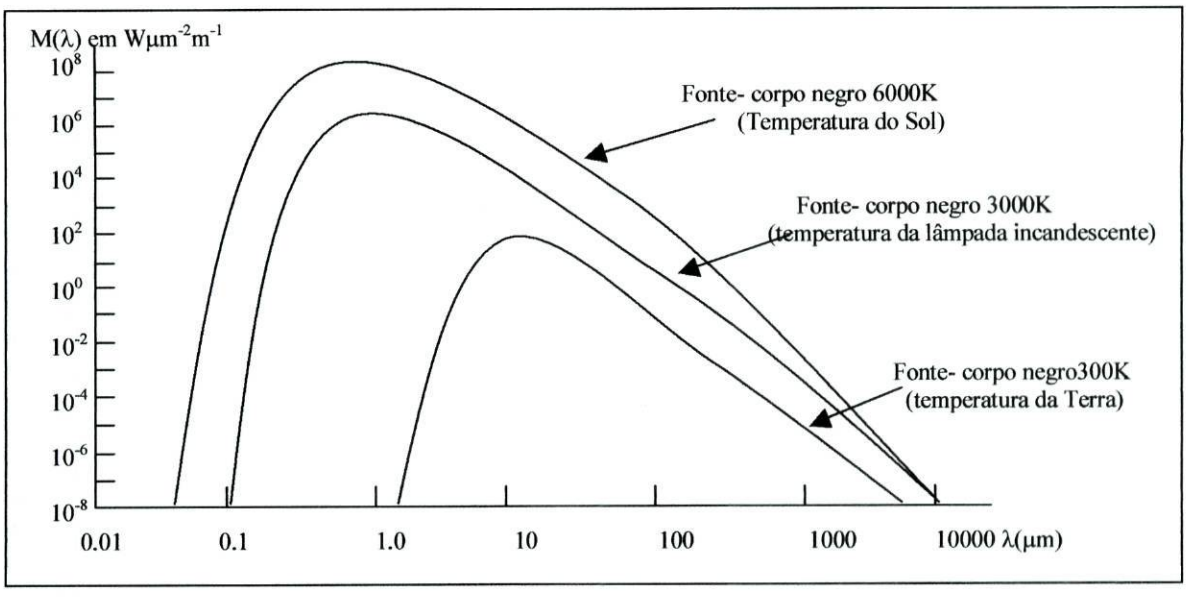


Figura 2.4 - Exitância radiante de vários corpos negros

A figura 2.5 representa as várias zonas do espectro electromagnético em função do comprimento de onda e da frequência.

Na detecção remota, as regiões mais úteis do espectro electromagnético são a do visível (0.4-0.7 μm), a do infravermelho reflectido (0.7-3 μm), a do infravermelho térmico (3-5 μm e 8-14 μm) e a das microondas (0.3-300cm) (Lo, 1986).

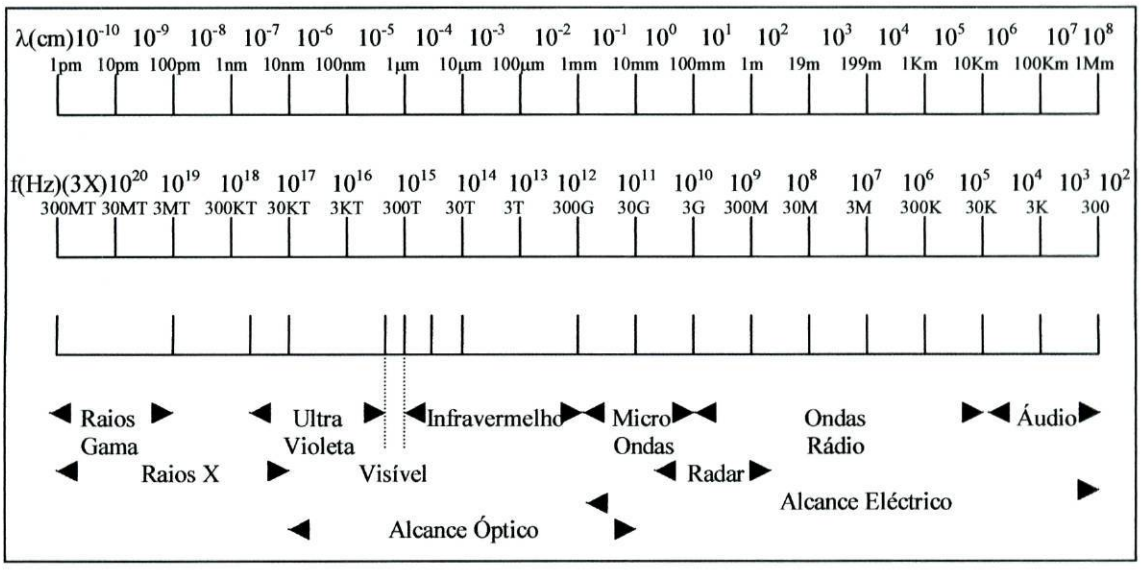


Figura 2.5 - Espectro electromagnético

2.2 Efeitos atmosféricos na radiação electromagnética

Para a detecção remota terrestre, a fonte natural de radiação electromagnética mais importante é o Sol, que tem uma temperatura à superfície de cerca de 6000 K e radia energia cobrindo comprimentos de onda nas regiões do ultravioleta, visível e infravermelho (Lo, 1986). O comprimento de onda dominante ocorre para λ=0.5 μm (luz verde) que é visível para o olho humano (figura 2.5). Isto representa a energia Solar reflectida que nos permite observar as características da Terra. Por outro lado, a temperatura da superfície da Terra é muito mais baixa, cerca de 300 K e de acordo com a lei de Wien, o comprimento de onda dominante é de λ=9.7 μm (figura 2.5), (região do infravermelho térmico). Isto representa a energia emitida pela Terra, sendo de muito menor magnitude em comparação com a energia Solar reflectida.

Na detecção remota, o comprimento de onda de 2.5 μm é usado como o limite superior para a energia Solar reflectida enquanto que o valor 6 μm é usado para o limite inferior para a energia térmica emitida pela Terra.

A energia electromagnética, à medida que transporta informação da Terra para o sensor remoto na atmosfera ou no espaço, é seriamente atenuada pela passagem na atmosfera. A atmosfera contém partículas de gases, moléculas e aerossóis, gotas de água, pó e fumo, que provocam a dispersão (*scattering*) e a absorção da energia electromagnética.

Quadro 2.1 - Tipos de dispersão

Tipo	Rayleigh	Mie	Não-selectiva
Dimensão das partículas	$< \lambda$	$\approx \lambda$	$> \lambda$
Tipo de partículas	Moléculas de gás	Partículas esféricas de vapor de água, fumo e poeiras	Partículas de água e poeiras
Dispersão	Molécula absorve radiação e remite. Dispersão é inversamente proporcional a $\lambda 4$	Absorção e re-emissão pelas camadas baixas da atmosfera	Absorção e re-emissão por nevoeiro e nuvens
Efeitos no Visível e no Infravermelho Próximo	Afecta mais para $0.4<\lambda<0.55\mu$m, Resultando em névoa e céus azuis	Afecta mais para $0.55<\lambda<0.7\mu$m	Afecta no visível e igualmente para todo o λ, resultando em nevoeiro

UNIVERSIDADE DO PORTO
FACULDADE DE CIÊNCIAS
BIBLIOTECA

A dispersão causa mudanças na direcção e intensidade da radiação. É dependente do comprimento de onda. Geralmente, diminuiu com o aumento do comprimento de onda da radiação. Se as moléculas e pequenas partículas na atmosfera têm diâmetros muito mais pequenos que o comprimento de onda da radiação, dá-se a dispersão RayLeigh. A sua intensidade é inversamente proporcional à quarta potência do comprimento de onda. Este efeito explica o céu azul num dia limpo quando a radiação ultravioleta e azul é dispersada muito mais que a radiação nos comprimentos de onda maiores do visível. Quando as partículas aerossóis possuem diâmetros que são mais ou menos iguais em tamanho ao comprimento de onda de radiação, temos a chamada dispersão Mie. Esta tende a afectar a radiação nos comprimentos de onda mais longos do que a dispersão Rayleigh. Quando as partículas aerossóis na atmosfera são muito maiores que os comprimentos de onda da radiação, como as gotas de água, a dispersão é não selectiva em relação aos comprimentos de onda, e assim temos a dispersão não selectiva. As nuvens brancas são o resultado de um tipo de dispersão que dispersa todos os comprimentos de onda da luz visível (azul, verde, vermelho) em quantidades iguais.

Para se obter uma boa qualidade de imagem, sistemas de filtros próprios têm de ser incorporados nos sensores remotos para eliminar ou minimizar os efeitos de dispersão. O impacto de partículas atmosféricas de diferentes tamanhos, nas diferentes porções do espectro electromagnético, está patente na figura 2.67, (Lo, 1986).

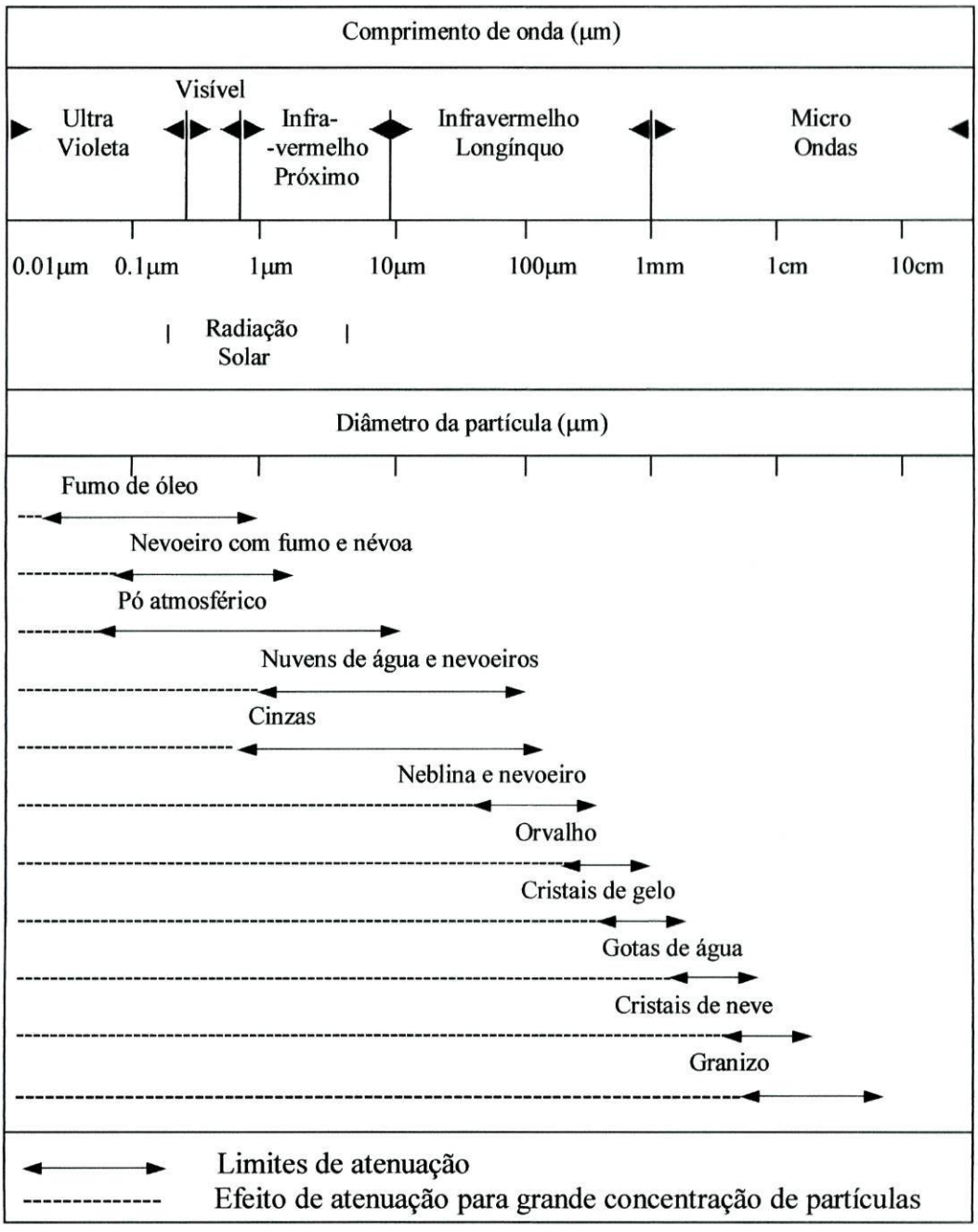


Figura 2.6 - Impacto de diferentes tipos de partículas atmosféricas em diferentes partes do espectro electromagnético

A absorção é a retenção de energia radiante por um corpo ou uma substância. Na atmosfera, a radiação electromagnética é absorvida eficazmente por moléculas de gases, tais como: vapor de água, dióxido de carbono, oxigénio e ozono. O resultado é que a energia é atenuada ou perdida. A absorção, no entanto, é limitada à radiação em certas regiões do espectro. Por exemplo, comprimentos de onda menores que 0.3 μm são completamente absorvidos pelo ozono, que se encontra na parte superior da atmosfera. Assim, existem certas zonas do espectro designadas por "janelas atmosféricas" (figura 2.7), nas quais a absorção atmosférica é reduzida, permitindo a observação da superfície da Terra por técnicas de detecção remota.

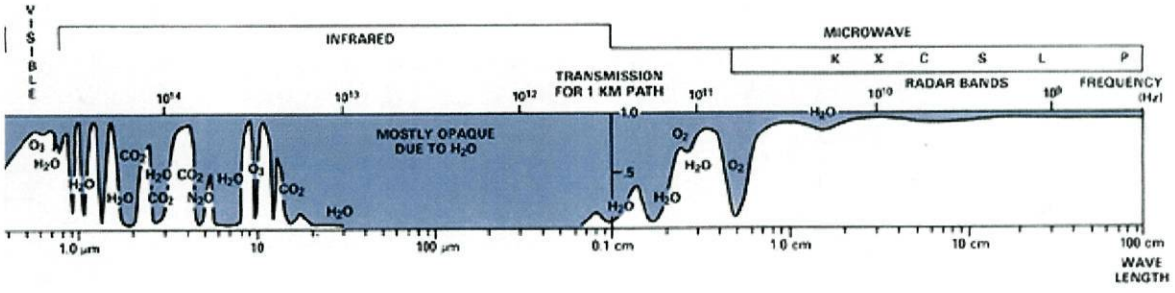


Figura 2.7 - Janelas atmosférica
(http://rst.gsfc.nasa.gov)

2.3 Interacção da radiação com a superfície

Quando a energia electromagnética eventualmente chega à Terra, é modificada através da interacção com a superfície da Terra. Uma percentagem da energia é reflectida, outra é absorvida e a restante transmitida através da superfície (figura 2.8), dependendo das propriedades da superfície e do comprimento de onda da radiação.

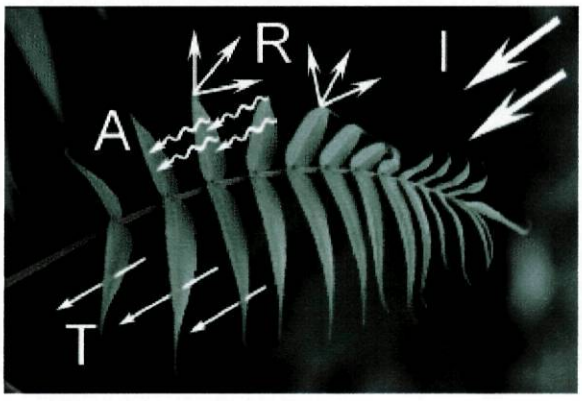


Figura 2.8 - Interacção da energia incidente com um elemento terrestre

Aplicando o princípio da conservação da energia, temos a seguinte equação:

$$E_I(\lambda) = E_R(\lambda)+E_A(\lambda)+E_T(\lambda) \qquad [2.8]$$

onde E_I é a energia incidente, E_R a energia reflectida, E_A a energia absorvida e E_T a energia transmitida, num determinado comprimento de onda λ.

Relativamente ao princípio de conservação da energia há dois aspectos importantes a considerar (Lillesand and Kiefer,1994). Primeiro, as percentagens de energia reflectida, absorvida e transmitida irão variar para diferentes elementos terrestres, permitindo estas diferenças distinguir os diferentes elementos numa imagem. Segundo, a dependência do comprimento de onda, diz-nos que mesmo para um elemento do mesmo tipo, a percentagem de energia reflectida, absorvida ou transmitida, vai variar com o comprimento de onda. Assim, podemos ter dois elementos indistinguíveis num determinada banda do espectro e distinguíveis noutra banda.

Como a maior parte dos sistemas de detecção remota operam em bandas de comprimentos de onda em que a energia reflectida predomina, as propriedades da reflectância dos elementos terrestres são muito importantes. Assim, é muitas vezes útil reformular a equação (2.8) da seguinte forma (Lillesand and Kiefer,1994):

$$E_R(\lambda) = E_I(\lambda)-[E_A(\lambda)+E_T(\lambda)] \qquad [2.9]$$

O modo geométrico como os objectos reflectem energia é também uma consideração importante a ter em conta.

A reflexão de energia depende do grau de rugosidade dos elementos em relação ao comprimento de onda da energia incidente neles. Quando as variações de altura da superfície são mais pequenas do que o comprimento de onda da energia incidente, esta age como um reflector suave e a maior parte da energia é reflectida numa direcção única. Este tipo de reflexão designa-se por especular. Se as variações em altura da superfície são maiores do que o comprimento de onda da energia incidente, a superfície diz-se rugosa e a energia é reflectida mais ou menos uniformemente em todas as direcções. Este tipo de reflexão é designada por reflexão difusa ou Lambertiana.

A maior parte dos elementos da superfície terrestre estão entre estes dois extremos e as direcções da energia reflectida são difíceis de prever.

As reflexões difusas dos objectos terrestres permitem que estes sejam observados em diferentes bandas do espectro, sendo por isso, muito úteis como fontes espectrais de dados na detecção remota.

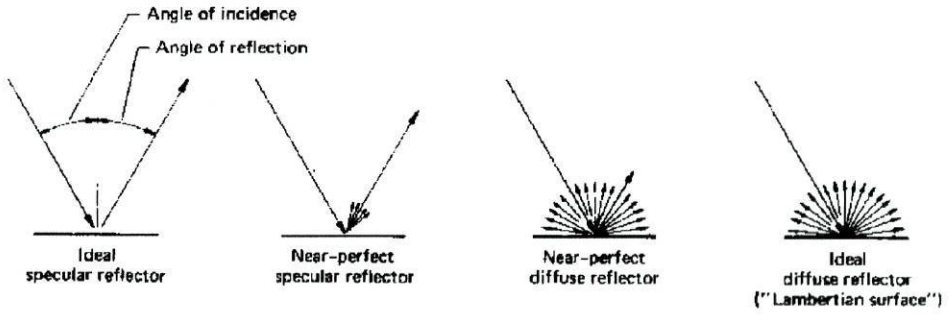


Figura 2.9 - Tipos de reflectores
(Lillesand and Kiefer, 1994)

As características relativas dos elementos da superfície terrestre podem ser quantificadas medindo a percentagem de energia incidente que é reflectida. Esta medida é função do comprimento de onda e é designada por reflectância espectral, ρ_λ, e é dada pela fórmula:

$$\rho_\lambda = \frac{E_R(\lambda)}{E_I(\lambda)} \cdot 100 \qquad [2.10]$$

A representação gráfica da reflectância espectral de um objecto, função do comprimento de onda, designa-se por curva de reflectância espectral ou assinatura espectral. A análise desta curva permite-nos realizar um estudo detalhado das características espectrais dos objectos. Se compararmos as respostas espectrais de vários elementos da natureza, verificamos que diferentes elementos apresentam assinaturas espectrais diferentes (figura 2.10). As assinaturas espectrais dos vários elementos, uma vez conhecidas e catalogadas, permitem a sua identificação e diferenciação. Em geral, a configuração destas curvas é um indicador, do tipo e condição, dos elementos a que se aplicam e representam uma resposta média do elemento da natureza a definir.

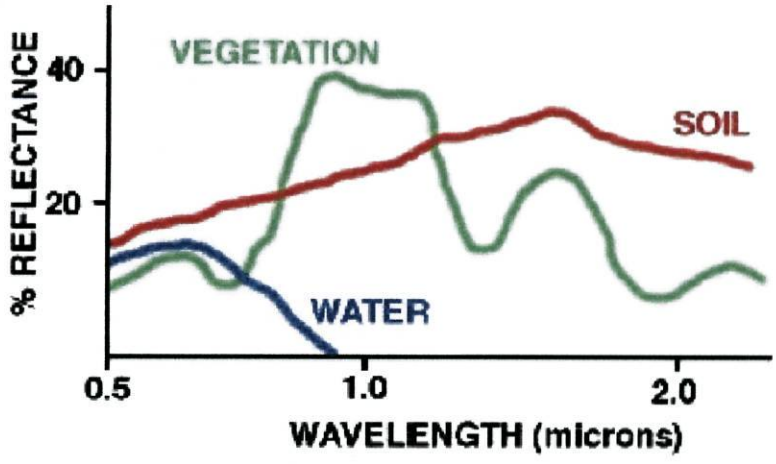


Figura 2.10 - Assinaturas espectrais da água, vegetação e Solo (http://hawaii.ivv.nasa.gov)

3 Satélites e sensores do programa Landsat

A escolha do tipo de imagens mais apropriadas para estudos de detecção remota da superfície da Terra depende, por um lado, das características orbitais dos satélites, da resolução espacial, espectral, temporal e radiométrica dos sensores e, por outro lado, das propriedades dos objectos a observar (Tucker et al. ,1985)

3.1 Programa Landsat

Em 1967 a NASA em cooperação com o USDI (United States Department of Interior) começou a pensar num programa que previa o lançamento de uma série de satélites com a função de estudar os recursos do planeta, os ERTS (Earth Resourses Technology Satellites). Deste programa resultou o planeamento do lançamento de seis satélites com as designações de ERTS-A,-B,-C,-D,-E e -F (sendo depois rebatizados para ERTS -1,-2,-3,-4,-5,-6 respectivamente após o sucesso do lançamento do 1º satélite em órbita).

O ERTS-1 foi lançado pelo foguetão Thor-Delta em 23 de Julho de 1972 e esteve operacional até 6 de janeiro de 1978. Este satélite era uma versão do satélite meteorológico Nimbus adaptado aos propósitos do programa ERTS.
Tornou-se no primeiro satélite especialmente desenhado para obtenção de dados multiespectrais, de média resolução, dos recursos da Terra, de uma forma sistemática e repetitiva.
Foi inicialmente desenhado como um sistema experimental para testar a viabilidade em obter dados dos recursos do planeta por satélites não tripulados.

Todas as nações do mundo foram convidadas para tomar parte na avaliação dos dados do ERTS-1. Os resultados desta experiência mundial com o sistema foram muito favoráveis, tendo até excedido as expectativas da comunidade científica.
Imediatamente antes de ser lançado o ERTS-2 a NASA mudou o nome do programa, rebatizando oficialmente o programa ERTS para programa Landsat (pois assim tornava-se mais fácil distingui-lo do programa Seasat), logo ERTS-1 foi mudado para Landsat-1 e todos os que lhe seguiam na série ficaram com a designação Landsat.

A distribuição dos dados do Landsat nos Estados Unidos passou por três fases distintas: experimental, transição e operacional.

Durante a fase experimental das imagens do Landsat-1,-2 e –3, os dados foram distribuídos pela EROS (Earth Resources Observation System) em cassetes de computador, sendo o centro de dados em Sioux Falls, no Sul de Dakota.

Os satélites eram operados pela NASA e os dados processados eram distribuídos pela USGS (United States Geological Survey) em conjunto com o USDI.

Durante o período de transição todas as operações foram gradualmente assumidas pela NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) em parceria com o USDC (United States Department of Commerce).

Na última fase, a fase operacional, o programa Landsat foi transferido do Governo Federal para uma firma comercial chamada EOSAT (Earth Observation Sattelite Company). Esta transferência começou em 1984 e concluiu-se em 27 de Setembro de 1985, dia em que a EOSAT assumiu por completo a operação do sistema.

Em 1993 foi construído um sexto satélite desta série, o Landsat 6, mas devido a uma falha no lançamento, nunca foi colocado em órbita e em Abril de 1999 foi lançado o último satélite desta série, o Landsat 7.

Quadro 3.1 - Missões Landsat

LANDSAT	DATA DE LANÇAMENTO	ESTADO	SENSORES	PERÍODO (dias)	ALTITUDE (Km)	ÁREA COBERTA (Km)
1	23-07-72	Não operacional	MSS e RBV	18	912	185
2	22-01-75	Não operacional	MSS e RBV	18	912	185
3	05-03-78	Não operacional	MSS e RBV	18	912	185
4	16-07-82	Não operacional	TM e MSS	16	705	185
5	01-03-84	Operacional	TM e MSS	16	705	185
6	05-10-93	Não operacional	TM e ETM	16	705	185
7	15-04-99	Operacional	ETM+	16	705	185

Quadro 3.2 - Bandas dos sensores a bordo dos satélites Landsat

Sensor	Missões	Bandas - λ(μm)	Resolução(m)
RBV(m)	1,2	1 - 0.475-0.575 (azul)	80
	1,2	2 - 0.580-0.680 (vermelho)	80
	1,2	3 - 0.690-0.830 (NIR)	80
RBV(p)	3	0.505-0.750 (pancromático)	30
MSS	1,2,3,4,5	4 - 0.5-0.6 (verde)	80
	1,2,3,4,5	5 - 0.6-0.7 (vermelho)	80
	1,2,3,4,5	6 - 0.7-0.8 (NIR)	80
	1,2,3,4,5	7 - 0.8-1.1 (NIR)	80
	3	8 - 10.4-12.6 (TIR)	240
TM	4,5	1 - 0.45-0.52 (azul)	30
	4,5	2 - 0.52-0.60 (verde)	30
	4,5	3 - 0.63-0.69 (vermelho)	30
	4,5	4 - 0.76-0.90 (NIR)	30
	4,5	5 - 1.55-1.75 (MIR)	30
	4,5	7- 2.08-2.35 (MIR)	30
	4,5	6 - 10.4-12.5 (TIR)	120
ETM	6,7	1 - 0.45-0.52 (azul)	30
	6,7	2 - 0.52-0.60 (verde)	30
	6,7	3 - 0.63-0.69 (vermelho)	30
	6,7	4 - 0.76-0.90 (NIR)	30
	6,7	5 - 1.55-1.75 (MIR)	30
	6,7	7- 2.08-2.35 (MIR)	30
	6	6 - 10.4-12.5 (TIR)	120
	7	6 - 10.4-12.5 (TIR)	60
	6,7	8 - 0.5-0.9 (pancromático)	15

m - multiespectral
p - pancromática

3.1.1 Características dos satélites

Todos os satélites da série Landsat têm uma órbita heliossíncrona, com passagens pelo equador de Norte-para-Sul sempre da parte da manhã (variando ligeiramente entre eles) de modo a maximizar as condições de iluminação e assegurar as condições repetidas de iluminação do sol durante as épocas específicas. Este tempo, foi seleccionado para obter vantagem da visualização permitida pelos céus das manhãs, que em regra geral são mais limpos que os outros céus ao longo do dia.

As órbitas dos satélites Landsat 1, 2 e 3 são quase polares com uma inclinação de 99.2° e recolhem informação a uma altitude de 920 Km com um ciclo de repetição de 18 dias. Estes satélites têm um período de 103 minutos, sendo necessário 251 revoluções para se obter uma cobertura completa da superfície terrestre, com imagens de 185 Km de largura.

Os Landsat 4, 5, 6 e 7 têm também órbitas quase polares, sendo a sua inclinação de 98.2°, recolhendo a informação a uma altitude de 705 Km, com um ciclo de repetição de 16 dias. Estes satélites têm um período de 99 minutos, sendo necessário 233 revoluções para se obter uma cobertura completa da superfície terrestre com imagens de 185 Km de largura.

O sistema Landsat permite uma cobertura global do planeta entre, aproximadamente, as latitudes 81°N e 81°S.

As altitudes dos satélites e os seus períodos orbitais são relacionados pela seguinte fórmula:

$$T_o = 2\pi \cdot (R_p + H') \sqrt{\frac{R_p + H'}{g_s \cdot R_p^2}} \qquad [4.1]$$

onde:

T_o - período orbital (seg)

R_p - raio do planeta (6380 Km para o raio da Terra)

H' - altitude orbital (acima da superfície do planeta em Km)

g_s - aceleração da gravidade na superfície do planeta (0.00981 Km/s^2 para a Terra)

3.1.2 Sensores

Return Beam Vidicom (RBV)

O sistema RBV consistia em três câmaras de televisão apontadas para observar a mesma área de terreno, simultaneamente, com cerca de 185*185 Km^2 de superfície. A resolução das câmaras era de 80 m.

No quadro 3.2 podemos ver a sensibilidade espectral de cada câmara.
A sensibilidade espectral de cada câmara era essencialmente idêntica a um único nível de filme infravermelho.
O RBV não continha filme, mas no entanto as suas imagens eram expostas por um aparelho obturador e armazenadas numa superfície fotosensivel de cada câmara. Esta superfície era então rasterizada por um sinal eléctrico interno, com vista a produzir um sinal de vídeo similar ao das câmaras de televisão.

No Landsat-1, o RBV esteve operacional principalmente para a sua avaliação de engenharia, sendo ocasionalmente utilizado para obter imagens RBV.
Duas grandes mudanças foram introduzidas no desenho do sistema RBV do Landsat-3: (1) o sistema interpretava uma única banda (muito larga) em vez do multiespectral e (2) a resolução espacial do sistema foi melhorada para 30 m.
Para compensar a diminuição da área do terreno coberta, foram empregadas duas câmaras lado a lado. As duas câmaras estavam alinhadas de modo a cada uma ver 98 Km de terreno adjacente.

O sistema RBV acabou por ficar para segundo plano em relação ao sistema MSS (MultiSpectral Scanner). Dois factores contribuíram para esta situação: primeiro os sistemas RBVs foram atingidos por várias falhas técnicas, e, mais importante, o sistema MSS foi o 1º sistema de monitorização global capaz de produzir dados multiespectrais em formato digital.

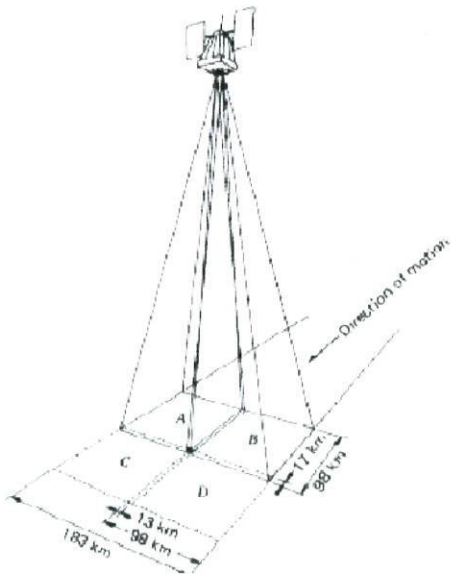


Figura 3.1 - Configuração do sistema RBV do Landsat 3
(Lillesand and Kiefer, 1994)

MultiSpectral Scanner (MSS)

Com as vantagens de ser possível processar os dados MSS por computador, muitos e muitos quilómetros quadrados de imagens da superfície terrestre foram observados por este sistema.

O sensor MSS é do tipo de sistema de varrimento lateral. Cada banda do sensor tem uma resolução espacial de aproximadamente 80 m e uma resolução radiométrica de 6 bits. Os seis detectores para cada banda espectral permitem varrer seis linhas simultaneamente em cada banda.

O sistema MSS a bordo dos Landsat-1,-2 e -3 cobria uma faixa de 185 Km em quatro bandas de comprimento de onda: duas no espectro visível e duas no NIR. Estas bandas foram designadas como bandas 4, 5, 6 e 7. O MSS a bordo do Landsat-3 também tinha incorporado a banda térmica (banda 8), no entanto devido problemas operacionais, este canal ficou inutilizado logo após o lançamento.

As imagens podem ser obtidas em 2 formatos digitais à escolha: uma cena no formato EDIPS consiste em 2583 linhas por 5500 pixels e outra cena no formato Telespazio consiste em 2286 linhas por 3600 pixels.

O sistema é formado por um telescópio de Cassegrain. No plano focal do telescópio estão colocados 6 CCDs (Charge Coupled Device), para cada banda do sistema. Cada CCD tem dimensões de 68.3 μm e entre eles existe uma separação de 5 μm.

A objectiva telescópica tem uma distância focal de 82 cm, obtendo-se uma imagem a uma escala aproximadamente de 1:1000000. A figura 3.2 ilustra o modo de funcionamento do sistema MSS.

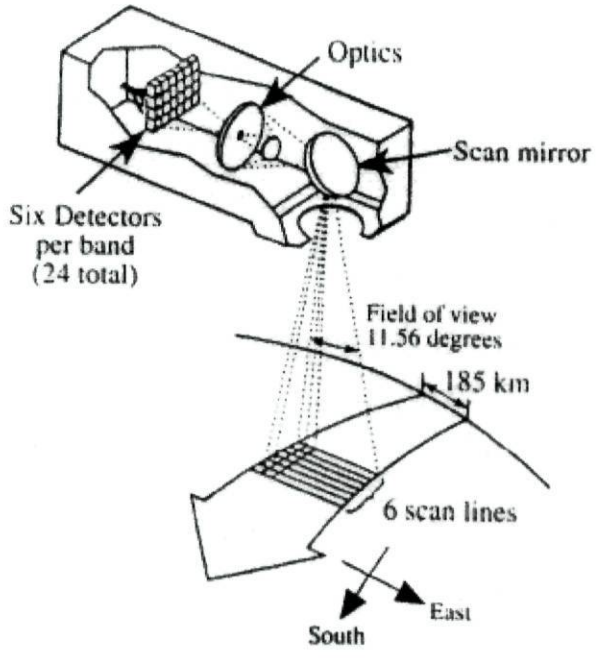


Figura 3.2 - Sistema MSS
(Jensen, 2000)

O MSS a bordo do Landsat 4 e 5, era essencialmente igual ao dos satélites Landsat anteriores. Claro que houve algumas diferenças, sendo de realçar o factor de a resolução espacial do sistema MSS ter passado de 79 m das anteriores missões para 82 m e que são utilizadas as mesmas quatro bandas espectrais, sendo apenas renumeradas, ou seja as bandas 1-4 do Landsat 4 e 5 MSS correspondem às bandas 4-7 do sistema MSS anterior. A partir do Landsat 4, juntamente com o sensor MSS ia a bordo um outro sensor designado por Thematic Mapper (TM).

A transmissão directa dos dados MSS e TM para as estações receptoras terrestres, era possível devido às antenas de banda-X e banda-S a bordo do satélite. As taxas de transmissão de dados variavam substancialmente, sendo transmitidos 15 Megabits de informação por segundo no MSS e 85 Megabits por segundo no TM.

O sistema MSS foi utilizado nestas últimas missões devido a existirem estações receptoras que não podiam receber dados TM, acabando por a recolha de dados MSS cessar em 1992.

A aplicação da interpretação de imagens no Landsat MSS tem sido demonstrada em muitos campos: agricultura, botânica, cartografia, engenharia civil, monitorização ambiental, florestas, geografia, geologia, geofísica, análise de recursos da Terra, planeamento do uso da Terra, oceanografia, análise dos recursos da Terra, etc.

Thematic Mapper (TM)

O TM é um sistema avançado, relativamente ao MSS, com um scanner multiespectral incorporado, com várias melhorias ao nível espectral, radiométrico e espacial. O sensor TM possui 7 bandas espectrais, (quadro 3.1), o que permite ter uma melhor cobertura do espectro electromagnético. Note-se que a banda 7 está fora de ordem em relação à progressão dos comprimentos de onda, pois foi adicionada depois da fase inicial de planeamento a pedido da comunidade de Geólogos.

A resolução espacial no TM foi melhorada para 30 m à excepção da banda térmica que é de 120 m.

Cada banda deste sensor tem uma resolução radiométrica de 8 bits, possuindo 16 detectores, com a excepção da banda 6 que possui 4, o que no total resulta em 100 detectores.

Na figura 3.2 encontra-se esquematizada a forma como é adquirida a imagem pelo sistema MSS. O sensor adquire informação sobre a superfície terrestre por acção do próprio movimento orbital do satélite, actuando numa só direcção, Oeste para Este, durante a passagem descendente do satélite. Contrariamente ao sistema MSS, o sistema TM capta informação nos dois sentidos do varrimento aproveitando na totalidade o movimento do satélite em órbita (figura 3.3).

As imagens Landsat TM são muito mais importantes para interpretação de um vasto leque de aplicações do que as imagens Landsat MSS, porque o sensor TM possui mais bandas espectrais e tem uma resolução espacial melhor que o MSS. As imagens MSS são importantes para a análise de grandes áreas como os mapas geológicos, mas para mapas específicos, como os mapas para a cobertura detalhada da Terra são pouco precisos.

É neste tipo de aplicações que o TM se revela mais vantajoso pois a sua melhor resolução espectral e espacial permite uma interpretação mais clara da imagem.

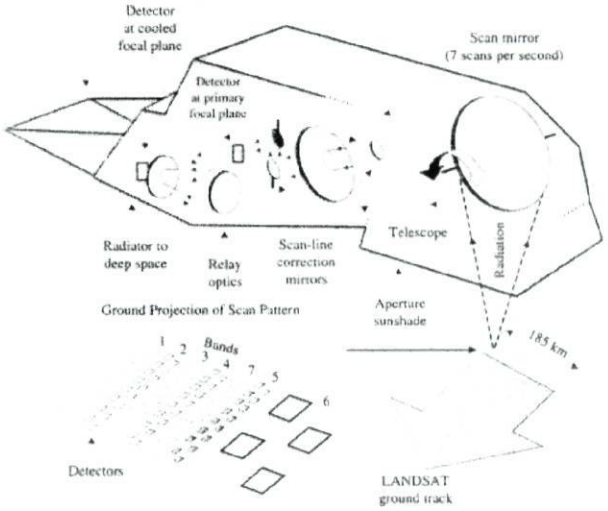


Figura 3.3 - Sistema TM
(Jensen, 2000)

As bandas TM foram escolhidas de modo a serem úteis em alguns tipos específicos de aplicação. No quadro 3.3 são apresentados alguns exemplos.

Quadro 3.3 - Tipos de aplicações

BANDA	APLICAÇÕES
TM1	Discriminação solo/vegetação; mapas de batimetria/cartografia de zonas costeiras; identificação de elementos cultural/urbano.
TM2	Detecção da reflexão verde da vegetação saudável;
TM3	Detecção da absorção da clorofila pela vegetação e discriminação entre espécies de plantas;
TM4	Detecção picos de reflectância no NIR em vegetação verde saudável e detecção de linhas de Terra/água;
TM5	Sensível à humidade na vegetação e solos; detecção de zonas de neve e zonas cobertas por nuvens
TM6	Estudos de humidade no solo e estudos de vegetação relacionados com a radiação térmica; cartografia térmica.
TM7	Sensível à humidade na vegetação; discriminação entre tipos de rochas e minerais;

ETM+

O *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+) foi um sensor lançado a bordo do Landsat 7, em 15 de Abril de 1999, sendo as primeiras imagens do Landsat 7, adquiridas a 18 de Abril de 1999.

As características da órbita do Landsat 7 são semelhantes às dos seus antecessores. Este satélite veio dar continuidade à base de dados de imagens do globo produzidas pelo sistema TM, permitindo assim um acesso imediato a milhares de utilizadores em todo o mundo.

Este sensor ETM+ resulta da evolução conjunta dos sensores TM e ETM.

O sensor ETM+ é semelhante ao TM, tendo-lhe sido incluídas novas características que o tornaram num instrumento mais versátil e eficiente para estudos globais. As principais diferenças relativamente ao TM são:

- a adição de uma banda pancromática com 15 metros de resolução espacial (muito útil para a cartografia devido à sua alta resolução);
- a associação de dois calibradores solares que permitem uma melhor calibração radiométrica a bordo;
- o aumento da resolução espacial da banda térmica para 60 m.

O IFOV (Instantaneous Field Of View) do ETM+ é de 30×30 m^2 para as banda 1-5 e 7, de 60×60 m^2 para a banda 6 e de 15×15 m^2 para a nova banda pancromática (quadro 3.2).

O ETM+ é formado por um telescópio Ritchey – Cnretien, que tem dois planos focais para a recolha de dados. Este sistema faz um varrimento multiespectral radiométrico capaz de produzir imagens de grande resolução.

Os dados obtidos por este satélite podem ser transmitidos para Terra directamente, ou seja, em tempo real através do sistema TDRSS, ou podem ser armazenados a bordo e serem transmitidos mais tarde.

O sistema ETM+ produz aproximadamente 150 Megabits de informação por segundo e 250 imagens por dia (Jensen, 2000).

O Landsat 7 possui a bordo um receptor de GPS (Global Positioning System), o que facilita a determinação da órbita do satélite de forma precisa e portanto o processamento geométrico dos dados.

4 Processamento digital de imagem

O sistema perfeito de detecção remota ainda não foi desenvolvido (Jensen, 1996). A superfície terrestre, tanto a parte sólida, como a parte oceânica é de tal forma complexa que se torna difícil a sua observação por "simples" dispositivos de detecção remota, que possuem restrições ao nível da resolução espacial, espectral, temporal e radiométrica. Consequentemente, o processo de aquisição de dados, conduz a erros que podem degradar a qualidade da informação recolhida pelo sensor remoto (Lunetta et al, 1991). Deste modo a precisão da análise da imagem pode ser afectada, quer se trate de um processamento digital ou de uma interpretação visual da mesma (Meyer et al, 1993). Logo, antes de se proceder a uma análise da informação, é normalmente necessário realizar um pré-processamento dos dados obtidos pelo sensor (Teillet, 1986).
O processamento digital de imagem envolve a manipulação e interpretação de imagens digitais com a ajuda a um computador (Lillesand and Kiefer, 1994).

Com o desenvolvimento e evolução dos computadores o custo de software e hardware eficientes baixou significativamente, possibilitando a expansão e o desenvolvimento do processamento digital de imagens. A juntar a isto existe um maior número e variedade de dados disponíveis.

As possibilidades de manipular uma imagem digital são infinitas. O conjunto de técnicas que envolvem o processamento de imagens digitais pode ser agrupado em cinco tipos de operações (Lillesand and Kiefer, 1994), sendo todas elas assistidas por computador:

- **Rectificação e restauração da imagem**
- **Realce da imagem**
- **Classificação**
- **Fusão e integração dos dados**
- **Modelação biofísica**

4.1 Rectificação e restauração da imagem

A operação de rectificação e restauração de uma imagem também é conhecida por pré-processamento, pois normalmente antecede a manipulação e análise da imagem.
Estas operações pretendem corrigir efeitos de distorção ou degradação introduzidos nas imagens durante o processo de aquisição, de modo a criar uma melhor representação da cena original. Naturalmente este processo está altamente dependente das características do sensor usado para obter a imagem. De uma maneira geral este processo envolve:

- correcção geométrica
- correcção radiométrica

4.1.1 Correcções geométricas

A forma de aquisição da maior parte dos sensores faz com que as imagens de satélite obtidas estejam de forma distorcidas relativamente a um mapa. As fontes dessas distorções são muito mais numerosas e o seu efeito mais acentuado comparativamente com as distorções radiométricas. As principais causas destas distorções geométricas estão relacionadas com vários factores, tais como: (1) variações na altitude, atitude e velocidade da plataforma do sensor; (2) distorção panorâmica; (3) curvatura da Terra; (4) refracção atmosférica; (5) efeito do relevo; (6) irregularidades no varrimento do IFOV do sensor (Lillesand and Kiefer, 1994).

O objectivo da correcção geométrica é compensar a imagem das distorções introduzidas pelos efeitos anteriormente mencionados, de modo a obter um produto final com uma integridade geométrica idêntica à de um mapa.
As distorções presentes nas imagens devidas a estes factores são de dois tipos: (1) sistemáticas e (2) aleatórias. As primeiras são corrigidas através da aplicação de algoritmos que modelam matematicamente o efeito considerado permitindo a sua correcção, sendo um exemplo deste tipo de distorção, o efeito causado pela rotação da Terra nas imagens colhidas pelos sistemas de varrimento multi-espectral, que faz com que cada linha varrida cubra uma área ligeiramente a Oeste da linha anterior. O processo de correcção deste efeito consiste em deslocar cada linha (área) varrida sucessivamente para Oeste. O resultado é uma imagem com a forma de um paralelogramo.

A correcção das distorções aleatórias presentes nas imagens de satélite desenvolve-se em duas etapas. A primeira etapa consiste no estabelecimento de relações matemáticas entre as coordenadas linha e coluna (x_i,y_i), de alguns dos pixels da imagem, e às suas coordenadas correspondentes X e Y num mapa com um dado sistema de projecção (Richard, 1986). Estes pontos são designados por pontos de controlo do terreno (PCTs). Os PCTs devem ser bem distribuídos por toda a área de estudo e facilmente identificáveis na imagem. Os PCTs são pontos de coordenadas conhecidas, como por exemplo, cruzamentos de estradas ou pontos ao longo da linha de costa.

As coordenadas geográficas (X,Y) dos pontos de controle podem ser obtidas, por exemplo, de um mapa, numa dada projecção, e identificadas as correspondentes coordenadas na imagem (x,y), (linha,coluna), sendo assim determinados por ajuste, usando o método dos mínimos quadrados, os parâmetros da transformação de coordenadas (f_1,f_2).

$$x = f_1(X,Y) \quad , \quad y = f_2(X,Y) \qquad [4.1]$$

onde:
(x,y) - são as coordenadas na imagem
(X,Y) - são as coordenadas no mapa
(f1,f2) - são funções de transformação

O tipo de transformação a aplicar entre dois sistemas deverá ter em conta o número e distribuição dos PCT's. Entre os dois sistemas poderá existir translação, rotação, factor de escala, assim como várias distorções.
Algumas das transformações mais aplicadas são:

Transformação de similaridade ou de Helmert

É uma transformação de quatro parâmetros, que necessita no mínimo de 2 PCT's. Realiza uma rotação, uma translação, mantendo a escala.

$$\begin{cases} x = aX - bY + c \\ y = bX + aY + d \end{cases} \Leftrightarrow \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & -b \\ b & a \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} c \\ d \end{pmatrix} \qquad [4.2]$$

Transformação Afim

É uma transformação polinomial de grau 1, que necessita, no mínimo, de 3 PCT's.

$$\begin{cases} x = aX + bY + c \\ y = bX + eY + f \end{cases} \Leftrightarrow \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b \\ b & e \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} c \\ f \end{pmatrix} \qquad [4.3]$$

Transformação polinomial de grau 2

Nesta transformação temos de ter pelo menos 6 PCT's.

$$\begin{cases} x = a_1 + b_1X + c_1Y + d_1X^2 + b_1XY + f_1Y^2 \\ y = a_2 + b_2X + c_2Y + d_2X^2 + e_2XY + f_2Y^2 \end{cases} \qquad [4.4]$$

Numa segunda etapa para corrigir geometricamente a imagem original distorcida, aplica-se um processo chamado re-amostragem. Este processo tem por finalidade corrigir a imagem inicial, aplicando a transformação determinada na etapa anterior.
Alguns algoritmos utilizados no processo de re-amostragem:

Vizinho mais próximo – usa o valor do pixel na imagem original que está mais próximo do pixel correspondente na imagem corrigida. Este método é rápido e simples em termos computacionais e não altera os valores originais, mas pode resultar em alguns valores de pixels duplicados ou perdidos.

Interpolação bilinear - usa uma média pesada dos valores digitais dos 4 pixels mais próximos na imagem original e coloca esse valor na nova localização do pixel na imagem corrigida. Este método altera os valores dos pixels originais e cria novos valores digitais na imagem de saída. Pode ser um processo inadequado se pretendermos fazer determinado tipo de processamento ou análise, como por exemplo classificação baseada em resposta espectral.

Convolução cúbica - usa uma média pesada dos 16 pixels mais próximos da imagem original, e coloca esse valor na nova localização do pixel na imagem corrigida. Assim como o método bilinear este também se traduz em novos valores de pixels e uma maior suavização da imagem.

4.1.2 Correcção radiométrica

Idealmente, a radiância medida por um sistema de detecção remota numa determinada banda deve ser uma representação precisa do fluxo radiante emitido pelos elementos de interesse (ex.: solo, vegetação, água, zonas urbanizadas) da superfície da Terra (Jensen, 1996).

Tal como nas correcções geométricas, o tipo de correcção radiométrica aplicada a uma determinada imagem depende do tipo de sensor usado na sua aquisição.

A radiância medida por um sensor, de um determinado objecto, é influenciada por vários factores: condições de iluminação da cena; condições atmosféricas; geometria de visualização e resposta do sensor.

Nas imagens de sensores aéreos os efeitos das variações das condições de visualização são superiores às das imagens de satélite.

No caso de um sensor que usa a região do visível e do NIR é usual gerarem-se mosaicos de imagens obtidas em datas diferentes ou estudarem-se as mudanças na reflectância dos elementos do terreno em tempos ou localizações diferentes. Nestes casos a correcção radiométrica é de importância fundamental.

Correcção de elevação do Sol e correcção da distância Terra-Sol

Neste tipo de aplicações é normalmente necessário aplicar dois tipos de correcções: (1) correcção de elevação do Sol e (2) correcção da distância Terra-Sol. A primeira corrige o efeito produzido pela variação sazonal do angulo de elevação do Sol para uma dada zona na Terra. Através deste processo, as imagens adquiridas em diferentes ângulos de iluminação solar são normalizadas através do cálculo dos valores do brilho dos pixels, assumindo o Sol no zénite em cada data de aquisição. A correcção consiste na divisão do valor de cada pixel da cena, pelo seno do ângulo de elevação solar para a hora e local particular da cena. Na figura 4.1 podemos ver o efeito da variação sazonal do ângulo de elevação solar.

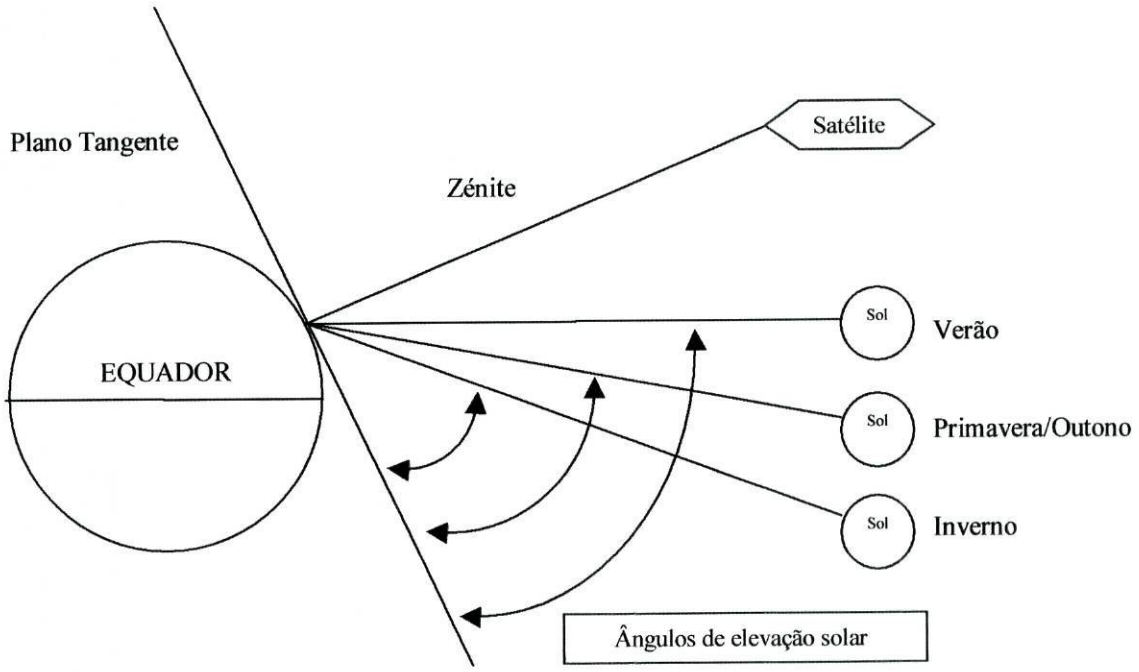


Figura 4.1 - Efeito da variação sazonal do ângulo de elevação solar
(Lillesand and Kiefer, 1994)

A correcção da distância Terra-Sol é aplicada de modo a normalizar as condições de aquisição relativamente às variações sazonais da distância entre a Terra e o Sol.
A distancia Terra-Sol média é de uma unidade astronómica (1 UA = 149.6 $\times 10^6$ Km). A irradiância do Sol decresce com o quadrado da distância entre a Terra e o Sol.
Ignorando os efeitos atmosféricos, as influências combinadas da inclinação do Sol e da distância Terra-Sol na irradiância incidente na superfície terrestre pode ser expressa por:

$$E = \frac{E_0 \cos\theta_0}{d^2} \qquad [4.5]$$

onde:

E - irradiância solar normalizada

E_0 - irradiância solar à distancia média Terra-Sol (constante solar)

θ_0 - distância zenital do Sol

d - distância Terra-Sol em unidades astronómicas

A informação sobre o ângulo de elevação do Sol e a distância Terra-Sol para uma dada cena faz geralmente parte dos dados fornecidos em formato digital.

Correcção atmosférica

Uma das principais razões para se efectuar uma correcção radiométrica, é devida à necessidade de remover o efeito de dispersão e absorção causado pela atmosfera.

A atmosfera afecta a radiância medida em qualquer ponto da cena de dois modos contraditórios. Por um lado reduz a energia que ilumina um objecto na superfície da Terra, por outro lado actua ela própria como um dispersor adicionando uma radiância extra (radiância de percurso) ao sinal detectado pelo sensor. O sinal que chega ao sensor é dado por:

$$L_{tot} = \frac{\rho E \tau}{\pi} + L_p \qquad [4.6]$$

onde:

L_{tot} - radiância espectral total que chega ao sensor

ρ - reflectância do objecto

E - irradiância do objecto

τ - transmissão da atmosfera

L_p - radiância de percurso

Apenas o primeiro termo contém informação válida sobre o objecto visualizado. O segundo termo introduz um efeito de "nevoeiro" sobre a imagem, reduzindo o seu contraste. Este termo é devido ao efeito de dispersão da atmosfera, que é função do comprimento de onda, sendo maior para os menores comprimentos de onda.

Uma maneira simples de determinar a correcção atmosférica em imagens multiespectrais é fazer observações da radiância sobre zonas de reflectância quase nula. Por exemplo, na zona do NIR, a reflectância da água profunda e clara é praticamente nula. Podemos assim deduzir que qualquer sinal observado sobre essa área representa o efeito da atmosfera, que pode ser subtraído aos valores dos pixels da imagem dessa banda.

Estes algoritmos de correcção da atmosfera são normalmente aplicados de forma uniforme a toda a imagem. Só em casos extremos de visualização oblíqua é que pode ser necessário ter em conta a variação da correcção ao longo da imagem.

A figura 4.2 ilustra os diversos efeitos atmosféricos que afectam a radiância espectral total que chega ao sensor, vinda de um elemento da superfície.

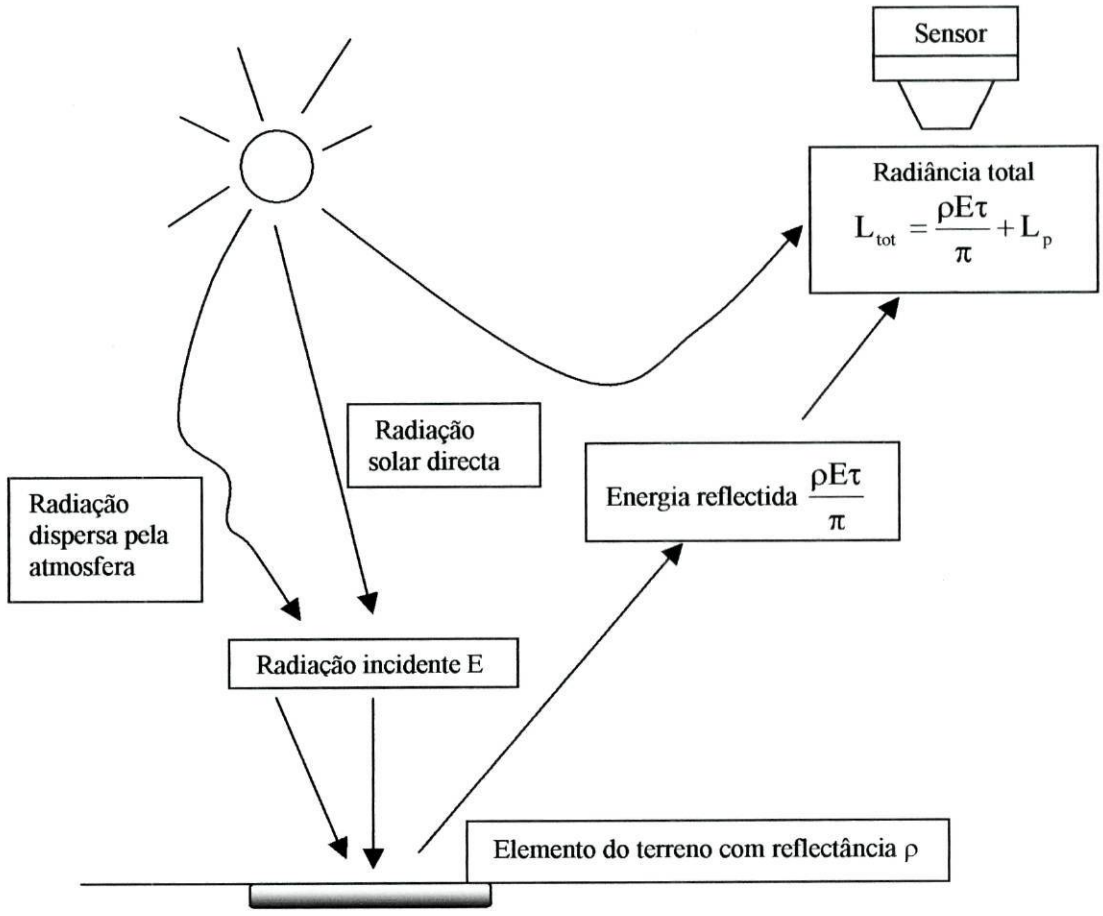


Figura 4.2 - Efeitos atmosféricos que influenciam as medidas da energia solar reflectida

Calibração

Muitas vezes temos imagens que queremos comparar, mas que ou não são do mesmo sensor ou da mesma época. Neste caso deve efectuar-se uma correcção radiométrica absoluta, que consiste na conversão dos valores de DN de cada pixel em valores de radiância absoluta. Esta conversão é uma função linear, designada por função de resposta radiométrica, que pode ser definida pelo seu declive (ganho) e pela sua ordenada na origem (*offset*) (Lillesand and Kiefer, 2000). Estes parâmetros de regressão são designados por coeficientes de calibração do sensor.

Usando esta relação no sentido inverso, é possível para cada valor de radiância, determinar para cada pixel o DN correspondente, sendo designada como resposta radiométrica inversa.

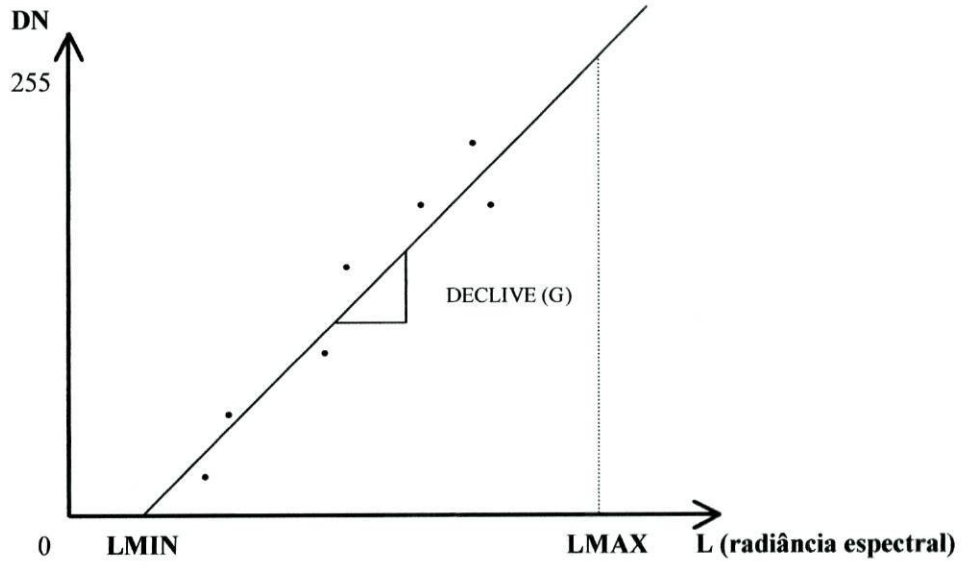


Figura 4.3 - Função de resposta radiométrica para um canal TM
(Lillesand and Kiefer, 1994)

Antes dos sensores serem colocados em órbita são calibrados em laboratório, mas após o lançamento é necessário fazer um ajuste da calibração. Existem vários métodos de calibração pós-lançamento, utilizando alvos com características perfeitamente conhecidas no terreno, como por exemplo, os desertos.

Normalmente, os detectores e os sistemas são desenhados de modo a produzir uma resposta linear à radiação incidente.

Por exemplo, a figura 4.3 mostra a resposta típica para um canal TM. Cada banda espectral do TM tem a sua própria função de resposta.
Recorrendo ainda à figura anterior pode ser observado que uma forma linear de calibração dos dados resulta na seguinte relação entre a radiância e os valores DN (para qualquer canal):

$$DN = GL + B \qquad [4.7]$$

onde,
DN - é o valor digital "armazenado"
G - é o declive da função de resposta (ganho)
L - é a radiância espectral medida
B - é uma constante

O LMIN da figura 4.3 é a radiância espectral com uma resposta de DN zero. O LMAX é a radiância mínima requerida para gerar um DN máximo (255), ou seja, o LMAX representa a radiância de saturação do canal. O intervalo entre LMIN e o LMAX é o intervalo dinâmico para o canal.

A figura 4.4 representa a resposta radiométrica inversa, devido à troca dos eixos na figura 4.3. A equação agora será:

$$L = [(LMAX - LMIN) / 255] * DN + LMIN \qquad [4.8]$$

Esta equação pode ser usada para converter qualquer DN em unidades absolutas de radiância espectral, desde que o LMAX e o LMIN sejam conhecidos (da calibração do sensor).

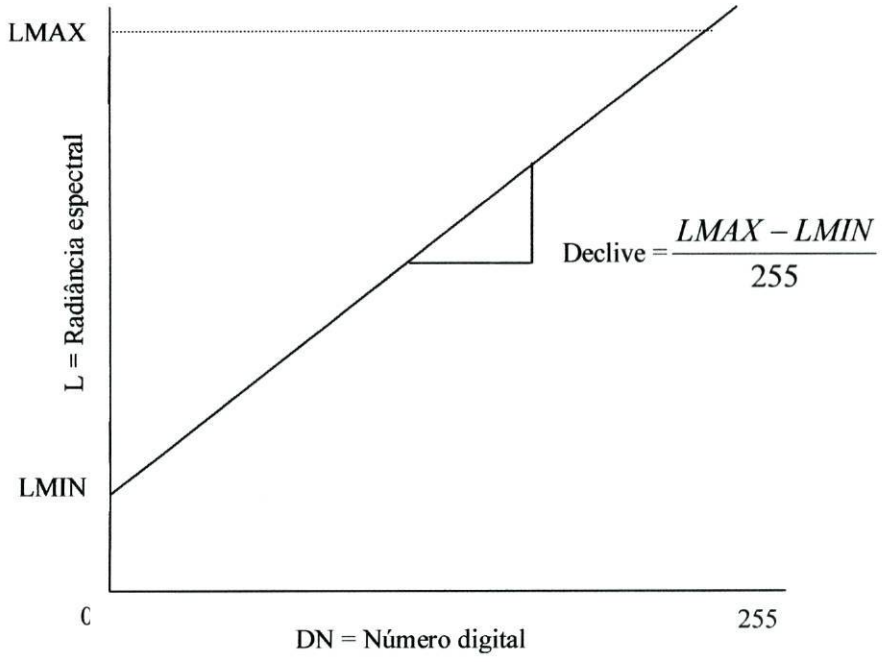


Figura 4.4 - Função de resposta radiométrica inversa para um canal TM (Lillesand and Kiefer, 1994)

Erros instrumentais

Muitas vezes o sistema de detecção remota não funciona de um modo conveniente devido a erros instrumentais, quer na aquisição ou transmissão de dados, causando ruído nas imagens. A aplicação de filtros espaciais pode, em muitos casos, remover o ruído existente numa imagem. Dos filtros espaciais os mais adequados para a remoção do ruído são os filtros passa baixo e filtros de mediana. Estes efeitos devem ser corrigidos antes de qualquer operação de processamento ou realce da imagem. Alguns dos erros mais comuns são:

(A) Efeito "*stripping*"

O efeito de *stripping* ocorria com frequência nas imagens Landsat MSS e era devido a variações na resposta de alguns detectores de determinadas bandas. Vários algoritmos foram desenvolvidos para corrigir este problema, geralmente baseados em análise de histogramas de diferentes linhas de modo a detectar e poder corrigir as linhas correspondentes aos detectores com problemas.

(B) Linhas em falta

A falha de linhas numa imagem é normalmente corrigida substituindo o DN dos pixels dessa linha por exemplo pela média dos DN dos pixels correspondentes nas duas linhas adjacentes. Quando faltam duas ou mais linhas consecutivas, o mesmo princípio pode ser aplicado utilizando uma interpolação linear.

Este problema acontece normalmente devido a problemas de recepção do sinal na estação no solo.

(C) Ruído aleatório

O ruído aleatório é geralmente detectado comparando o DN de cada pixel com o dos pixels vizinhos. Se a diferença exceder um determinado limite, o pixel é identificado como ruído. Este é geralmente eliminado usando filtros passa baixo.

4.2 Realce da imagem

As operações de realce são usadas com o objectivo principal de melhorar a interpretação visual da imagem. Normalmente este processo envolve técnicas que visam aumentar a capacidade de distinguir os elementos numa cena. O objectivo, é assim, criar "novas" imagens a partir da original, de forma a realçar determinado tipo de informação que pode ser visualmente interpretada directamente dos dados.

Entre as várias técnicas usadas para a manipulação do realce das imagens, destacam-se as seguintes: (1) manipulação do contraste; (2) manipulação espacial e (3) manipulação de multiimagens .

4.2.1 Manipulação do contraste

Existem vários processos para realizar a manipulação do contraste, como por exemplo:

Transformação linear do histograma

Trata-se da transformação mais simples para alterar o histograma de uma imagem.

Este tipo de operação consiste em identificar os limites inferior e superior do histograma, geralmente os valores máximo e mínimo e aplicar uma transformação, dilatando esse intervalo, de forma uniforme, de modo a faze-lo corresponder ao intervalo completo ([0,255], no caso de uma imagem de 8 bits).

Isto implica que as zonas mais escuras da imagem vão ficar mais claras e as zonas mais claras vão ficar mais escuras, aumentando o contraste da imagem.

A fórmula para a transformação linear do histograma é:

$$b[m,n] = \left(\frac{a[m,n] - MIN}{MAX - MIN} \right) \cdot 255 \qquad [4.9]$$

onde,

$a[m,n]$ - Número digital atribuído ao pixel na imagem de entrada

$b[m,n]$ - Número digital atribuído ao pixel na imagem de saída

MIN - Valor mínimo da imagem de entrada, a ser atribuído o valor 0, na imagem de saída

MAX - Valor máximo da imagem de entrada, a ser atribuído o valor 255, na imagem de saída

Equalização do histograma

A técnica mais comum de normalização de um histograma é a equalização do histograma, onde, através da função adequada se tenta mudar o histograma original, num histograma que é constante para todos os valores.

A equalização consiste em aplicar uma função não necessariamente linear sobre os valores DN da imagem inicial. Esta função é tal que a distribuição do número de pixels sobre todo o espectro de valores DN possíveis é uniforme. Assim temos uma distribuição onde todos os valores de brilho têm probabilidade igual.

Neste tipo de operações os valores de brilho finais são função da frequência de ocorrência na imagem original. Deste modo é mais realçado o detalhe das zonas da imagem que contêm valores de DN com maior ocorrência na imagem, em detrimento de zonas com valores de DN com pequena ocorrência.

Devido ao carácter discreto de uma imagem digital, na prática não é possível obter uma distribuição uniforme, apenas podemos aproximarmos desse resultado.

Ajuste linear saturado do histograma

O contraste da imagem também pode ser melhorado se se aplicar um processo de saturação dos pixels de DN próximos dos extremos do espectro de valores possíveis. Numa imagem podemos ter apenas uma parte que queremos melhorar, logo as técnicas anteriores não serão as mais adequadas. Assim com vista a aumentar o contraste de uma imagem é possível atribuir, por exemplo o valor 0 aos 10% dos pixels da imagem inicial com menor de valor DN (saturação à esquerda) ou aplicado aos 10% dos pixels de maior valor de DN, atribuindo-lhe o valor 255 (saturação à direita).

$$b[m,n] = \begin{cases} 0 & \text{se} \quad a[m,n] \leq p_{baixo}\% \\ 255 \cdot \dfrac{a[m,n] - p_{baixo}\%}{p_{alto}\% - p_{baixo}\%} & \text{se} \quad p_{baixo}\% < a[m,n] < p_{alto}\% \\ 255 & \text{se} \quad a[m,n] \geq p_{alto}\% \end{cases} \qquad [4.10]$$

onde,

$a[m,n]$ - Número digital atribuído ao pixel na imagem de entrada

$b[m,n]$ - Número digital atribuído ao pixel na imagem de saída

p_{baixo} – DN de saturação à esquerda

p_{alto} – DN de saturação à direita

Level slicing

É uma técnica de realce onde os valores de DN são distribuídos ao longo do eixo do x do histograma de uma imagem e divididos em intervalos (*slices*). Todos os pixels que estão dentro de um intervalo vão ter um mesmo DN na imagem final. O efeito é semelhante ao da criação de curvas de nível em que todos os pixels entre duas curvas possuem o mesmo DN.

É uma técnica que é muito usada na apresentação de imagens de infravermelho térmico de modo a mostrar a gama de temperaturas discretas codificada por níveis de cinzentos ou por cores.

Gray-Level Thresholding

É normalmente usado para segmentar uma imagem em duas classes: uma com os pixels com DN abaixo de um valor limite especificado e outra com os pixels com DN acima desse valor. Esta técnica pode ser usada para criar uma máscara binária para uma imagem. Estas máscaras podem ser usadas para segmentar a imagem em duas classes e aplicar um determinado processamento apenas a uma classe ou zona da imagem.

Esta técnica é baseada num conceito simples. Um parâmetro θ chamado *"brightness Threshold"* é escolhido e aplicado aos DN's de uma imagem, a[m,n], da seguinte forma:

$$\begin{cases} \text{Se} \quad a[m,n] \geq \theta \quad \text{então} \quad a[m,n] = \text{objecto} = 1 \\ \quad \text{senão} \qquad\qquad\quad a[m,n] = \text{fundo} = 0 \end{cases} \qquad [4.11]$$

Neste caso o algoritmo assume que estamos interessados em objectos claros (1) num fundo escuro (0).

Para objectos escuros num fundo claro devemos usar:

$$\begin{cases} \text{Se} \quad a[m,n] < \theta \quad \text{então} \quad a[m,n] = \text{objecto} = 1 \\ \quad \text{senão} \qquad\qquad\quad a[m,n] = \text{fundo} = 0 \end{cases} \qquad [4.12]$$

4.2.2 Manipulação espacial

Os filtros espaciais destinam-se a realçar ou eliminar componentes de uma imagem com base na sua frequência espacial. A frequência espacial está relacionada com a textura. Zonas da imagem com textura rugosa, onde as variações de tom são abruptas numa área pequena, possuem frequências espaciais elevadas. Zonas de textura suave, com pequenas variações de tom ao longo de vários pixels, têm frequências espaciais baixas.

A filtragem espacial é uma operação local em que cada valor do pixel original da imagem é modificado com base nos níveis de cinzento dos pixels vizinhos.

Um dos filtros mais comuns consiste em mover uma "janela" de alguns pixels (ex. 3x3 (figura 4.5), 5x5, etc) sobre cada pixel da imagem, aplicando um cálculo matemático e usando os valores dos DN's dos pixels dessa janela para substituir o DN do pixel central. A janela é movida em ambas as direcções (linhas e colunas) um pixel de cada vez, e os cálculos são repetidos até toda a imagem estar filtrada e a nova imagem estar criada. Logo variando a largura assim como os pesos dos pixels individuais na janela do filtro, obtêm-se filtros que podem ser aplicados para realçar ou "disfarçar" diferentes tipos de elementos.

Existem vários tipos de filtros, destacando-se entre eles dois: (1) passa-baixo; (2) passa-alto.

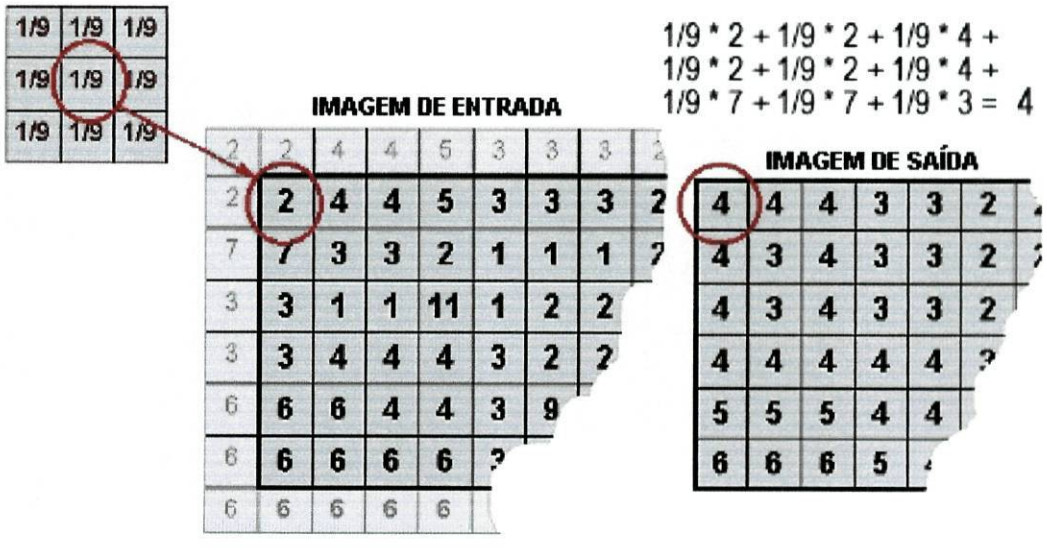


Figura 4.5 - Exemplo de um filtro de janela 3x3

Filtros passa-baixo

Nos filtros passa-baixo ou de suavização, as altas frequências são eliminadas e as baixas frequências são mantidas, destinando-se a realçar zonas grandes de textura suave e homogénea, reduzindo o detalhe local e o ruído da imagem.

Quando usado em dados obtidos por detecção remota suavizam a imagem devido a remover o ruído criado por dispositivos electrónicos, dos filtros passa-baixo podem ser construídos a partir de janelas (matrizes) de diferentes dimensões. Quanto maior for a dimensão da matriz maior será o grau de suavização e o tempo de processamento da imagem. Para uma janela com uma determinada dimensão, o tipo de filtragem depende do peso atribuído a cada elemento da janela (figura 4.6)

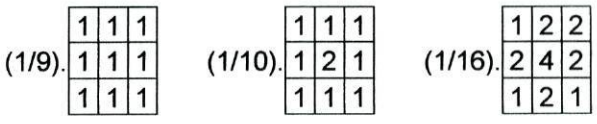


Figura 4.6 - Exemplos de filtros passa-baixo

Filtros passa-alto

Nos filtros passa-alto (figura 4.7) ou de realce, ao contrário dos filtros passa-baixo, as baixas frequências são eliminadas e as altas frequências são mantidas. Devido aos contornos e detalhes de uma imagem serem principalmente uma contribuição das altas frequências presentes na imagem, normalmente estes filtros aumentam o contraste local assim como os detalhes e contornos da imagem. Dentro destes encontram-se os filtros direccionais ou filtros de detecção de contornos, destinados a realçar objectos tais como estradas, fronteiras de campos agrícolas, etc.

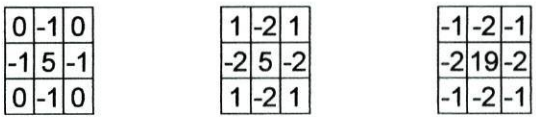


Figura 4.7 - Exemplos de filtros passa-alto

4.2.3 Manipulação multiimagens

Os dados utilizados para a extracção de informação podem ser substituídos ou complementados por dados transformados.

As transformações de imagens envolvem normalmente a manipulação de várias bandas de uma mesma imagem (imagem multiespectral), ou de imagens de diferentes épocas (multitemporal). Estas transformações apresentam algumas vantagens relativamente às imagens originais, dado que possibilitam a redução da redundância de informação presente nos dados originais, o realce de determinados elementos presentes nas imagens, a suavização ou realce das fronteiras entre os diversos tipos de ocupação do solo, entre outras. Existem várias técnicas de manipulação de multiimagens, mas apenas iremos descrever as mais relevantes para este estudo.

Subtracção de imagens

A subtracção de imagens é usada normalmente para identificar alterações que tenham ocorrido entre duas imagens obtidas em diferentes épocas. Tipicamente, são usadas duas imagens que estão geometricamente registradas. Aos valores dos pixels da primeira imagem subtrai-se os valores dos pixels de uma segunda imagem. Para uma melhor distinção do que é mudança, escala-se a imagem resultante através da adição de uma constante.

Este tipo de transformação pode ser útil para fazer mapas de alterações nas zonas urbanas, identificar áreas onde se está a verificar uma desflorestação, etc.

Índices de Vegetação

A divisão de imagens ou divisão espectral é uma das aplicações mais usada em processamento de imagem.

A divisão espectral serve para realçar variações subtis nas respostas espectrais de vários tipos de cobertura da superfície. Fazendo a divisão entre imagens de duas bandas diferentes, são realçadas as variações nos declives das curvas de resposta espectral das duas bandas, que de outro modo poderiam estar escondidas pelas variações de brilho em cada banda.

Pelo facto de se usarem valores relativos em vez de absolutos, a divisão espectral, tem a vantagem de diminuir as variações das condições de iluminação, resultantes do efeito da topografia do terreno, reduzindo assim o efeito do relevo nas imagens. O conceito de divisão espectral é aplicado de uma forma mais complexa, envolvendo também somas e subtracções, no estudo e monitorização de tipos de vegetação. Umas das transformações mais comuns nos estudos de vegetação consiste no cálculo de índices de vegetação.

Desde a década de 1960, cientistas têm extraído e modelado várias variáveis biofísicas da vegetação, usando dados de detecção remota (Jensen, 2000). Muito desde esforço tem ido para o desenvolvimento de índices de vegetação.
Os índices de vegetação, são um caso particular de quocientes de bandas. O objectivo da aplicação de índices de vegetação consiste em reduzir a totalidade dos dados a uma única imagem que avalie ou estime as características da cobertura vegetativa.

Os métodos de obtenção de informação quantitativa sobre vegetação a partir da informação espectral podem consistir em modelos físicos sobre a interacção entre a radiação electromagnética e as plantas ou serem desenvolvidos empiricamente. Tal é o caso dos índices espectrais de vegetação que constam em combinações matemáticas da informação proveniente de duas ou mais bandas do espectro, em geral do vermelho e do NIR. Estas combinações fazem realçar o sinal espectral oriundo da vegetação em relação ao dos objectos envolventes nomeadamente o solo.
Estes índices operam normalmente realçando o contraste entre a forte absorção no vermelho devida à clorofila e grande reflectividade no NIR, sempre presente na vegetação, mas que varia com o tipo de vegetação dependendo do seu grau de maturidade, textura das folhas, etc.

Os índices de vegetação desenvolvidos na década de 70, baseados em bandas discretas do vermelho e NIR, podem ser classificados de uma maneira geral em duas categorias: baseados em quocientes ou ortogonais (Lunetta and Elvidge, 1999). Nos índices baseados em quocientes, existe uma migração convergente para a origem, com a diminuição da quantidade de vegetação, resultando o valor do índice simples quociente ou de uma combinação linear, sendo exemplo disso o Normalized Difference Vegetation Index (NDVI).

Os do tipo ortogonal como por exemplo o *Perpendicular Vegetation Index* (PVI) têm um cálculo mais complexo e não têm um uso tão difundido. Mais recentemente surgiram vários índices de vegetação híbridos, como por exemplo o Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI).

Os índices de vegetação podem ser calculados a partir de valores de voltagens no sensor, de números digitais, de radiâncias ou de reflectâncias no topo da atmosfera ou à superfície. Qualquer uma das opções anteriores é possível, mas produzem resultados diferentes para a mesma superfície.

Existem mais de 20 índices de vegetação a serem usados (Jensen, 2000). No quadro 4.1 estão indicados alguns desses exemplos.
O índice *Simple Ratio* (SR), (descrito por Birth and McVey, 1968) foi um dos primeiros índices de vegetação a ser criado. Neste índice verifica-se que à medida que a quantidade de vegetação aumenta, a reflectividade no vermelho diminui, aproximando-se de 0, logo para termos valores fidedignos deste índice, os valores obtidos para as duas bandas usadas (NIR e vermelho) terão de ser muito precisos.

Com o aparecimento do índice NDVI (criado por Rouse et al., 1974), deixamos de ter uma gama de valores infinitos (como tínhamos no índice SR) e passamos a ter valores no intervalo entre [–1, 1].
O índice NDVI é um dos índices mais utilizados, tendo a vantagem de minimizar o efeito da topografia e da iluminação.

Richardson and Wiegand (1977) baseando-se na existência de uma "linha do solo" no espaço espectral vermelho-NIR, desenvolveram o PVI. No quadro 4.1 é apresentado o PVI baseado nas banda 4 e 2 do MSS.

O SAVI introduz um factor L de calibração, em relação ao índice NDVI, para minimizar o efeito do solo resultante das interacções espectrais de primeira ordem entre o solo e as plantas (Huete, 1988). Este factor varia inversamente com a densidade das espécies vegetais, desde 0 a um 1. Na ausência de conhecimento é normalmente usado o valor 0.5.

O índice *Atmospherically Resistant Vegetation Index* (ARVI) é uma melhoria do índice NDVI. Considera-se que é mais resistente ao efeito atmosférico pois faz uso da informação da banda azul (Kaufman and Tanré, 1992). O factor γ é um factor de auto-correcção do efeito atmosférico e depende do tipo de aerossóis presentes na atmosfera. O valor de γ pode ser considerado 1 quando não existem dados atmosféricos.

Quadro 4.1 - Índices de vegetação

INDICE	EQUAÇÃO	REFERÊNCIA
Simple Radio (SR)	$SR = \frac{NIR}{RED}$	Birth and McVey, 1968.
Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$	Rouse et al., 1974.
Perpendicular Vegetation Index (PVI)	$PVI = \sqrt{(0.355_{mss4} - 0.149_{mss2})^2 + (0.355_{mss2} - 0.852_{mss4})^2}$	Richardson and Wiegand, 1977.
Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)	$SAVI = \frac{(1+L)(NIR - RED)}{NIR + RED + L}$	Huete, 1988.
Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI)	$ARVI = \left(\frac{NIR - RB}{NIR + RB}\right)$ onde, $RB = RED - \gamma(BLUE - RED)$	Kaufman and Tanré, 1992.

Análise das componentes principais

A análise das componentes principais é uma técnica de transformação poderosa para a extracção de informação em detecção remota, para análise de dados multiespectrais e multidimensionais (Lillesand and Kiefer, 1994). Tem por objectivo a remoção ou redução da redundância presente nos dados multiespectrais. Pode ser utilizada como uma operação de realce antes da interpretação visual dos dados, ou como um processo de pré-processamento antes da classificação. A aplicação de uma análise de componentes principais, permite melhorar a expansão dos dados espectrais, uma vez que os redistribui por um conjunto de eixos no espaço multidimensional, proporcionando a diferenciação máxima do comportamento dos dados.

A componente de primeira ordem traduz as características principais de toda a informação presente nas bandas originais, produzindo uma imagem de grande definição. As componentes de ordem superior exprimem derivações de vários tipos, enfatizando sucessivamente diferentes respostas espectrais entre as bandas e sublinhando a informação não correlacionada que é redistribuída apenas num ou dois conjuntos de bandas. As componentes de ordem superior são muito úteis na discriminação de elementos específicos, os quais não são realçados nos eixos de componentes inferiores.

4.3 Classificação

O objectivo da classificação de imagem é agrupar de forma automática todos os pixels de uma imagem em conjuntos de classes ou temas de cobertura da superfície (Lillesand and Kiefer, 1994). A classificação digital de imagem usa a informação espectral representada pelo DN de cada pixel numa ou várias bandas para classificar cada pixel individualmente. Este tipo de classificação é designado por reconhecimento espectral de padrões. A imagem resultante é assim constituída por um mosaico de pixels, cada um deles pertencendo a uma classe ou tema particular, sendo essencialmente um mapa temático da imagem original.

Existem dois tipos de classes: as classes de informação que são as categorias de interesse que o analista pretende realmente identificar na imagem, tais como diferentes tipos de culturas, de espécies vegetais, de rochas e as classes espectrais que são grupos de pixels com valores de brilho similar nas várias bandas.

O objectivo da classificação é estabelecer a correspondência entre as várias classes espectrais e as classes de informação de interesse. Raramente esta operação se torna simples, pois normalmente surgem classes espectrais que não correspondem propriamente a classes de informação com interesse para o utilizador. Por outro lado, uma única classe de informação, por exemplo floresta, pode corresponder na imagem a várias sub-classes com variações espectrais únicas. No caso de zonas de floresta, as diferentes sub-classes espectrais podem ser devidas a variações na idade, espécie, densidade ou condições de iluminação.

É da responsabilidade do analista decidir a utilidade de diferentes classes espectrais e suas correspondências com classes de informação úteis.
A processo de classificação pode ser dividido em dois tipos: (1) classificação supervisionada e (2) classificação não supervisionada.

4.3.1 Classificação supervisionada

Na classificação supervisionada, a identificação e localização de alguns tipos de cobertura do solo, como por exemplo urbano, agrícola, florestal, são conhecidos a priori, através da combinação de trabalho de campo, análises de fotografias aéreas, mapas, e experiência pessoal. O analista identifica na imagem zonas homogéneas representativas de diferentes tipos de ocupação do solo (classes de informação) de interesse. Estas áreas são normalmente designadas como áreas de treino, devido às características espectrais destas áreas serem utilizadas para o treino do algoritmo de classificação, para uma eventual construção de um mapa. Estatísticas multivariadas de parâmetros (média, desvio padrão, covariância de matrizes, correlação de matrizes, etc.) são calculadas para cada área de treino. A selecção apropriada de áreas de treino é baseada na familiaridade do analista com a área geográfica e conhecimento actual dos tipos de ocupações da superfície. Assim, o analista está a supervisionar as categorias de um conjunto específico de classes.
A informação numérica em todas as bandas espectrais para todos os pixels que estão englobados nessas áreas são usados para "treinar" o computador a reconhecer áreas espectralmente similares para cada classe. O computador usa um programa especial ou algoritmo, para determinar o valor numérico da assinatura para cada classe de treino.

Logo que o computador tenha determinado as assinaturas para cada classe, procede-se à classificação supervisionada da informação sobre aquela zona da imagem, isto é, cada pixel na imagem é comparado com estas assinaturas e rotulado com a classe que está digitalmente mais próxima. O método adoptado é definido pelo operador.
Assim pode por exemplo efectuar estudos multibandas que definam de forma o mais distinta possível os vários elementos.

A associação de um pixel desconhecido a uma dada classe pode ser efectuada através de um dos vários métodos de classificação que existem. A escolha de um desses métodos poderá estar dependente da natureza dos dados de entrada e do produto final desejado.
Os métodos de classificação mais conhecidos e mais usados são (1) Método da Distância Mínima; (2) Método do Paralelepípedo; (3) Método da Máxima Probabilidade.

Os vários métodos usam a descrição dos padrões de resposta espectral das várias categorias feita com base nas áreas de treino.

Método da Distância Mínima – neste método é primeiro determinado o valor espectral médio, em cada banda, de cada categoria. Para cada pixel é calculada a sua distância ao valor médio de cada categoria, sendo classificado como pertencente à classe à qual corresponde a distância mínima. Apesar de ser computacionalmente simples e de conduzir a precisões, para as classificações, comparáveis às obtidas com o algoritmo da máxima probabilidade, este algoritmo é insensível aos diferentes graus de variância na resposta espectral dos dados. Devido a esta limitação, este algoritmo não costuma ser utilizado em casos em que as classes estejam próximas umas das outras espectralmente ou quando o número de amostras de treino não é representativo da variabilidade espectral da classe.

Método do Paralelepípedo - são definidas áreas na imagem ou zonas de decisão, a partir dos valores máximo e mínimo dos valores de DN dos pixels dessa categoria, nas diversas bandas. No caso de sobreposição dos vários rectângulos definidos para as diferentes classes, o método pode ser melhorado modificando a forma dos rectângulos de modo a formar mosaicos que não se intersectem.

Método da Máxima Probabilidade - assume que a distribuição dos dados espectrais que caracterizam uma dada classe é normal (distribuição gaussiana). Com base nos parâmetros estatísticos, nomeadamente a variância e a covariância dos padrões da resposta espectral de cada classe em cada banda é definida uma função densidade de probabilidade para cada classe. As funções densidade de probabilidade são usadas para classificar um pixel desconhecido através do cálculo da probabilidade de o valor desse pixel pertencer a cada uma das classes consideradas, sendo este associado à classe mais provável ou permanecendo desconhecido quando valores de probabilidade forem todos inferiores ao limiar estabelecido pelo analista. Este algoritmo é o mais lento dos três, do ponto de vista computacional, mas também é o mais preciso, especialmente quando se tem um número elevado de classes ou bandas.

4.3.2 Classificação não supervisionada

No caso da classificação não supervisionada não existem áreas de treino pré-definidas e o computador limita-se à identificação e separação de possíveis elementos da imagem por análise da informação multibandas existente, dando um relatório final dos resultados da análise feita.

De certa forma a classificação não supervisionada usa um processo inverso ao da classificação supervisionada. Primeiro as classes espectrais são agrupadas somente com base na informação numérica da imagem e são posteriormente associadas a classes de informação.

Na classificação não supervisionada o analista tem geralmente de especificar o número de classes ou "clusters" que vai procurar na imagem. Parâmetros pedidos podem ser também a distância entre os vários clusters e a variância dentro de cada cluster. O processo de classificação é normalmente iterativo. Numa dada fase alguns dos clusters podem ser agrupados ou separados.

Os resultados de uma classificação não supervisionada de uma imagem podem ser analisados por comparação das categorias atribuídas a alguns dos pixels com a informação existente relativa aos elementos a que estes realmente pertencem. As diferenças encontradas são normalmente apresentadas sob a forma das chamadas matrizes de confusão ou matrizes de erro.
Assim a classificação não supervisionada não é totalmente dependente da intervenção humana. No entanto, não começa com um conjunto de classes pré-determinadas como na classificação supervisionada.

Existem vários algoritmos usados na classificação não assistida, nomeadamente: (1) *Isodata* e (2) *K-means*.
O algoritmo *Isodata* opera em dois passos. Num primeira parte, o programa lê os dados imagem e constrói, sequencialmente, os agregados (*clusters*) de pixels. Cada pixel da imagem é transferido para o agregado, cujo vector médio esteja mais próximo do pixel em causa. Quando todos os pixels estiverem classificados, são calculados os vectores médios associados a cada agregado. Num segundo passo, os agregados que representam os diversos tipos de cobertura do terreno são combinados, sendo desenvolvidas estatísticas de

treino para todas as classes, as quais são depois usadas para classificar toda a imagem com base num classificador. Por fim, o analista determina o tipo de cobertura no terreno a associar a cada grupo espectral, comparando a imagem classificada com os dados de referencia do terreno.

O algoritmo *K-means*, aceita do analista o número de clusters a serem utilizados nos dados. A seguir o algoritmo procura, a posição dos centros dos clusters num espaço mensurável. Cada pixel de cada imagem é então colocado no *cluster* cujo vector da média arbitrário está mais perto. Depois de todos os pixels estarem classificados, desta forma, vectores média corrigidos são calculados para cada *cluster*. Os vectores média corrigidos são usados então como base para reclassificar os dados da imagem. Este procedimento continua até não existir nenhuma mudança significativa de localização da classe média de vectores entre sucessivas iterações do algoritmo. Uma vez chegado a este ponto, a análise determina a identidade da cobertura do solo para cada classe espectral.

4.3.3 Avaliação da precisão da classificação

Esta é uma área que tem recebido uma crescente atenção pelos especialistas em detecção remota. Não podemos apenas produzir mapas, também é preciso validar esses mesmos mapas, atribuindo um índice de fidelidade e verificar se os objectivos de análise foram alcançados. A classificação não está completa até a sua precisão estar avaliada (Lillesand and Kiefer, 1994)

Para realizar correctamente a avaliação da precisão da classificação é necessário comparar duas fontes de informação: (1) o mapa derivado da classificação e (2) o que chamamos informação de referência (Jensen, 1996).
Um dos métodos mais comuns para expressar esta relação é a matriz de confusão ou tabela de contingência.

Amostra

O número exacto de pixels necessários como referência para avaliar a precisão individual de cada categoria no mapa da classificação de detecção remota, é muitas vezes difícil de determinar. Alguns analistas usam uma equação baseada na distribuição binomial ou aproximação normal à distribuição normal para determinar o tamanho mínimo da amostra.

Estas equações são baseadas na proporção de amostras classificadas correctamente (ex., pixels, clusters, polígonos) e num valor do erro admissível. Por exemplo (Fitzpatrick, 1981) sugere que o tamanho da amostra N a ser usado para avaliar a precisão da classificação do uso do solo seja determinada pela fórmula da teoria da probabilidade polinomial:

$$N = \frac{K^2 \cdot p \cdot q}{E^2} \qquad [4.13]$$

onde N é o número ideal de amostras, p a percentagem da precisão esperada, q=100-p, E o erro admissível e K é uma constante determinada a partir do desvio padrão da amostra para um determinado nível de confiança.

Lillesand and Kiefer (1994) sugerem que deverá haver pelo menos um número mínimo de 50 pixels para cada classe. Se a área for muito grande ou a classificação tiver muitas classes essa amostra deverá aumentar para 75 ou 100 pixels por classe.

O número de classes pode também ser ajustado baseado na importância relativa de cada categoria dentro dos objectivos do projecto ou na inerente variabilidade de cada categoria. Assim poderá ser útil tirar poucas amostras em categorias com pouca variabilidade, como a água, e aumentar as amostras em categorias com mais variabilidade, como florestas com diferentes anos.

Matriz de confusão

Nas matrizes de confusão ou tabelas de contingências, a classe associada a cada uma das observações é comparada com a correspondente cobertura do solo real derivada da interpretação de fotografias aéreas, de dados recolhidos no terreno ou mapas já existentes. Estas matrizes têm a forma quadrada m x m, sendo m o número de classes representadas no mapa. As colunas dessa matriz representam os dados de referência e as linhas representam o resultado da classificação. Os elementos da diagonal da matriz representam a frequência de concordância entre a classificação e os dados de referência, ou seja, o número de pixels correctamente classificados. Os elementos que estão fora da diagonal representam os erros de comissão e omissão.

A informação da matriz de confusão pode ser avaliada usando (1) estatísticas descritivas simples e/ou (2) técnicas estatísticas de análise discreta multivariada (Jensen, 1996).
Nas estatísticas descritivas simples podemos calcular:

A precisão global - obtida dividindo o número total de pixels correctamente classificados (isto é, a soma da diagonal principal) pelo número total de pixels de referência.

A precisão do produtor - resulta da divisão do número de pixels correctamente classificados em cada categoria (diagonal principal) pelo número de pixels de treino usados para cada categoria (total de cada coluna). Esta precisão está directamente associada ao erro de omissão. Este tipo de erros ocorre quando um pixel pertencente a uma dada classe existente no terreno é incorrectamente classificado na imagem.

A precisão do utilizador - divide-se o número correcto de pixels classificados em cada categoria pelo número total de pixels de cada categoria. Esta precisão está directamente relacionada com o erro de comissão. Este tipo de erros ocorre quando na imagem classificada existem pixels pertencentes a uma dada classe que no terreno não correspondem a essa classe.
Às vezes somos produtores de mapas de classificação outras vezes somos utilizadores. Assim, deveremos sempre fazer o relatório das três medidas de precisão: precisão global, precisão do produtor, e precisão do utilizador, pois nunca sabemos como a classificação pode ser usada (Felix and Binney, 1989).

As técnicas de estatísticas de análise discreta multivariada têm sido usadas, desde 1983 para avaliar a precisão de mapas de classificações derivados de detecção remota e matrizes de confusão, sendo agora são amplamente usados. As técnicas são apropriadas, devido aos dados dos sensores de detecção remota serem discretos em vez de contínuos, e também serem distribuídos de um modo binomial e multinomial em vez de terem uma distribuição normal (Jensen, 1996).

O índice Kappa é uma das técnicas de estatística mais utilizadas na análise discreta multivariada (Congalton and Mead,1983). Este índice apresenta a vantagem de incorporar indirectamente todos os elementos das matrizes de confusão exteriores à diagonal. É calculado normalizando a matriz de erro pelo número de amostras de acordo com a seguinte equação:

$$K = \frac{N\sum_{i=1}^{r} x_{ii} - \sum_{i=1}^{r}(x_{ri} \cdot x_{ci})}{N^2 - \sum_{i=1}^{r}(x_{ri} \cdot x_{ci})} \qquad [4.14]$$

onde N é o número total de elementos da amostra, x_{ii} é o valor na linha *i* coluna *i*, x_{ri} é o total da linha *i*, x_{ci} é o total da coluna *i* e *r* é o número de linhas ou colunas, dado que a matriz é quadrada. Este índice ajusta a percentagem de valores correctos tendo em conta os que seriam originados por uma classificação aleatória (Lillesand and Kiefer, 1994). Torna-se por isso particularmente interessante, porque mesmo um classificador totalmente aleatório produz uma percentagem de valores correctos nas tabelas de contingência.

4.4 Fusão e integração dos dados

Nos princípios da detecção remota analógica em que os dados eram apenas de fotografia aérea, a capacidade de integração de dados de fontes diferentes era muito difícil. Hoje em dia, com a disponibilização de quase todos os dados dos vários sensores em formato digital, a integração de dados é um método comum usado para a interpretação e análise.

Este processo envolve a combinação e fusão de dados de múltiplas fontes no esforço para extrair uma melhor e maior informação. Isso pode incluir dados que são multitemporais, multiresoluções, multisensores, ou do tipo multidados.
A integração de dados da mesma área geográfica pode ser ou não tomada num contexto de Sistema de Informação Geográfica (SIG).

4.4.1 Fusão de dados multitemporais

A fusão de dados multi-temporais pode ser feita de diferentes formas. Uma das operações é a combinação simples de imagens da mesma área obtidas em varias datas, para criar um produto útil para a interpretação visual. Por exemplo, a interpretação das colheitas agrícolas é muitas vezes facilitada através da fusão de imagens obtidas antes e depois da época de crescimento.
Em muitas aplicações o uso de dados multitemporais é necessária para obter resultados satisfatórios de discriminação do tipo de cobertura.

4.4.2 Fusão de dados multiresoluções

A fusão de dados com resoluções diferentes é muito útil para um vasto número de aplicações. A fusão de dados de resolução espacial mais alta com dados de resolução mais baixa pode aumentar significativamente os detalhes espaciais da imagem e realçar a discriminação de elementos. Por exemplo imagens SPOT pancromáticas com 10 metros de resolução espacial podem ser facilmente fundidas com as imagens multiespectrais de 20 metros de resolução. Os dados multiespectrais servem para reter uma boa resolução espectral, enquanto que os dados pancromáticos providenciam uma boa resolução espacial.

4.4.3 Fusão de dados de multisensores

Dados de diferentes sensores, também podem ser fundidos, sendo um bom exemplo a combinação de dados ópticos multiespectrais com imagens de radar. Estas duas representações espectrais da superfície fornecem em geral informação complementar. Os dados ópticos podem fornecer a informação espectral detalhada, muito útil para a discriminação entre os tipos de ocupação e uso da superfície, enquanto que as imagens de radar realçam o detalhe da estrutura da imagem.

Na figura 4.8 é apresentado um bom exemplo como a fusão de vários sensores pode resultar num produto de imagem composta que oferece uma maior interpretação do que uma imagem de apenas um sensor.

Sensores utilizados na figura 4.8: (1) SPOT HRV banda 2 (vermelho), aparece a azul; (2) SPOT HRV banda 3 (NIR), aparece a verde; (3) Landsat TM banda 5 (MIR), aparece a vermelho; (4) Ortofotomapa; e (5) Sobreposição de áreas fronteiras de quintas escolhidas através de um SIG.

Figura 4.8 - Imagem composta com dados obtidos por diferentes sensores (Lillesand and Kiefer, 1994)

4.4.4 Fusão de multidados

Provavelmente uma das formas mais usadas para a fusão de dados no processamento digital de imagem é o registo de imagens com outros tipos de dados, como por exemplo: tipo de solos, altimetria, etc.

O único requisito é que os dados que não são imagens sejam georeferenciados usando o mesmo sistema de referência geográfica da imagem. Geralmente, apesar de não ser necessário, a fusão costuma ser feita num ambiente de SIG.

Por exemplo, dados de elevação digital, chamados Modelos Digitais do Terreno (MDT), podem ser combinados com dados da detecção remota para uma variedade de propósitos. Os MDT´s podem ser úteis para a classificação de imagens, correcção de efeitos devido ao terreno e à variação da inclinação, potenciando o aumento da precisão resultante da classificação. Os MDT´s são também muito úteis para gerar perspectivas tridimensionais ao projectar imagens de detecção remota sobre dados de elevação, aumentando a qualidade de visualização da imagem.

4.4.5 Incorporação de dados SIG

Sistemas de Informação Geográfica (SIG), são sistemas computadorizados que gravam, armazenam, e analisam informação acerca das características da superfície terrestre. Um SIG pode gerar imagens de uma área a duas ou três dimensões, mostrando características naturais como montes e rios e características artificiais como estradas e linhas de electricidade.

Muitas bases de dados de SIG consistem em séries de informação chamados níveis (*layers*). Cada nível representa um tipo particular de dado geográfico. Por exemplo, um nível pode incluir informação de ruas de uma área, outro nível pode conter informação do tipo de solo da área, enquanto que outro pode ter informação altimétrica. O SIG pode combinar estes três níveis numa imagem, mostrando como as estradas, solo, e elevação se relacionam umas com as outras. Técnicos podem usar esta imagem para determinar se uma parte da rua, em particular, tem mais possibilidades de ruir. Um SIG pode ter um número elevado de níveis.

Um SIG é desenhado para aceitar dados geográficos de várias fontes, incluindo mapas, satélites, fotografias, texto e estatísticas. São programados por operadores de modo a processar a informação e produzir as imagens ou informação requerida pelos utilizadores.

As aplicações de um SIG são vastas e continuam a aumentar. Ao usar um SIG os cientistas podem investigar as mudanças no ambiente; engenheiros podem desenhar sistemas de estradas; companhias de electricidade podem gerir as suas complexas redes de linhas eléctricas; esquadras de polícias e quartéis de bombeiros podem planear caminhos de emergência. Muitos negócios privados estão a começar a usar um SIG para planear e melhorar os seus serviços.

A combinação de informação de diferentes tipos e de diferentes fontes, como vimos atrás, é a fase final da integração e análise de dados de detecção remota. No ambiente digital onde todos os dados estão geometricamente registrados a uma base geográfica comum, o potencial de extracção de informação é extremamente vasto. Este é o conceito de análise que está por de trás de uma base de dados digital de um SIG. Qualquer fonte de dados que pode ser georeferenciada pode ser integrada neste tipo de ambiente. O MDT é apenas um exemplo deste tipo de dados.

Outros exemplos podem incluir mapas digitais de tipos de solos, classes de ocupação do terreno, espécies florestais, redes de estradas, e muitos outros dependendo das aplicações. Os resultados de uma classificação de dados da detecção remota, em formato digital, pode ser usada num SIG como outra fonte de dados para, por exemplo, actualizar uma mapa existente. Resumindo, ao analisar os diversos tipos de dados em conjunto, é possível extrair informação melhor e de um modo mais preciso do que utilizando apenas uma única fonte de dados.

O governo Canadiano construiu o primeiro SIG, o Sistema de Informação Geográfica Canadiano, durante os anos 60, para analisar os dados obtidos pelo *Canada Land Inventory*. Outros governos e laboratórios de Universidades cedo construíram sistemas similares. No entanto, os sistemas SIG só começaram a ser usados com frequência nos anos 70, quando as melhorias tecnológicas e computadores de baixos custos se tornaram disponíveis. As vendas de SIG registaram um "boom" durante os anos 80, à medida que os governos e negócios foram encontrando mais usos para estes sistemas. No princípio dos anos 90, cerca de 100000 sistemas SIG estavam operacionais.

4.5 Modelação biofísica

O objectivo da modelação biofísica é relacionar quantitativamente os dados digitais obtidos por um sistema de detecção remota com elementos biofísicos e fenómenos medidos no solo. Por exemplo, dados de detecção remota podem ser usados para estimar vários parâmetros como produções de colheitas, concentração de poluição, ou profundidade da água.

A detecção remota tem sido usada intensivamente no domínio da modelação biofísica. Em geral podem usar-se três tipos de abordagem para relacionar os dados digitais de detecção Remota com as variáveis biofísicas:

- Modelação Biofísica
- Modelação Empírica
- Combinação das técnicas de Modelação Biofísica e Empírica

Na modelação biofísica, a análise dos dados tenta representar matematicamente todos os parâmetros que afectam as características radiométricas dos dados de detecção remota (exemplo: distância Terra-Sol, elevação solar, efeitos atmosféricos, ganho e *offset* do sensor). Alternativamente a modelação empírica pode ser aplicada. Nesta abordagem, a forma da relação entre os dados de detecção remota e os dados do terreno é calibrada pela inter-relação de pontos coincidentes observados. Regressões estatísticas são utilizadas muitas vezes neste processo. A terceira aproximação consiste na combinação das técnicas de Modelação Biofísica e Empírica (exemplo: conversão dos DNs para valores absolutos de radiância antes de relacionados com os valores medidos no terreno).

O progresso que é possível obter com a combinação de tecnologias terá um papel de crescente importância na gestão dos recursos, avaliação dos riscos ambientais, previsão e análise dos impactos das mudanças ambientais globais.

5 Caracterização da área de estudo

5.1 Critérios utilizados

A escolha da área de estudo obedeceu à conjugação de vários factores. Pretendeu-se escolher um concelho que tivesse uma área pequena, com terrenos pouco acidentados para tentar minimizar o efeito do relevo e que tivesse grandes manchas florestais. Olhando para o nosso país, uma zona que reunia estas características era a Beira-litoral. Foi assim escolhido um conjunto multitemporal de imagens Landsat (*row 204, path 32*), que abrangiam essa mesma região.

Com base em dados de altimetria disponíveis no atlas do ambiente, gerou-se um modelo digital do terreno para a Beira Litoral (figura 5.2). Através da Direcção Geral de Florestas obteve-se um mapa de dispersão florestal (figura 5.3) para Portugal Continental. Assim numa primeira aproximação encontraram-se alguns concelhos que se enquadravam nas características pré-determinadas.

Por último tentou-se escolher um concelho para o qual existisse uma série temporal de imagens Landsat isenta de nuvens. Assim, foram analisadas, uma a uma, as 6 imagens (1990 até 1995) que iriam ser utilizadas.
Deste conjunto de factores resultou a escolha do concelho da Mealhada, como um dos concelhos que mais se enquadrava dentro dos objectivos deste estudo.

5.2 Localização da área de estudo

A zona do país escolhida para ser implementada a metodologia proposta neste trabalho foi o concelho da Mealhada (figura 5.1).

Localiza-se na zona Centro de Portugal, na Beira Litoral e pertence ao distrito de Aveiro.

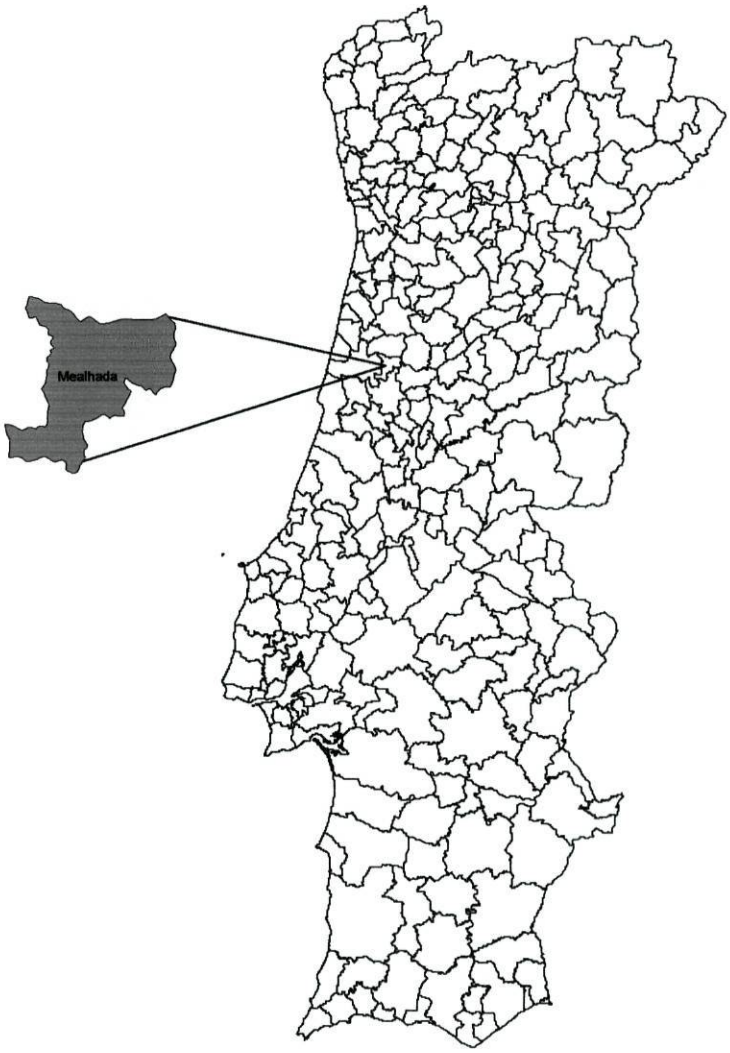


Figura 5.1 - Localização da área de estudo, utilizando o mapa de concelhos de Portugal do atlas do ambiente.

(http://www.atlasambiente.pt)

5.3 Aspectos geológicos e florestais da área de estudo

A região administrativa da Beira Litoral apesar da sua posição, apresenta acentuados contrastes entre a sua fachada litoral e interior. Esses contrastes identificam-se a vários níveis de análise, nomeadamente no que diz respeito aos aspectos geológicos. Desde logo o facto de estarem presentes, lado a lado, duas unidades morfoestruturais muito diferentes – Orla Sedimentar Mesocenozóica e Maciço Antigo Ibérico - faz com que, além da idade, as rochas apresentem sobretudo litologias diferenciadas (Lourenço, 1995).

Naturalmente que as histórias geológicas associadas a rochas tão distintas, em cada uma destas unidades, vão proporcionar formas de relevo bem distintas. Como consequência, a separação entre estas duas unidades é muito nítida, segundo uma linha que, de uma maneira geral, se inicia a Norte em Espinho, passa por S. João da Madeira, Albergaria-a-Velha, Águeda, Anadia, Mealhada, Coimbra, Penela, Alvaiázere e prossegue em direcção a Tomar. A Nascente situa-se o Maciço Antigo e a Poente a Orla Sedimentar.
Como podemos ver na figura 5.2 a Mealhada encontra-se sensivelmente no meio da região administrativa da Beira da Litoral, numa zona de transição entre a planície e a montanha.

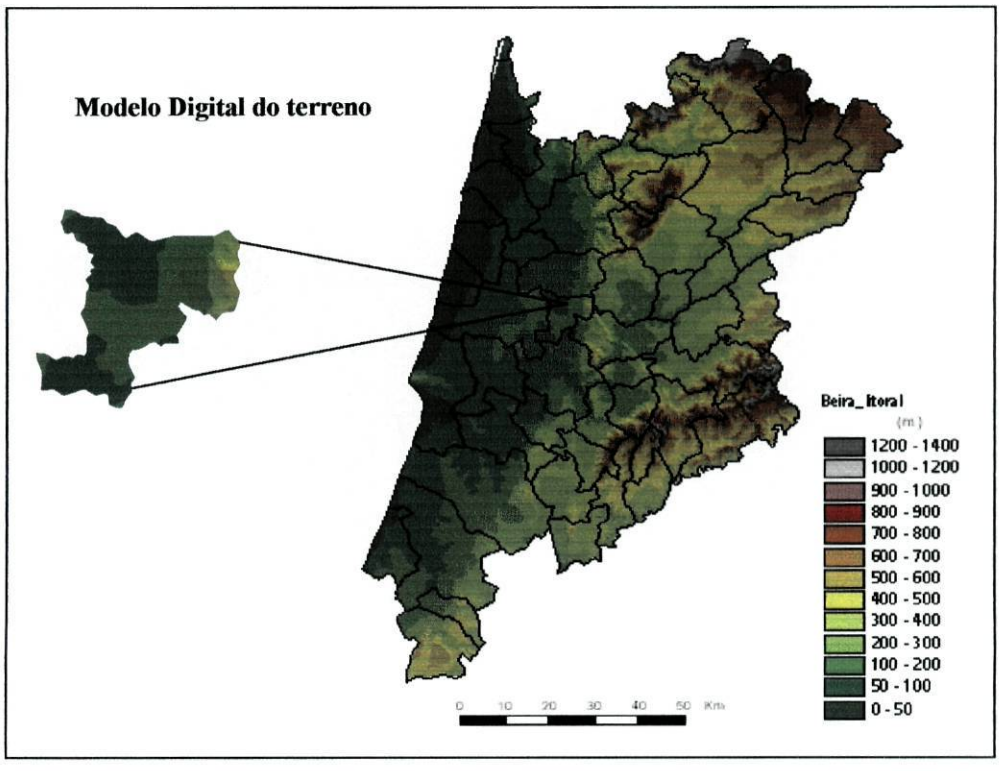


Figura 5.2 - Localização do concelho da Mealhada na Beira Litoral

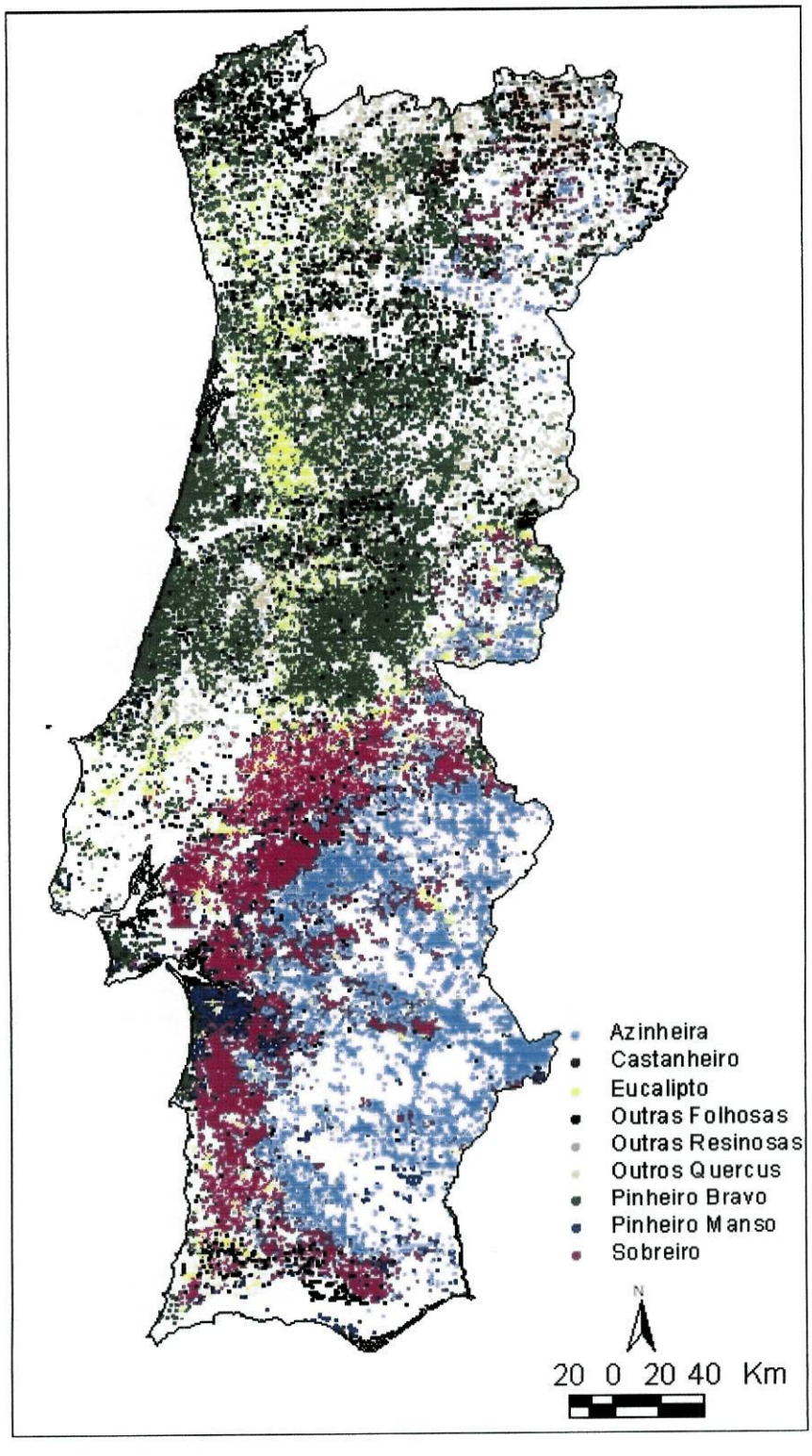


Figura 5.3 - Mapa de dispersão florestal
(http://www.dgf.min-agricultura.pt)

5.4 Enquadramento a nível de concelho da área de estudo

O concelho da Mealhada, que faz fronteira com os concelhos de Cantanhede, Mortágua, Penacova, Anadia e Coimbra (figura 5.4), também é conhecido por estar integrado na região vinícola demarcada da Bairrada. A zona da Bairrada, nome derivado de barro, característico dos solos argilosos desta região (Lourenço, 1995), está situada entre o Vouga e o Mondego, a Oeste do maciço Buçaco-Caramulo, na planície litoral. Abranje os concelhos de Cantanhede, Mealhada e Águeda, bem como as zonas de Souselas, Sangalhos e Vilarinho do Bairro.

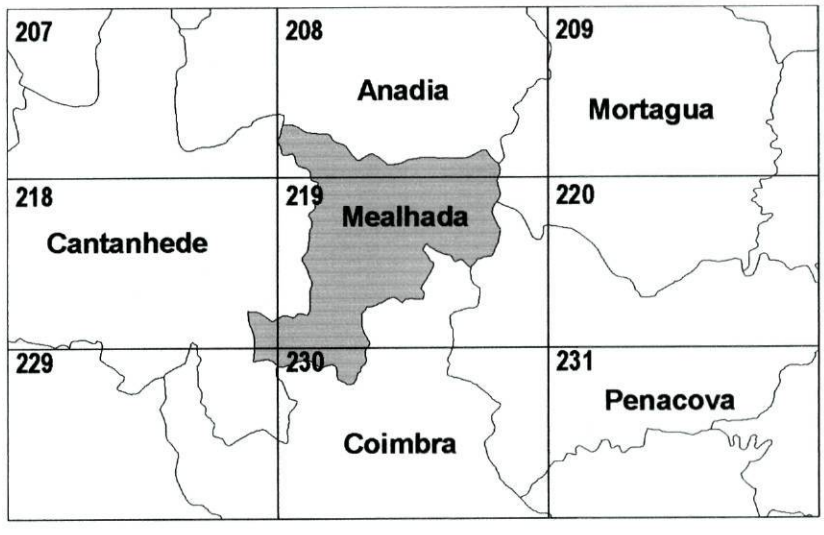


Figura 5.4 - Enquadramento da área de estudo nas folhas topográficas 1:25000 (Série-M888)

6 Metodologia para a criação do COS91

Neste capitulo é descrita a metodologia desenvolvida para a detecção de alterações de ocupação do solo e sua aplicação para a criação do COS91, para o concelho da Mealhada.
A metodologia adoptada consiste num conjunto de operações que, do ponto de vista prático, podem ser separadas em dois grandes grupos:
- Operações de processamento e manipulação de imagens, realizadas no *software* de processamento de imagem *PCI;*
- Operações de integração, segmentação e fusão de dados realizadas em ambiente SIG.

Diversas secções ao longo deste capítulo apresentam de forma sequencial as várias etapas do processamento, desde a selecção da informação até à criação do COS91 para a zona do concelho da Mealhada.

6.1 Imagens e *software* utilizados

Neste estudo recorreu-se à utilização de dois tipos de imagens: (1) Imagens de satélite e (2) ortofotomapas.
As imagens de satélite, são do Landsat 5 -TM *(path:204;row:32)* e foram adquiridas entre 1990 e 1995. Os ortofotomapas são de 1995 e foram produzidos à escala 1:40000.
Esta informação foi providenciada pelo CNIG ao abrigo do protocolo DEMETER e da colaboração no projecto ACTUS100.

Na realização deste trabalho recorreu-se à utilização de diversos *softwares*, sendo de destacar dois deles: *PCI Works V6.3.0* no capítulo de processamento de imagem e o *ArcView 3.2* e respectivas extensões no capítulo de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). No âmbito deste trabalho, foram ainda desenvolvidas um conjunto de aplicações para manipulação de dados em ambiente SIG.

6.2 Correcção geométrica e correcção radiométrica

6.2.1 Correcção geométrica

Todas as imagens de satélite foram corrigidas de modo a eliminar as distorções geométricas e também para as refererenciar ao sistema de coordenadas escolhido, o sistema Hayford-Gauss, datum Lisboa. Os PCT's foram extraídos das folhas da carta (1:25000), usando elementos, como intersecções de estradas, interfaces de terra/água, etc. Para função de transformação utilizou-se um polinómio de grau 2. No processo de reamostragem o método utilizado foi o do vizinho próximo, a fim de manter o valor original do brilho. Todas as imagens foram reamostradas com um pixel de 25m.

No quadro 6.1 são apresentados os erros médios quadráticos e o número de pontos de controlo para cada imagem utilizada. Os valores resultantes da georeferenciação são bons, uma vez que o um erro médio quadrático dos desvios, para cada uma das imagens, inferior a uma unidade de pixel.

Quadro 6.1 - Georeferenciação das Imagens Landsat 5-TM (*path:204;row:32*)

Data de aquisição	PCT´s usados	Erro Médio Quadrático
04-05-90	50	0.66 pixel
26-07-91	43	0.63 pixel
12-07-92	42	0.59 pixel
16-06-93	64	0.68 pixel
29-04-94	61	0.70 pixel
05-07-95	69	0.70 pixel

6.2.2 Correcção radiométrica

Neste trabalho pretende-se comparar imagens obtidas pelo mesmo sensor, em épocas diferentes e detectar alterações verificadas entre as épocas de aquisição. Para que essa comparação seja possível é necessário efectuar a correcção radiométrica das imagens. Esta operação, pretende minimizar as diferenças radiométricas entre imagens multitemporais, resultantes da variação das condições de aquisição.

Uma normalização radiométrica precisa é essencial quando se pretende usar imagens de diferentes épocas, para detectar alterações (Heo and Fitzhugh, 2000). Uma vez que se pretende determinar alterações é possível adoptar um método de normalização relativa, em vez de um método de normalização absoluta.

Existem vários métodos empíricos para a realização do processo da normalização relativa: (1) método gaussiano (Singh, 1989), (2) método determinístico (Eckland et al., 1990) e (3) regressão linear (Wessman, 1987).

Segundo Heo and Fitzhugh (2000), os métodos de normalização relativa conduzem em geral a bons resultados desde que seja possível identificar nas imagens das várias épocas um conjunto de alvos com as seguintes características:

- Possuírem aproximadamente a mesma altitude, de preferência em zonas planas;
- A sua reflectância não deve variar com o tempo;
- Estarem bem distribuídos no intervalo de valores de DN presentes na imagem:
- Serem identificáveis nas imagens das várias bandas.

Dadas as características da zona em estudo, a escolha destes alvos revelou-se uma tarefa extremamente difícil. Embora tenham sido identificados alguns alvos verificou-se que todos eles pertenciam a uma banda relativamente estreita do espectro.

Por estes motivos adoptou-se um outro método de calibração radiométrica relativa que consistiu na conversão dos DN's de cada imagem em unidades de reflectância no topo da atmosfera (Caetano et al., 2000)

Esta operação foi efectuada em dois passos. Primeiro os DN's foram convertidos para valores de radiância através dos coeficientes de calibração (anexo B) do sensor obtidos do cabeçalho da imagem e corrigidos através do método de aproximação proposto pelo Centro do Canadá de Detecção Remota, 1999.

A radiância espectral para um dado canal (λ) foi calculada usando a equação,

$$L_\lambda = \quad (DN-B)/G \qquad [6.1]$$

onde,

DN é o valor digital "armazenado"

G é o ganho do canal

L é a radiância espectral medida

B é o "*offset*" do canal

No segundo passo foi efectuada a conversão de unidades de radiância para unidades de reflectância, usando-se a seguinte equação, para cada banda:

$$\rho_\lambda = \frac{L_\lambda \cdot \pi \cdot d^2}{E_{o\lambda} \cdot \cos\theta} \qquad [6.2]$$

ρ_λ - reflectância no topo da atmosfera

L_λ - radiância espectral

$E_{0\lambda}$ - irradiância solar

$\cos\theta$ - coseno do ângulo zenital do Sol

d - distância entre o sol e a Terra em unidades astronómicas

O uso da reflectância no topo da atmosfera em vez dos valores DN originais, permite uma melhor comparação das imagens de diferentes épocas, pois pelo menos uma parte das características da cena especifica, como por exemplo diferenças da geometria de iluminação e características dos sensores, podem entrar em linha de conta no processo.

6.3 Criação do índice de vegetação ARVI

As várias etapas do processo de criação dos índices de vegetação ARVI são apresentadas em forma de fluxograma na secção 6.5.

Numa primeira etapa começou-se por eliminar as áreas que não seriam utilizadas neste estudo.

Usando como máscara o limite do concelho da Mealhada, criaram-se novas imagens utilizando o *software PCI*, para todas as bandas e todos os anos, contendo apenas a informação dentro do limite do concelho. Assim apenas a informação deste concelho será analisada neste estudo. Na figura 6.1 podemos ver um exemplo de uma combinação de bandas 543 da imagem Landsat de 1990 já só com a informação relativa ao concelho da Mealhada.

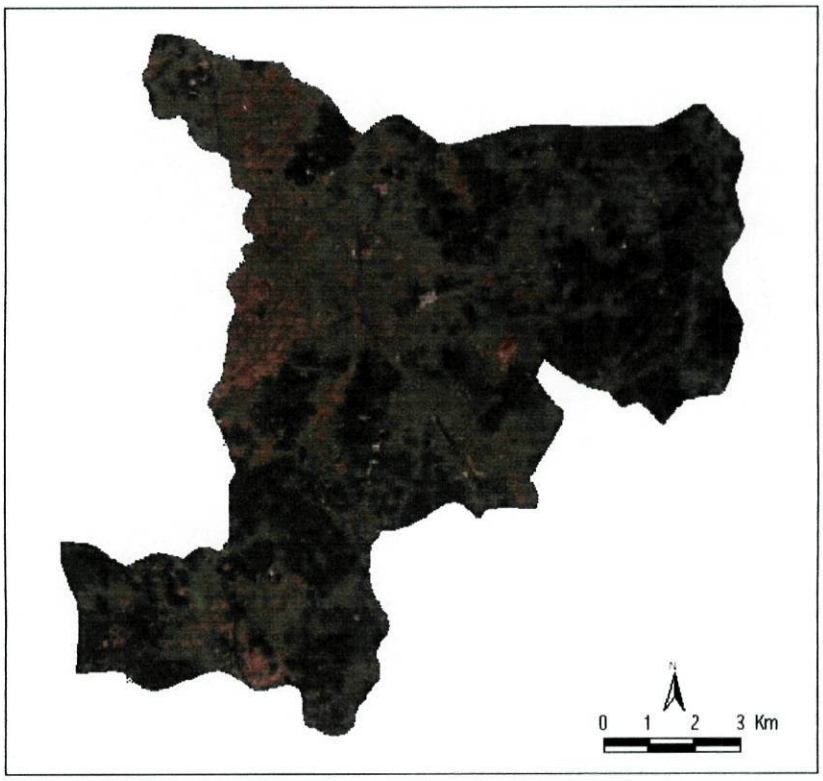


Figura 6.1 - Imagem Landsat de 1990, combinação das bandas TM 543

Já com apenas a área do concelho da Mealhada aplicou-se uma rotina (no *software* PCI) para efectuar a conversão dos valores de DN das imagens para valores de reflectância e criação dos respectivos índices de vegetação ARVI.

Para cada imagem, o índice ARVI é calculado através da expressão,

$$ARVI = \frac{\rho_4 - 2*\rho_3 + \rho_1}{\rho_4 + 2*\rho_3 - \rho_1} \qquad [6.3]$$

em que ρ_i são os valores de reflectância para cada canal i, obtidos através da equação [6.2]. No anexo B são apresentados em quadros com todos os valores necessários para os cálculos, assim como um exemplo de um programa utilizado para o cálculo do índice ARVI, para o ano de 1990 (figura 6.2), não estando presentes os outros devido a serem programas análogos.

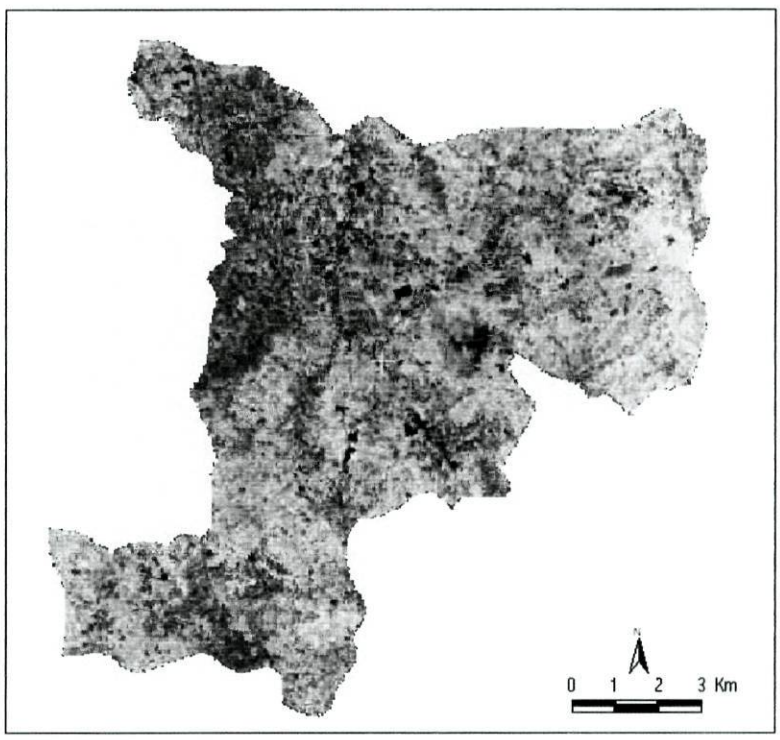


Figura 6.2 - Índice ARVI 1990

Visto que os índices ARVI são valores no intervalo [-1,+1], foram também criadas as imagens correspondentes, para os mesmos anos, com os valores de DN no intervalo [0,255], para ser possível a sua utilização nos algoritmos de classificação. Estes dados serão utilizados na análise temporal, secção 6.7.2.

6.4 Desenvolvimento de um método para detecção de alterações

Existem várias técnicas para detecção de alterações, como por exemplo:

(i) Subtracção de imagens (Weismiller et al., 1977)

(ii) Subtracção de índices de vegetação (Nelson, 1983)

(iii) Análise das Componentes Principais (Singh and Harrison, 1985)

(iv) Análise pós-classificação (Weismiller et al., 1977)

Neste estudo usou-se a técnica de subtracção de índices de vegetação, usando o índice ARVI. Após uma comparação das diferentes técnicas concluíu-se ser a diferença de índices um método adequado aos objectivos deste estudo. A escolha do índice ARVI deve-se ao facto de este índice ser considerado mais resistente aos efeitos atmosféricos por fazer uso da informação da banda azul (Kaufman and Tanré, 1992).

A subtracção de índices de vegetação tem a vantagem se ser um dos métodos mais simples de detecção de alterações. Consiste em efectuar diferenças entre índices de imagens de duas datas, gerando uma nova imagem que contém a diferença dos índices de vegetação respectivos.

No caso em estudo a subtracção de índices de vegetação realizou-se sempre entre anos consecutivos (1991-1990 (figura 6.3), 1992-1991, 1993-1992, 1994-1993 e 1995-1994) respectivamente.

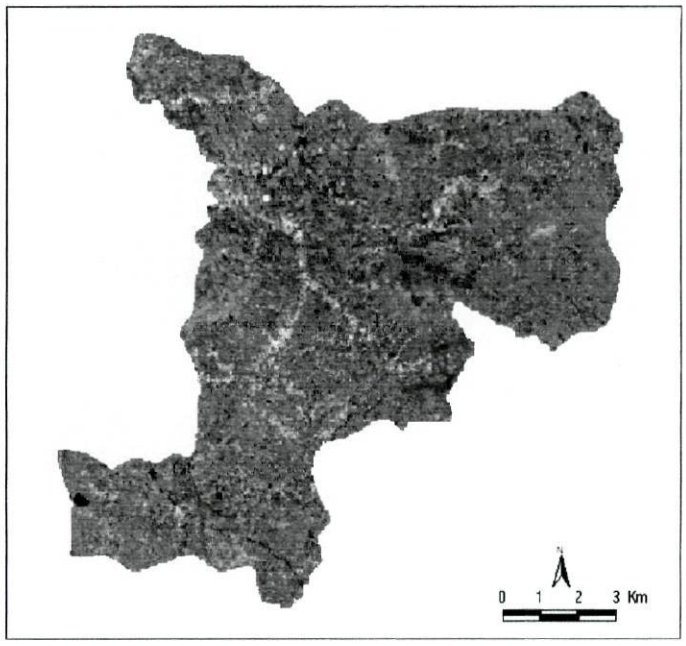


Figura 6.3 - Diferença de índice ARVI (1991-1990)

Um dos grandes desafios dos métodos de detecção de alterações é a discriminação dos pixels, em que houve uma alteração efectiva, dos restantes. Quando olhamos para um histograma de uma diferença de índices ARVI não existem fronteiras nítidas a separar os valores resultantes de áreas de alteração das áreas que não são alteração.

Na figura 6.4 podemos analisar as estatísticas para a diferença de índices ARVI (1991-1990). Com base nestes histogramas, foram calculados os valores da média (μ) e do desvio padrão (σ) das diferenças de índices ARVI, entre todos os anos consecutivos (1990 a 1995). Estes valores estão apresentados no quadro 6.2.

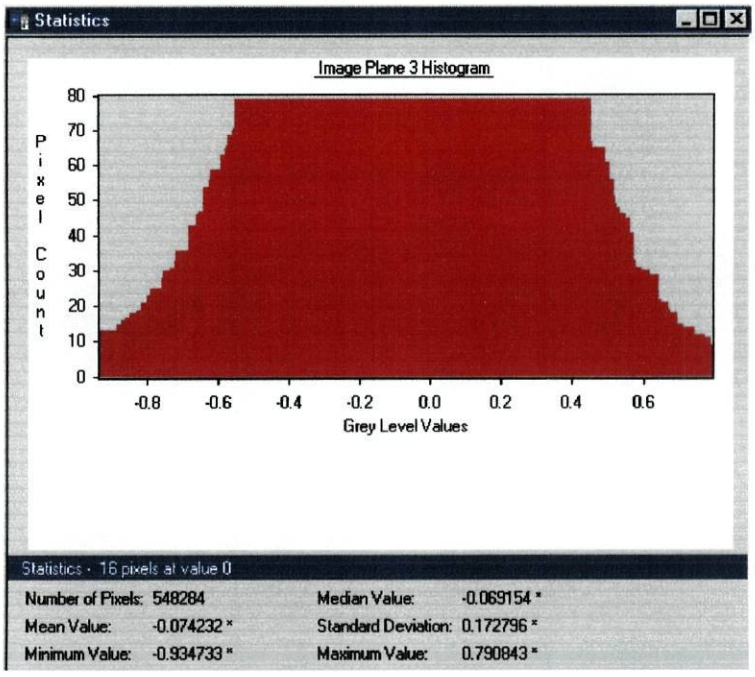


Figura 6.4 - Histograma e estatísticas da diferença de índices ARVI (1991-1990) utilizando o *PCI*

Quadro 6.2 - Estatísticas das diferenças de índices ARVI

ANOS	Diferenças de índices ARVI			
	μ	σ	1.5σ	2σ
1991 -1990	-0.074232	0.172796	0.259194	0.345592
1992 -1991	0.030451	0.146702	0.220053	0.293404
1993 - 1992	0.072544	0.14577	0.218655	0.29154
1994 - 1993	-0.034952	0.158581	0.2378715	0.317162
1995 - 1994	0.014442	0.176342	0.264513	0.352684

Tendo em vista a definição de uma metodologia adequada para a detecção de alterações, foram testados 3 critérios para determinar os limites do que é considerado alteração:

1) $\mu \pm \sigma$

2) $\mu \pm 1.5\sigma$

3) $\mu \pm 2\sigma$

Estes valores representam os limites inferior e superior da banda de valores classificada como não alteração. Por exemplo, no caso do critério (1), ilustrado na figura 6.5, tem-se:

- se $\mu - \sigma \leq dN \leq \mu + \sigma$ o pixel é classificado como não alteração
- se $dN < \mu - \sigma$ o pixel é classificado como alteração negativa
- se $dN > \mu + \sigma$ o pixel é classificado como alteração positiva

No quadro 6.3 são apresentados os valores correspondentes a cada um dos três critérios utilizados, calculados para os histogramas das diferenças de índices ARVI dos anos considerados.

Quadro 6.3 - Valores limite usados nos vários critérios definidos para a detecção de alterações

ANOS	Diferenças de índices ARVI					
	$\mu+\sigma$	$\mu-\sigma$	$\mu+1.5\sigma$	$\mu-1.5\sigma$	$\mu+2\sigma$	$\mu-2\sigma$
1991 -1990	0.098564	-0.247028	0.184962	-0.333426	0.27136	-0.419824
1992 -1991	0.177153	-0.116251	0.250504	-0.189602	0.323855	-0.262953
1993 -1992	0.218314	-0.073226	0.2911990	-0.146111	0.364084	-0.218996
1994 -1993	0.123629	-0.193533	0.2029195	-0.272824	0.282210	-0.352114
1995 -1994	0.190784	-0.16190	0.2789550	-0.250071	0.367126	-0.338242

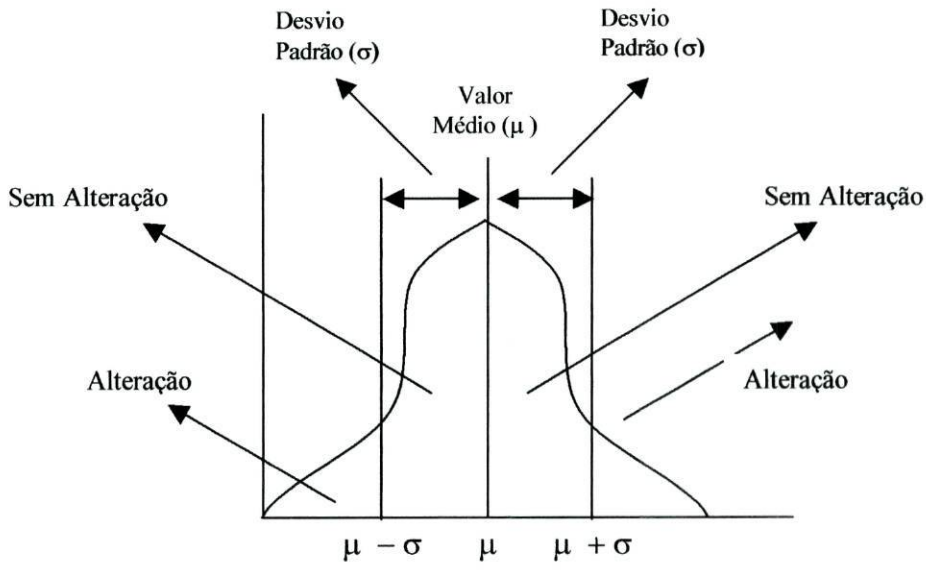


Figura 6.5 - Curva de histograma mostrando o estabelecimento dos limites que definem as zonas de alterações, a partira da média (μ) e do desvio padrão (σ) das diferenças de índices ARVI

Através do programa *ALTERAÇAO* apresentado no anexo C calcularam-se os *bitmaps* (o termo *bitmap* será utilizado apesar de algumas vezes se utilizarem três valores em vez de dois) para todas as diferenças de índice ARVI. O valor 0 representa zonas sem alteração, o valor 1 representa zonas de alteração positiva e o valor 2 representa zonas de alteração negativa. Foram criados *bitmaps* para cada um dos três critérios definidos anteriormente.

Nas figuras 6.6, 6.7 e 6.8 pode-se ver o efeito da escolha dos diferentes limites testados.
A diferença de índice ARVI escolhida para o teste foi relativa aos anos 1995-1994, uma vez que estes podiam ser comparados com os ortofotomapas de 1995. Comparando então os resultados obtidos com os vários critérios, com os ortofotomapas, chegou-se à conclusão que a solução mais adequada era a obtida usando o critério (2) ($\mu \pm 1.5\sigma$). Este foi o método adoptado para determinar as zonas de alterações, em toda a análise subsequente.
Visto que o objectivo deste estudo era obter a carta de ocupação do solo (COS) usando apenas três grandes classes (Florestal, Agrícola e Artificial), e o estudo foi feito usando diferenças de índices entre anos consecutivos, apenas se consideram as alterações negativas. As alterações positivas entre anos consecutivos serão consideradas como a evolução normal da vegetação.

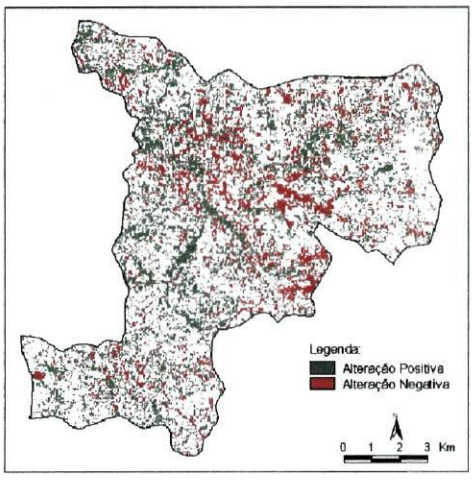


Figura 6.6 - Mapa de alterações (1991-1990) usando o critério $\mu \pm \sigma$

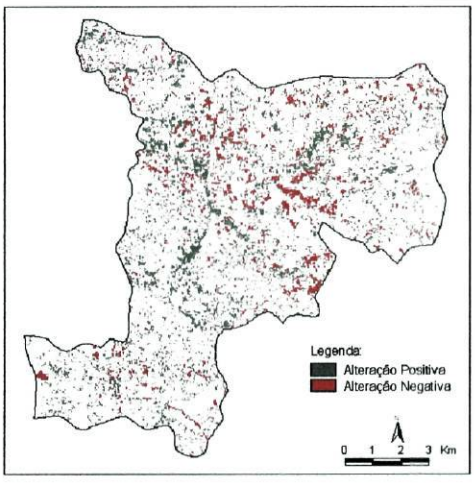


Figura 6.7 - Mapa de alterações (1991-1990) usando o critério $\mu \pm 1.5\sigma$

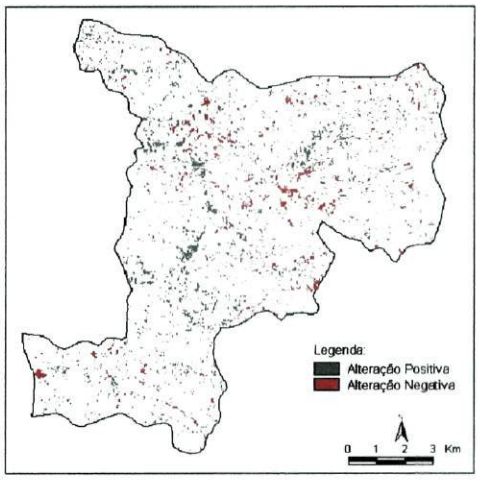
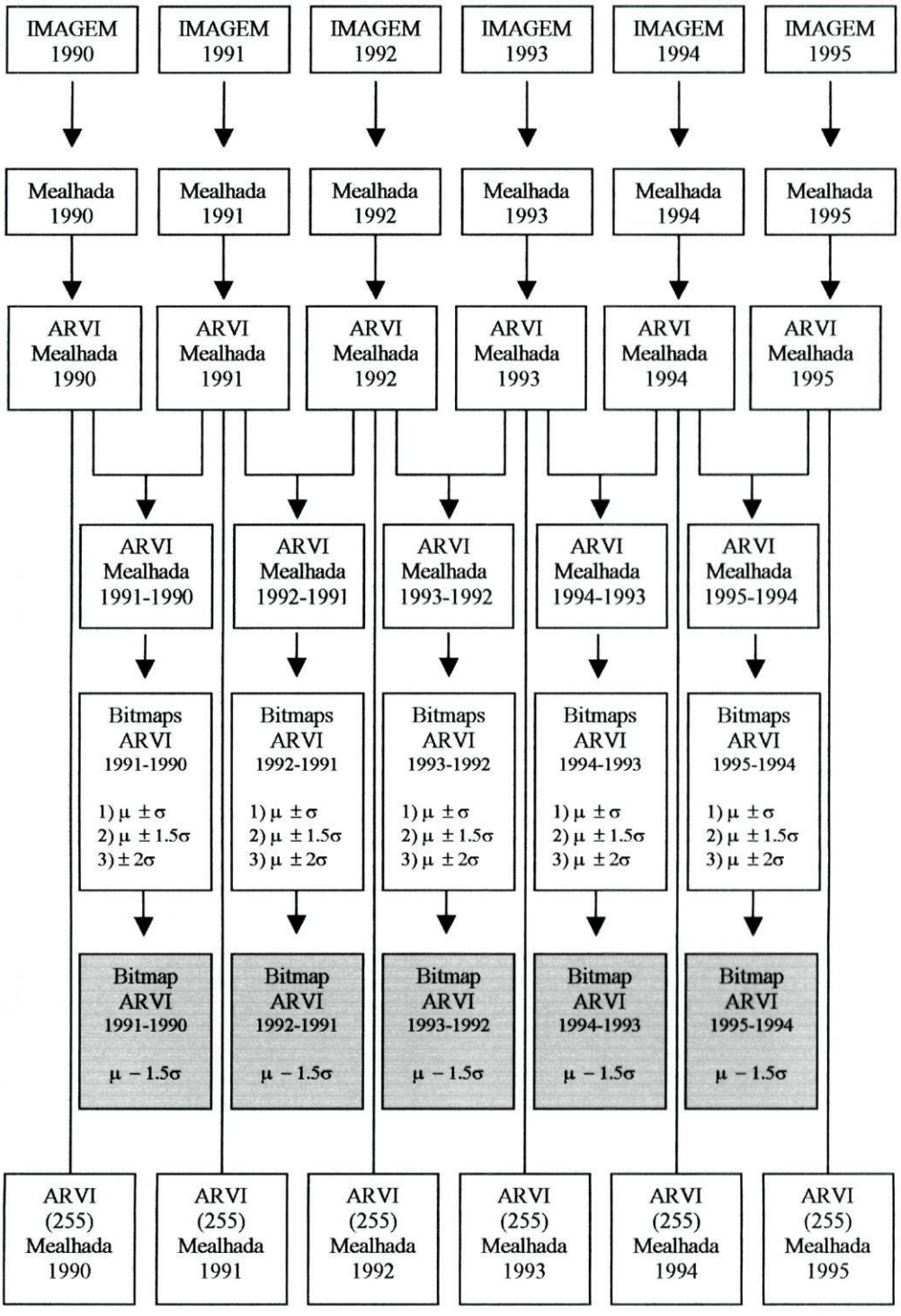


Figura 6.8 - Mapa de alterações (1991-1990) usando o critério $\mu \pm 2\sigma$

6.5 Fluxograma da metodologia usada na selecção das zonas de alteração a classificar



6.6 Detecção e tratamento de zonas de alteração, usando ferramentas de SIG

6.6.1 Optimização do *software* de SIG

O software de SIG utilizado neste trabalho foi o ArcView 3.2. Nesse ambiente desenvolveu-se uma aplicação intitulada *M_ACTUS100* (figura 6.9) de modo a utilizar o software de uma maneira optimizada e direccionada para as operações necessárias neste trabalho. No anexo D estão algumas das rotinas criadas nesta aplicação e usadas neste estudo.

Este estudo visa a produção do COS 91, logo iremos a partir deste momento tratar apenas de dados que sejam necessários para a produção do mesmo.

Na secção 6.9 é apresentado um fluxograma que abrange todos os passos que foram seguidos.

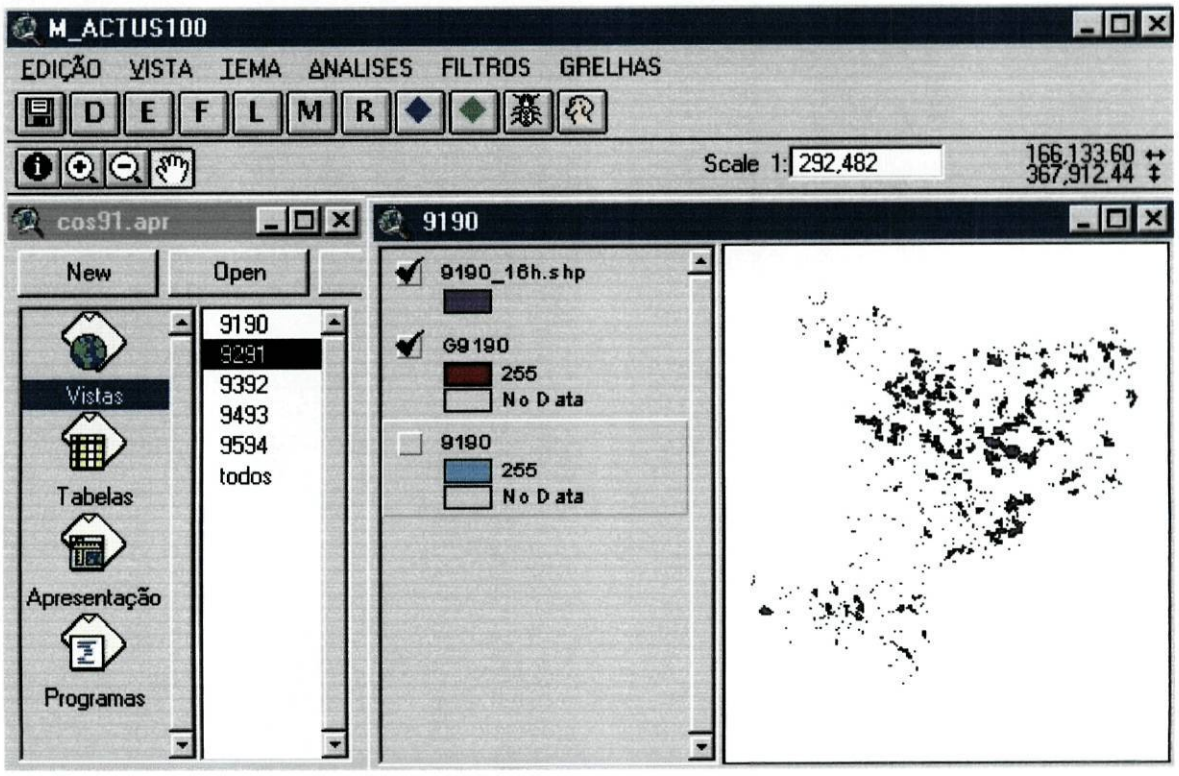


Figura 6.9 - Aplicação *M_ACTUS100*

6.6.2 Selecção do COS90 para a Mealhada

Como já foi referido anteriormente, a Carta de Ocupação do Solo de 1990, foi realizada à escala 1:25000, tendo sido adoptado o sistema de projecção utilizado pelo IGeoE na carta Militar da mesma escala (Série M888).

Para abranger a área da Mealhada foram necessárias as folhas desta carta com os seguintes números: 208, 218, 219, 229 e 230 (ver figura 5.4).

Na figura 6.10 está representada a zona onde se encontra o concelho da Mealhada, sobreposta às cinco folhas do COS90 referidas.

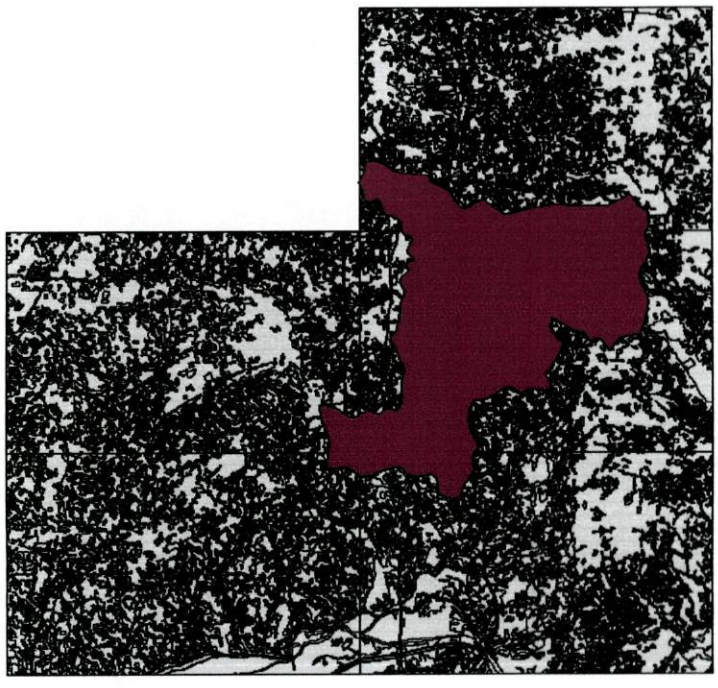


Figura 6.10 - Sobreposição do concelho da Mealhada com as cartas de ocupação do solo de 1990

Utilizando a aplicação *M_ACTUS100*, fez-se uma junção das cinco folhas da carta do COS90 referidas, tendo-se extraído apenas a informação referente às cartas que pertenciam ao concelho da Mealhada.

Na figura 6.11 podemos ver a carta ocupação do solo de 1990 do concelho da Mealhada, estando a informação agrupada em sete classes. Na figura 6.12 encontra-se o COS 90 da Mealhada já tratado e agrupado nas 3 grandes classes, que irão ser alvo deste estudo. No quadro 6.4 estão apresentados os códigos das várias subclasses que compõem cada classe. A informação detalhada sobre todos os tipos de códigos de ocupação do solo usados e respectivas descrições está apresentada no anexo A.

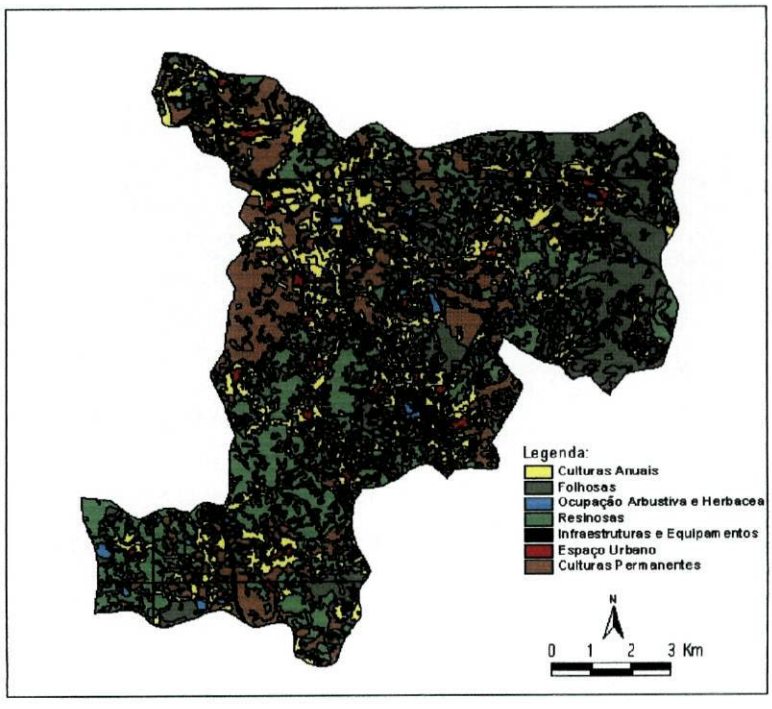


Figura 6.11 - COS90 do concelho da Mealhada agrupado em sete classes

Quadro 6.4 - Agrupamento dos códigos usados no COS90 por classes

CLASSES	CÓDIGOS
Agrícola	**AA,CA, CC,CF, CP, CV,CX, II1,OA, OC, OP, OV, VV, VA,VC, VO**
Florestal	**EE, EF, EM, EP, FE, FF, FR, IE, IF, IP, II2, PE, PP, PR, RE, RR**
Artificial	**SL, SW, UU**

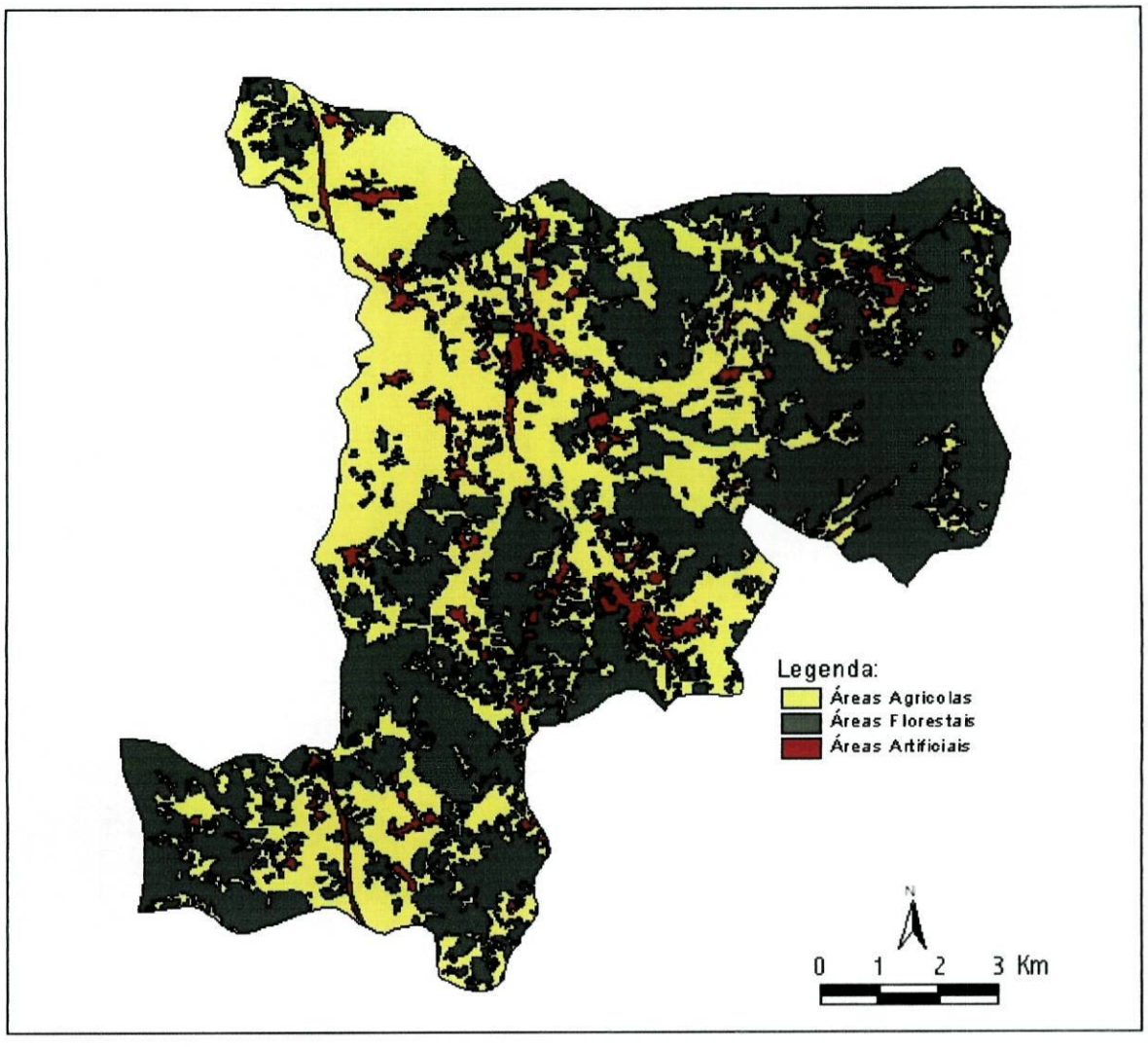


Figura 6.12 - COS90 do concelho da Mealhada agrupado em 3 classes

6.6.3 Tratamento das alterações obtidas pela diferença de índices de vegetação

Os *bitmaps* correspondentes às alterações detectadas pela subtracção entre os índices ARVI de anos consecutivos, obtidos no *PCI*, foram exportados como imagens com extensão *TIFF*. Deste modo é possível manter a georeferenciação desses mesmos *bitmaps*, e processá-los na aplicação *M_ACTUS100*.

Como já foi dito anteriormente na detecção das alterações foi usado apenas o critério ($\mu - 1.5\sigma$). As alterações estudadas serão apenas as determinadas por este critério.

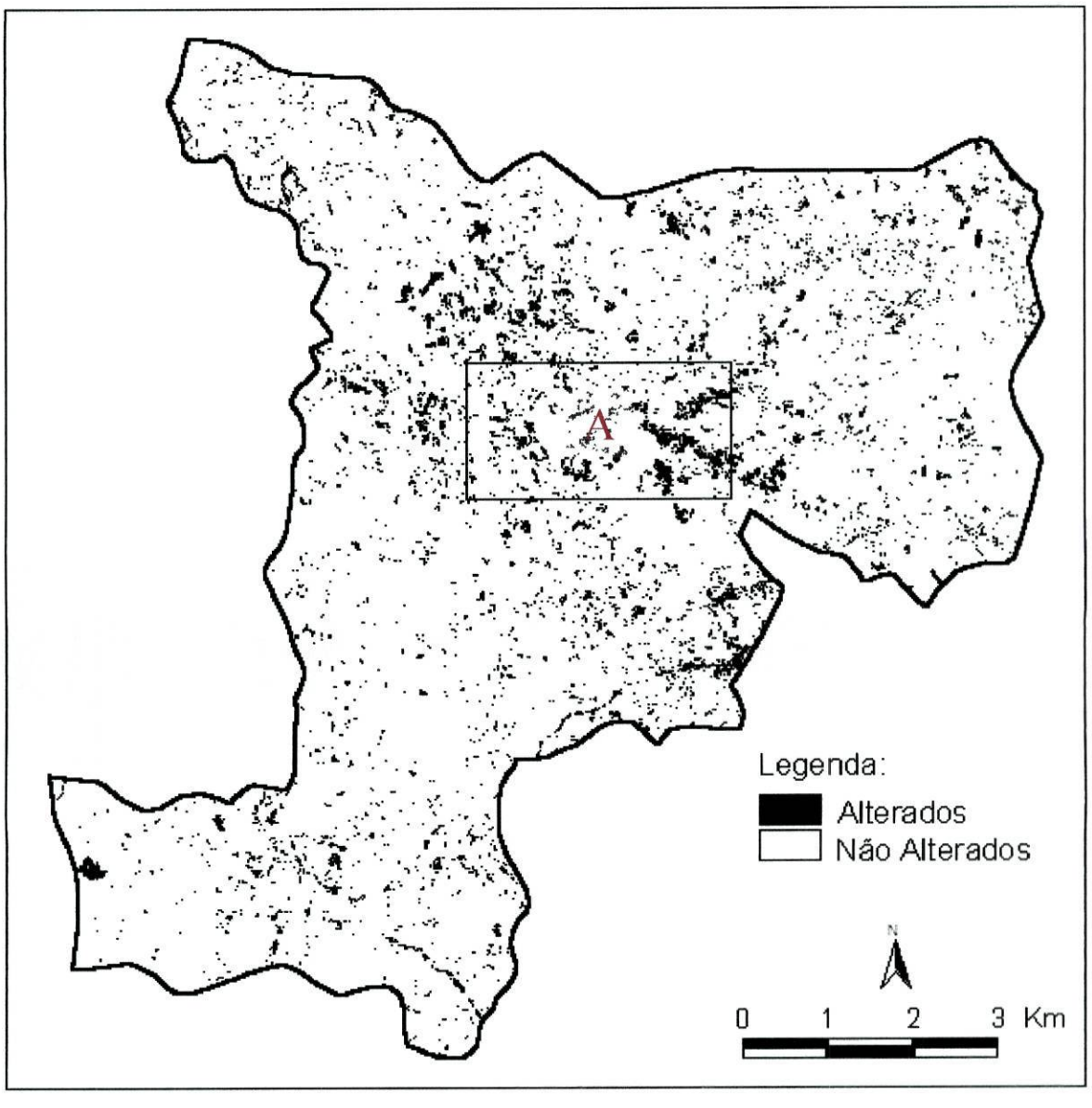


Figura 6.13 - Zona de alterações negativas (1991-1990) usando as diferenças de índices ARVI e o critério ($\mu - 1.5\sigma$) para todo o concelho da Mealhada

Os *bitmaps* exportados como imagens *TIFF* tiveram de ser convertidos no *M_ACTUS100* em *grids* para poderem ser tratados. Uma *grid* é um formato do ArcView que armazena os dados espacialmente, sendo o espaço dividido em células quadradas, em que cada célula armazena um valor numérico. Uma *grid* pode ter um tabela de atributos associada.
Muitas vezes as *grids* derivadas de imagens de satélite, poderão conter áreas mal classificadas. Normalmente são áreas pequenas e/ou áreas isoladas que contém ruído, adquirido na altura da aquisição das respectivas imagens. Assim para tentar definir o que é verdadeiramente alteração, das outras áreas, foram utilizadas algumas funções no *ArcView*, denominadas por *Data clean-up functions*. Foram testadas várias combinações dessas funções de modo a obter uma melhor representação do que é alteração. Em seguida será apresentada a combinação escolhida e proposta para este estudo.

Para ter uma melhor percepção da evolução do tratamento das alterações, seleccionou-se uma pequena área do concelho, com cerca de 8 Km^2 assinalados na figura 6.13 com a letra A, para analisar em detalhe (figura 6.14).
Será em seguida apresentada a metodologia usada no tratamento das alterações. Aqui apenas se apresentam os resultados para a pequena área seleccionada, que diz respeito aos anos (1991-1990). O tratamento para os restantes anos foi análogo. Os resultados relativos a todo o concelho da Mealhada, são apresentados no anexo E.
Para este tratamento foram criados alguns programas que fazem parte da aplicação *M_ACTUS100*. A metodologia adoptada consiste numa série de operações que a seguir se descrevem. Para facilitar a linguagem nesta secção é usado o termo "pixels", para referir os "pixels classificados como alteração".

1) Eliminação de pixels isolados. Numa primeira fase eliminaram-se os pixels isolados que estavam a mais de 50 metros de outros pixels, com recurso a um filtro de média. Calculando a média à volta de cada pixel foi possível determinar se ele estava a mais ou a menos de 50 metros de outros pixels (figura 6.15) e criar uma nova *grid* já sem esses pixels isolados.

2) Definição de áreas por técnicas de expansão/encolhimento. A fim de melhorar a definição das áreas de alteração utilizou-se o processo de expansão (rotina *expansão*) (figura 6.16) seguido do processo de encolhimento (rotina *encolhimento*) (figura 6.17). Foi escolhido, para os dois casos, um pixel como medida de aumento e decréscimo.

3) Preenchimento de Buracos. Um dos problemas frequentes são os buracos, por isso foi necessário aplicar um algoritmo (rotina *Preenchimento Buracos*) que preenchesse essas lacunas (figura 6.18).

4) Eliminação de pixels nas extremidades. Para se obter zonas ainda mais compactas correu-se um filtro (rotina *Eliminação Pixeis Extremidades*) para eliminar os pixels nas extremidades das zonas (figura 6.19).

5) Selecção das áreas superiores a 1.6 ha. As zonas assim definidas em formato *grid*, foram convertidas para o modo vectorial (figura 6.20). Em seguida seleccionaram-se apenas as áreas superiores a 1.6 hectares (figura 6.21). Esta é uma área mínima recomendável neste tipo de estudo, de acordo com o tipo de imagens e escalas usadas (Anderson et al, 1976). Na figura 6.22 são apresentadas as áreas de alterações para o concelho todo, resultado do processamento referido.

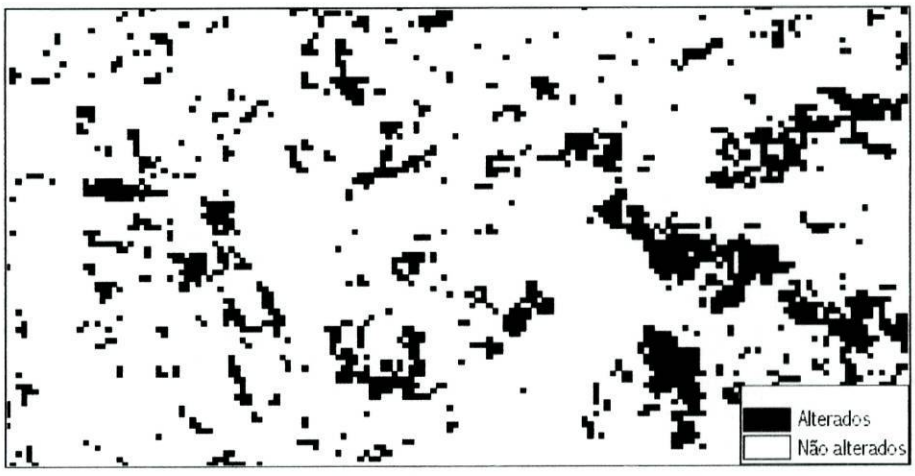


Figura 6.14 - Alterações negativas (1991-1990), usando as diferenças de índice ARVI e o critério ($\mu - 1.5\sigma$) para a zona A

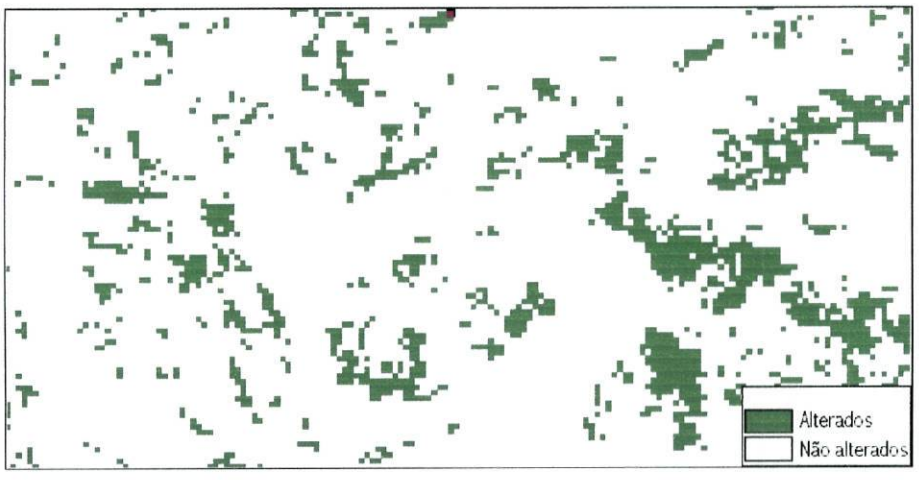


Figura 6.15 - Zonas de alteração após a eliminação de pixels isolados (a mais de 50 m de outros pixels)

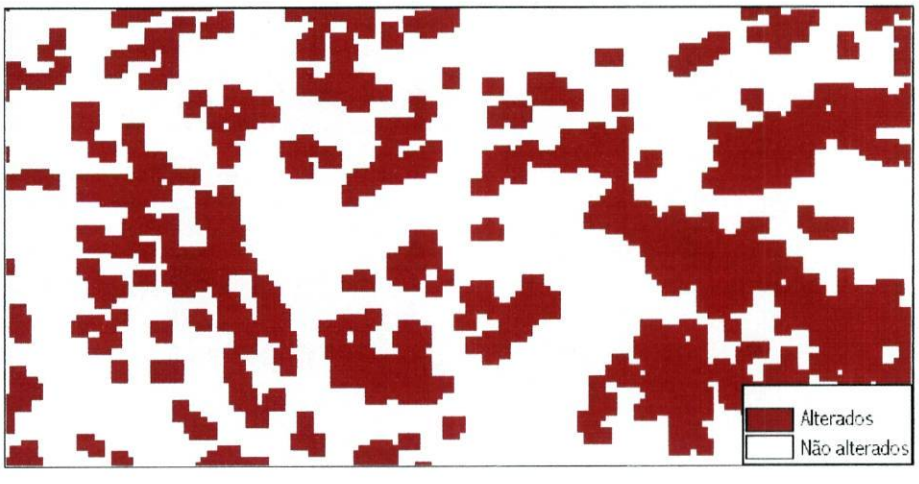


Figura 6.16 - Zonas de alteração após a aplicação da rotina *Expansão*

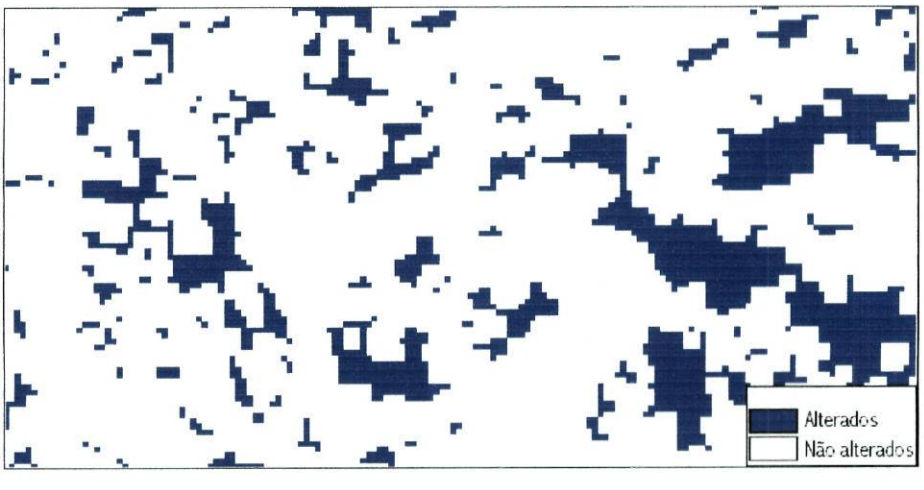


Figura 6.17 - Zonas de alteração após a aplicação da rotina *Encolhimento*

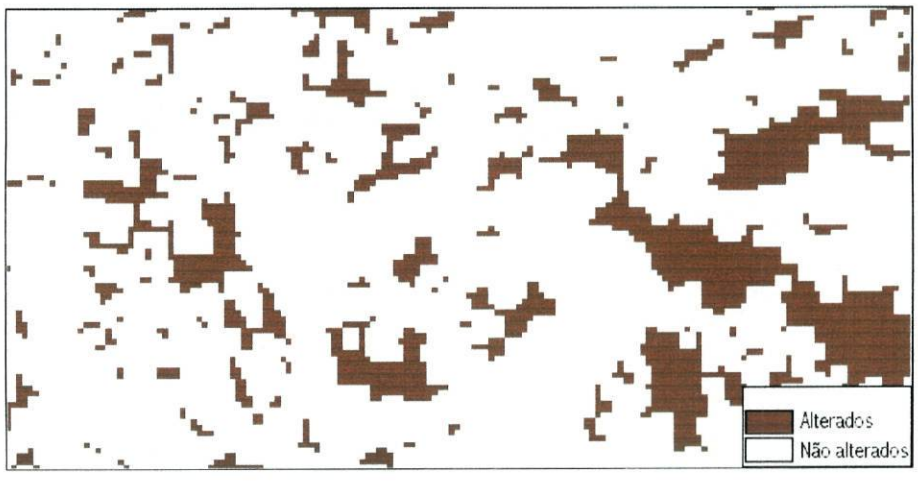


Figura 6.18 - Zonas de alteração após a aplicação da rotina *Preenchimento Buracos*

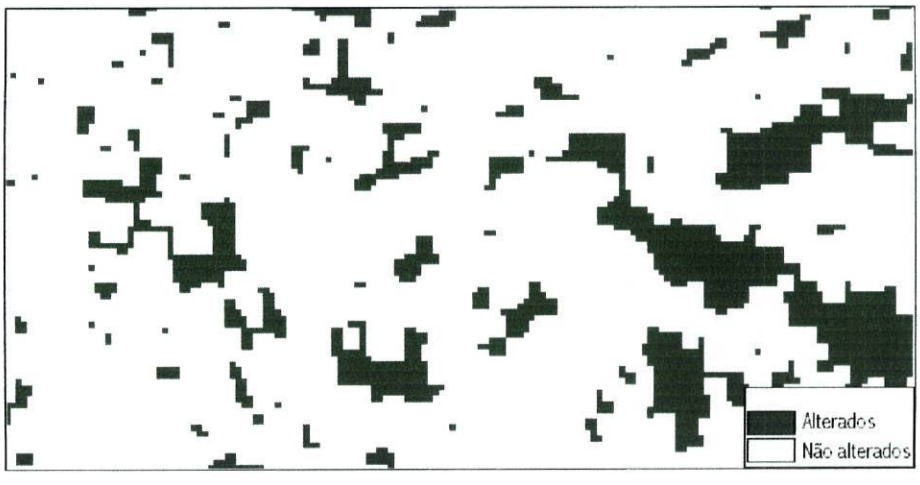


Figura 6.19 - Zonas de alteração após a aplicação da rotina *Eliminação Pixeis Extremidades*

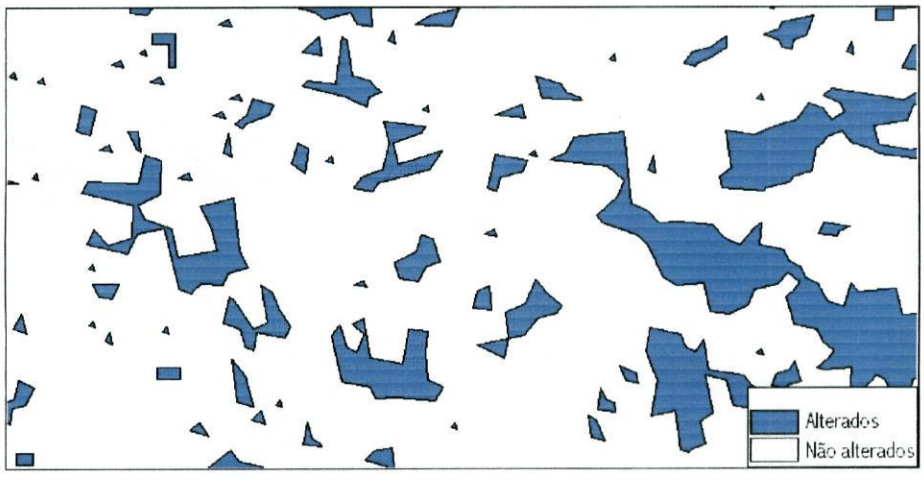


Figura 6.20 - Zonas de alteração em formato vectorial

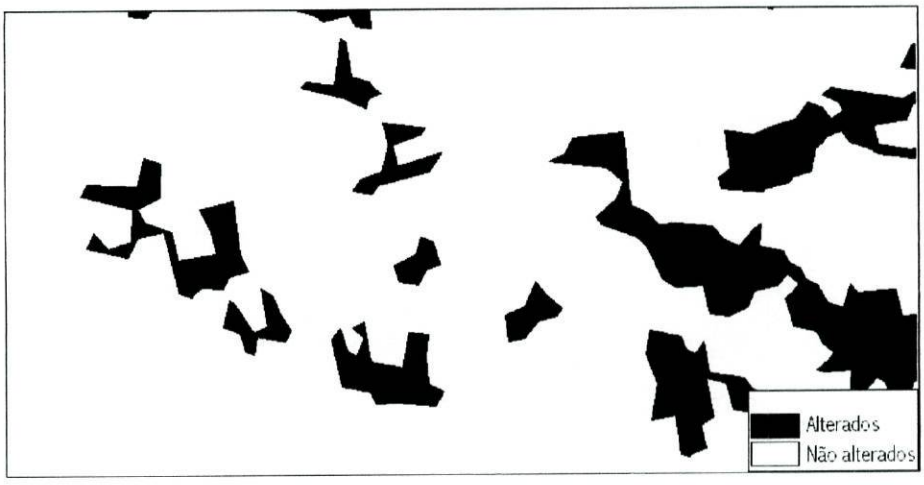


Figura 6.21 - Zonas finais de alteração após a aplicação a eliminação de áreas inferiores a 1.6 hectares, para a zona A

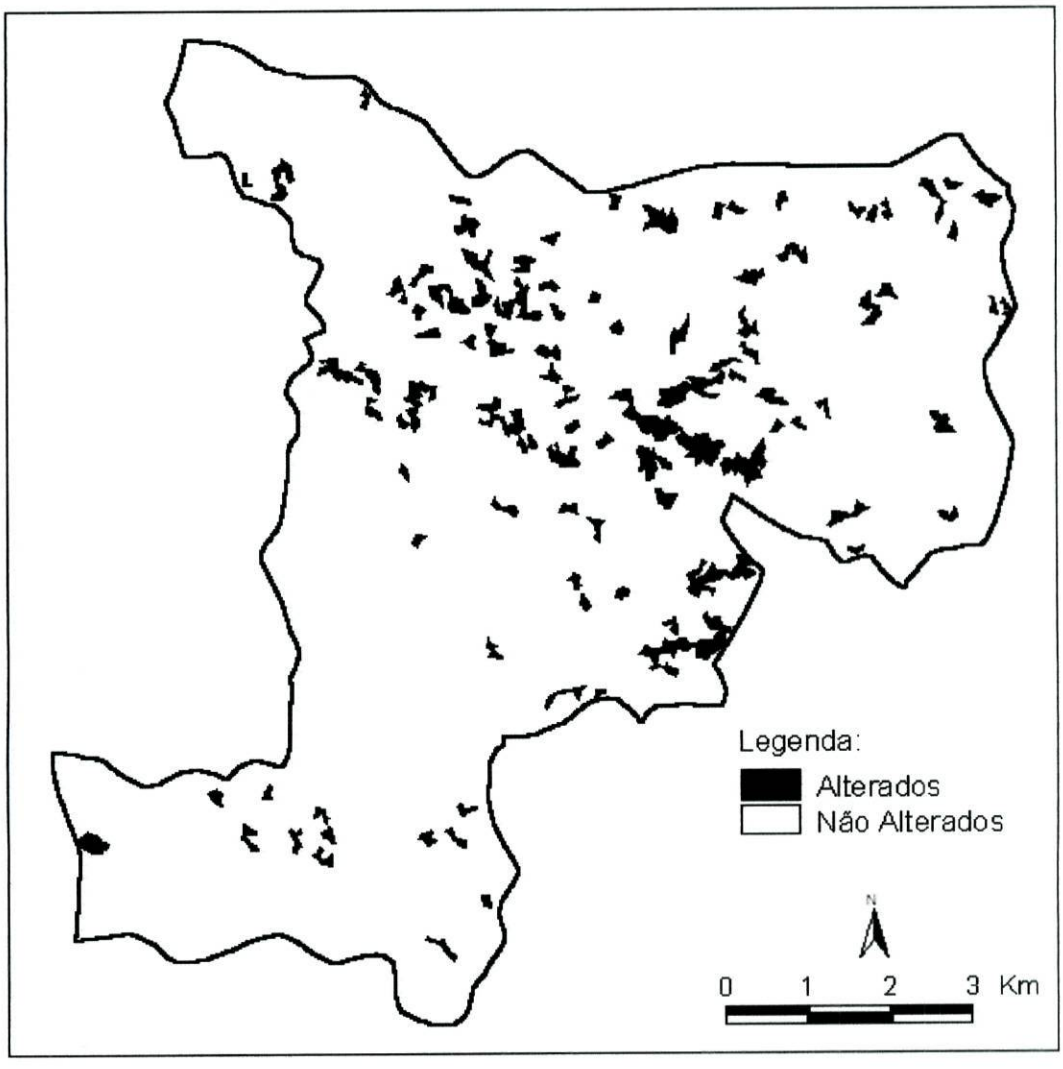


Figura 6.22 - Zonas finais de alteração, após a eliminação de áreas inferiores a 1.6 hectares, para todo o concelho da Mealhada

6.7 Classificação das alterações ocorridas entre 1990 e 1991

6.7.1 Selecção de amostras

Fazendo uma junção (união) dos *bitmaps*, sem aplicar nenhum método de generalização ou filtragem de todas as diferenças de índice ARVI entre anos consecutivos, usando o critério ($\mu - 1.5\sigma$), é possível detectar as áreas que, de acordo com a metodologia adoptada, teriam sofrido alterações entre os anos de 1990 e 1995. Ao mesmo tempo a intersecção destes *bitmaps* permite determinar as áreas que não foram alteradas durante este período (figura 6.23).

Com base nessa informação escolheram-se algumas amostras nas áreas que não foram alteradas nesse espaço de tempo.

O objectivo foi obter áreas onde o tipo de ocupação do solo não tivesse variado entre 1990-1995.

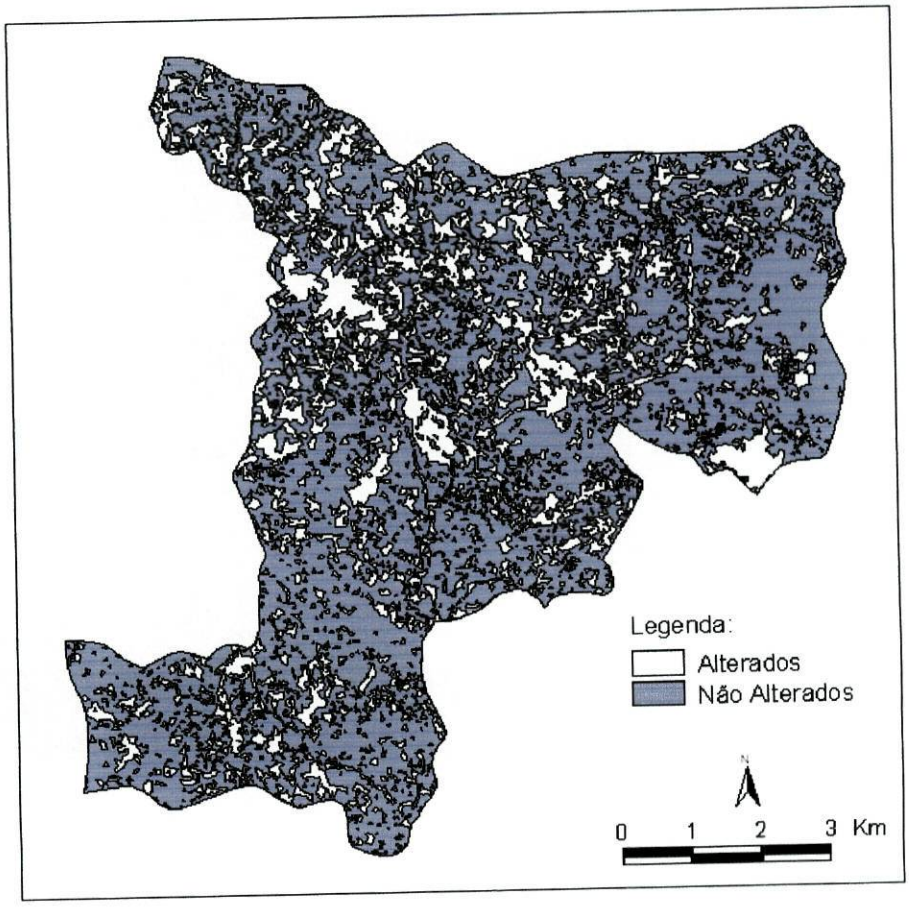


Figura 6.23 - Áreas não alteradas entre 1990 e 1995 (as zonas a branco representam áreas onde houve alteração; as zonas a azul representam áreas onde não existiu qualquer tipo de alteração durante o período 1990-1995)

As amostras (figura 6.24) foram escolhidas pelo tamanho da sua área e pelo tipo de classe, isto é, elas deviam ter o maior número de pixels possíveis e serem representativas dos vários tipos de classe. Para cada classe, as amostras foram escolhidas entrando em linha de conta com a diversidade das suas subclasses. As amostras foram validadas com recurso aos ortofotomapas de 1995 (figura 6.25).

No *software PCI* determinou-se, para cada ano, a média e o desvio padrão das amostras para cada uma das classes (quadro 6.5). Estes valores irão ser utilizados no algoritmo de classificação (ver secção 6.7.2).

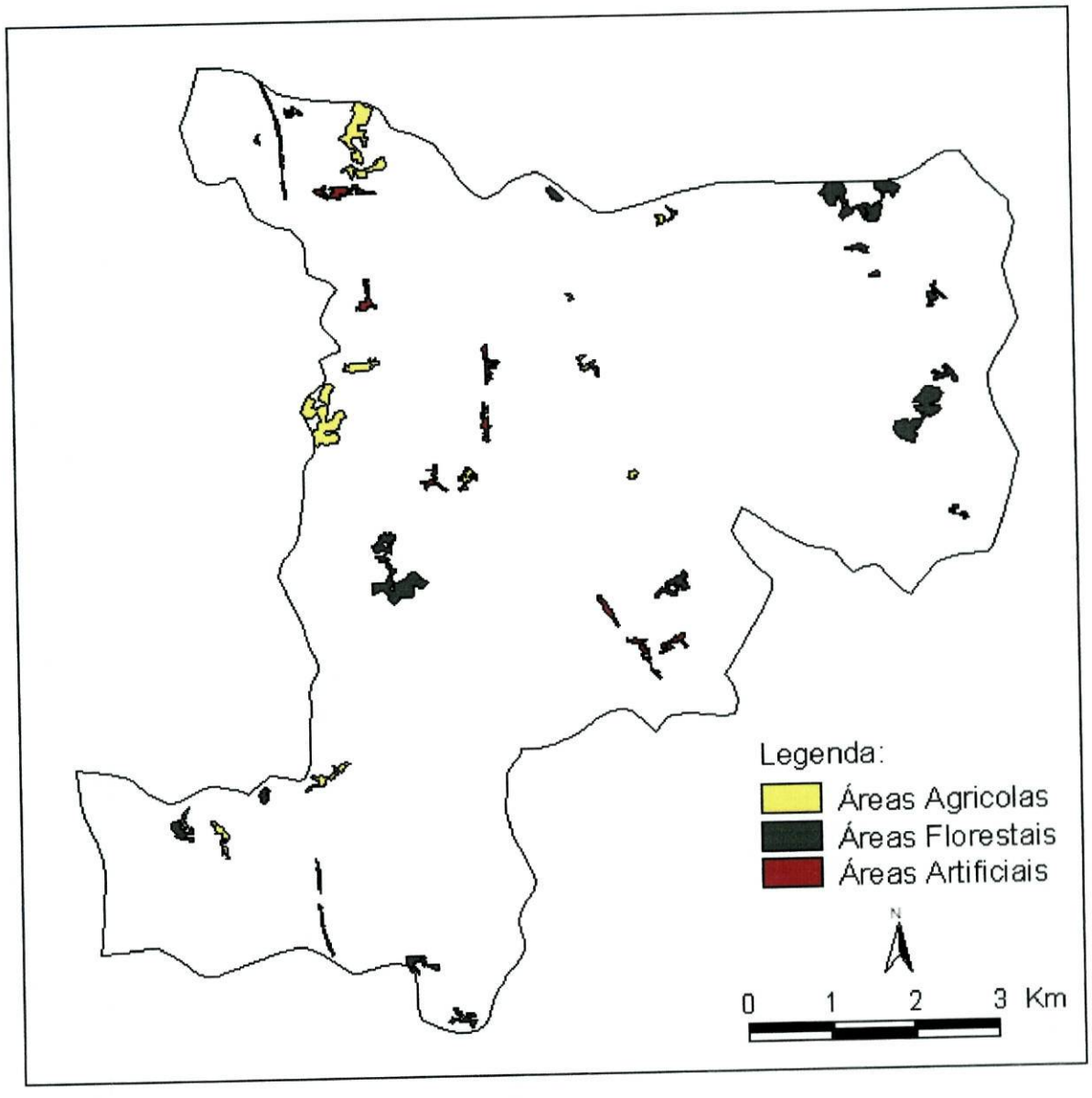


Figura 6.24 - Amostras seleccionadas para cada uma das três classes

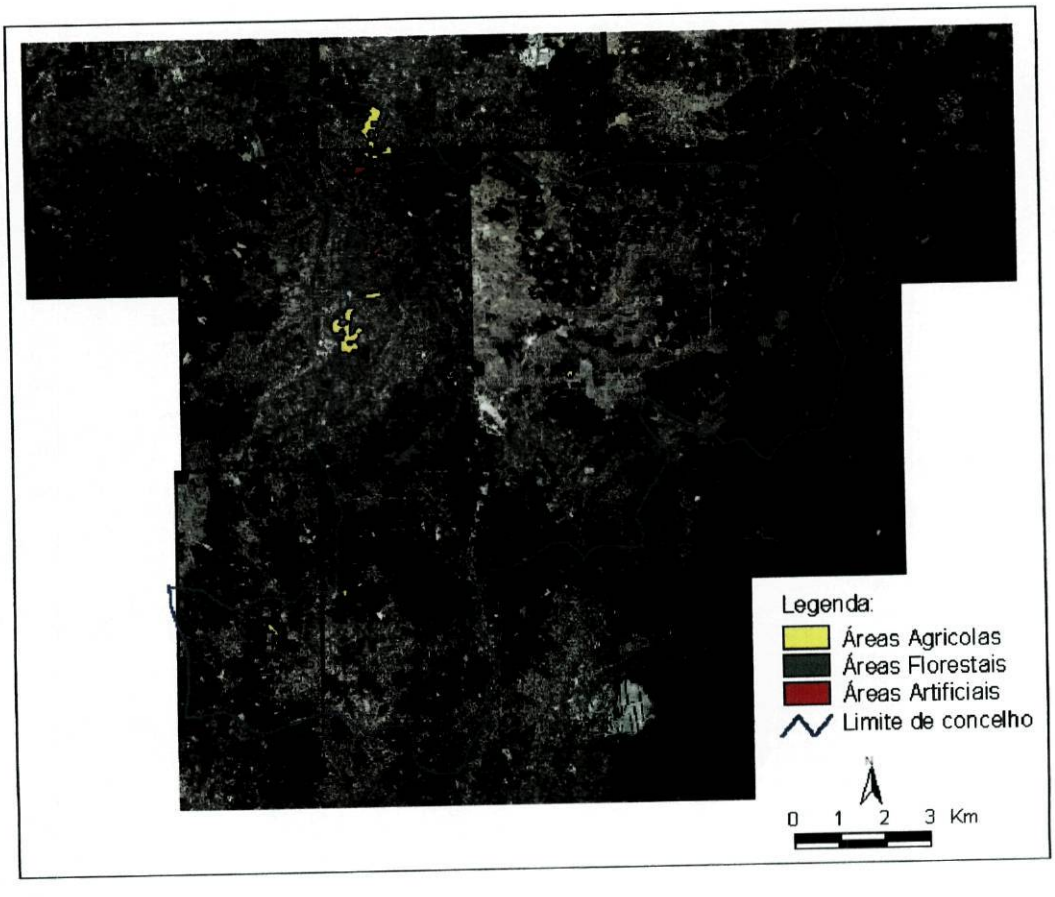


Figura 6.25 - Validação das amostras por comparação com os ortofotomapas de 1995

Quadro 6.5 - Análise estatística das amostras para as várias classes e anos.
(As medidas usadas são valores DN)

	Áreas Agrícolas		**Áreas Florestais**		**Áreas Artificiais**	
	Média	**Desvio Padrão**	**Média**	**Desvio Padrão**	**Média**	**Desvio Padrão**
ARVI 1991	113.2	29.7	167.9	20.7	80.5	17.3
ARVI 1992	134.2	21.6	168.1	16.7	92.7	15.3
ARVI 1993	137.8	28.6	183.8	17.2	96.9	22.4
ARVI 1994	125.0	30.8	187.1	16.8	92.6	19.9
ARVI 1995	134.3	27.3	183.6	17.5	93.6	21.3
N.º de pixels das amostras	1459		2005		801	

6.7.2 Classificação das alterações (1991-1990) com base no COS90 e na análise temporal dos índices ARVI entre anos consecutivos

O método de classificação adoptado para efectuar a classificação das zonas de alteração ocorridas entre 1990 e 1991 usa, para além do COS90 uma análise temporal da evolução dessas alterações.

Muitas vezes, nas áreas do terreno que sofrem alterações, (neste caso alterações negativas), não é possível determinar que tipo de ocupação do solo se irá aí implantar. Por exemplo podemos ter uma área que é agrícola e que pretende mudar para florestal. No ano em que essa área deixa de ser agrícola, e começam os preparativos para plantação de floresta, é difícil a sua classificação com base apenas na utilização de imagens de satélite de um ano, isto é, se não se souber à partida que essa área passará a florestal. Mesmo que na imagem de satélite se detecte que existe vegetação nessa área, não implica que seja floresta, poderá ser apenas mato. Por isso muitas vezes será útil recorrer a uma análise temporal, utilizando várias imagens adquiridas em diferentes épocas. Isto irá permitir usar a informação sobre a dinâmica de evolução das várias classes de vegetação.

O processo de classificação é efectuado em quatro etapas:

1 - Para cada ano (1991 a 1995) seleccionar na correspondente imagem ARVI(255) a informação correspondente às áreas detectadas como alteração relativamente ao ano anterior.

Utilizando as áreas superiores a 1.6 hectares, obtidas aquando do tratamento das alterações do índice de vegetação ARVI 1991-1990, e recorrendo ao *software PCI* utilizaram-se essas mesmas alterações para seleccionar a informação das imagens ARVI(255) dos anos de 1991, 1992, 1993, 1994 e 1995, compreendida dentro dessas áreas e desprezou-se o resto da informação (áreas a preto) (figura 6.26). As imagens ARVI(255) são as imagens que foram convertidas para o intervalo de valores [0,255].

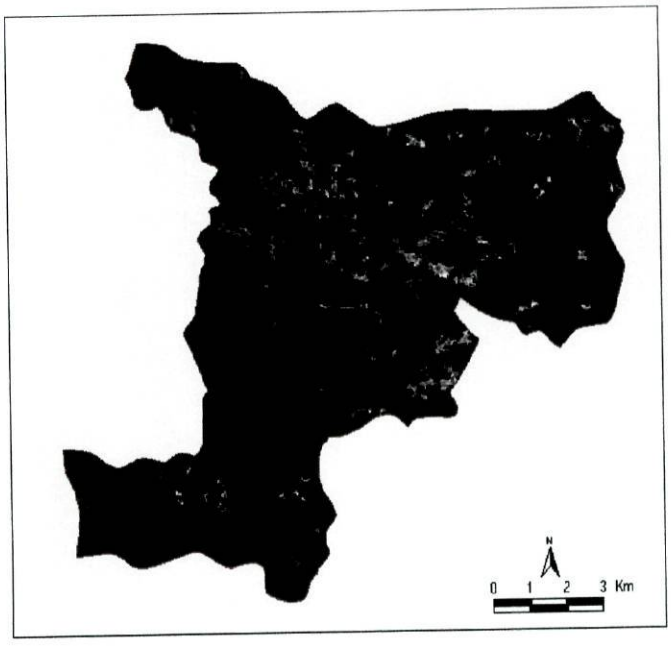


Figura 6.26 - Imagem ARVI(255) 1991- áreas que se alteraram segundo o ARVI 1991-1990

2 - Classificação das zonas de alteração (1991-1990) com base no COS90

Esta etapa consiste em classificar estas zonas de acordo com o COS90, isto é, cada pixel é associado à classe de ocupação do solo respeitante ao ano de 1990. Criou-se assim uma banda adicional. Esta banda contém as zonas de alteração, classificadas de acordo com a classe de ocupação do solo correspondente em 1990, ou seja, antes de sofrerem alteração

3 - Classificação das zonas de alteração (1991-1990) com base na informação multitemporal (1) e na classificação (2).

No *software PCI* utilizando o programa *Classificação* que pode ser visto no anexo F, foi criada uma nova banda que contém a classificação das alterações definidas em (2). Este programa entra em linha de conta com 5 bandas a que correspondem as imagens ARVI(255) de 1991 até 1995, e com uma banda que representa a classificação das alterações baseada no COS90, isto é, o que as zonas de alterações eram em 1990, antes de se tornarem alterações em 1991.

A média e o desvio padrão obtidos para as amostras (quadro 6.5) são usados como parâmetro de entrada no programa de *Classificação*. Partindo do princípio que as amostras têm a mesma ocupação do solo para os vários anos, os valores obtidos pelos sensores dos satélites deverão ser sensivelmente iguais, visto que as imagens também foram corrigidas radiometricamente.

Na classificação cada pixel "alteração", o algoritmo usa, de forma inteligente, todo o historial de informação disponível. A análise multitemporal presente usa a dinâmica evolutiva das várias classes. Por exemplo: se tivermos um pixel que ao longo dos anos se mantém com valores DN constantes e próximos de 100, será classificado como Artificial; se os valores DN crescerem de um modo significativo, ano após ano, e atingirem um valor DN próximo de 230 será classificado como Florestal; um pixel cujos valores de DN oscilem ao longo dos anos dentro de uma banda de valores intermédios, será classificado como Agrícola.

4 - Validação dos resultados da classificação com base nos ortofotomapas de 1995

Depois de efectuada a classificação, a nova banda que representa a classificação das alterações, é exportada como uma imagem georeferenciável para a aplicação *M_ACTUS100.* Nesta aplicação, com base nos ortofotomapas efectua-se a validação das zonas de alterações. Caso se detecte discrepâncias, repete-se o passo (3), entrando em linha de conta com novos valores de referência no programa *Classificação.*

Estes métodos de classificação necessitam em geral de ser repetidos, num processo iterativo, até se encontrar uma solução estável. Este foi o procedimento adoptado neste caso. Não foi necessário, mas podia-se ainda ter escolhido novas amostras, e calculado as respectivas médias e desvios padrões, para obter novos valores de referência. O resultado da classificação das alterações ocorridas entre 1990 e 1991 está apresentado na figura 6.27.

6.8 Obtenção do COS91

O ficheiro com as alterações classificadas (figura 6.27) no *PCI*, foi convertido para a aplicação *M_ACTUS100*, onde irá ser construído o COS91. As alterações foram divididas em três ficheiros diferentes (anexo G): Áreas Agrícolas, Áreas Artificiais e Áreas Florestais. Os ficheiros foram convertidos para o formato vectorial, e tendo sido seleccionadas apenas as áreas superiores a 1.6 Hectares.

Sobrepuseram-se então os três ficheiros sobre o COS90 e, aplicando várias rotinas da aplicação *M_*ACTUS100, nomeadamente a junção de polígonos de igual classe, obteve-se o COS91 (figura 6.28).

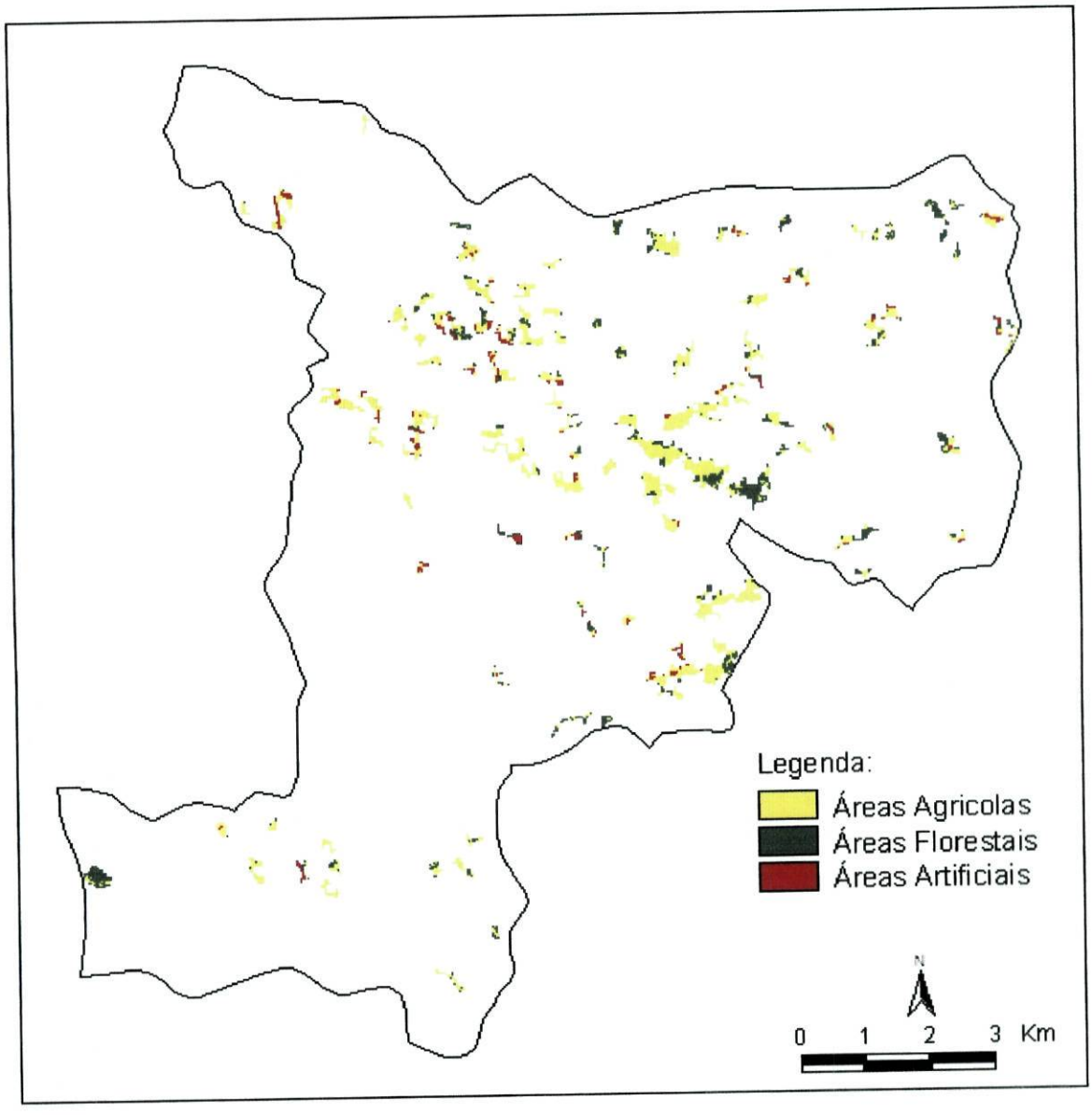


Figura 6.27 - Alterações classificadas

No quadro 6.6 é apresentada a estatística das áreas classificadas como alterações ocorridas entre os anos de 1990 e 1991, e que irão ser introduzidas no COS91. Para cada classe é indicado: o número de parcelas, a área média das parcelas (em ha), e a área total das parcelas (em ha) Os quadros 6.7 e 6.8, apresentam as mesmas estatísticas do quadro 6.6, respectivamente para o COS90 e COS91, englobando a área toda do concelho da Mealhada.

Quadro 6.6 - Estatísticas das áreas de alteração (1991-1990)

TIPO	NÚMERO DE PARCELAS	ÁREA MÉDIA (ha)	ÁREA TOTAL (ha)
Área Agrícola	67	4.41	295.13
Área Artificial	3	1.98	5.93
Área Florestal	14	3.39	47.42

Quadro 6.7 - Estatísticas das áreas do COS90 no concelho da Mealhada

TIPO	NÚMERO DE PARCELAS	ÁREA MÉDIA (ha)	ÁREA TOTAL (ha)
Área Agrícola	143	34.50	4933.04
Área Artificial	192	3.97	762.90
Área Florestal	270	20.12	5432.51

Quadro 6.8 - Estatísticas das áreas do COS91 no concelho da Mealhada

TIPO	NUMERO DE PARCELAS	ÁREA MÉDIA (ha)	ÁREA TOTAL (ha)
Área Agrícola	142	34.90	4954.54
Área Artificial	193	3.96	763.84
Área Florestal	270	20.04	5410.09

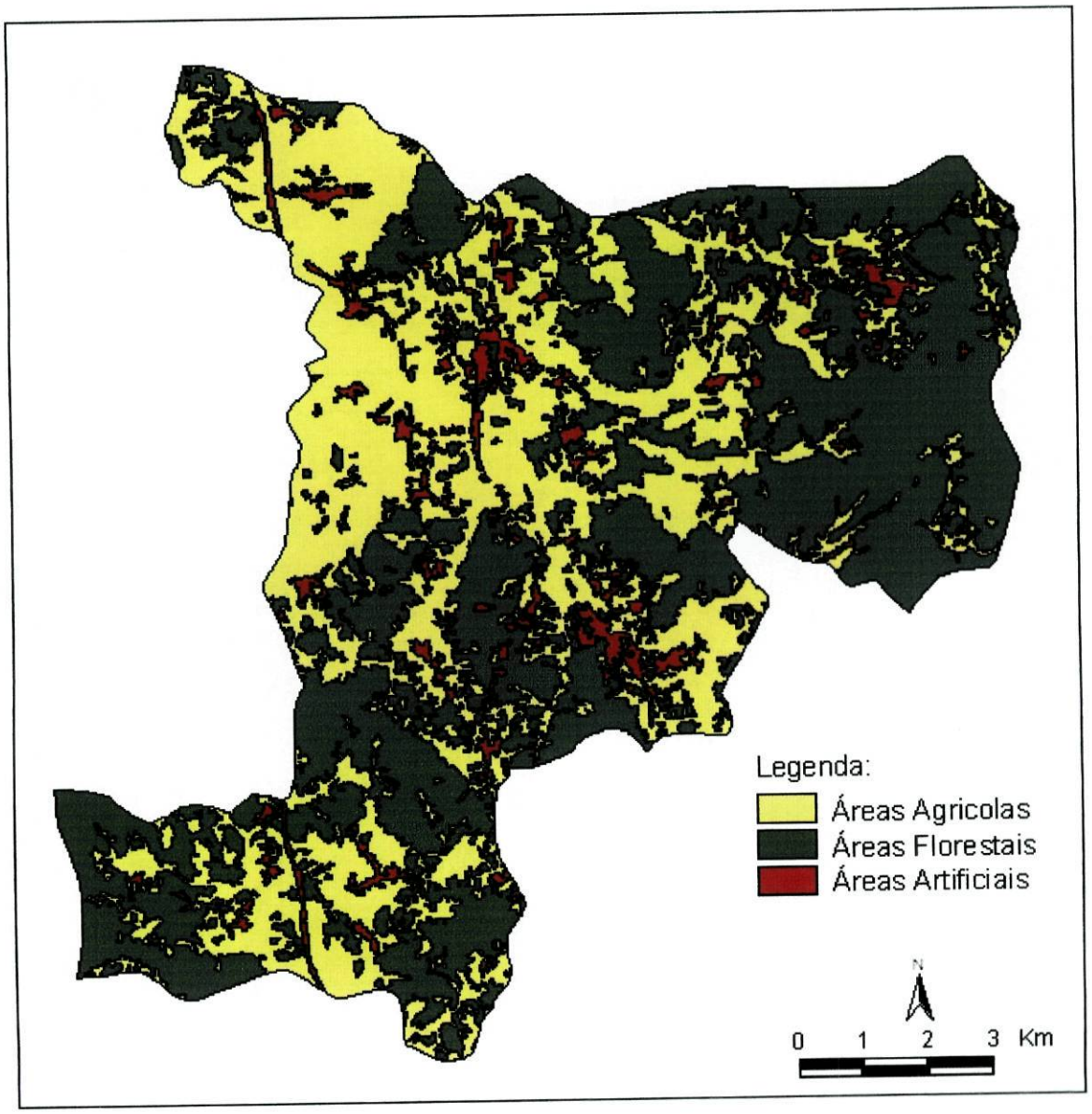
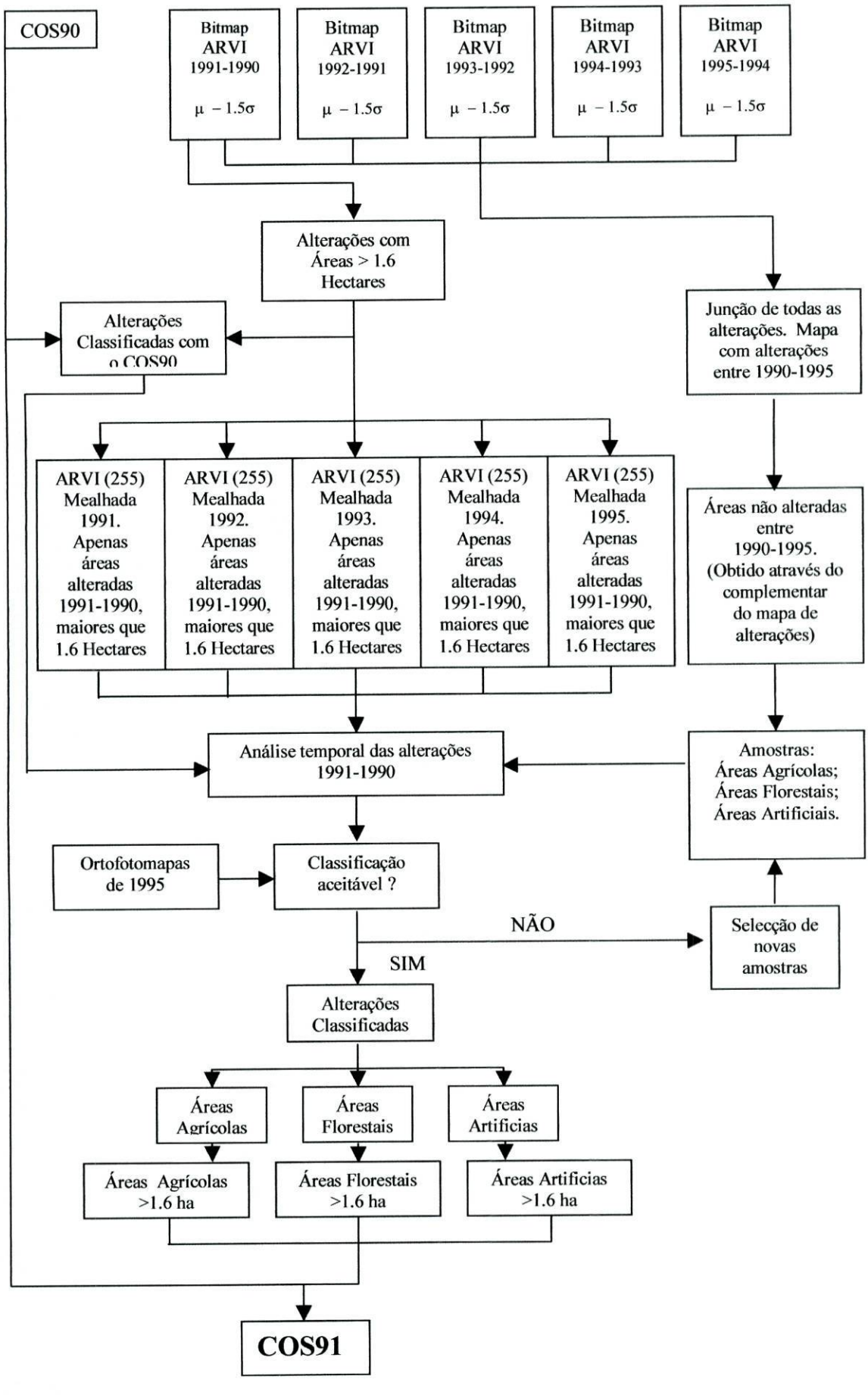


Figura 6.28 - COS91

6.9 Fluxograma da metodologia usada na criação do COS91



6.10 Análise de resultados

Analisando as figuras que representam o COS90 e o COS91, juntamente com os quadros respectivos 6.7 e 6.8, que contêm os dados estatísticos das áreas por classes, notamos que as alterações entre estes dois anos é muito pequena. A variação, quer ao nível do número de parcelas, quer ao nível de área total por classe é mínima. Na figura 6.29 está representada graficamente a variação da área total por classe.

Estas variações ligeiras podem dever-se ao facto de termos a considerado apenas alterações com áreas superiores a 1.6 hectares. Numa zona onde predominam as pequenas parcelas, várias áreas poderão ter mudado de classe, mas como eram áreas inferiores a 1.6 hectares não foram consideradas como alterações.

Ao nível de subclasses poderá ter existido uma maior variação, mas como neste estudo apenas se consideraram três grandes classes, não existem dados que possam comprovar essas mesmas variações.

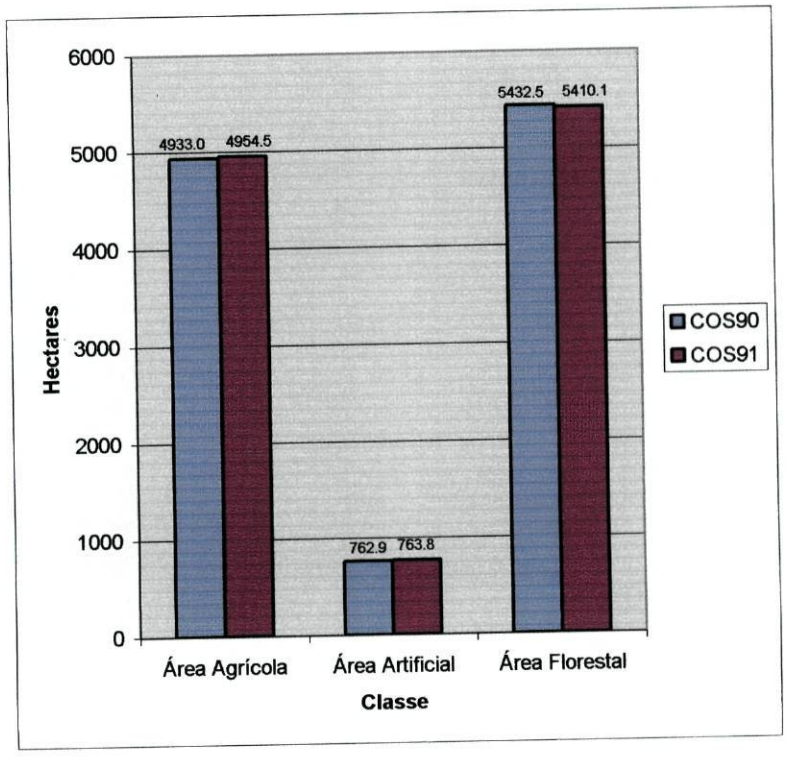


Figura 6.29 - Gráfico comparativo de áreas por classes entre o COS90 e o COS91

Analisando os quadros 6.7 e 6.8, verificamos que existe mais uma parcela de área artificial no COS91 em relação ao COS90 e que a área total artificial também aumenta.
Este resultado é normal se considerarmos que a tendência do Concelho da Mealhada e do País é tornar-se cada vez mais urbano, e que apenas estamos a entrar em consideração com alterações superiores a 1.6 hectares.
Em relação, aos valores obtidos para as outras duas classes, agrícola e florestal, a nível de valores de áreas, verifica-se para o COS91, em relação ao COS90, um aumento da área agrícola, e uma diminuição da área florestal. Existe uma área de cerca de 20 hectares que a classe agrícola ganha à classe florestal. Estes valores tornam-se ainda mais insignificantes devido a ter-se verificado que algumas áreas no COS90 não estavam bem classificadas. Se tivéssemos utilizado outro tipo de sensor com uma melhor resolução espacial também é possível que os resultados fossem melhorados.

As áreas classificadas como alteração totalizaram cerca de 350 hectares, mas apenas 6% mudaram de classe. Isto significa que 94% das alterações ocorreram dentro da mesma classe por motivos diversos, não implicando uma mudança de classe. As alterações detectadas na classe agrícola podem ser devidas ao facto de termos usado apenas imagens de Verão, existirem culturas sazonais e devido à rotatividade de algumas colheitas. Em relação à classe florestal, poderão ter existido pequenos cortes de árvores em algumas zonas, mas essas mesmas zonas nos anos seguintes continuaram com o mesmo tipo de ocupação do solo, pois voltaram a ser feitas novas plantações florestais nessas áreas.

Estes resultados eram esperados devido a factores já referidos anteriormente, como seja, o facto de estarmos a trabalhar numa zona com parcelas pequenas, de considerarmos apenas alterações com áreas superiores a 1.6 hectares e de termos utilizado imagens de anos consecutivos.

7 Conclusões

Os dados de satélite mostraram-se suficientes para gerar mapas de ocupação do solo à escala 1/50000 para as três classes escolhidas, no entanto, no caso de queremos estudar as classes propostas pelo projecto ACTUS100, deveriam ser revistos alguns dos algoritmos utilizados, em particular o método de classificação usado.

O Índice de Vegetação ARVI utilizado, revelou-se como sendo um bom índice na detecção de alterações entre dois anos consecutivos. Os resultados poderiam ser melhorados se, para além das imagens de Verão utilizadas se tivessem utilizado imagens de Inverno. Isto teria permitido melhorar a separação das várias classes, uma vez que as classes de vegetação variam consoante a época do ano. As áreas agrícolas podem ter vários tipos de plantações ao longo do ano e as áreas florestais podem variar ao nível da folhagem.

A metodologia desenvolvida neste estudo assentou no uso de um conjunto de técnicas de Detecção Remota e de operações realizadas no ambiente de Sistemas de Informação Geográfica. No processo de validação e generalização das alterações, a utilização da aplicação *M_ACTUS100* tornou-se muito útil, sobretudo na aplicação de técnicas de filtragens, e integração de dados. Esta aplicação permitiu ainda, correr processos de um modo automático e sistemático.

O concelho da Mealhada é um concelho com parcelas muito pequenas. Assim, pequenas alterações que possam ter existido nessas parcelas, poderão não ter sido contempladas, uma vez que apenas foram consideradas alterações, em áreas superiores a 1.6 hectares. Isto, pode explicar em parte, a pequena variação das classes em estudo, do COS90 para o COS91. O tipo de metodologia aplicada a este estudo, poderá conduzir a melhores resultados em zonas com parcelas de grandes áreas.

Se este estudo tivesse sido efectuado com imagens de maior resolução espacial, ter-se-ia provavelmente tirado conclusões mais precisas sobre alguns dos objectivos deste trabalho.

UNIVERSIDADE DO PORTO
FACULDADE DE CIÊNCIAS
BIBLIOTECA

Referências bibliográficas

Anderson, J.R.; Hardy, E.E.; Roach, J.T.; Witmer, R.E. (1976). **A land use and land cover classification system for use with remote sensor data**. Geological Survey Professional Paper 964, US Government Printing Office, Washington, DC.

Aronoff, S. (1985). **The Minimum Accuracy Value as an Index of Classification Accuracy**. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, vol. 51, no. 1.

Baio, M. (1996). **A Utilização Multitemporal de Imagens Numéricas para Detecção de Alterações na Ocupação do Solo**. Revista de Cartografia e Cadastro, Nº7, Instituto Português de Cartografia e Cadastro, pp.11-21.

Birth, G. S.; McVey, G. (1968). **Measuring the Color of Growing Turf with a Reflectance Spectrophotometer**. Agronomy Journal, no. 60, pp.640-643.

Borak, J.S.; Lambin, E.F.; Strahler, A.H. (2000). **The use of temporal metrics for land cover change detection at coarse spatial scales**. International Journal of Remote Sensing, vol. 21, no 6&7 pp. 1415-1432..

Bruzzone, L; Serpico, S.B. (1997). **Detection of changes in remotely-sensed images by the selective use of multi-spectral information**. International Journal of Remote Sensing, vol. 18, no 18, pp. 3883-3888.

Caetano, M.S.; Barbosa, P.M.; Santos, T.G. (2000). **Detection of changes in forest Landover type after fires in Portugal**. XIXth Congress of the International Society for Photogrammetry and Remote Sense (ISPRS), Amsterdam.

Caetano, M.S.; Barbosa, P.M.; Santos, T.G.; Paúl, J.U. (1999). **A comparative study of vegetation indices to assess land cover change after forest fires**. In Remote Sensing for Earth Science, Ocean, and Sea Ice Applications, Proceedings of SPIE, vol. 3868, pp. 232-240, Florence.

Caetano, M.S.; Santos, J.P.; Navarro, A. (1996). **Uma Metodologia Integrada para Produção de Cartas de Uso do Solo Utilizando Imagens de Satélite e Informação Geo-referenciada não espectral**. Revista de Cartografia e Cadastro, Nº6, Instituto Português de Cartografia e Cadastro, pp.71-78.

Chavez, P.S.; MacKinnon (1994). **Automatic Detection of Vegetation Changes in the Southwestern United States Remotely Sensed Images**. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, vol. 60, no. 4, 1994.

Congalton, R.G. (1991). **A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data**. Remote Sensing of Environment, 37, pp. 35-46.

Congalton, R.G; Mead, R.A. (1983). **A Quantitative Method to Test for Consistency and Correctness in Photointerpretation**. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, vol. 49, no. 1.

Congalton, R.G.; Oderwald, R.G.; Meace, R.A. (1983). **Assessing Landsat Classification Accuracy Using Discrete Multivariate Statical Techniques**. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, vol. 49, no. 12.

Cowen, D.J.; Jensen, J.R.; Bresnahan, G.; Ehler, D.; Traves, D.; Huang, X.; Weisner, C.; Mackey, H.E. (1995). **The Design and Implementation of an Integrated GIS for Environmental Applications**. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, vol. 61,1393-1404.

Cracknell, A.P.; Hayes, L.W.B. (1991). **Introduction to Remote Sensing**. Taylor & Francis.

Eckhardt, D.W.; Verdin, J.P.; Lyford, G.R. (1990). **Automated Update of an Irrigated Lands GIS Using Spot HRV Imagery**. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, vol. 56, no. 11, 1986.

Ferreira, A. C. N. (1999). **Cartografias de Áreas urbanas com base em dados de Detecção Remota**. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre. Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior Técnico.

Fitzpatrick-Lins, K. (1981). **Comparison of Sampling Procedures and Data Analysis for a Land-use and Land-cover Map**. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, vol. 47, no. 3 pp. 343-351.

Felix, N.A.; Binney, D.L. (1989). **Accuracy Assessment of a Landsat assisted Vegetation Map of Coastal Plain of the Arctic National Wildlife Refuge**. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, vol. 55, no. 4 pp. 475-478.

Fung, T.; Siu, W. (2000). **Environmental quality and its change, an analysis using NDVI**. International Journal of Remote Sensing, no 5, pp. 1011-1024.

Gong, P.; Howarth, P.J. (1992). **Land-use classification of SPOT HRV data using a cover-frequency method**. International Journal of Remote Sensing, vol.13, no 8.

Gordon, S. I. (1980). **Utilizing LANDSAT Imagery to Monitor Land-use Change : A case Study in Ohio**. Remote Sensing of environment vol. 9.

Green, K.; Kempka, D. ; Lackey, L. (1995). **Elaboration d'une carte d'occupation du sol basin de la Leysse à partir d'images HRV de SPOT**. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, vol. 60, no. 2, 2000.

Gupta, D.M.; Munshi, M.K. (1985). **Urban change detection and land-use mapping of Delhi**. International Journal of Remote Sensing, vol. 6, no 3.

Heo J.; Fitzhugh T.W. (2000)-**A Standardized Radiometric Normalization Method for Change Detection Using Remotely Sensed Imagery**. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, vol. 66, no. 2, pp. 173-181.

Howard, J. A. (1991). **Remote Sensing of Forest resources**. Chapman & Hall, London.

Huete, A.R. (1988). **A soil adjusted Vegetation Index (SAVI)**. Remote Sensing of Environment 25, pp. 295-309

Jensen, J.R. (2000). **Remote Sensing of the Environment. An Earth Resource Perspective**. Prentice Hall, Inc.

Jensen, J.R. (1996). **Introductory digital image processing. A Remote Sensing. Perspective**. Prentice Hall, Inc.

Kaufaman, J.Y; Tanré, D. (1992). **Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS. IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing**. vol. 30 no. 2, pp. 261-270.

Koutsias, N.; Karteris, M. (2000). **Burned area mapping using logistic regression modeling of a single post-fire Landsat-5 Thematic Mapper image**. International Journal of Remote Sensing, vol. 21, no 4, pp. 673-687.

Kwarteng, A.Y.; Chavez Jr, P.S. (1998). **Change detection study of Kuwait City and environs using multitemporal Landsat Thematic Mapper data**. International Journal of Remote Sensing, vol. 19, no 9, pp.1651-1662

Lillesand, T.M.; Kiefer, R. W. (2000). **Remote Sensing and Image Interpretation**. John Wiley & Sons, Inc.

Lillesand, T.M.; Kiefer, R. W. (1994). **Remote Sensing and Image Interpretation**. John Wiley & Sons, Inc.

Lo, C.P. (1986). **Applied Remote Sensing. University of Georgia**. Longman Inc., New York.

Lourenço, L. (1995).**Guia de Portugal, Beira litoral**. Jornal Expresso, 1995

Lunetta, R.S.; Balogh, M. E. (1999). **Application of Multi-Temporal Landsat 5 TM Imagery for Wetland Identification**. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, vol. 65, no. 11, pp. 1303-1310.

Lunetta, R.S.; Elvidge, C.D. (1999). **Remote Sensing Change Detection. Environmental Monitoring Methods and Aplications**. Taylor & Francis.

Lunetta, R.S; Congalton, R.G.; Fenstermaker, L.K.; Jensen, J.R.; McGwire, K.C.; Tinney, L.R. (1991). **Remote Sensing and Geographic Information System Data Integration: Error Sources and Research Issues**. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, vol. 67, no. 6, pp. 677-687.

Markham, B. L.; Baker, J. L. (1985). **Spectral characterization of the Landsat Thematic Mapper sensors**. International Journal of Remote Sensing, vol. 6 no.5, pp 697-716.

Martinez-Casasnovas, J. A. (2000). **A Cartographic and Database Approach for Land Cover/Use Mapping and Generalization from Remotely Sensed Data**. International Journal of Remote Sensing, vol. 21, no 9, pp. 1825-1842.

Mas, J.F. (1999). **Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques**. International Journal of Remote Sensing, vol. 20, no 1, pp.139-152.

Meyer, P.; Itten, K.I; Kellenberger, T.; Sandmeier, S.; Sanmeier, R. (1993). **Radiometric Corrections of Topographically Induced Effects on Landsat TM Data in an Alpine Environment**. ISPRS Journal of Photogrammetric and Remote Sensing, vol. 48 no. 4, pp. 17-28.

Miller, A. B.; Bryant, E. S. ; Birnie, R. W. (1998). **An analysis of land cover changes in the Northern Forest of New England using multitemporal Landsat MSS data**. International Journal of Remote Sensing, vol. 19, no 2, pp. 245-265.

Mucher, C. A.; Steinnocher, K.T.; Kressler, F.P.; Heunks, C. (2000). **Land cover characterization and change for environmental monitoring of pan_Europe**. International Journal of Remote Sensing, vol. 21, no 6&7, pp. 1159-1181.

Nelson, R.F. (1983). **Detecting forest canopy change due to insect activity using Landsat MSS**. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 49 , pp. 1303-1314.

Rodrigues, M. T. C. (1999). **Detecção Remota por Satélite de matos Mediterrâneos de Cistáceas**. Dissertação para a obtenção do grau de Doutor. Universidade Nova de Lisboa. Faculdade de Ciências e Tecnologia.

Richards, J.R. (1986). **Remote Sensing Digital Image Analysis**. Springer-Verlag.

Richardson, A.J.; Wiegand, C.L. (1977). **Distinguishing Vegetation from Soil Background Information**. Remote Sensing of Environment, 53, pp.188-198 .

Rosenfield, G.H.; Fitzpatrick-Lins (1986). **A Coefficient of Agreement as an Measure of Thematic Classification Accuracy**. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, vol. 52, no. 2.

Rouse, J. W.; Haas, R. H.; Schell, J. A; Deering, D. W. (1974). **Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS, Proceedings**. Third Earth Resource Technology Satellite-1 Symposium, Greenbelt: NASA SP-351, 3010-317.

Seixas, J. (2000). **Assessing heterogeneity from remote sensing images: the case of desertification in southern Portugal**. International Journal of Remote Sensing, vol. 21, no 13&14, pp. 2645-2663.

Singh, A. (1989). **Digital Change Detection Techniques Using Remotely Sensed Data**. International Journal of Remote Sensing, vol. 10, no. 6, pp. 989-1000.

Singh, A; Harrison, A. (1985). **Standardized principal components**. International Journal of Remote Sensing, vol. 6, no. 6, pp.883-896.

Sunar, M. (1998). **An analysis of changes in a multi-data e data set: a case study in the Ikitelli area, Istanbul, Turkey**. International Journal of Remote Sensing, vol. 19, no 2, pp. 225-235.

Story, M.; Congalton, R.G. (1986). **Accuracy Assessment: A User's Perspective**. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, vol. 52, no. 3.

Sohl, T.L. (1999). **Change Analysis in the United Emirates: An Investigation of Techniques**. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, vol. 65, no. 4, pp. 475-484.

Ulbricht, K.A.; Heckendorff, W.D. (1998). **Satellite images for recognition of landscape and land use changes**. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, vol. 53.

Teillet, P. N. (1986). **Image Correction for Radiometric effects in Remote Sensing**. International Journal of Remote Sensing, vol. 7, no 12, pp. 1637-1651.

Tucker, C.J. ; Hielkema, J.V. ; Roffey, J (1985). **The potencial of satellite remote sensing of ecological conditions for survey and forecasting desert-locust activity**. International Journal of Remote Sensing, vol. 6 , pp. 127-138.

Tucker, C.J. (1979). **Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation**. Remote sensing Environment vol. 8, pp. 127-150.

Weismiller, R.A. ; Kristoof, S.J.; Scholz, D.K.; Anuta, P.E; Momen, S.A. (1977). **Change detection in coastal zone environments**. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 43, pp. 1533-1539.

Wessman, C.A. (1987). **Analysis of Landsat Thematic Mapper Imagery Over UW Arboretum and Blackhawk Island**. Ph. D. Dissertation in Forestry/Environmental Monitoring, University of Wisconsin-Madison.

Yang, X.; Lo, C.P. (2000). **Relative Radiometric Normalization Performance for Change Detection from Multi-Date Satellite Images**. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, vol. 66, no. 8, pp. 967-980.

Endereços de internet

Atlas do Ambiente
http://www.atlasambiente.pt

Cadresourses
http://www.cadresources.com

Canadian Center of Remote Sensing Tutorial
http://www.ccrs.nrcan.gs.ca/ccrs/eduref/tutorial

Canada Center for Remote Sensing. Cal/Val technical developments – Landsat 5
http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/teKrd/ana/calval/landst5e.html

Celpa
http://www.celpa.pt

Centro Nacional de Informação Geográfica (CNIG)
http://www.cnig.pt

Direcção Geral de Florestas
http://www.dgf.min-agricultura.pt/

Eurimage Home Page
http://www.eurimage.com

Landsat Applications
http://ltpwww.gsfc.nasa.gov

Landsat Program
http://geo.arc.nasa.gov

Landsat Satellites
http://www.fes.uwaterloo.ca

Landsat 7
http://landsat7.usgs.gov

Nasa Observatorium Education-History
http://observe.ivv.nasa.ov/nasa/exhibits/history/history.html

Projecto CORINE
http://www.gsf.de/UNEP/corine.html

Projecto CORINE na Polónia
http://botan.ib-pan.KraKow.pl/przyroda/corinneen.htm

Remote Sensing and Photo Interpretation Tutorial
http://rsf.gsfc.nasa.gov

Delft University of Technology
http://www.ph.tn.tudelft.nl

Virtually Hawaii Introduction to Remote Sensing
http://hawaii.ivv.nasa.gov

ANEXO A

Descrições e inventários dos
Projectos CORINE, COS90 e ACTUS100
(Fonte-CNIG)

Quadro A.1 - INVENTÁRIO CARTOGRÁFICO DO CORINE *LAND COVER*

Nível I	Nível II	Nível III
1 Territórios Artificializados	11 Zonas com dominância de habitação	1110 Tecido urbano contínuo
		1120 Tecido urbano descontínuo
	12 Zonas com revestimento dominantemente artificializado	1210 Espaços de actividades industriais, comerciais e de equipamentos gerais
		1220 Infraestruturas da rede de auto-estradas e da rede ferroviária
		1230 Zonas portuárias
		1240 Aeroportos
	13 Zonas alteradas artificialmente, sem vegetação	1310 Pedreiras, zonas de extracção de areia, minas a céu aberto
		1320 Descargas industriais, zonas de espalhamento de lixos
		1330 Estaleiros
	14 Zonas verdes ordenadas	1410 Espaços verdes urbanos
		1420 Zonas com equipamentos desportivos e de ocupação de tempos livres
2 Área com Ocupação Agrícola	21 Áreas agrícolas com culturas anuais	2110 Zonas de utilização agrícola fora dos perímetros florestais
		2120 Perímetros regados
		2130 Arrozais
	22 Culturas permanentes	2210 Vinhas
		2211 Vinha + Pomar
		2212 Vinha + Olival
		2220 Pomares
		2221Pomar + Vinha
		2222 Pomar + Olival
		2230 Olivais
		2231 Olival + Vinha
		2232 Olival + Pomar
	23 Pastagens	2310 Pastagens
	24 Zonas Agrícolas heterogéneas	2410 Culturas anuais associadas às culturas permanentes
		2420 Sistemas culturais e parcelares complexos
		2430 Terras ocupadas principalmente por agricultura com espaços naturais importantes
		2440 Territórios agro-florestais
3 Florestas e Meios Semi-Naturais	31 Florestas	3110 Folhosas
		3111 Sobreiro
		3112 Azinheira
		3113 Sobreiro / Azinheira
		3114 Castanheiro
		3115 Carvalho
		3116 Eucalipto
		3120 Resinosas
		3121 Pinheiro Bravo
		3122 Pinheiro Manso
		3130 Floresta com mistura de várias espécies florestais
	32 Zonas com vegetação arbustiva ou herbácea	3210 Pastagens pobres, trilhos
		3220 Landes e matagal
		3230 Vegetação esclerofitica (por exemplo: maquial, carrascal e esteval)
		3240 Espaços florestais degradados
	33 Zonas descobertas sem ou com pouca vegetação	3310 Praias, dunas, areais e solos sem cobertura vegetal
		3320 Rochas nuas
		3330 Estepes sub-desérticas
		3340 Zonas incendiadas recentemente
		3350 Neves eternas e glaciares
4 Meios Aquáticos	41 Zonas húmidas continentais	4110 Zonas apaúladas
		4120 Turfeiras
	42 Zonas húmidas marítimas	4210 Sapais
		4220 Salinas
		4230 Zonas intertidais
5 Superfícies com Água	51 Zonas de água doce	5110 Linhas de água
		5120 Planos de água, lagos
	52 Zonas de água salgada	5210 Lagunas e cordões litorais
		5220 Estuários
		5230 Mar e Oceâno

A.1 - Carta de ocupação do solo

A Carta de Ocupação do Solo (COS) de Portugal Continental de 1990 é um projecto do Ministério do Ambiente e Ordenamento do Território, coordenado pelo Centro Nacional de Informação Geográfica. Surgiu com o intuito de tentar conhecer as características de ocupação e uso do solo e colmatar a parca ou mesmo inexistente informação de cartografia actualizada e uniforme nesta área.
O planeamento e ordenamento do território não pode ser feito sem o perfeito conhecimento das características de ocupação e uso do solo.
O COS foi realizado com base na cobertura aerofotográfica de 1990 com filme infravermelho de falsa cor, à escala média de 1:1500, pela Associação dos Produtores de Celulose e Papel, actual CELPA.
Este conjunto de fotografias aéreas foi oferecida em 1991 ao antigo Ministério do Planeamento e Ordenamento do Território, tendo como contrapartida a produção da COS.
A COS visou a execução de uma Cartografia de uso e ocupação do solo integral para Portugal Continental, desde o domínio da floresta ao agrícola.
A escala escolhida para a construção desta Carta foi 1:25000, sendo adoptado o sistema de projecção utilizado pelo IGeoE na carta Militar da mesma escala (Série M888).
A área mínima estabelecida foi de 1 hectare, de modo a integrar o máximo de informação possível, embora existissem áreas de dimensão inferior devido às flutuações da escala do filme base e ao rigor da foto-interpretação.

A fotointerpretação foi realizada sobre papel de acetato, recorrendo à utilização de estereoscópios de espelhos.
O trabalho de campo foi efectuado em 30% do território antes da fotointerpretação propriamente dita e em alguns casos depois, para esclarecimento de dúvidas.
Durante o trabalho de campo os técnicos depararam com alterações significativas entre o tipo de cobertura existente no local e o observado na fotografia, nomeadamente em zonas florestais e em zonas de incultos. Nestes casos optou-se, sempre que possível, pela limitação das manchas que ocorriam na altura em que foi efectuado o voo, recorrendo, em caso de duvida à consulta das populações locais.
Na delimitação de massas de água também se verificaram alguns problemas dado que a cobertura aerofotográfica foi realizada num ano de seca. Assim, alguns cursos de água ou albufeiras apresentam um nível de caudal anormal, com grandes zonas de areal descoberto ou ainda leitos completamente cobertos de vegetação herbácea. Nestes casos optou-se por marcar as áreas pelos limites de areal a descoberto.

Definição de manchas
As manchas são definidas tendo em conta a homogeneidade das parcelas, tendo uma área mínima fotointerpretável de 1 hectare, e deverão ter largura igual ou superior a 40 m. Por vezes encontram-se áreas de dimensão inferior a 1 hectare devido às diferenças de escala dentro do próprio voo.

Nomenclatura

Pretende-se com a presente nomenclatura diferenciar da melhor maneira os seis tipos diferentes de utilização do solo:

Florestal- Quando a parcela é constituída por ocorrências florestais ou ainda formações não arbóreas, mas em que existam ocorrências florestais com grau de coberto igual ou superior a 10%. Define-se como grau de coberto a razão entre a área da projecção da copa sobre a área total da parcela.

Agrícola- Quando a parcela é constituída por terras aráveis, culturas permanentes, prados e pastagens permanentes.

Inculto- Quando na parcela não se verifique a utilização florestal ou agrícola, mas cujo solo seja susceptível de terem destes tipos de utilizações

Improdutivo- Parcela constituída por terrenos estéreis do ponto de vista de produção vegetal (areias litorais, afloramentos rochosos, pedreiras, áreas de exploração mineira e salinas)

Social – Áreas urbanas, equipamentos sociais, grandes vias de comunicação.

Superfícies aquáticas – Estuários (englobando sapais) ou grandes cursos de água, lagoas e albufeiras.

Os códigos relativos (quadro A.2) a cada mancha compõem-se de três dígitos: duas letras seguidas de um valor numérico ou um x, no caso dos mistos de pomares. As letras indicam o tipo de cobertura enquanto que o valor numérico poderá indicar o grau de coberto (no caso das espécies florestais) como do tipo especifico de cobertura (em especial relevo para as coberturas agrícolas).
A nomenclatura da COS permite uma grande variedade de combinações entre os vários tipos de cobertura, totalizando quase setecentos tipos diferentes de ocorrências.

No caso de existir uma parcela mista que inclua uma parte florestal, esse dígito está representado por um traço, de modo a que o fotointérprete preencha o código com o tipo florestal ocorrente.
Nos casos em que exista uma parcela agrícola mista, o terceiro dígito aparece como (1-x) onde o fotointérprete coloca o tipo de pomar ocorrente no caso de ser o dominante, ou ainda (1-2) para o caso das culturas anuais, excluindo as estufas e os arrozais.

Consideram-se manchas mistas só de ocorrências florestais quando estas têm um grau de coberto superior a 75% da área da parcela e são definidas da seguinte forma:
1º Dígito - Espécie dominante
2º Dígito - Espécie dominada
3º Dígito - Grau de coberto relativo às duas ocorrências

Quadro A.2 - NOMENCLATURA DA CARTA DE OCUPAÇÃO DO SOLO

NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III
1 Áreas Artificiais	Espaço urbano	UU1 Tecido urbano contínuo
		UU2 Tecido urbano descontínuo
		UU9 Outros espaços fora do tecido urbano consolidado
	Infraestruturas e Equipamentos	SW1 Zonas industriais e comerciais
		SW2 Vias de comunicação (Rodoviárias e ferroviárias)
		SW3 Zonas portuárias
		SW4 Aeroportos
		SW9 Outras infraestruturas e equipamentos
	Improdutivos	JJ1 Pedreiras, saibreiras, minas a céu aberto
		JJ2 Lixeiras, descargas industriais e depósitos de sucata
		JJ3 Estaleiros de construção civil
		JJ9 Outras áreas degradadas
	Espaços verdes artificiais	SL1 Espaços verdes urbanos (florestais)
		SL2 Espaços verdes (não florestais) para as actividades desportivas e de lazer
2 Áreas agrícolas	Terras aráveis - culturas anuais	CC1 Sequeiro
		CC2 Regadio
		CC3 Arrozais
		CC9 Outros (estufas, viveiros, etc)
	Culturas permanentes	VV1 Vinha
		VA1 Vinha + Pomar
		VO1 Vinha + Olival
		VC1 Vinha+ Cultura anual
	Pomar	AA1 Citrinos
		AA2 Pomoideas
		AA3 Prumoideas (sem a amendoeira)
		AA4 Amendoeiras
		AA5 Figueiras
		AA6 Alfarrobeiras
		AA9 Outros pomares
		Aax Mistos de pomares
		AC(1-x) Pomar + Cultura anual
		AV(1-x) Pomar + Vinha
		AO(1-X) Pomar + Olival
	Olival	OO1 Olival
		OC1 Olival + Cultura anual
		OV1 Olival + Vinha
		OA1 Olival + Pomar
	Outras arbustivas	DD1 Medronheiro
		DD9 Outras arbustivas
	Prados permanentes	GG1 Prados e lameiros
	Áreas Agrícolas heterogéneas	CV(1-x) Culturas anuais + Vinha
		CA(1-2) Culturas anuais + Pomar
		CO(1-2) Culturas anuais + Olival
		CX Sistemas culturais e parcelares complexos
		CI(1-2) Áreas principalmente agrícolas com espaços naturais importantes
	Territórios agro-florestais	C+_0 Culturas anuais + espécie florestal
		_+C(1-2) Espécie florestal + culturas anuais

3 Floresta	Folhosas	BB+_ Sobreiro
		ZZ+_ Azinheira
		TT+_ Castanheiro bravo
		NN+_ Castanheiro manso
		QQ+_ Carvalho
		EE+_ Eucalipto
		FF+_ Outras folhosas
	Resinosas	PP+_ Pinheiro bravo
		MM+_ Pinheiro manso
		RR+_ Outras resinosas
4 Meios semi-naturais	Ocupação arbustiva e herbácea	II1 Pastagens naturais pobres
		II2 Vegetação arbustiva baixa- matos
		QQ6/FF6 Vegetação esclerofítica- carrascal
		ZZ6/BB6
		I_+0 Vegetação arbustiva alta e floresta degradada ou de transição
		J_+0 Áreas descobertas sem ou com pouca vegetação
		IO0 Olival Abandonado
		JY1 Praia, dunas, areais e solos sem cobertura vegetal
		JY2 Rocha nua
	Zonas incendiadas recentemente	_+4 Zonas incendiadas recentemente
5 Meios aquáticos	Zonas húmidas continentais	HY1 Zonas pantanosas interiores e paúls
	Zonas húmidas marítimas	HY2 Sapais
		HY3 Salinas
		HY4 Zonas intertidais
6 Superfícies com água	Áreas continentais	HH1 Cursos de água
		HH2 Lagoas e albufeiras
	Águas marítimas	HH3 Lagunas e cordões litorais
		HH4 Estuários
		HH5 Mar e Oceâno

Nota:

1) Código para o coberto florestal

O Código é o terceiro dígito desta Classe

0 grau de coberto inferior a 10%

1 grau de coberto de 10% a 30%

2 grau de coberto de 30% a 50%

3 grau de coberto superior a 50%

4 corte raso ou fogo

5 zona verde urbana ou de protecção

6 espécie espontânea

2) Povoamento florestal misto (Folhosas + Resinosas)

Combinação das letras indicadas para cada espécie (máximo de duas) em que a primeira é a dominante ocupando as duas até 75% da superfície, seguida da indicação do grau de coberto (de 0 a 3)

A.2 - ACTUS100

PROTOCOLO

Entre a Direcção-Geral das Florestas, DGF, serviço central do Ministério da Agricultura, Desenvolvimento Rural e das Pescas, com sede na Av. João Crisóstomo, n.28 em Lisboa, representada pelo Director Geral das Florestas, Eng. Carlos José Egreja Morais, e o Centro Nacional de Informação Geográfica, CNIG, organismo do Ministério do Equipamento, Planeamento e Administração do Território, com sede no Tagus Park, Núcleo Central, Sala 301, 2780-920 Porto Salvo Oeiras, representado pelo Presidente Eng. Rui Gonçalves Henriques, tendo presente que:

1. existe a necessidade de produzir uma cartografia de ocupação do solo com periodicidade anual para o território português continental,
2. é do interesse do CNIG e da DGF o desenvolvimento de metodologias para actualização da cartografia de ocupação do solo com base em imagens de satélite, celebra-se o presente protocolo, que se rege pelas cláusulas seguintes:

1ª

O protocolo tem como objectivo definir as bases de uma relação institucional que permita a colaboração entre o CNIG e a DGF no âmbito do desenvolvimento e teste de uma metodologia para produção de cartografia anual de ocupação do solo à escala 1:100000 com base em imagens de satélite (Landsat-TM) e na carta de ocupação de solo de 1990 (1:25000).

2ª

No trabalho a desenvolver, no âmbito deste protocolo, não haverá transferência de verbas entre as instituições signatárias.

3ª

O presente protocolo produz efeitos a partir da sua assinatura e terá a duração de oito meses, podendo ser rescindido por qualquer das partes, desde que comunicado por escrito, com a antecedência mínima de um mês.

4ª

Cada um dos organismos outorgantes designará um responsável pela gestão dos trabalhos a efectuar.

5ª

A metodologia proposta pelo CNIG para produção de cartografia anual de ocupação de solo 1:100000 consiste na actualização da carta de ocupação de solo de 1990 (1:25000) (COS'90) com base em imagens Landsat TM. A legenda e área mínima da cartografia a produzir serão definidas em tempo próprio pelo CNIG e DGF. A descrição sumária das actividades propostas é feita em anexo a este protocolo (Anexo Técnico).

6ª

A metodologia a desenvolver será pertença do CNIG. A DGF poderá utilizar os produtos criados no âmbito deste estudo e aplicar a metodologia para geração de produtos que só poderão ser utilizados na própria DGF e nas Direcções Regionais de Agricultura.

7ª

Os produtos do trabalho a desenvolver serão:

a) relatório com a descrição da metodologia e dos resultados dos testes executados;

b) cartografia para cada um dos anos do período de 1991 a 1997 para um conjunto de seis folhas da COS90 (1:25000), correspondentes às folhas utilizadas no desenvolvimento e teste da metodologia;

c) documento com definição de estratégias para aplicação operacional a nível nacional da metodologia proposta;

d) documento com previsão dos custos de aplicação da metodologia

e) proposta a nível nacional.

Anexo: Anexo Técnico

Anexo técnico

Este estudo tem como principais objectivos o desenvolvimento e teste de uma metodologia para produção de cartografia anual de ocupação do solo à escala 1:100000 com base em imagens Landsat TM e na Carta de Ocupação do Solo de 1990 à escala 1:25000 (COS90).

Metodologia

A metodologia a testar assenta na actualização da cartografia já existente para 1990 à escala 1:2 000 (COS90) e pode ser resumida nos seguintes passos:

(1) criação de uma máscara para delimitar áreas cuja probabilidade de se alterarem de um ano para outro é baixa e que inclui áreas artificializadas e corpos de água. A metodologia assume que áreas ocupadas por estas classes não se alteram de um ano para o outro;

(2) identificação dos principais tipos de alteração da ocupação do solo, nomeadamente: expansão urbana (contígua, ou não, a áreas artificializadas existentes), plantações florestais, cortes de povoamentos florestais, incêndios florestais, nova rede viária, alterações em áreas florestais ardidas,

(3) desenvolvimento de metodologias para identificar cada uma das principais alterações da ocupação do solo.

Área de estudo

A metodologia será desenvolvida num conjunto de três folhas da COS90 da região Centro do País coberta pela imagem Landsat TM 204/32. A metodologia será testada num conjunto de três folhas da COS90, diferentes das usadas no desenvolvimento da metodologia.

Será produzida cartografia 1:100000 para os anos: 1991, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996 e 1997 para as áreas cobertas pelas seis folhas da COS90 (1:25000).

Base de dados

Os dados necessários para a execução do trabalho proposto serão disponibilizados pelas instituições participantes:

- DGF: fotopontos de 1995, áreas ardidas de 1990 a 1997 e imagens de satélite Landsat TM;
- CNIG: carta de ocupação do solo 1:25000 de 1990 (COS90), fotografias orto-rectificadas em formato digital de 1995, CORINE Land Cover, Modelo Digital de Terreno, imagens de satélite Landsat TM.

Tarefas a executar por cada instituição participante

As tarefas a executar pelo CNIG são:

- coordenação da execução do trabalho proposto;
- verificação da COS'90 (1:25000) para a área de estudo;
- desenvolvimento da metodologia para produção de cartografia;
- desenvolvimento da metodologia para validação dos produtos cartográficos;
- aplicação da metodologia desenvolvida para produção de cartografia às imagens Landsat existentes no CNIG para a área de estudo definida;
- participação em reuniões de acompanhamento do estudo.
- relatório final.

As tarefas a executar pela DGF são:

- desenvolvimento de metodologia para validação dos produtos cartográficos;
- participação em reuniões de acompanhamento do estudo.

ANEXO B

Coeficientes de calibração das imagens Landsat (1990-1995), cálculos auxiliares (1990) e rotina *Reflectância*

ANO	TM	Offset	Gain
90	1	-1.50	1.2903
	2	-2.80	0.6896
	3	-1.20	0.9085
	4	-1.50	1.0678
	5	-0.37	6.4461
	7	-0.15	15.1608

ANO	TM	Offset	Gain
91	1	-1.50	1.2733
	2	-2.80	0.6802
	3	-1.20	0.9039
	4	-1.50	1.0664
	5	-0.37	6.4461
	7	-0.15	14.9902

ANO	TM	Offset	Gain
92	1	-1.50	1.2599
	2	-2.80	0.6728
	3	-1.20	0.9002
	4	-1.50	1.0652
	5	-0.37	6.4461
	7	-0.15	14.856

ANO	TM	Offset	Gain
93	1	-1.50	1.2471
	2	-2.80	0.6658
	3	-1.20	0.8967
	4	-1.50	1.0641
	5	-0.37	6.4461
	7	-0.15	14.728

ANO	TM	Offset	Gain
94	1	-1.50	1.235
	2	-2.80	0.6591
	3	-1.20	0.8934
	4	-1.50	1.0631
	5	-0.37	6.4461
	7	-0.15	14.6061

ANO	TM	Offset	Gain
95	1	-1.50	1.2186
	2	-2.80	0.65
	3	-1.20	0.8889
	4	-1.50	1.0617
	5	-0.37	6.4461
	7	-0.15	14.4415

ANO	D	COS
90	1.0086	0.82
91	1.016	0.83
92	1.017	0.85
93	1.016	0.87
94	1.0073	0.80
95	1.0171	0.83

TM	E0
1	1959.20
2	1827.40
3	1550.00
4	1040.80
5	220.75
7	74.96

PI
3.141592654

ANO	TM	PI*D2/E0*costeta
90	1	0.0019893
	2	0.0021328
	3	0.0025144
	4	0.0037446
	5	0.0176552
	7	0.0519929

ANO	TM	PI*D2/E0*costeta
91	1	0.0019943
	2	0.0021381
	3	0.0025207
	4	0.0037540
	5	0.0176994
	7	0.0521230

ANO	TM	PI*D2/E0*costeta
92	1	0.0019512
	2	0.0020919
	3	0.0024663
	4	0.0036729
	5	0.0173170
	7	0.0509968

ANO	TM	PI*D2/E0*costeta
93	1	0.0019026
	2	0.0020398
	3	0.0024048
	4	0.0035814
	5	0.0168856
	7	0.0497266

ANO	TM	PI*D2/E0*costeta
94	1	0.0020338
	2	0.0021804
	3	0.0025707
	4	0.0038283
	5	0.0180500
	7	0.0531555

ANO	TM	PI*D2/E0*costeta
95	1	0.0019986
	2	0.0021427
	3	0.0025262
	4	0.0037621
	5	0.0177377
	7	0.0522360

```
! Programa para converter valores DN em Reflectancia
!Imagem de 1990
!Definição de Variaveis
global double x1,x3,x4
global float o1,o3,o4,g1,g3,g4
!
!x(i)=(pi*d2)/E0(i)cosO(i)
x1=0.0019893
x3=0.0025144
x4=0.0037446
!
!
!Offset
o1=-1.5
o3=-1.2
o4=-1.5
!
!
!Ganho
g1=1.2903
g3=0.9085
g4=1.0678
!
!
!Calculos da Reflectancia para as bandas TM1,TM3 e TM4
! Reflectancia=x(i)*((%(i))-o(i))/g(i))
%4=(((%1)-o1)/g1)*x1
%5=(((%2)-o3)/g3)*x3
%6=(((%3)-o4)/g4)*x4
!
! Calculo do ARVI para a imagem de 1990
%7=(%6-(2*%5)+%4)/(%6+(2*%5)-%4)
```

ANEXO C

Rotina *Alteração*

```
!Rotina Alteração (1991-1990)

! Bitmap ARVI
!Media(+-)Desvio
  if ( %4 >= -0.247028 AND %4 <=0.098564 ) then
    %1 = 0
  elseif (%4< -0.247028 ) then
    %1 = 2
  else
    %1 = 1
endif;
!
!Media(+-)1.5Desvio
  if ( %4 >=-0.333426 AND %4 <=0.184962 ) then
    %2 = 0
  elseif (%4<-0.333426 ) then
    %2 = 2
  else
    %2 = 1
endif;
!
!Media(+-)2Desvio
  if ( %4 >=-0.419824 AND %4 <= 0.27136 ) then
    %3 = 0
  elseif (%4<-0.419824 ) then
    %3 = 2
  else
    %3 = 1
endif;
```

ANEXO D

Rotinas para agrupar classes

```
'Setembro 2000
'Pedro Guimaraes
"Programa para generalizar areas

'Seleciona a view e o tema pretendido para a união de poligonos
theView = av.getactivedoc
thetheme = theView.getactiveThemes.get(0)

area1=self.asnumber
'msgbox.info(area1.asstring,"")

'Verifica se o tema é de poligonos e seleciona a tabela
aVTab = theTheme.GetFtab
aField = aVTab.FindField("Shape")
if (aField.GetType = #FIELD_SHAPEPOLY) then
 aSelection = aVtab.GetSelection
 aSelection.ClearAll

 'Ciclo para a selecção dos records  1
 for each rec in aVtab
  thePol = aVtab.ReturnValue(aField,rec)

  'Ciclo para a selecção dos records  2
  for each r in aVtab


   'Combinação dos records 1 e 2
   if (r > rec ) then
   aPol = aVtab.ReturnValue(aField,r)


    'Verifica se os poligonos são adjacentes
    if (thePol.Intersects (aPol)) then
     'msgbox.info("Polygon"++rec.asstring++"intersects Polygon"++r.asstring,"Conta")
     aSelection = aVtab.GetSelection
     aSelection.ClearAll
     aSelection.Set(rec)
     aSelection.Set(r)
      y=0
     'Estuda a area dos poligonos
     for each sele in avtab.GetSelection
      aFielda = aVTab.FindField("area")
      varea1=aVTab.ReturnValue (aFielda, sele)
      'msgbox.info(varea1.asstring,"")
      x=0
      'contagem do numero de poligos com area superior a 20
      if (varea1 > area1) then
       y=1+y
       aFieldd = aVTab.FindField("desc")
       valor = aVtab.ReturnValue(aFieldd,sele)

      else
       x=x
      end 'contagem do numero de poligos com area superior a 20
      x=x+1
     end 'Estuda a area dos poligonos

     if (y=1) then
      'Torna o tema editavel
      theView.SetEditableTheme (theTheme)
```

```
            'Inicia a junção de poligonos
            theTheme.GetFTab.BeginTransaction
            theTheme.UnionSelected
            aVTab.calculate(valor.quote,aFieldd)
            aVTab.Refresh

            theTheme.GetFTab.EndTransaction
            theTheme.invalidate(TRUE)

            theTheme.StopEditing (true)
            d=1
            break

          else
            'msgbox.info("area grande","")
          end '(y=1) then

          'msgbox.info(y.asstring,"")
          aSelection = aVtab.GetSelection
          aSelection.ClearAll



        end 'Verifica se os poligonos são adjacentes

      end 'Combinação dos records 1 e 2

    end 'Ciclo para a selecção dos records  2

  end 'Ciclo para a selecção dos records

end 'if...Verifica se o tema é de poligonos e seleciona a tabela
```

```
"Setembro 2000
'Pedro Guimaraes
"Programa para generalizar areas (subrotina)

'Seleciona a view e o tema pretendido para a união de poligonos
theView = av.Getproject.finddoc("union")
theTheme =theView.FindTheme("Tema")
d=1

'Escolha do campo para fazer o disolve dos poligonos
lista =list.make
ff = theTheme.GetFtab.getfields
for each cc in ff
 lista.add(cc)
end

campo=msgbox.list(lista,"Escolha o campo","Nome do campo pretendido para a legenda")
area1=msgbox.input("Escreva o valor da area","Escolha do valor da area de poligonos a eliminar","100")


while (d=1)

'Verifica se o tema é de poligonos e seleciona a tabela
aVTab = theTheme.GetFtab
aField = aVTab.FindField("Shape")
if (aField.GetType = #FIELD_SHAPEPOLY) then
 aSelection = aVtab.GetSelection
 aSelection.ClearAll

 'Ciclo para a selecção dos records  1
 for each rec in aVtab
  thePol = aVtab.ReturnValue(aField,rec)

  'Ciclo para a selecção dos records  2
  for each r in aVtab


   'Combinação dos records 1 e 2
   if (r > rec ) then
   aPol = aVtab.ReturnValue(aField,r)


    'Verifica se os poligonos são adjacentes
    if (thePol.Intersects (aPol)) then
    d=av.run("1Eliminapoly",area1)
    else
    nada=1000

    end 'Verifica se os poligonos são adjacentes

   end 'Combinação dos records 1 e 2

  end 'Ciclo para a selecção dos records  2

 end 'Ciclo para a selecção dos records

end 'if...Verifica se o tema é de poligonos e seleciona a tabela

'msgbox.info(thetheme.asstring,"")
theLegend = theTheme.GetLegend
```

```
' First Set the LegendType
theLegend.SetLegendType(#LEGEND_TYPE_UNIQUE)

' Make the Unique Legend
theLegend.Unique(theTheme,campo.asstring)

' Avoid using an unwanted value, by making it null
theLegend.SetNullValue("Style","long")

' Load and Set the Color Scheme
theColorSchemes = SymbolList.GetPreDefined(#SYMLIST_TYPE_COLORSCHEME)

for each scheme in theColorSchemes
  if (scheme.GetName = "Cool Tones") then
    theColorScheme = scheme
  end
end

theLegend.GetSymbols.RandomSavedSymbols(theColorScheme)

' Change the TOC and redraw the theme.
theTheme.UpdateLegend

end
```

```
'Setembro 2000
'Pedro Guimaraes
'Programa para unir poligonos de descrições iguais

'Seleciona a view e o tema pretendido para a união de poligonos
theView = av.Getproject.finddoc("union")
theTheme =theView.FindTheme("Tema")
d=1

'Escolha do campo para fazer o disolve dos poligonos
lista =list.make
ff = theTheme.GetFtab.getfields
for each cc in ff
 lista.add(cc)
end

campo=msgbox.list(lista,"Escolha o campo","Nome do campo pretendido para o disolve")

while (d=1)

'Verifica se o tema é de poligonos e seleciona a tabela
aVTab = theTheme.GetFtab
aField = aVTab.FindField("Shape")
if (aField.GetType = #FIELD_SHAPEPOLY) then
  aSelection = aVtab.GetSelection
  aSelection.ClearAll

  'Ciclo para a selecção dos records  1
  for each rec in aVtab
    thePol = aVtab.ReturnValue(aField,rec)

    'Ciclo para a selecção dos records  2
    for each r in aVtab


      'Combinação dos records 1 e 2
      if (r > rec ) then
      aPol = aVtab.ReturnValue(aField,r)

        'Verifica se os poligonos são adjacentes
        if (thePol.Intersects (aPol)) then
        d=av.run("1Unepolydescigual",campo)
        else
        nada=1000

        end 'Verifica se os poligonos são adjacentes

      end 'Combinação dos records 1 e 2

    end 'Ciclo para a selecção dos records  2

  end 'Ciclo para a selecção dos records

end 'if...Verifica se o tema é de poligonos e seleciona a tabela

'msgbox.info(thetheme.asstring,"")
theLegend = theTheme.GetLegend

' First Set the LegendType
```

```
theLegend.SetLegendType(#LEGEND_TYPE_UNIQUE)

' Make the Unique Legend

theLegend.Unique(theTheme,campo.asstring)

' Avoid using an unwanted value, by making it null

theLegend.SetNullValue("Style","long")

' Load and Set the Color Scheme
theColorSchemes = SymbolList.GetPreDefined(#SYMLIST_TYPE_COLORSCHEME)

for each scheme in theColorSchemes
  if (scheme.GetName = "Cool Tones") then
    theColorScheme = scheme
  end
end

theLegend.GetSymbols.RandomSavedSymbols(theColorScheme)

' Change the TOC and redraw the theme.

theTheme.UpdateLegend
'theTheme.StopEditing (true)
end
```

```
"Setembro 2000
'Pedro Guimaraes
'"Programa para unir poligonos de descrições iguais (subrotina)

'Seleciona a view e o tema pretendido para a união de poligonos
theView = av.Getproject.finddoc("union")
theTheme =theView.FindTheme("Tema")
d=1

'Escolha do campo para fazer o disolve dos poligonos
lista =list.make
ff = theTheme.GetFtab.getfields
for each cc in ff
 lista.add(cc)
end

campo=msgbox.list(lista,"Escolha o campo","Nome do campo pretendido para o disolve")

while (d=1)

'Verifica se o tema é de poligonos e seleciona a tabela
aVTab = theTheme.GetFtab
aField = aVTab.FindField("Shape")
if (aField.GetType = #FIELD_SHAPEPOLY) then
  aSelection = aVtab.GetSelection
  aSelection.ClearAll

  'Ciclo para a selecção dos records  1
  for each rec in aVtab
    thePol = aVtab.ReturnValue(aField,rec)

    'Ciclo para a selecção dos records  2
    for each r in aVtab


      'Combinação dos records 1 e 2
      if (r > rec ) then
      aPol = aVtab.ReturnValue(aField,r)

        'Verifica se os poligonos são adjacentes
        if (thePol.Intersects (aPol)) then
        d=av.run("1Unepolydescigual",campo)
        else
        nada=1000

        end 'Verifica se os poligonos são adjacentes

      end 'Combinação dos records 1 e 2

    end 'Ciclo para a selecção dos records  2

  end 'Ciclo para a selecção dos records

end 'if...Verifica se o tema é de poligonos e seleciona a tabela

'msgbox.info(thetheme.asstring,"")
theLegend = theTheme.GetLegend

' First Set the LegendType
```

```
theLegend.SetLegendType(#LEGEND_TYPE_UNIQUE)

' Make the Unique Legend

theLegend.Unique(theTheme,campo.asstring)

' Avoid using an unwanted value, by making it null

theLegend.SetNullValue("Style","long")

' Load and Set the Color Scheme
theColorSchemes = SymbolList.GetPreDefined(#SYMLIST_TYPE_COLORSCHEME)

for each scheme in theColorSchemes
  if (scheme.GetName = "Cool Tones") then
    theColorScheme = scheme
  end
end

theLegend.GetSymbols.RandomSavedSymbols(theColorScheme)

' Change the TOC and redraw the theme.

theTheme.UpdateLegend
'theTheme.StopEditing (true)
end
```

```
"Setembro 2000
'Pedro Guimaraes
'"Programa para criar o campo com a descrição do COS91

theView = av.Getproject.finddoc("union")
 theTheme =theView.FindTheme("Tema")

 'theTable = av.FindDoc("Attributes of tema")
 'thetable.getwin.open
 'aVTab = theTable.GetVTab
 aVTab = theTheme.GetFTab
 aSelection = aVtab.GetSelection
 aSelection.ClearAll
 aField1 = aVTab.FindField("Leg_mes_")
 aField2 = aVTab.FindField("Leg_mes")
 theView.SetEditabletheme(theTheme)
 aVTab.AddFields({(Field.Make("NOVO", aField1.GetType, aField1.getWidth, aField1.GetPrecision))})
 aField3 = aVTab.FindField("NOVO")



  'Ciclo para a selecção dos records  1
  for each rec in aVtab

   desc1 = aVtab.ReturnValue(aField1,rec)
   desc2 = aVtab.ReturnValue(aField2,rec)

   'msgbox.info(rec.asstring,"")

   if( desc2 = "" ) then
   aVTab.SetValue(aField3,rec,desc1)

   elseif(desc2 <> desc1) then
     aVTab.SetValue(aField3,rec,desc2)
   else
     aVTab.SetValue(aField3,rec,desc1)
   end

end

 aVTab.SetEditable(FALSE)
```

ANEXO E

Tratamento das alterações

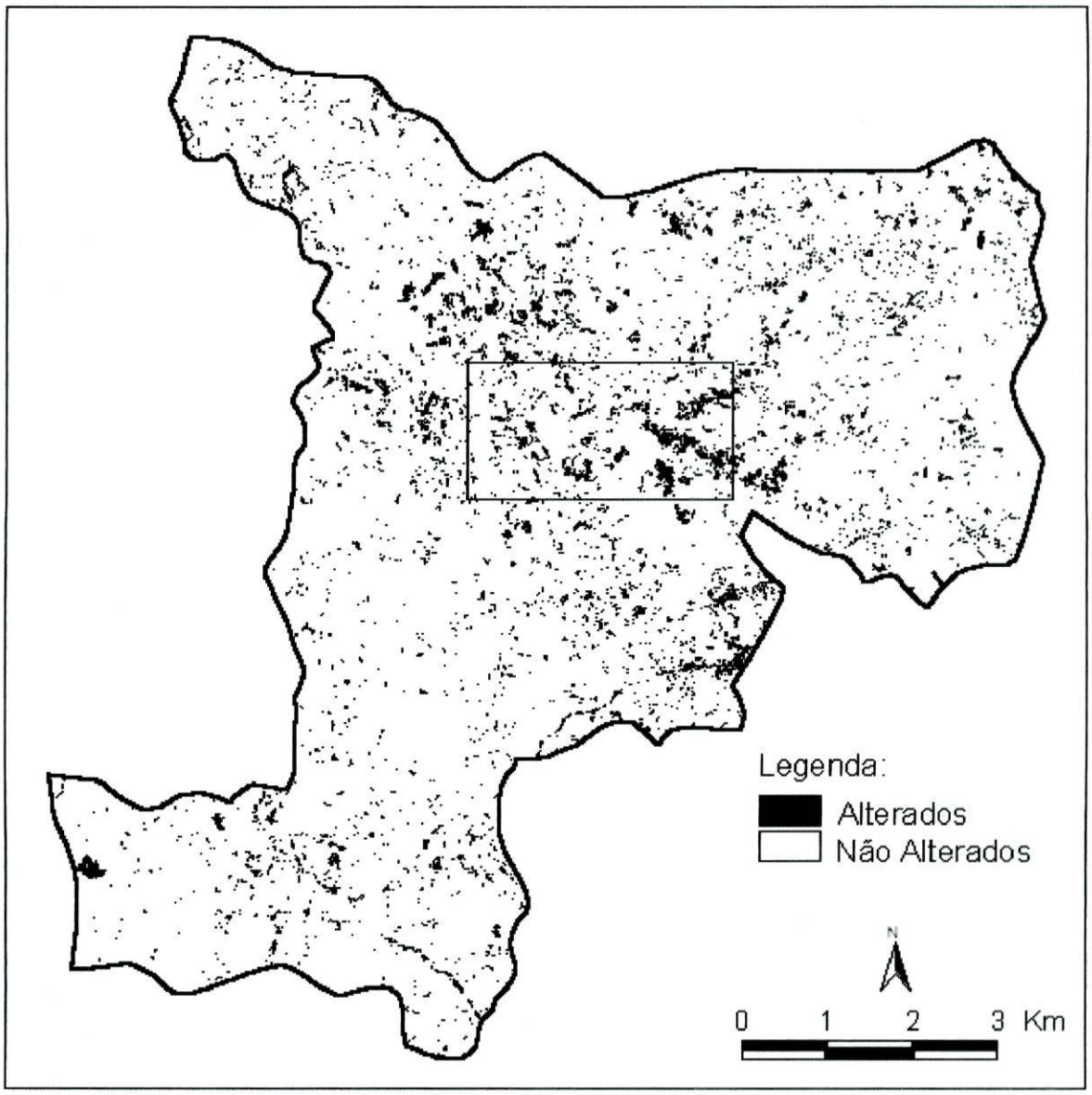


Figura E.1 - Alterações negativas (1991-1990), usando as diferenças de índice ARVI e o critério ($\mu - 1.5\sigma$)

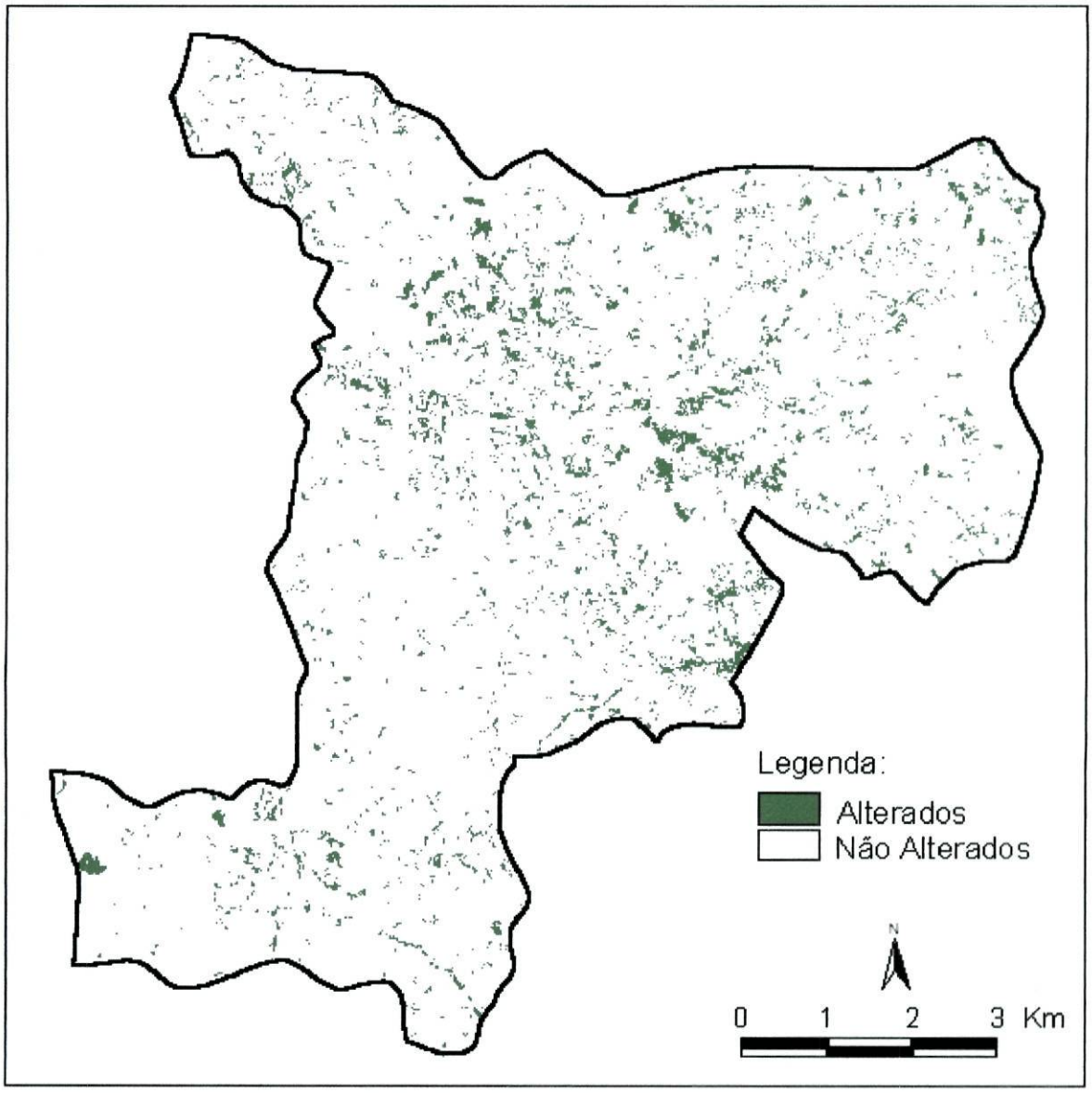


Figura E.2 - Alterações negativas (1991-1990), usando as diferenças de índice ARVI e o critério ($\mu - 1.5\sigma$)

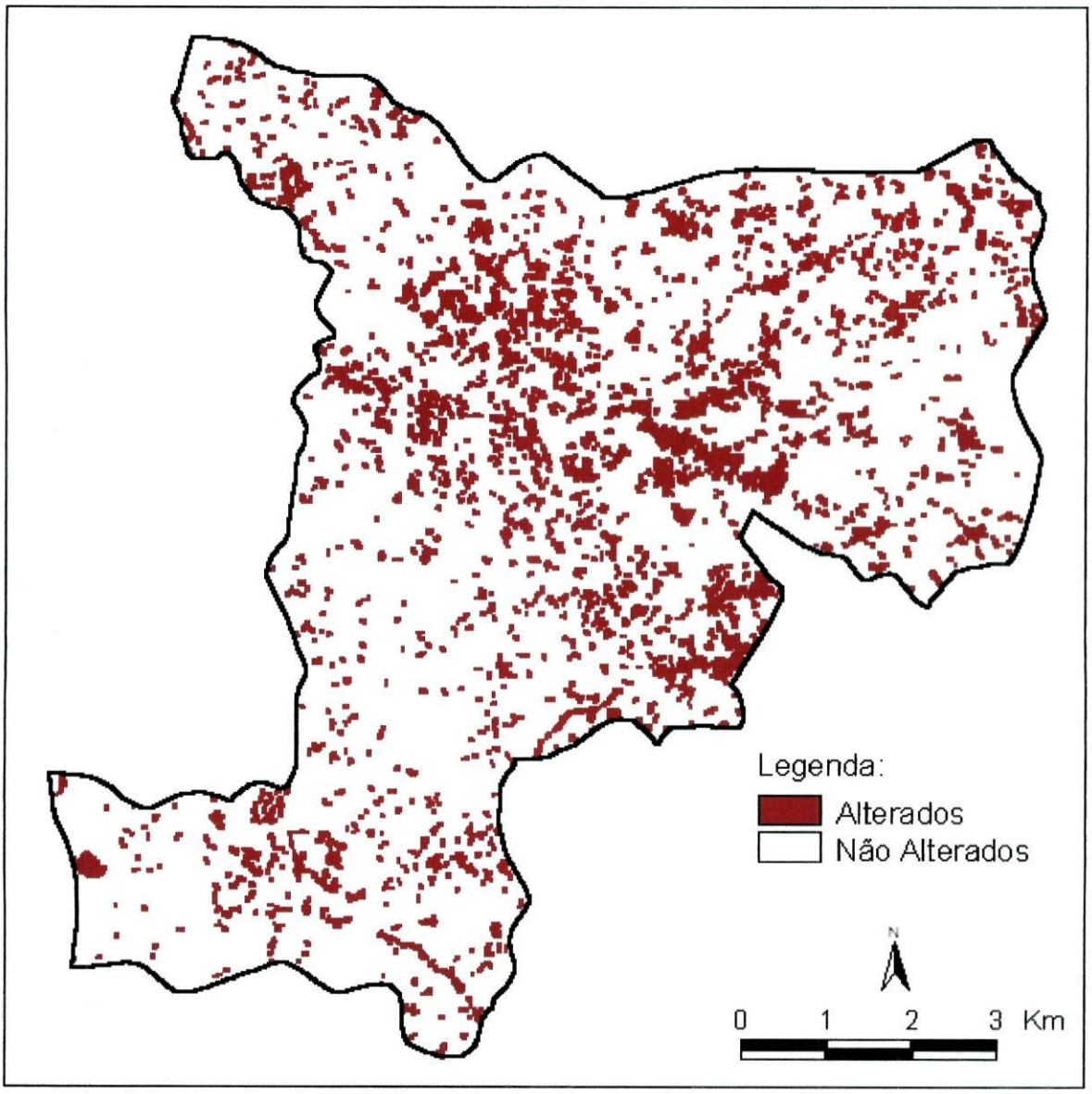


Figura E.3 - Zonas de alteração após a aplicação da rotina *Expansão*

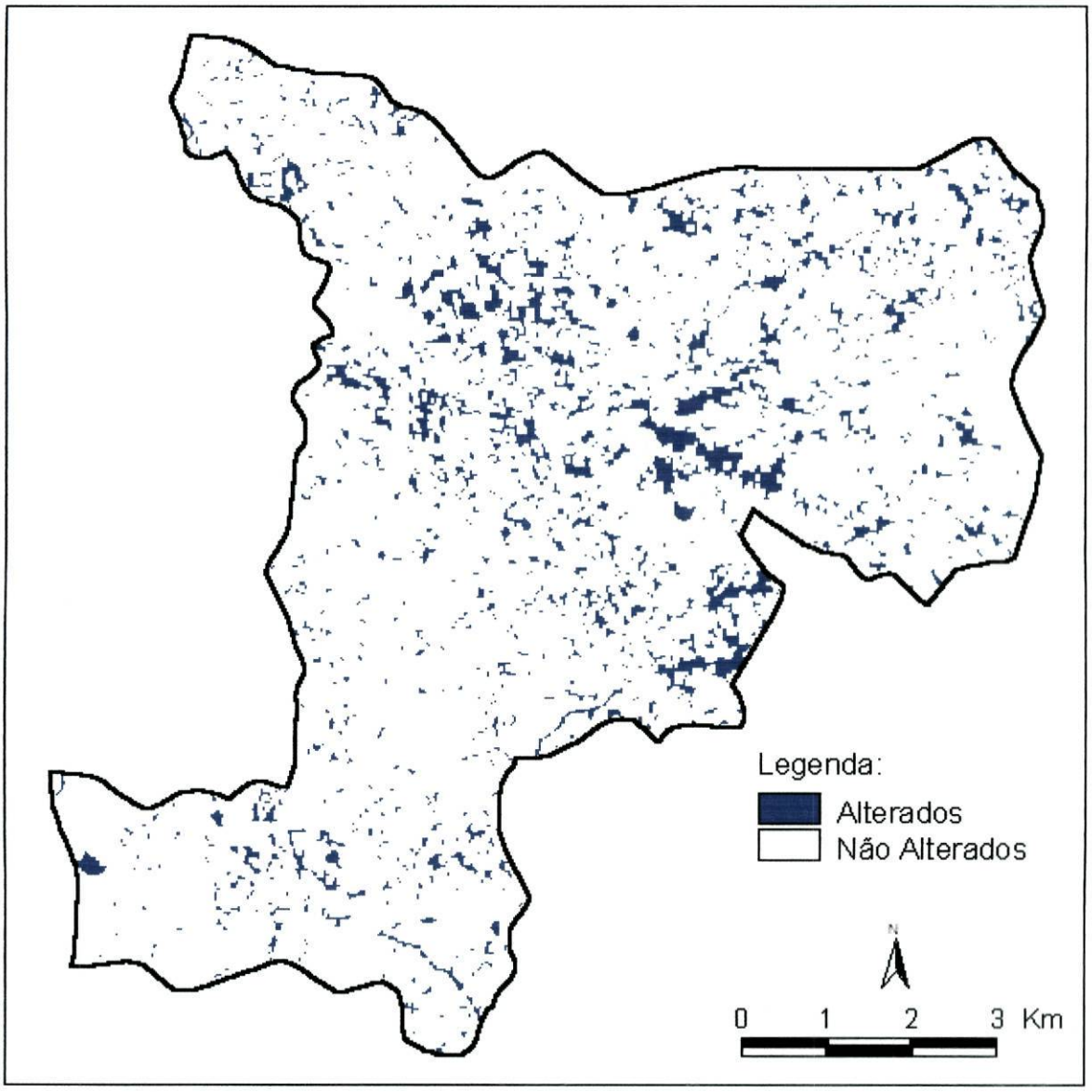


Figura E.4 - Zonas de alteração após a aplicação da rotina *Encolhimento*

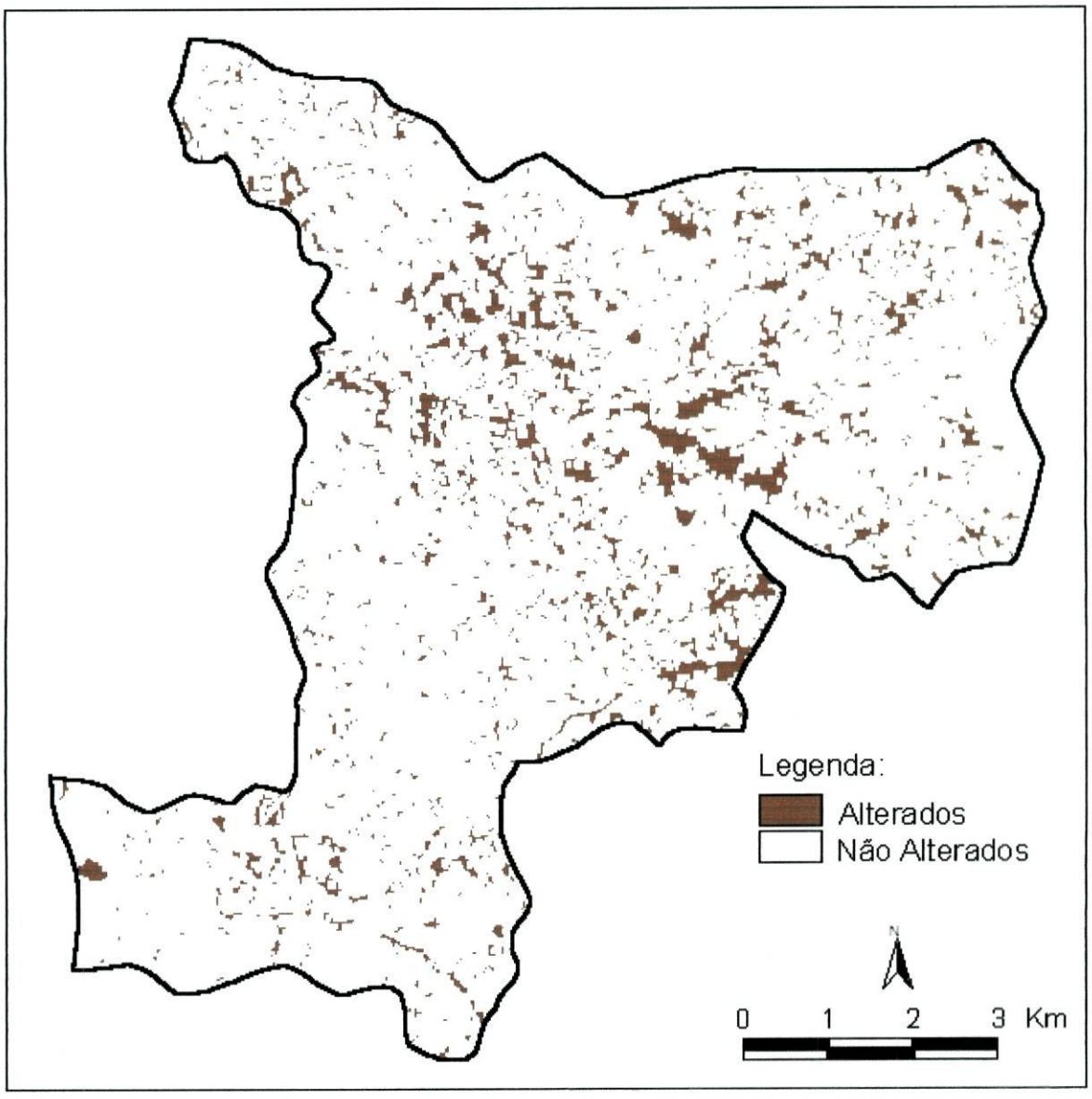


Figura E.5 - Zonas de alteração após a aplicação da rotina *Preenchimento Buracos*

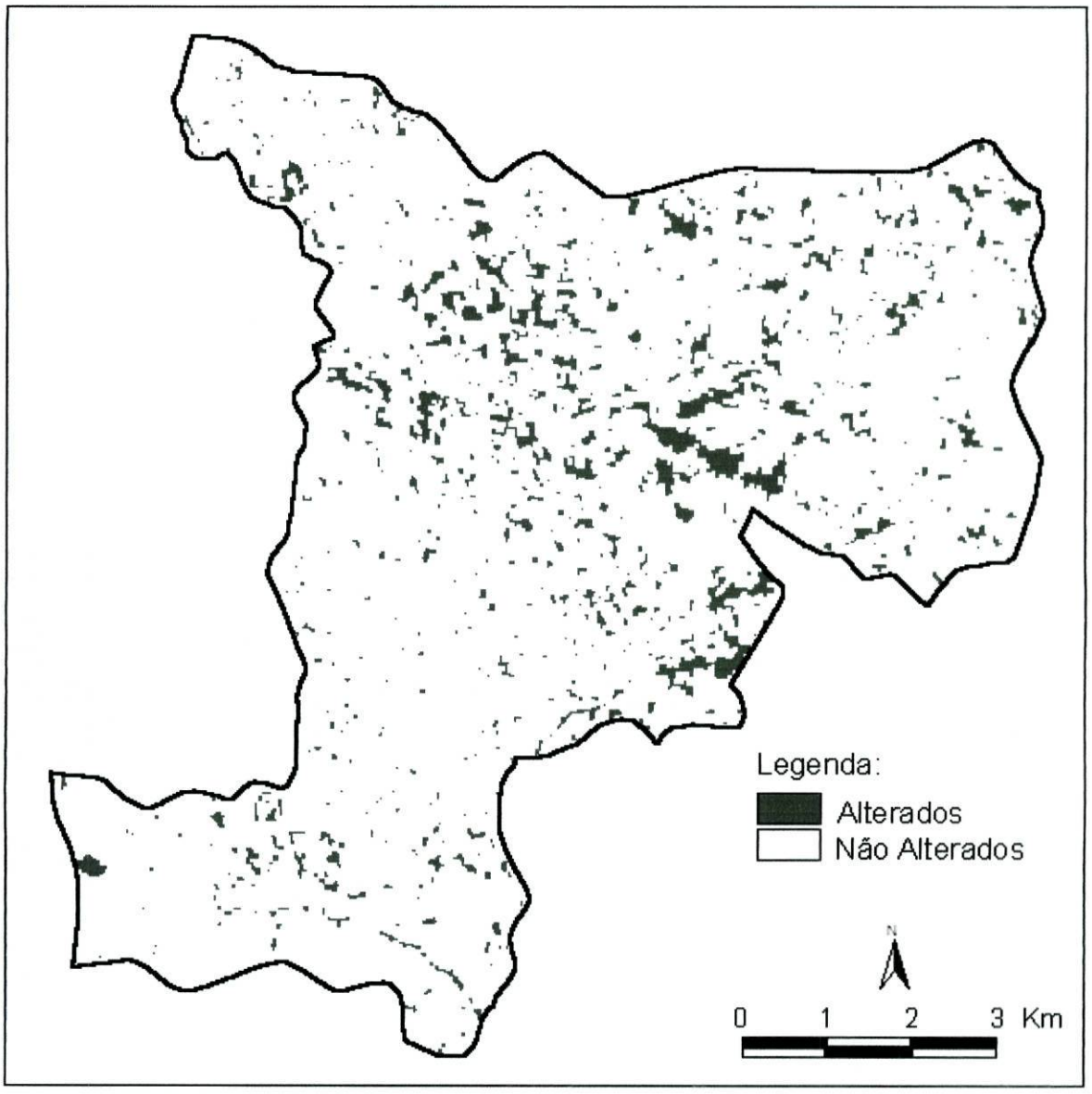


Figura E.6 - Zonas de alteração após a aplicação da rotina *Eliminação Pixeis Extremidades*

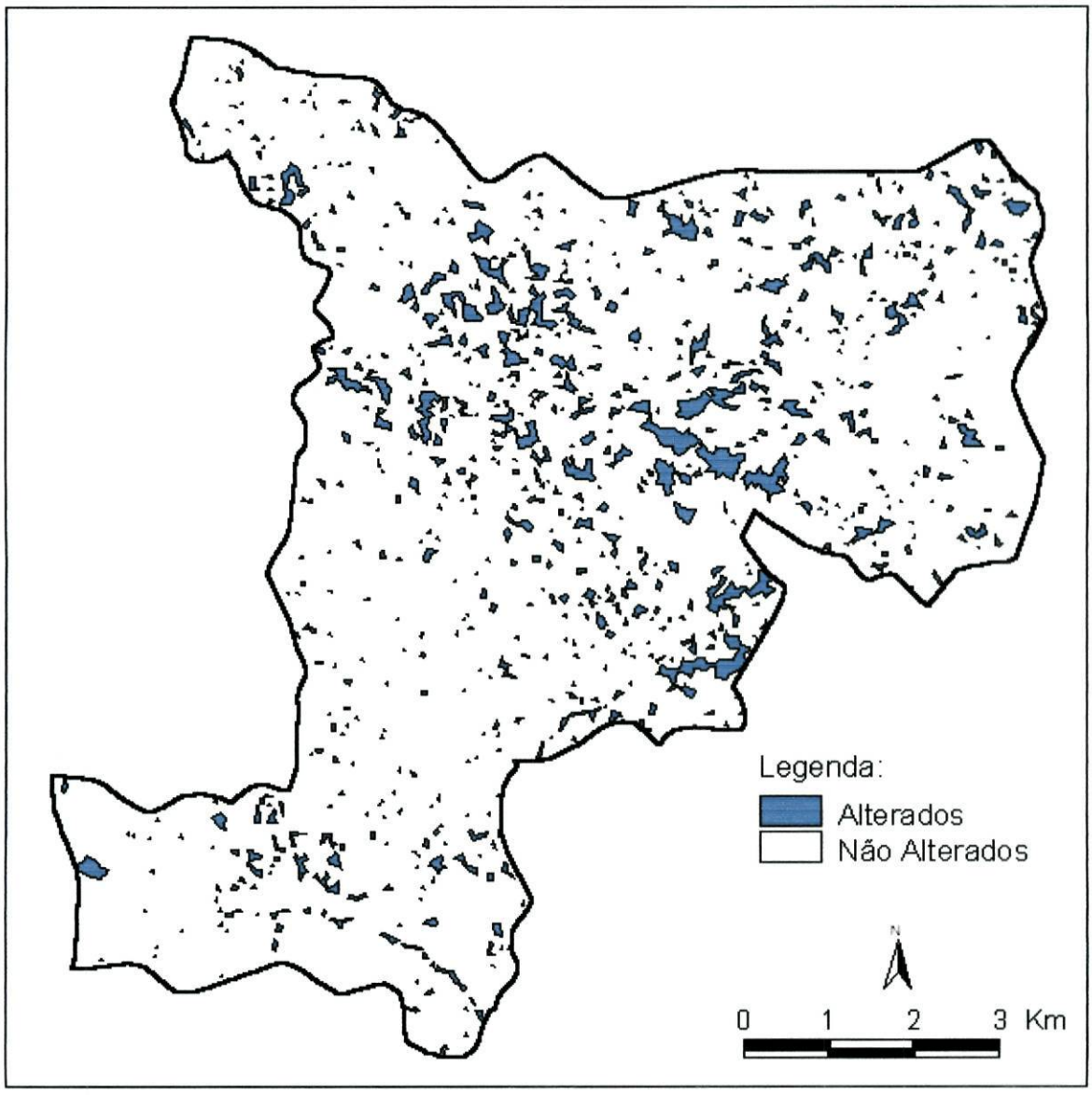


Figura E.7 - Zonas de alteração em formato vectorial

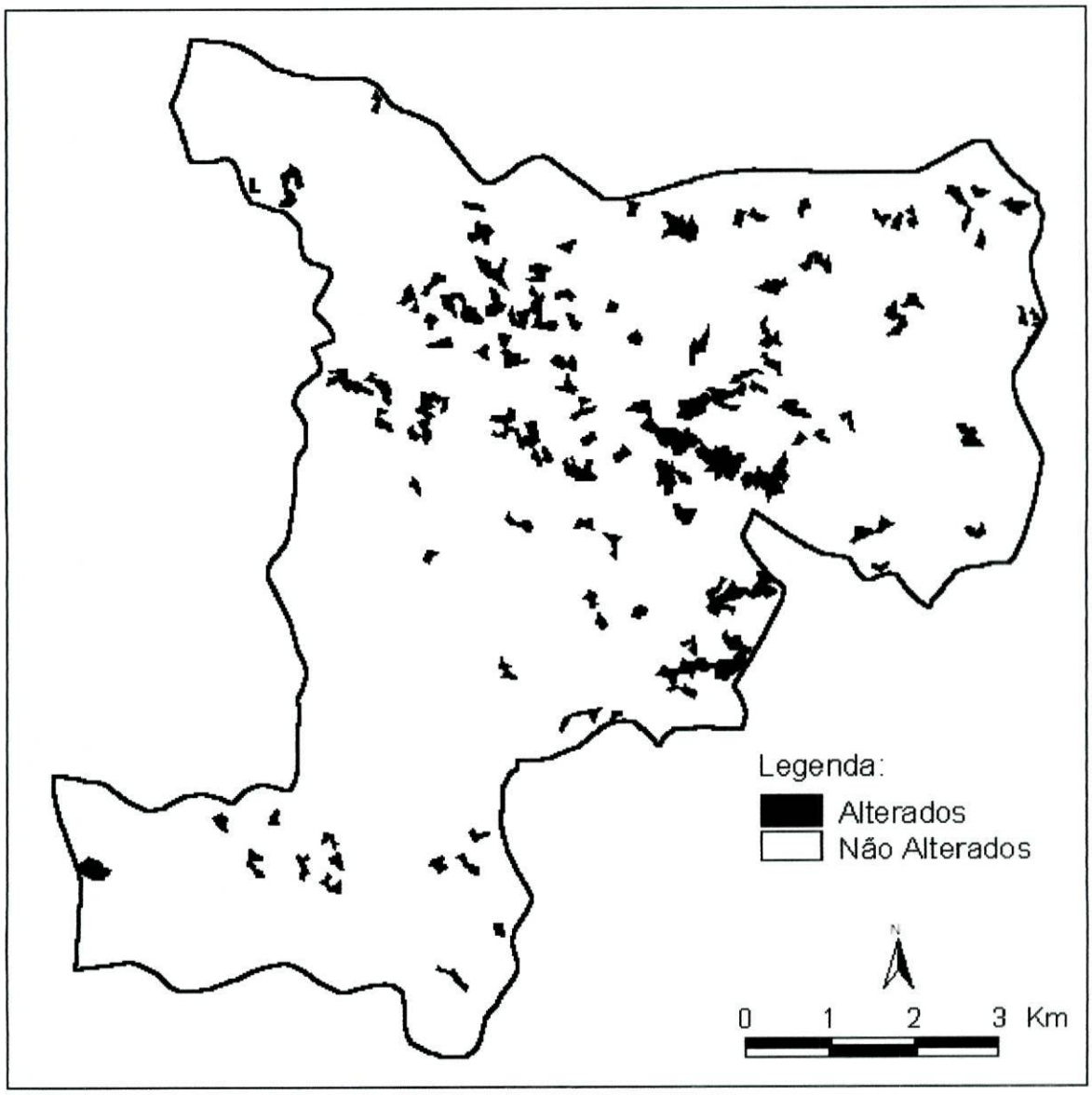


Figura E.8 - Zonas finais de alteração após a aplicação a eliminação de áreas inferiores a 1.6 hectares

ANEXO F

Rotina *Classificação*

```
!Programa Classificação
!Areas Artificiais =1; Areas Florestais =100; Areas Agricolas =255
If (%6=3 ) then
%7=1
elseif (%1>100 and %6=2) then
%7=100
elseif  (%1>100 and %6=1) then
%7=255
elseif  ( %1>0) then
   if ( %1 <101  and %2 <101 and %3 <101 and %4 <101 and %5<101 ) then
   %7 =1
  elseif (( (%1 <%2  and %2 <%3 and (%3-15) <%4 and (%4-15)<%5) and ((%2>169 or
%3>169 or %4>169 or %5>169)) ) or  (%3>189  and %5>169) or  (%4>189 and %5>169)
or  %5>189)  then
   %7 =100
 else
  %7=255
   endif
else
%7=0
endif
```

ANEXO G

Alterações classificadas e divididas em três ficheiros

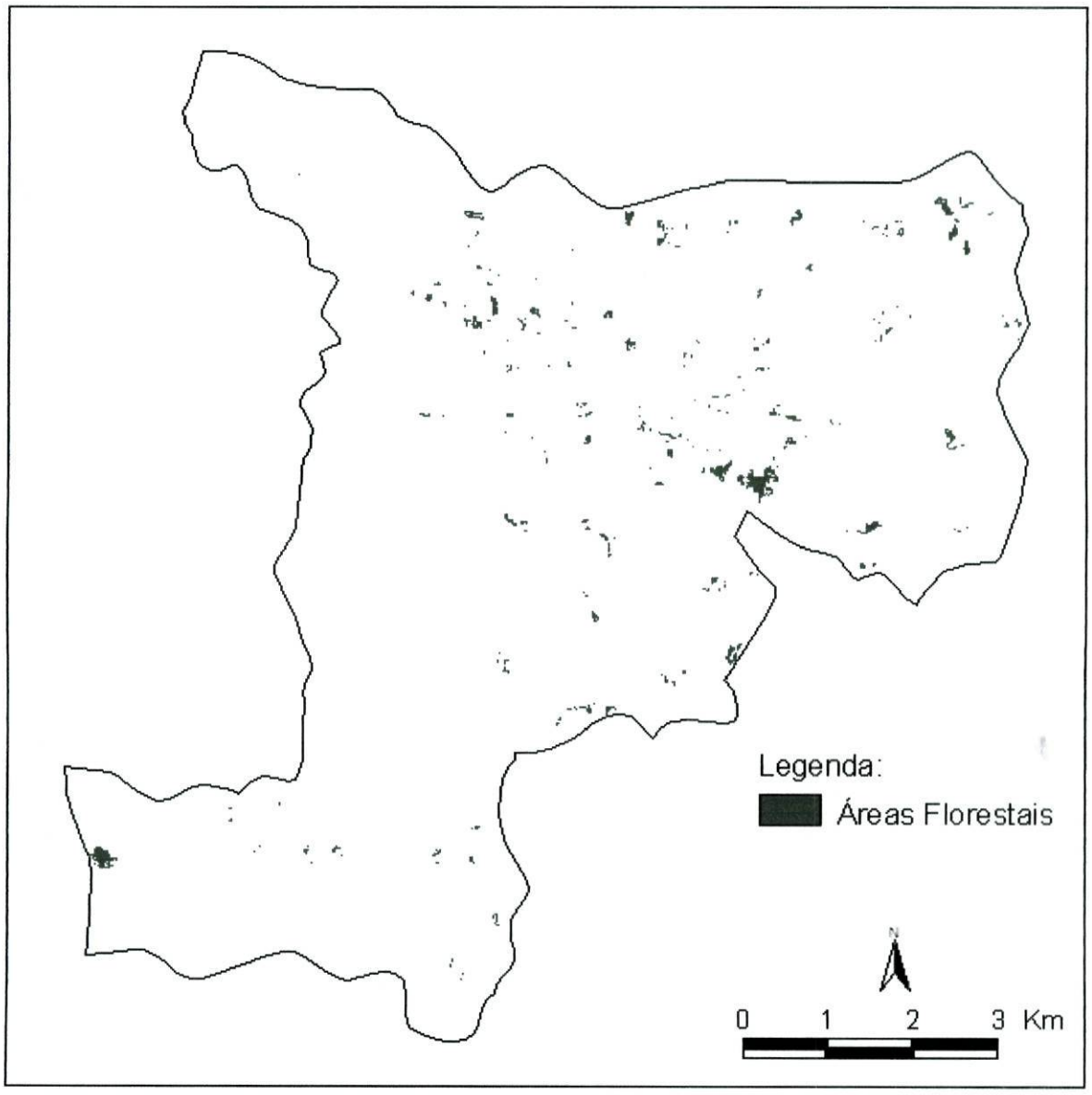


Figura G.1 - Alteração classificadas como áreas Florestais

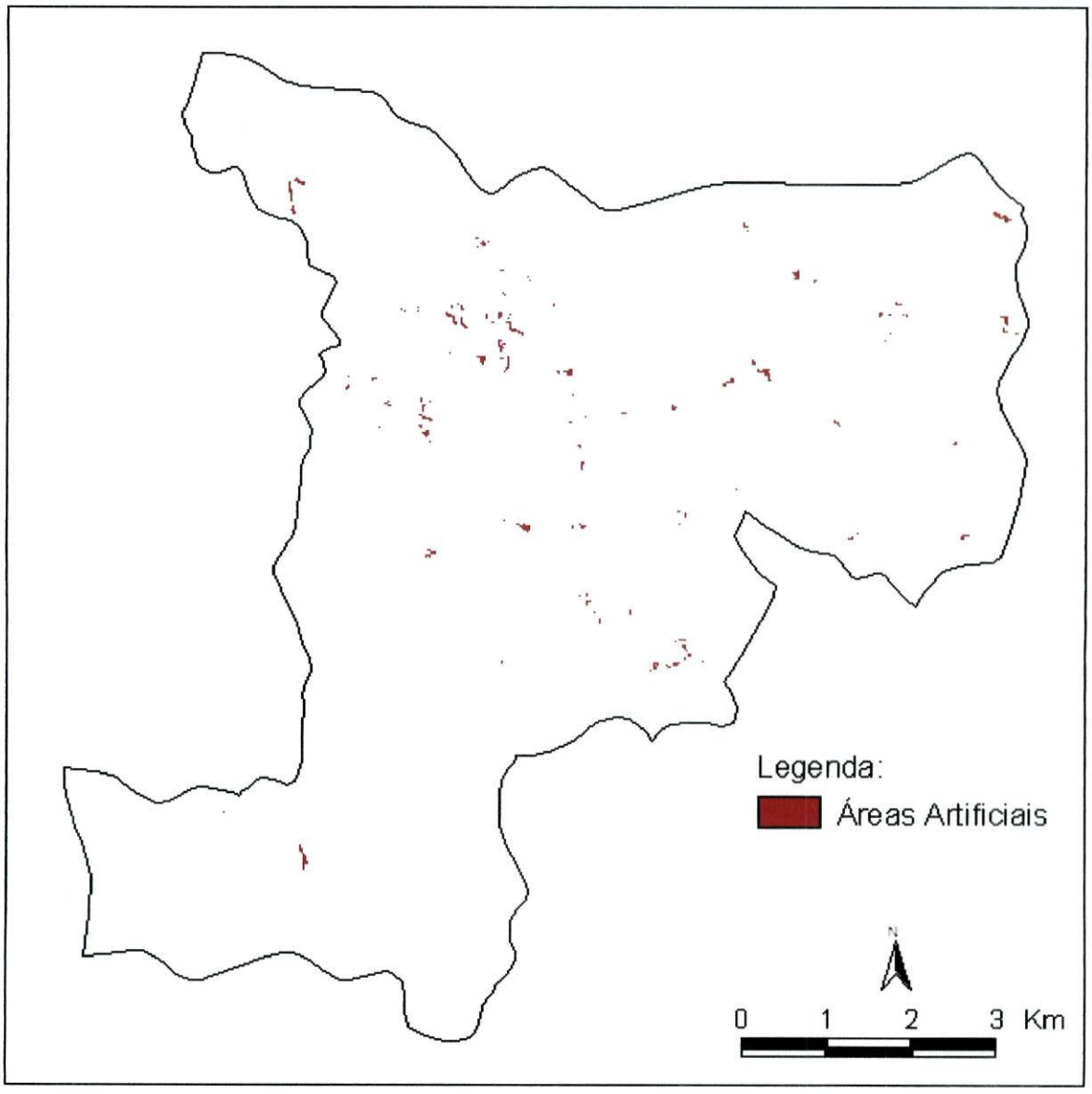


Figura G.2 - Alterações classificadas como áreas Artificiais

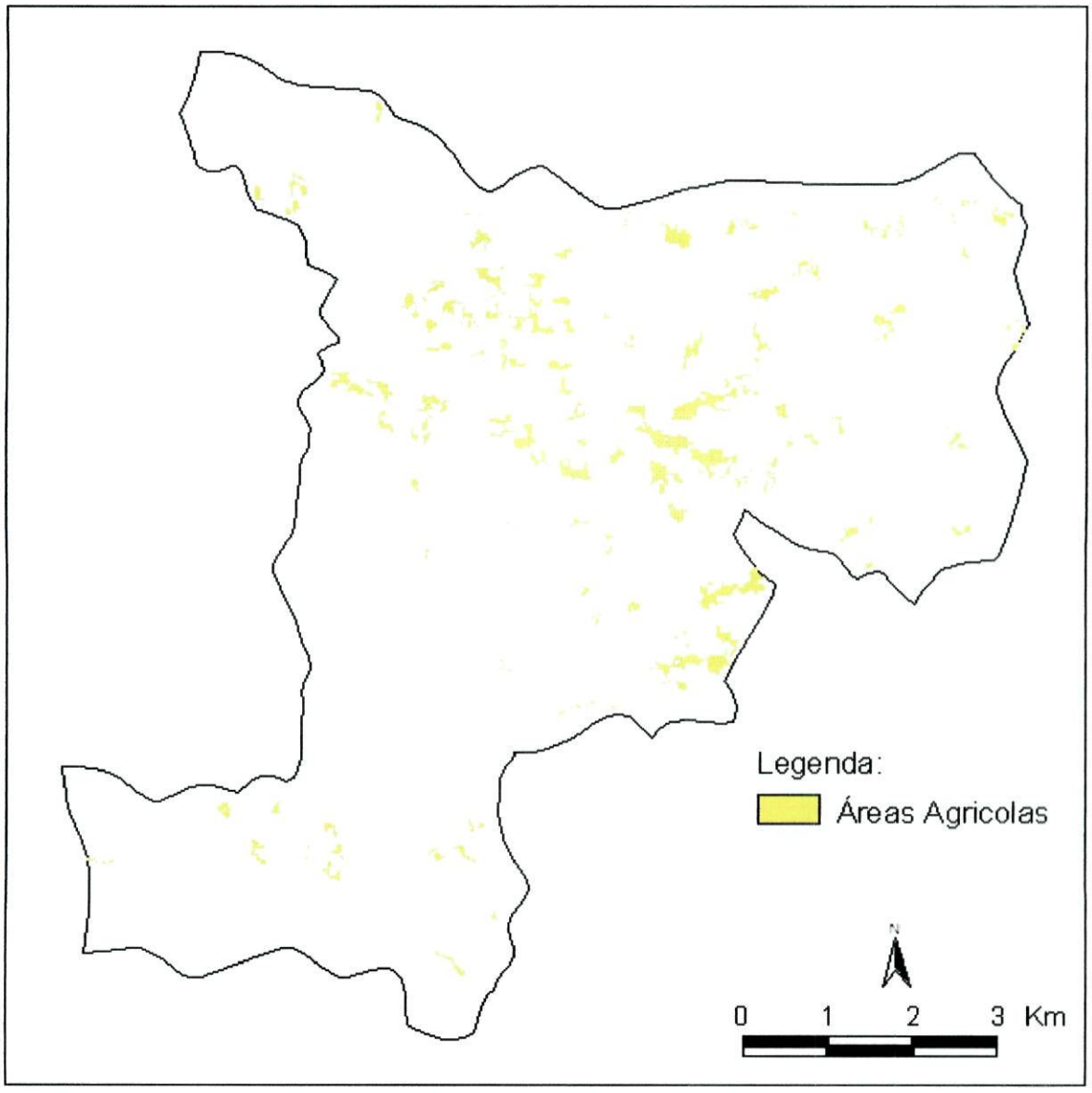


Figura G.3 - Alteração classificadas como áreas Agrícolas