

AGRADECIMENTOS

Esta dissertação, desenvolvida para a obtenção de grau de Mestre em Georrecursos no Departamento de Minas e Georrecursos do Instituto Superior Técnico (IST), foi realizada no âmbito do projecto POCI/BIA-BDE/57965/2004 “Alterações do coberto do solo e etapas de sucessão nas florestas do Cantanhez, Guiné-Bissau” e resulta dos conhecimentos obtidos na parte escolar do mestrado e durante o trabalho desenvolvido no Centro de Detecção Remota para o Desenvolvimento (CDRD), no ex-Centro de Botânica, ambos do Instituto de Investigação Científica Tropical (IICT) e no Laboratório de Detecção Remota do Departamento de Engenharia Florestal (LDR/DEF/ISA) do Instituto Superior de Agronomia.

Agradeço ao Gabinete de Relações Internacionais da Ciência e do Ensino Superior (GRICES) e à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) a atribuição da Bolsa de Mestrado com a referência SFRH/BM/15370/2005, que possibilitou a realização deste trabalho e à Dra. Margarida Ferreira do GRICES pela boa vontade demonstrada.

À Universidade de Maryland (USA) fico grato pela disponibilização gratuita de algumas imagens de satélite utilizadas neste trabalho. Os meus agradecimentos ao IICT como instituição de acolhimento, em particular ao seu presidente Professor Doutor Braga de Macedo e à Dra. Maria Adélia Diniz, Directora do ex-Centro de Botânica.

Apraz-me agradecer a todos os meus professores de Mestrado em especial à Mestre Júlia Carvalho que me motivou a dar os primeiros passos nesta nobre técnica.

Ao meu Orientador e Coordenador do Mestrado, Prof. Carlos Guimarães, pelos conselhos e incentivos prestados. Aos meus Orientadores Externos Doutora Maria José Vasconcelos e Doutor Luís Miguel Fazendeiro Catarino, um agradecimento muito especial pelas ideias e sugestões, pelo incentivo, pela oportunidade que me deram em participar num projecto de investigação sobre o meu país que contribuiu para aprofundar o meu conhecimento em técnicas de processamento de imagem em Detecção Remota e sobre a flora e vegetação da Guiné-Bissau. Agradeço ao Professor Doutor José Miguel Cardoso Pereira, pelas sugestões quanto aos métodos de processamento das imagens e pelos apoios fornecidos.

Agradeço a todos os meus colegas do CDRD, pelas sugestões, críticas, apoio e amizade demonstrada, principalmente à Mestre Maria do Carmo Sequeira Nunes pela ajuda prestada na construção do modelo digital do terreno da área em estudo, aos Engenheiros Duarte Oom e Vicente Martinez pela preciosa colaboração na realização deste trabalho sem esquecer as Mestres Adélia Sousa e Ana Cabral. Agradeço também aos Doutores João Silva e João Carreiras do LDR/DEF/ISA pela colaboração prestada.

Os meus agradecimentos à Doutora Ana Morgado do Centro de Fotogrametria do IICT pela cedência das cartas que cobrem a área em estudo em formato digital, ao Eng.º Nuno Lima do Centro de Geodesia do IICT pela ajuda na georreferenciação das cartas e ao Mestre Fernando Lagos Costa do Centro de Geografia do IICT pela revisão do capítulo III.

Agradeço à Doutora Marina Temudo do Centro de Estudos de Produção e Tecnologia Agrícola do IICT pela ajuda na interpretação dos resultados obtidos e ao Mestre Jorge Rocha do Departamento de Geografia de Faculdade de Letras pelo material fornecido. Um agradecimento muito especial à Dra. Ana Maria Neta Baptista dos Santos Andrade pelo apoio prestado na vectorização das cartas da área em estudo. Agradeço também ao meu concunhado Dr. Avelino Tavares e sua esposa Deusa Tavares pelo incentivo dado.

Na Guiné-Bissau, começo por agradecer ao malgrado guia e preclaro amigo Mogna Sambú, pela competência e dedicação prestada ao longo do trabalho de campo, que a sua alma descanse em paz.

Ao meu primo Eng.º Cipriano Cassamá fico grato pelo incentivo dado para prosseguir com os estudos; ao meu tio Doutor Augusto Idrissa Embaló, Reitor da Universidade Amílcar Cabral, pelo papel preponderante que teve na escolha do tema desta dissertação; ao Eng.º Mamadú Badji, ex-Ministro do Desenvolvimento Rural e Agricultura pelo empenho na tentativa de obter uma Bolsa de Mestrado, embora sem sucesso; ao meu cunhado Eng.º Geraldo Sariat Menout, pela ajuda prestada na obtenção das fotografias aéreas de 1976 e 1979 e o apoio facultado aquando do trabalho de campo. Agradeço ao Eng.º Rui Araújo (Kimbanda), ex-Ministro dos Recursos Naturais da Guiné-Bissau pela visita feita ao CDRD a fim de se inteirar *in loco* do desenvolvimento deste trabalho de investigação.

À representação nacional da UICN, na pessoa do Eng.º Nelson Dias e à ONG Acção para o Desenvolvimento (AD) na pessoa do Eng.º Carlos Schwarz da Silva (Pepito) agradeço todo o apoio prestado na logística do trabalho de campo.

Ao Dr. Alfredo Simões da Silva, Presidente do Instituto da Biodiversidade e Áreas Protegidas (IBAP), ao Dr. Guilherme da Costa, ao Dr. Lourenço Vaz e ao Eng.º Alexandre Cabral agradeço o material bibliográfico fornecido. À Direcção-Geral dos Recursos Naturais da Guiné-Bissau fico grato pelo empréstimo das fotografias aéreas de 1976 e 1979 da área em estudo. Agradeço também aos motoristas Benjamim Indequê e Samba Djuma e ao guia Mutaro Cumpô pela paciência e colaboração nas deslocações ao campo e a todos os guineenses anónimos com quem contactamos.

Por fim, mas não com menos importância, agradeço aos meus pais e meus irmãos.

RESUMO

O uso da informação obtida por detecção remota para a monitorização de alterações de coberto do solo é relativamente novo na Guiné-Bissau. O presente trabalho teve como objectivo estudar a evolução e tendências de alteração do coberto do solo na Mata do Cantanhez desde a década de 1950.

A análise multitemporal do coberto do solo na área em estudo, com uma superfície de 1143 km², foi efectuada recorrendo a cartas 1:50000 baseadas em fotografia aérea de 1953 e imagens de satélite Landsat MSS de 1973, TM de 1986 e 1994 e ETM+ de 2000 e 2003.

Descreve-se ainda todo o processo inerente a obtenção de bases de dados georreferenciadas, utilizado na análise multitemporal, desde as técnicas de processamento digital de imagem, classificação da imagem e álgebra de mapas (integração em ambiente SIG). As imagens de satélite foram classificadas utilizando o algoritmo de classificação em árvore. Na verificação e validação dos resultados foram utilizados o método da matriz da confusão, foram calculados os erros de comissão e de omissão, o teste *kappa* e a precisão de classificação (CA). O conjunto de dados de treino e de validação utilizados são diferentes e foram obtidos por amostragem aleatória sobre os dados obtidos por levantamentos no terreno em 2005. Na generalidade das datas cobertas, os parâmetros de qualidade da classificação, nomeadamente o teste *kappa* e a precisão de classificação (CA) podem ser considerados muito bons.

Foram consideradas as seguintes classes de coberto: *vegetação lenhosa densa*, *vegetação lenhosa esparsa*, *vegetação herbácea com lenhosas dispersas*, *vegetação lenhosa das vasas costeiras*, *vegetação herbácea*, *culturas arvenses /solo a descoberto* e *vasas*. Nas classificações referentes a 1953 e 1973, bem como na comparação de áreas e transições entre 1953 e 2003, as duas primeiras classes foram agrupadas como *vegetação lenhosa terrestre*.

A metodologia de detecção das alterações envolve a comparação *pixel a pixel* na imagem classificada. Os resultados demonstram um incremento da área de *vegetação lenhosa terrestre*, provavelmente devido à regeneração da vegetação terrestre natural ou ao incremento de áreas de vegetação lenhosa plantada (pomares tradicionais, consociados e de caju). Por outro lado, a área ocupada por *vasas* teve um incremento de cerca de 365% entre 1953 e 2003, para o que contribuíram as classes *vegetação lenhosa das vasas costeiras* (37%) e *culturas arvenses/solo a descoberto* (39%).

Espera-se que este estudo possa servir como suporte na tomada de decisões para o desenvolvimento de políticas de gestão e planeamento ambiental a nível da conservação destas florestas e gestão da sustentabilidade agrícola na região.

Palavras-chave: Detecção Remota, Landsat, Vegetação, Alterações do coberto do solo, Árvores de classificação, Mata de Cantanhez.

ABSTRACT

The application of remote sensing for land cover change studies in Guinea-Bissau is a recent endeavor. The objective of this work is to study land cover change trends in Mata do Cantanhez since 1950. The multi-temporal analysis of land cover in the study area, which covers 1143 km², is performed using ancillary cartography from the 1950's, Landsat MSS images from 1973, Landsat TM images from 1986 and 1994, and Landsat ETM+ images from 2000 and 2003.

A digital geographic data base is created by image processing, image classification, digitization of cartographic data, and map algebra operators. The images are classified using induction of decision trees. Training and validation of the classifier are based on the use of confusion matrices, calculation of omission and commission errors, and calculation of the *Kappa* statistic. The training and validation data sets were different and randomly drawn from a data set of pixels with classes attributed in the field during 2005. The kappa values obtained confirm the good quality of the classifications performed.

The legend labels considered in the classifications are: *forest, woodland, sparsely wooded savanna, mangrove, savanna, bare soil and wetland agriculture, and mudflats*. For the land cover maps of 1953 and 1973, as well as for the study of land cover transitions between 1953 and 2003, the first two classes were aggregated into one as *forest and woodland*.

The results of pair-wise cross tabulations of land cover maps between dates show a steady increase of *forest and woodland* between 1953 and 2003. This is probably due to the regeneration of vegetation through the expectable successional pathway and also to the documented increase of tree orchards which tend to be spectrally similar to *woodland* and are thus included in the same class. On the other hand, the area covered by *mudflats* shows an increase of 365% between 1953 and 2003. This may be attributed to mangrove degradation (37%) and to recovered tidal activity over previously drained and protected wet-agricultural fields (39%).

We hope this study may contribute to support decision making in a policy aimed at promoting sustainable renewable natural resource management through conservation of natural resources and improvement of ecosystem services for the local populations.

Key-words: Remote Sensing, Landsat, Vegetation, Land cover change, Induction of decision trees, Mata do Cantanhez.

ÍNDICE GERAL

	Página
1 – INTRODUÇÃO E OBJECTIVO DO ESTUDO	1
2 – ENQUADRAMENTO	5
3 – A GUINÉ-BISSAU E AS FLORESTAS DE CANTANHEZ	9
3.1 – SITUAÇÃO GEOGRÁFICA	9
3.2 – CLIMA	10
3.3 – SOLOS	12
3.4 – VEGETAÇÃO	14
3.4.1 – Os Maciços Florestais do Cantanhez	16
3.4.2 – Caracterização dos principais tipos de vegetação na área em estudo	17
3.5 – GRUPOS ÉTNICOS E DEMOGRAFIA	23
3.6 – USO DA TERRA E ZONAGEM FUNCIONAL DA PENÍNSULA DE CUBUCARÉ	26
4 – MATERIAL	29
4.1 – IMAGENS LANDSAT MSS, TM E ETM+	29
4.2 – CARTAS TOPOGRÁFICAS E DE COBERTO DO SOLO	33
4.3 – PROGRAMAS UTILIZADOS	35
5 – MÉTODOS	37
5.1 – CONSTRUÇÃO DE UMA BASE DE DADOS CARTOGRÁFICA DIGITAL	37
5.2 – Construção da legenda para os mapas de coberto do solo	38
5.2.1 - Definição de classes de coberto e das classes da legenda (LCCS)	38
5.2.2 - Trabalho de campo para recolha de amostras no terreno	40
5.2.3 - Ajuste na nomenclatura da legenda constituição de conjunto de referências	41
5.3 – PRÉ-PROCESSAMENTO DE IMAGENS DE SATÉLITE	46
5.4 - CARACTERIZAÇÃO ESPECTRAL DAS CLASSES DE COBERTO, VERIFICAÇÃO DA SEPARABILIDADE ESPECTRAL ENTRE CLASSES E CÁLCULO DE ÍNDICES ESPECTRAIS DE VEGETAÇÃO	47
5.4.1 - Caracterização espectral das classes de coberto	47
5.4.2 – Verificação da Separabilidade das Classes	49
5.4.3 – Cálculo de Índices Espectrais de Vegetação	50
5.5 – CLASSIFICAÇÃO DAS IMAGENS	52
5.5.1 – Classificação Não Supervisada	54
5.5.2 – Classificação Supervisada	54
5.5.2.1 - Construção e aplicação do algoritmo de classificação em árvore	54
5.5.2.2 - Verificação e validação dos resultados – Avaliação da Fiabilidade dos Mapas do Coberto Gerados	59
5.6 – QUANTIFICAÇÃO DE ALTERAÇÕES DO COBERTO DO SOLO	60
5.6.1 – Criação da Máscara	60
5.6.2 – Melhoria da classificação da imagem MSS	61
5.6.3 – Criação de uma série temporal de mapas de coberto de solo sobre a área em estudo e sobre a zonagem funcional de Cubucaré e quantificação das alterações	62
6 – RESULTADOS	63
6.1 – CARTAS DE ALTIMETRIA E DE MODELO DIGITAL DO TERRENO	63
6.2 – PRÉ-PROCESSAMENTO DE IMAGENS DE SATÉLITE	64
6.3 – CARACTERIZAÇÃO ESPECTRAL DAS CLASSES DE COBERTO, VERIFICAÇÃO DA SEPARABILIDADE ESPECTRAL ENTRE CLASSES E ÍNDICE ESPECTRAL DE VEGETAÇÃO CALCULADO	66
6.3.1 - Caracterização espectral das classes de coberto	66
6.3.2 - Separabilidade entre classes verificada	67
6.3.3 – Índice de Vegetação	69
6.4 – CLASSIFICAÇÃO DAS IMAGENS	70

6.4.1 – Classificação Não Supervisada	70
6.4.2 – Classificação Supervisada	71
6.4.2.1 – Árvores de Classificação	71
6.4.2.2 – Avaliação da Fiabilidade dos Mapas de Coberto	74
6.5 – CARTAS DO COBERTO DO SOLO PARA 1953, 1973, 1986, 1994, 2000 E 2003	77
6.6 – ESTIMATIVA DAS ÁREAS OCUPADAS POR CADA CLASSE DE COBERTO EM CADA ANO	83
6.7 – TRANSIÇÕES E TENDÊNCIAS VERIFICADAS	87
7 - DISCUSSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS	95
8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105
ANEXOS	

ÍNDICE DAS FIGURAS

	Página
Figura 1 – Localização da Mata do Cantanhez no contexto da Guiné-Bissau	9
Figura 2 – Carta de isoietas do Cantanhez e Diagrama ombrotérmico de Catió/Tombali	11
Figura 3 – Carta de Solos do Cantanhez	14
Figura 4 – Delimitação dos Grandes Maciços Florestais	18
Figura 5 – Floresta Densa	19
Figura 6 – Floresta Aberta	19
Figura 7 – Savana Arborizada	19
Figura 8 – Mangal	19
Figura 9 – Savana Herbácea (lalas)	21
Figura 10 – Palmar Misto	21
Figura 11 – Pomares Consociados	22
Figura 12 – Pomares de caju	22
Figura 13 – Representatividade das etnias no sector de Bedanda	25
Figura 14 – Distribuição espacial das principais etnias do sector de Bedanda. (Adaptado de Anginot (1988))	26
Figura 15 – Zonagem funcional da península de Cubucaré	27
Figura 16 – Folhas da série 1:50000 que cobrem a área em estudo	34
Figura 17 – Pontos amostrados em trabalho de campo	41
Figura 18 – Bolanha	42
Figura 19 – Vasas	42
Figura 20 – Conjuntos de referência dentro de áreas homogéneas	43
Figura 21 – Esquema ilustrativo da árvore de classificação binária	55
Figura 22 – Carta da altimetria	63
Figura 23 – Modelo Digital do Terreno tipo matricial	64
Figura 24 – Mosaico das imagens de 2003 com a composição colorida RGB -743	65
Figura 25 – Reflectâncias de superfície das classes de coberto	66
Figura 26 – <i>Scattergram</i> – Elipses das classes de treino	67
Figura 27 – Mapa do coberto de solo – classificação não supervisionada (imagem 2003)	70
Figura 28 – Árvore de classificação	71
Figura 29 – Detalhes da árvore de classificação	72
Figura 30 – Contribuição das variáveis para os classificadores em árvore	73
Figura 31 – Mapas de coberto de solo (1953, 1973, 1986, 1994, 2000 e 2003), VLD e VLE agregadas	79
Figura 32 – Mapas de coberto de solo (1986, 1994, 2000 e 2003), VLD e VLE desagregadas	81
Figura 33 – Alterações de coberto do solo na Mata de Cantanhez	83
Figura 34 – Alterações de coberto do solo na Região A	84
Figura 35 – Alterações de coberto do solo na Região B	85
Figura 36 – Alterações de coberto do solo na Região C	86
Figura 37 – Casos antagónicos de evolução do coberto do solo	93

ÍNDICE DAS TABELAS

	Página
Tabela 1 – Características climáticas de Bolama e Catió	10
Tabela 2 – Características Espectrais do sensor MSS	31
Tabela 3 – Características Espectrais dos sensores TM e ETM+	32
Tabela 4 – Sensores, Datas e Cenas das Imagens	33
Tabela 5 – Informação das cartas produzidas pela JIU	33
Tabela 6 – Classes de Legenda LCCS	39
Tabela 7 – Agregação das classes e correspondência do LCCS	44-45
Tabela 8 – Números digitais médios das classes do coberto consideradas	48
Tabela 9 – Parâmetros da irradiância solar para imagens Landsat ETM+ numa fracção da atmosfera	49
Tabela 10 – Fórmulas de cálculo dos índices VI, NDVI e SAVI	52
Tabela 11 – N ^o de Pontos de Controlo e Erro Médio Quadrático das Imagens Estudadas	65
Tabela 12 – Distância de Jeffries-Matusita	68
Tabela 13 – NDVI médio por classe nas Imagens TM e ETM+	69
Tabela 14 – Percentagem de concordância (dados de treino) – imagem 1973	74
Tabela 15 – Percentagem de concordância (dados de treino) – imagens TM e ETM+	74
Tabela 16 – Tabela de contingência, Erros de Comissão e de Omissão para os dados de validação da classificação da imagem 203/2003	75
Tabela 17 – Tabela de contingência, Erros de Comissão e de Omissão para os dados de validação da classificação da imagem 204/2003	75
Tabela 18 – Percentagem de concordância (dados independentes) – imagem MSS	76
Tabela 19 – Percentagem de concordância (dados independentes) – imagens TM e ETM+	76
Tabela 20 – Valores de coeficiente <i>kappa</i> (k) e precisão de classificação (CA)	77
Tabela 21 – Matriz de transições em hectares (Cross Tabulation) entre classes de coberto 1986/1994	87
Tabela 22 – Matriz de transições em hectares (Cross Tabulation) entre classes de coberto 1994/2000	87
Tabela 23 – Matriz de transições em hectares (Cross Tabulation) entre classes de coberto 2000/2003	88
Tabela 24 – Matriz de transições em hectares (Cross Tabulation) entre classes de coberto 1953/2003	88
Tabela 25 – Identificação e quantificação das tendências de transições/Transições (1986/1994; 1994/2000 e 2000/2003)	89
Tabela 26 – Identificação e quantificação das tendências de transições/ Transições (1953/2003)	90
Tabela 27 – Identificação e quantificação das tendências de transições/Contribuições (1986/1994; 1994/2000 e 2000/2003)	91
Tabela 28 – Identificação e quantificação das tendências de transições/ Contribuições (1953/2003)	92