

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela presença marcante e insubstituível em cada momento da minha vida.

Aos meus pais e irmãos, pela vida, pelo carinho, pela dedicação e companheirismo que tornaram possível esta formação.

À UPRA (actual ISPT) e ao Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra, pela oportunidade de aprimorar meus conhecimentos com a realização desta formação.

Aos meus orientadores, professores Alcides Pereira e Fernando Lopes, que souberam ser muito mais que mestres, profissionais ou amigos transmitindo continuamente sua orientação para que este trabalho fosse possível.

Aos demais professores do Departamento de Ciências da Terra pelo conhecimento científico transmitido.

Ao Dr. Vasco Mantas por todo o apoio prestado nas diversas fases de elaboração deste trabalho.

Aos colegas do curso pelos estudos em grupos e pelo agradável convívio.

A todos os amigos e companheiros que contribuíram para a realização deste trabalho.

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a DEUS, onnipresente e onnipotente que excede todo entendimento, aos meus pais, Sebastião e Ilda, aos meus irmãos, Adalberto e Florindo, as minhas irmãs, Josefa e Doroteia, a Luzia e aos meus filhos, Lisandro e Esdras.

## **RESUMO**

No presente trabalho são abordados aspectos ligados a métodos e técnicas de tratamento de imagens satélite de média resolução e sua aplicação à cartografia temática da região do Lobito (Angola). A escassez de informação acerca da ocupação do solo bem como o crescimento das cidades e o conveniente ordenamento das mesmas em função dos aspectos ambientais e geológicos, implica na actualização de informação cartográfica da região em questão.

O objectivo primordial deste trabalho de investigação foi o de testar a aplicação de métodos e técnicas de DR no âmbito da cartografia de ocupação de solos, conjugando dados espectrais e observações de campo. Procurou-se ainda perceber a relação existente entre a geologia da região e a forma como se faz a ocupação do solo.

Para o referido estudo foram usadas imagens do satélite Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+ e MODIS, instalado no satélite TERRA. Procedeu-se ao seu processamento digital para correcção e melhoria da qualidade das imagens. Testou-se a fiabilidade do método GERM para correcção atmosférica de imagens do satélite Landsat com suporte a imagem MODIS.

A classificação da imagem do satélite Landsat permitiu a elaboração da cartografia de uso do solo da região em estudo validada por aplicação de matriz de confusão e suportada por observações no terreno e dados obtidos em imagens de elevada resolução espacial. Provou-se que a DR é uma ferramenta que pode ajudar os países em vias de desenvolvimento como Angola a obter informação rápida e precisa sobre o território e com baixos custos; este trabalho ao investigar a calibração de sistemas de DR disponíveis contribuiu para aquele objectivo..

Palavras chave: Detecção remota, cartografia temática, imagens Landsat 7 ETM+, região do Lobito

## **ABSTRACT**

In this study a set of remote sensing techniques was applied to the field of thematic mapping, in particular in land use planning. In an emerging country, like Angola, with high grown domestic product, the land use also change quickly. So, for planning purposes there are a need of huge amount of data and these should be available, which is not an easy task to achieve in a large country.

The approach followed in this study used field and spectral data, collected from medium spatial resolution images acquired from Landsat satellites (5 TM and 7 ETM+). Spectral data from Modis sensor, aboard of Terra satellite, were used for correction of Landsat image, affected by the SLC problem, and to atmospheric correction of the same images; in this last case was used the GERM method.

The digital classification techniques applied to an RGB color composition built from Landsat images, allowed the elaboration of a land use map for the study area, supported in 4 main classes defined from data field and high spatial resolution images (Google Earth). The digital map was validated through the comparison with observation data using a confusion matrix. The relation between geology and land use was also discussed.

The results prove that remote sensing spectral data and the followed methodology can be applied to thematic mapping in Angola, being a fast and non-expensive way to do it.

Keywords: Remote sensing, thematic mapping, Landsat, Classification, Land use, Lobito region

## ÍNDICE GERAL

|  |      |
|--|------|
| AGRADECIMENTOS   | i    |
| DEDICATÓRIA  | ii   |
| RESUMO   | iii  |
| ABSTRACT   | iv   |
| ÍNDICE GERAL   | v    |
| ÍNDICE DE FIGURAS  | ix   |
| ÍNDICE DE TABELAS  | xiii |
| ABREVIATURAS   | xv   |
| 1.INTRODUÇÃO   | 1    |
| 1.1.Enquadramento: Detecção remota e cartografia temática                            | 1    |
| 1.2.Objectivos   | 3    |
| 1.3.Estrutura da tese  | 3    |
| 2.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA  | 5    |
| 2.1.Introdução   | 5    |
| 2.2.Sensores de satélites  | 5    |
| 2.2.1.O programa Landsat como exemplo de um programa espacial de observação da terra | 10   |
| 2.3.Sensores de microondas   | 16   |
| 2.3.1.Aquisição da imagem Radar  | 17   |
| 2.3.2.Distorções das imagens Radar   | 21   |

|  |    |
|--|----|
| 2.4.SRTM como exemplo de aplicação das técnicas de Radar | 24 |
| 2.5.Processamento digital de imagens                     | 25 |
| 2.5.1.Correção radiométrica e atmosférica                | 25 |
| Correção do SLC-off do Landsat 7 ETM+                    | 27 |
| 2.5.3.Calibração da imagem Landsat 7 ETM+ (método GERM)  | 28 |
| 2.5.4.Composições coloridas RGB                          | 29 |
| 2.5.5.Índice de vegetação NDVI                           | 32 |
| 2.5.6.Classificação da imagem e validação                | 32 |
| 2.6.Métodos de extração selectiva de informação          | 34 |
| 2.7.Exemplos de aplicação em cartografia temática        | 37 |
| 2.7.1.Geologia   | 37 |
| 2.7.2.Coberto vegetal                                    | 37 |
| 2.7.3.Ocupação do solo                                   | 39 |
| 3.CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA ÁREA DE ESTUDO                | 41 |
| 3.1.Enquadramento geomorfológico                         | 42 |
| 3.2.Enquadramento geológico                              | 45 |
| 3.2.1.Geologia regional                                  | 45 |
| 3.2.2.Tectónica regional                                 | 50 |
| 3.3.Clima e Hidrologia                                   | 50 |
| 3.4.Vegetação  | 53 |
| 3.5.Ocupação do solo                                     | 57 |
| 4.MATERIAIS E MÉTODOS                                    | 59 |

|   |    |
|---|----|
| 4.1.Aquisição de dados  | 59 |
| 4.1.1.Trabalhos de campo  | 59 |
| 4.1.2.Dados digitais obtidos por satélite                                       | 62 |
| 4.1.3.Dados auxiliares  | 63 |
| 4.2.Processamento digital de imagens  | 64 |
| 4.2.1.Calibração da imagem Landsat 7 ETM+                                       | 64 |
| 4.2.2.Análise estatística e espectral   | 66 |
| 4.2.3.Composições coloridas   | 66 |
| 4.2.4.Índice de vegetação   | 69 |
| 4.2.5.Classificação digital da imagem e sua validação                           | 69 |
| 4.2.6.Dados altimétricos  | 69 |
| 5.RESULTADOS E DISCUSSÃO  | 70 |
| 5.1.Trabalho de campo   | 70 |
| 5.2.Processamento digital de imagens de satélite                                | 75 |
| 5.2.1.Calibração da imagem Landsat  | 75 |
| 5.2.2.Análise estatística e espectral dos dados                                 | 78 |
| 5.2.3.Índice de vegetação (NDVI)  | 79 |
| 5.2.4.Modelo digital do terreno (MDT)   | 82 |
| 5.2.5.Classificação da imagem e validação                                       | 85 |
| 5.3.Caracterização da ocupação do solo ao longo da zona de estudo               | 92 |
| 5.3.1.Evolução da concentração de resíduos sólidos na zona de estudo desde 2008 | 94 |

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 6.CONCLUSÕES                 | 97 |
| 7.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 99 |



## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 2.1- Órbita dos satélites   | 6  |
| Figura 2.2 – Possíveis perturbações da órbita do satélite ilustradas na base dos referenciais assumidos, de plataforma e orbital | 9  |
| Figura 2.3 – Tipologia da informação captada pelos detectores espaciais  | 9  |
| Figura.2.4 – Configuração dos satélites Landsat 1 – 5  | 12 |
| Figura 2.5 – Esquema ilustrativo da plataforma que transporta o sensor Landsat 7.  | 13 |
| Figura 2.6 – Comparação entre sensores de microondas do tipo passivo (1) e activo (2)  | 17 |
| Figura 2.7 - Sistemas de obtenção de imagens RADAR:  | 18 |
| Figura 2.8 - Resposta do terreno a um impulso de microondas:   | 19 |
| Figura 2.9 - Ilustração da aquisição de imagens SAR  | 21 |
| Figura 2.10 - Distorções de escala nos sistemas Radar  | 22 |
| Figura 2.11 - Efeito de encurtamento nas imagens RADAR   | 23 |
| Figura 2.12 - Efeito do cavalgamento nas imagens RADAR   | 23 |
| Figura 2.13 - Efeito sombra nas imagens Radar  | 24 |
| Figura 2.14 – Metodologia de preenchimento de falhas devidas ao SLC -off com o toolmaker do ERDAS IMAGINE                        | 28 |
| Figura. 2.15 - Processamento gráfico do fluxo da abordagem do GERM   | 29 |
| Figura 2.16 – Esquematização do sistema RGB  | 30 |
| Figura 2.17 – Representação tridimensional do conceito de classificação digital  | 33 |
| Figura 2.18 – Matriz de confusão   | 34 |
| Figura 3.1 – Localização da área de estudo   | 41 |
| Figura 3.2 – Localização do Município do Lobito  | 42 |
| Figura 3.3a – Carta geomorfológica de Angola   | 43 |
| Figura 3.3b – Mapa Geomorfológico de Angola  | 44 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 3.4a – Legenda da carta geológica do Lobito 1/100.000  | 46 |
| Figura 3.4b – Legenda da carta geológica do Lobito à escala 1/100.000 (adaptado de Galvão e Silva, 1972)                      | 47 |
| Figura 3.5 – Bacias sedimentares peri-atlânticas de Angola, com indicação da Bacia de Benguela inserida na Bacia do Kwanza    | 48 |
| Figura 3.6 – Bacia hidrográfica do rio Hanha sobreposta na carta geológica do lobito à escala 1/100.000                       | 52 |
| Figura 3.7 – carta fitogeográfica de angola a escala 1:2.500.000  | 54 |
| Figura 3.8 – Exemplos da vegetação típica da região estudada: A e B - faixa litoral, C e D – complexo metamórfico             | 55 |
| Figura 3.9 – Exemplos de paisagens da região em estudo, com tipos de solo   | 57 |
| Figura 3.10 – Exemplos de pedreiras e de outros tipos de ocupação do solo   | 58 |
| Figura 3.11 – fotos das fazendas na zona de estudo  | 58 |
| Figura 4.1 – Localização dos pontos onde foram efectuadas observações no terreno  | 60 |
| Figura 4.2 - Fotos dos materiais usados   | 61 |
| Figura 4.3 – Exemplo da metodologia utilizada para captação e orientação das fotografias obtidas no terreno                   | 62 |
| Figura 4.4 – SLC do Landsat 7 ETM+  | 65 |
| Figura 4.5 – Imagem Landsat: A) original; B) depois da correcção.   | 66 |
| Figura 4.6 – Composições coloridas: A) RGB321, B) RGB753, C) RGB754   | 67 |
| Figura 5.1 – Gráfico de correlação dos valores do ND e reflectância nas bandas do landsat7 e Modis.                           | 76 |
| Figura 5.2 – Gráfico da correlação dos valores ND e reflectância nas bandas 4 e 7 da imagem Landsat calibrada (GERM) e MODIS. | 76 |
| Figura 5.3 – Imagem Landsat RGB321 após aplicação do método GERM.   | 76 |
| Figura 5.4- Imagem Landsat RGB321 antes da aplicação do método GERM   | 77 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 5.5 – Gráfico dos valores radiométricos médios nas 6 bandas da imagem, antes e após correcção.  | 77 |
| Figura 5.6 – Gráfico dos valores radiométricos do desvio padrão nas 6 bandas da imagem antes e após correcção.   | 79 |
| Figura 5.7 - Imagem NDVI da área de estudo.  | 79 |
| Figura 5.8 - Imagem NDVI da area de estudo com o traçado do perfil NE - SW.  | 80 |
| Figura 5.9 - Perfil radiométrico NE-SW efectuado sobre a imagem correspondente ao parâmetro NDVI.  | 81 |
| Figura 5.10 – Imagem SRTM com perfil NE – SW da áreaestudada   | 81 |
| Figura 5.11 - Perfil obtido dos dados SRTM; altitude (em metros) em ordenada.  | 82 |
| Figura 5.12 - Orientação segundo os pontos cardeais das encostas na área de estudo.  | 83 |
| Figura 5.13 – Imagem com declives da área estudada   | 84 |
| Figura 5.14 – Áreas de treino sobre imagem do Landsat (composição colorida RGB753)   | 87 |
| Figura 5.15 - Histograma de reflectância das classes nas 6 bandasdo Landsat 7  | 88 |
| Figura 5.16 – Imagem com o resultado da classificação digital supervisionada.  | 89 |
| Figura 5.17 – Localização dos pontos que foram usados para validarnuma primeira aproximação, a classificação obtida por meios digitais.                                | 89 |
| Figura 5.18 – Imagem Landsat 7 com a marcação dos pontos de amostragem classificados visualmente e utilizados na validação da classificação obtida por meios digitais. | 91 |
| Figura 5.19 – Vectores da carta geológica e sobreposição à carta de ocupação de solos obtida no presente trabalho.   | 93 |
| Figura 5.20 – Esboço da carta geológica adaptado da Carta Geológica do Lobito, folhas 227/228 a escala 1:100.000;  | 94 |

Figura 5.21 – Delimitação da área com concentração de resíduos sólidos urbanos (lixeira) em anos distintos. 95

Figura 5.22 – Evolução da área ocupada pela lixeira entre 2008 e a actualidade. 96

## ÍNDICE DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 2.1: Velocidades e períodos orbitais dos satélites  | 8  |
| Tabela 2.2 – Características de alguns sensores integrados em plataformas orbitais                           | 11 |
| Tabela 2.3: Comparação dos satélites do programa Landsat   | 14 |
| Tabela 2.4: Características técnicas do sensor ETM+  | 15 |
| Tabela 2.5 – Características do sensor TM do Landsat 5   | 15 |
| Tabela 2.6: Comprimentos de onda e frequências de Radar utilizadas em aplicações de detecção remota          | 20 |
| Tabela 2.7 - Composições coloridas e informação potencial que poderá ser extraída de cada uma delas          | 31 |
| Tabela 3.1 – Clima de Benguela entre 2000 e 2011   | 51 |
| Tabela 4.1 – Características das imagens de satélite utilizadas  | 62 |
| Tabela 4.2 – Outros dados utilizados no presente estudo.   | 64 |
| Tabela 5.1 – Características da litologia observada ao longo da área estudada                                | 71 |
| Tabela 5.2 – Aspectos da cobertura vegetal observada ao longo da área estudada                               | 72 |
| Tabela 5.3 – Aspectos ligados à ocupação antrópica observados na área estudada.                              | 73 |
| Tabela 5.4 – Aspectos ligados às observações feitas em áreas de rocha e/ ou aflorante sem qualquer cobertura | 74 |

|   |    |
|---|----|
| Tabela 5.5 – Parametros estatísticos básicos da reflectância das diferentes bandas da imagem Landsat ETM+ originais                         | 78 |
| Tabela 5.6 – Parâmetros estatísticos básicos da reflectância das diferentes bandas da imagem landsat 7 ETM+ após correcção pelo método GERM | 78 |
| Tabela 5.7 – Classes usadas para classificação das imagens  | 86 |
| Tabela 5.8 – Matriz de confusão da classificação supervisionada   | 90 |
| Tabela 5.9 – Matriz de confusão da validação da classificação   | 92 |
| Tabela 5.10 – Cálculo da área estimada da lixeira desde 2008 a 2012 a partir dos dados de satélite  | 96 |

## ABREVIATURAS

|        |  |
|--------|--|
| RVI    | Resistant Vegetation Index                             |
| AVHRR  | Advanced Very High Resolution Radiometers (sensor)     |
| EEA    | European Environmental Agency                          |
| ETM    | Enhanced Thematic Mapper (sensor)                      |
| FAO    | Food and Agriculture Organization                      |
| MODIS  | Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (sensor) |
| NASA   | National Administration Space Agency                   |
| ND     | Número Digital   |
| NDVI   | Normalized Difference Vegetation Index                 |
| NOAA   | National Oceanic and Atmospheric Administration        |
| RGB    | Red-Green-Blue   |
| SPOT   | Système Probatoire d'Observation de la Terre (         |
| TM     | Thematic Mapper (sensor)                               |
| GERM   | General Empirical Relation Model                       |
| SLC    | Scan Line Corrector                                    |
| DR     | Detecção Remota  |
| ESA    | European Space Agency                                  |
| ERTS   | Earth Resources Technological Satellite                |
| RBV    | Return Beam Vidicon                                    |
| MSS    | Multispectral Scanner                                  |
| AIRSAR | Airborne Synthetic Aperture Radar                      |
| ERS-1  | European Remote Sensing                                |
| JERS-1 | Japanese Earth Resources Satellite                     |
| SAR    | Synthetic-aperture radar                               |
| SRTM   | Shuttle Radar Topography Mission                       |
| GPS    | Global Positioning System                              |
| UTM    | Universal Transverso de Mercator                       |
| GLOVIS | Global Visualization Viewer                            |