

F15.31



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA



Orientação: **Licenciatura em Meteorologia**

Trabalho de Licenciatura

Tema:

O Potencial das Imagens de Satélite no Monitoramento e Mapeamento de Secas



O autor: Luck Moquilica Maria Vicente Injage

Os supervisores:

Dr. Filipe Domingos Freires Lúcio

Dr. Julião João Cumbane

Maputo, Setembro de 2005



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA

Orientação: Licenciatura em Meteorologia

Trabalho de Licenciatura

**O Potencial das Imagens de Satélite no
Monitoramento e Mapeamento de Secas**

Dissertação apresentada ao Departamento de Física
da Univesidade Eduardo Mondlane, para obtenção
do título de Licenciatura em Meteorologia.

Autor: Luck Moquilica Maria Vicente Injage

Os Supervisores: Dr. Filipe Domingos Freires Lúcio

Dr. Julião João Cumbane

Maputo, Setembro de 2005

Declaração sob palavra de honra

Declaro que este trabalho é resultado da minha própria investigação, e que não foi submetido para outro grau que não seja o indicado – Licenciatura em Meteorologia pela Universidade Eduardo Mondlane.

As ideias originais nele expressas são da inteira responsabilidade do autor.

O autor

Luck Moquilica Maria Vicente Injage

(Luck Moquilica Maria Vicente Injage)

06/09/2005

Dedicatória

OFEREÇO

A Deus, que me abençoou com a vida e iluminou-me no trilho do conhecimento.

DEDICO

Aos meus entequeridos avós Rita e Coutinho, e aos meus pais Vicente Injage Júlio e Maria Albertina de Jesus Coutinho que além de proporcionarem a oportunidade de estudar incentivaram-me na busca do saber e do crescimento intelectual.

Agradecimentos

As palavras não são suficientes para exprimir a minha gratidão a todos aqueles que directa ou indirectamente contribuíram para a elaboração deste trabalho e pelo sucesso dos meus estudos.

Gostaria de deixar expressa a minha gratidão à essas pessoas, em particular:

- Aos meus supervisores, **Dr. Julião J. Cumbane** e **Dr. Filipe D.F. Lúcio** pela orientação científica, dedicação e disposição durante a realização deste trabalho.
- Ao corpo docente do Departamento de Física, em especial ao **Prof. Dr. Utui**, **Prof. Dr. Hogueane**, **Prof. Dr. Burdeyn**, **Prof. Dr. Rakov**, **Prof. Dr. Maphossa**, **Prof. Dr. Pondeca**, **Dr. Mutimucio**, **dr. Queface**, **dr. Tembe**, **dr. Mavume**, **dr. Ibraimo**, **dr. Genito**, **dr. Saide**, **dr. Cláudio** pelos conhecimentos transmitidos durante o curso.
- Ao **dr. Mavie (FEWS-NET)**, e ao **dr. Maló**, **dr. Inocência Pereira**, **dr. Rafael** e **Dr. Menete** todos do Departamento de Geografia pelo compartilhamento de seus conhecimentos e auxílio incondicional.
- A todos os trabalhadores deste Departamento pela gentileza e colaboração, prestada ao longo destes anos de curso.
- A todos os funcionários do INAM pelo apoio prestado durante a realização deste trabalho.
- A todos os amigos e colegas do curso em particular, ao **dr. Dambo**, **dr. Angelina**, **dr. Abel Correia**, **dr. Meque**, **dr. Norton**, **Eng. Amós**, **dr. Zucule**, **dr. Da Silva**, **dra. Dália**, **dra. Valentina**, **dr. Canhanga**, **dr. Lelo**, **dr. Cambula**, **Mola**, **Saimone**, **Paulo**, **Zombene**, **Rota**, **Tolbert**, **Bonde**, **Anacleta**, **Sónia**, **Sangarote**, **Zebedeu**, **Nhambane**, **Momade Ali** e **Ramiro** pelo apoio moral, incentivo nas horas difíceis e pela convivência saudável.

- Aos meus pais **Vicente Injage** e **Maria Albertina**, e meus irmãos **Beda**, **Isaura**, **Leonel**, **Betz**, **Elsa** e **Argentina**, e aos meus familiares pelo apoio moral e carinho demonstrados durante todos estes anos.

- E para todos aqueles que não faço menção, pela simpatia e carinho que me oferecem o dia-a-dia.

MUITO OBRIGADO!

Lista de abreviaturas

| | |
|----------|---|
| APAR | Absorbed Photosynthetically Active Radiation |
| AVHRR | Advanced Very High Resolution Radiometer |
| BIL | Binary Image |
| c.d.o | comprimento de onda |
| CH | Channel (Canal) |
| DBF | dBASE |
| DINAGECA | Direção Nacional de Geografia e Cadastro |
| ENSO | El Niño-South Oscillation |
| FEWS-NET | Famine Early Warning System Network |
| GAC | Global Area Coverage |
| GIS | Geographic Information System |
| GISLab | Laboratório de GIS |
| GRID | malha |
| IDW | Inverse Distance Weighted |
| IMG | Image |
| INAM | Instituto Nacional de Meteorologia |
| INGC | Instituto Nacional de Gestão as Calamidades Naturais |
| INIA | Instituto Nacional de Investigação Agronómica |
| IOS/SOI | South Oscillation Index (Índice de Oscilação Sul) |
| ISR | Incoming Short Wave Radiation |
| JPEG | Join Photographic Experts Group |
| LAC | Local Area Coverage |
| LAI | Leaf Area Index |
| NDVI | Normalized Difference Vegetation Index (Índice de Diferença de Vegetação Normalizada) |
| NIR | Near Infra Red (portion of the Spectrum) |
| NMM | Nível Médio do Mar |
| NOAA | National Oceanic and Atmospheric Agency of the USA |
| PIXEL | Picture Element (Elemento de Resolução) |
| RFE | Rainfall Estimate obtained from satellites |

| | |
|------|--|
| TSM | Temperatura da Superfície do Mar |
| UEM | Universidade Eduardo Mondlane |
| USGS | United States Geological Survey of the USA |
| WIN | WinDisp projection |

Resumo

Este trabalho, procura investigar a aplicabilidade das técnicas de sensoramento remoto e Sistemas de Informações Geográficas (GIS ou SIG), buscando respostas para o monitoramento e mapeamento de secas, fundamentado, sobretudo, na utilização dos princípios físicos das ondas eletromagnéticas, através de sensores remotos de satélites de observações ambientais.

Pretende-se com o mesmo, reforçar o conhecimento básico sobre a extensão geográfica e magnitude das secas em Moçambique, para permitir o desenvolvimento de sistemas de informação e monitoramento de secas, usando imagens de satélite combinadas com o GIS. Estas imagens, quando combinadas com técnicas de Sistemas de Informação Geográfica (GIS), tem potencial para servir de instrumento poderoso para detecção e monitoramento de processos que podem resultar em desastres naturais, tais como a seca. Porém, a utilização desse instrumento requer o conhecimento da relação empírica entre a precipitação e as condições da vegetação.

Para o estudo do estado da vegetação, usou-se o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), que é um índice de vegetação preferido para monitoramento da vegetação global usando imagens de satélite do sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) da NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration).

Foi possível determinar o intervalo significativo para situações de ocorrências de secas, que oscila entre 0.23 a 0.37, para a magnitude do tipo severa a fraca. Identificou-se zonas propensas a secas, destacando-se na região Sul as províncias de Gaza, Inhambane e Maputo, na região Centro as províncias de Tete e Sofala e finalmente para a região Norte, as províncias de Niassa, Cabo Delgado e Nampula.

E finalmente, estabeleceu-se a relação entre Precipitação e NDVI no período de Outubro a Março de 1981-2001, e concluiu-se, que o NDVI evidencia uma relação directa da distribuição pluviométrica numa determinada região estudada.

Índice

| Conteúdo | Página |
|---|--------|
| Declaração sob palavra de honra..... | i |
| Dedicatória..... | ii |
| Agradecimentos..... | iii |
| Lista de abreviaturas..... | v |
| Resumo..... | vii |
| Índice..... | viii |
| Lista de figuras..... | x |
| Lista de tabelas..... | xi |
| Lista de anexos..... | xii |
| CAPÍTULO 1 | 1 |
| Introdução e Objectivos..... | 1 |
| 1.1 Introdução..... | 1 |
| 1.2. Objectivos..... | 3 |
| 1.2.1 Geral..... | 3 |
| 1.2.2 Específicos..... | 3 |
| 1.3. Descrição da área de estudo..... | 4 |
| 1.3.1 Enquadramento geográfico da área de estudo..... | 4 |
| 1.3.2 Clima..... | 5 |
| 1.3.3 Vegetação..... | 5 |
| 1.3.4 Recursos hídricos..... | 6 |
| CAPÍTULO 2 | 7 |
| Revisão Bibliográfica..... | 7 |
| 2.1 Estudo da situação de secas em Moçambique..... | 7 |
| 2.2 Relação entre a seca na região da África Austral e as anomalias na circulação geral..... | 8 |
| CAPÍTULO 3 | 10 |
| Fundamentação Teórica..... | 10 |
| Conceito de Seca..... | 10 |
| 3.1 As secas..... | 10 |
| Princípios Físicos de Sensoramento Remoto Aplicado à Cobertura Vegetal..... | 13 |
| 3.3 O sensor AVHRR..... | 13 |
| 3.4 Características do AVHRR para o Índice de Vegetação..... | 14 |
| 3.5. Índice de Diferença de Vegetação Normalizada (NDVI)..... | 16 |
| 3.6 Descrição do algoritmo para obtenção da fracção evaporativa da superfície como indicador de seca..... | 19 |

| | |
|---|----|
| CAPITULO 4 | 22 |
| Metodologia de Estudo | 22 |
| 4.1 Equipamentos e programas | 22 |
| 4.2 Organização e fontes de dados..... | 22 |
| 4.3 Análise e interpretação de dados..... | 23 |
| 4.4 Análises de correlação | 25 |
| 4.5 Limitação do estudo..... | 26 |
| CAPITULO 5 | 27 |
| Resultados e Discussão | 27 |
| 5.1 Análise da relação existente entre a Precipitação e o Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI).. | 27 |
| 5.1.1 Correlação entre o NDVI e a Precipitação | 32 |
| 5.2 Determinação do intervalo do NDVI significativo para o monitoramento de secas em Moçambique..... | 36 |
| 5.3 Identificação de zonas propensas a secas com o auxílio de imagens de satélite | 37 |
| CAPITULO 6 | 39 |
| Conclusões e Recomendações..... | 39 |
| 6.1 Conclusões..... | 39 |
| 6.2 Recomendações..... | 41 |
| Referências Bibliográficas..... | 42 |

Lista de Figuras

| | Página |
|---|--------|
| FIGURA 1. O MAPA ILUSTRA O ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO DE MOÇAMBIQUE..... | 4 |
| FIGURA 2. ILUSTRA O SATÉLITE DA SÉRIE NOAA QUE TRANSPORTA A BORDO O SENSOR AVHRR. | 14 |
| FIGURA 3. ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO MOSTRANDO A JANELA ATMOSFÉRICA, POSIÇÃO DAS BANDAS DO AVHRR, E AS CURVAS ESPECTRAIS DE VEGETAÇÃO E DE SOLO..... | 16 |
| FIGURA 4. ILUSTRA A PERCENTAGEM DE ENERGIA REFLECTIDA POR UMA PLANTA FOTOSSINTETICAMENTE ACTIVA, (A DIREITA), E COM STRESS HÍDRICO, (A ESQUERDA), NAS BANDAS 1 (VISÍVEL) E 2 (NIR) QUE SÃO USADAS PARA CALCULAR O NDVI..... | 19 |
| FIGURA 5. ILUSTRAÇÃO DAS ETAPAS USADAS PARA O PROCESSAMENTO DOS DADOS..... | 24 |
| FIGURA 6. O COMPORTAMENTO DA PRECIPITAÇÃO EM RELAÇÃO AO NDVI NO PERÍODO E ÉPOCA EM ESTUDO..... | 28 |
| FIGURA 7. COMPORTAMENTO DA PRECIPITAÇÃO EM RELAÇÃO AO NDVI NO DISTRITO DE VILANCULOS. | 29 |
| FIGURA 8. COMPORTAMENTO DA PRECIPITAÇÃO EM RELAÇÃO AO NDVI NO DISTRITO DE MASSINGIR. | 30 |
| FIGURA 9. COMPORTAMENTO DA PRECIPITAÇÃO EM RELAÇÃO AO NDVI NO DISTRITO DE MARRACUENE. | 31 |
| FIGURA 10. COMPORTAMENTO DA PRECIPITAÇÃO EM RELAÇÃO AO NDVI NO DISTRITO DE CHIMOIO..... | 31 |
| FIGURA 11. GRÁFICO DA CORRELAÇÃO ENTRE O NDVI E A PRECIPITAÇÃO NO PERÍODO E ÉPOCA EM ESTUDO..... | 32 |
| FIGURA 12. MAPA ILUSTRATIVO DA MÉDIA DO NDVI NO PERÍODO 1981-2001 PARA OS MESES DE OUTUBRO A MARÇO. | 34 |
| FIGURA 13. MAPA ILUSTRATIVO DA MÉDIA DA PRECIPITAÇÃO NO PERÍODO 1981-2001 PARA OS MESES DE OUTUBRO A MARÇO. | 35 |
| FIGURA 14. MAPA ILUSTRATIVO DAS PRINCIPAIS ZONAS PROPENSAS A SECAS (OBTIDO A PARTIR DA MÉDIA DAS IMAGENS EM ESTUDO)..... | 37 |

Lista de Tabelas

| | Página |
|---|--------|
| TABELA 1. AS PRINCIPAIS OCORRÊNCIAS DE SECAS EM MOÇAMBIQUE DESDE 1980..... | 8 |
| TABELA 2. TABELA RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS DE RESOLUÇÃO DO SENSOR ADVANCED VERY HIGH RESOLUTION RADIOMETER (AVHRR), A BORDO DOS SATÉLITES NOAA..... | 15 |
| TABELA 3. VALORES DA CORRELAÇÃO ENTRE A PRECIPITAÇÃO E O NDVI OBTIDOS A PARTIR DA EQUAÇÃO DE PREDIÇÃO. | 33 |
| TABELA 4. A CLASSIFICAÇÃO DE SECA..... | 36 |

Lista de Anexos

| | Página |
|---|---------------|
| ANEXO 1. (DADOS DO NDVI E DA PRECIPITAÇÃO USADOS NESTE ESTUDO)..... | I |
| ANEXO 2. (LAYOUT DOS MAPAS DO NDVI E DA PRECIPITAÇÃO PARA OS PERÍODOS DE OCORRÊNCIA DE SECAS SELECIONADOS NO ESTUDO) | II |
| ANEXO 3. (MAPA DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS SOLOS NO TERRITÓRIO MOÇAMBICANO E A RESPECTIVA CLASSIFICAÇÃO) | III |
| ANEXO 4. (ANÁLISE DOS RESTANTES GRÁFICOS CORRESPONDENTES AOS DISTRITOS SELECIONADOS PARA O ESTUDO) | IV |

CAPITULO 1

INTRODUÇÃO e OBJECTIVOS

1.1 Introdução

A seca é um dos fenómenos responsáveis por grandes prejuízos causados à humanidade por forças naturais. A conscientização desses prejuízos cresceu e os estudos sobre mudanças globais e seus impactos têm sido destacados no campo das ciências da natureza.

Na maior parte do sudeste de África, as secas que ocorrem estão associadas ao fenómeno ENSO (*El Niño* e Oscilação Sul) que afecta o regime normal de precipitação dos trópicos. Portanto, considera-se a seca como um fenómeno meteorológico bem definido, mas os conceitos agrícolas e hidrológicos são diferentes.

Recentemente, atenção considerável tem sido dada aos índices de vegetação tais como o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), obtido pela razão entre a diferença e a soma das reflectâncias do infravermelho próximo e do vermelho, nos canais 2 e 1 respectivamente, e calculados a partir do sensor da série Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) – National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Esses índices têm sido amplamente usados para o monitoramento regional ou global da cobertura vegetal. Em Moçambique, estudos feitos demonstraram que o NDVI se correlaciona com algumas variáveis climáticas em diferentes condições ambientais.

Assim, este trabalho procura investigar a aplicabilidade das técnicas de sensoramento remoto e Sistemas de Informações Geográficas (GIS ou SIG), buscando respostas para o monitoramento e mapeamento de secas, fundamentado, sobretudo, na utilização dos princípios físicos das ondas electromagnéticas, através de sensores remotos de satélites de observações ambientais. Cada vez mais instrumentos de precisão, desse tipo estão sendo utilizados na análise dos ambientes físicos, em especial, no controle e monitoramento de recursos naturais, as variabilidades climáticas, como as secas, a avaliação de impactos ambientais e possíveis mudanças climáticas.

As imagens de satélite têm sido largamente usadas nas últimas décadas em todo o mundo, pois elas representam um excelente instrumento para o mapeamento da distribuição espacial de recursos naturais e das condições da superfície terrestre. Tendo em vista a alta frequência de cobertura e baixo custo dos dados, o sensor AVHRR/NOAA é usado no acompanhamento de impactos climáticos e nas condições de desenvolvimento vegetativo da superfície terrestre (LIU e KANAZAVA, 2003).

Neste contexto, o principal objectivo deste trabalho é o de avaliar o potencial das imagens de satélite no monitoramento e mapeamento de secas em Moçambique. Desta forma, espera-se identificar zonas propensas a secas com o auxílio de imagens de satélite, analisar a relação existente entre a precipitação e o Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI) e determinar o intervalo do NDVI significativo para o monitoramento de secas.

1.2. Objectivos

O presente trabalho terá como objectivos:

1.2.1 Geral

- Avaliar o potencial da aplicação de imagens de satélite para o monitoramento e mapeamento de secas em Moçambique.

1.2.2 Específicos

- Analisar a relação existente entre a precipitação e o Índice de Diferença de Vegetação Normalizada (NDVI).
- Definir um intervalo do NDVI significativo para o monitoramento de secas.
- Identificar zonas propensas a secas com o auxílio de imagens de satélite.

1.3. Descrição da área de estudo

1.3.1 Enquadramento geográfico da área de estudo

Moçambique é um país da África Austral que se situa entre os paralelos $10^{\circ} 27'$ e $26^{\circ} 56'$ de latitude Sul e os meridianos $30^{\circ} 12'$ e $40^{\circ} 51'$ de longitude Este. Ocupa uma área de cerca de 799.380 km², e possui uma costa de 2 470 km de extensão (CONDES, 2002).

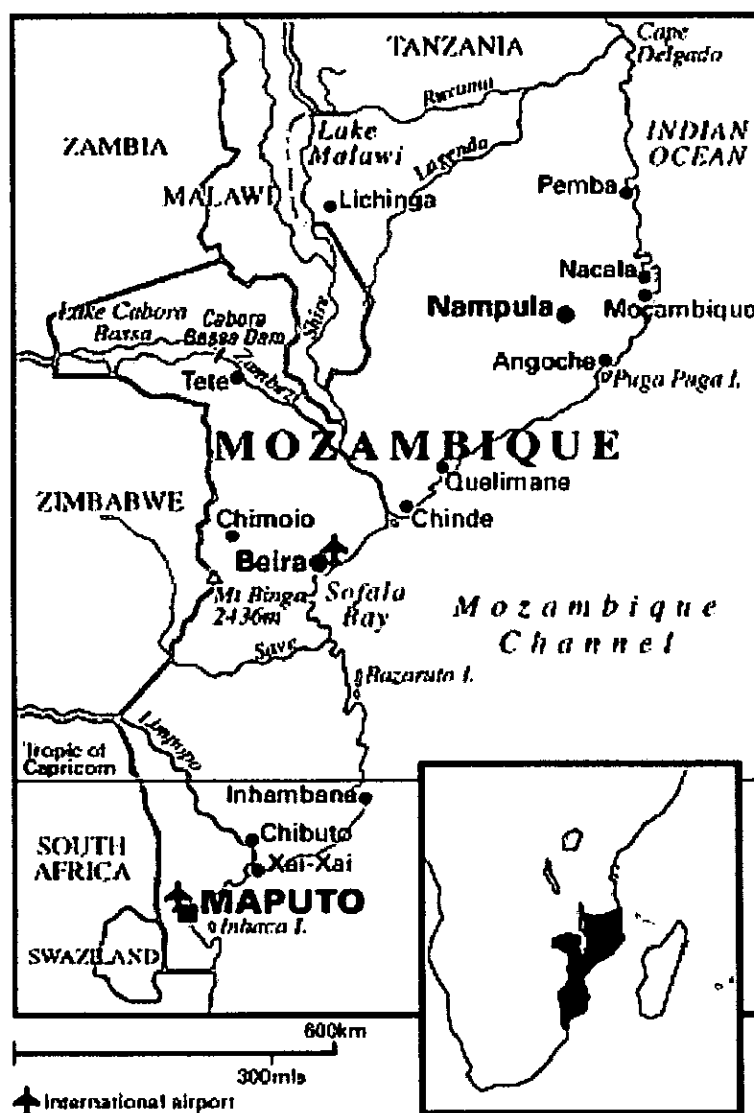


Figura 1. O mapa ilustra o enquadramento geográfico de Moçambique.

Fonte: <http://www.sergiosakall.com.br/africano/mocambique.html>

1.3.2 Clima

Devido a sua localização geográfica os tipos de clima em Moçambique são determinados pela localização da zona de baixas pressões equatoriais, das células anticiclónicas tropicais, das frentes polares do Antártico, orografia, continentalidade e a Zona de Convergência Intertropical. No entanto, o clima é fundamentalmente tropical (dos MUCHANGOS, 1999).

O Sul de Moçambique é influenciado pelos anticiclones do Índico e do Atlântico durante o verão e a passagem de frentes frias no inverno. Os ciclones tropicais, entram no Canal de Moçambique durante o verão causando precipitações abundantes ao longo da costa. O clima de Moçambique é caracterizado por duas estações por ano, uma quente e chuvosa de Outubro à Março e a outra fria e seca de Abril a Setembro (dos MUCHANGOS, 1999).

A precipitação é mais abundante no Norte do País, onde a média anual varia entre os 800 a 1200 mm atingindo os 1500 mm nos planaltos zambeziano e de Lichinga. Excepção é a província de Tete que recebe uma precipitação inferior a 600 mm/año. A região Sul, é em geral mais seca com a média inferior a 800 mm descendo para 300 mm na região do Pafúri. O Centro e toda a linha Costeira recebem uma precipitação que vai de 800 a 1000 mm. Na formação montanhosa de Gorongosa a precipitação excede os 1500 mm.

1.3.3 Vegetação

Segundo SAKET *et al.* (1995), as florestas e outras formações vegetais nativas distribuem-se por cerca de 80 milhões de hectares, ou seja, 78 % da superfície total do território nacional. Dos cerca de 80 milhões de hectares, 8.7 % equivalem a florestas com alta a média produtividade, 26 % de florestas de média a baixa produtividade e o resto da percentagem a savanas pouco densas e de baixo valor comercial.

Na província de Sofala situam-se aproximadamente 2/3 das florestas altas (> 15 m), cabendo as províncias da Zambézia, Manica, Nampula e Cabo Delgado a ocorrência de florestas densas, com altura variável entre os 9 e 15 metros, estimando-se nestas províncias a existência de um potencial de produção sustentável de cerca de 1 000 000 m³/ano.

1.3.4 Recursos hídricos

Moçambique é atravessado por grandes rios que têm as suas nascentes em países vizinhos e conta com mais de 100 bacias hidrográficas, cerca de 1 300 lagos e 10 barragens com capacidade de armazenamento de 430 000 m³ de água, no total ocupando uma área de 1 300 km² (Arone, 2002).

CAPITULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Estudo da situação de secas em Moçambique

Moçambique é um país vulnerável à calamidades. Certas calamidades associam-se a excesso ou deficiência de precipitação, dando origem dentre outras calamidades, a ocorrência de secas.

VAZ (1993) aborda metodologias relacionadas com a caracterização e monitorização de secas, em algumas regiões de Moçambique, focando questões tais como seca pontual e seca regional (baseando-se na série de precipitação ponderada e definição de área crítica).

Contudo, DANUNE (1987), no seu estudo sobre as secas em Moçambique, reporta que para determinadas zonas do nosso país os valores da precipitação média não excediam os 627 e 779 mm por ano, e que os climas semi-áridos fustigavam uma grande parte do noroeste do nosso país concretamente na província de Tete, a parte Norte da província de Gaza (Mapulanguene e Pafúri-Chicualacuala), sendo nestas zonas onde a evapotranspiração potencial (ETP) excede os valores da precipitação normal (300-400 mm). O interior da província de Inhambane é outro ponto do país em que a precipitação não ultrapassa os 600 mm por ano (p. ex. Mabote).

Segundo ROJAS e AMADE (1996), nos seus estudos agroclimáticos de precipitação em Moçambique, evidenciam que as maiores probabilidades de ocorrência de seca se apresentavam nas províncias do Sul (Inhambane, Gaza e Maputo) e no sul de Tete.

A seguir é mostrado um quadro onde pode-se ver as últimas ocorrências de secas no nosso país desde 1980 à 2002.

Tabela 1. As principais ocorrências de secas em Moçambique desde 1980.

| Principais ocorrências de secas em Moçambique a partir de 1980 | |
|--|--|
| Anos | Detalhes |
| 2002 | 43 distritos afectados nas províncias do Sul e Centro de Moçambique. |
| 1999 | 100 000 pessoas afectadas. |
| 1994-95 | Sul e Centro de Moçambique, 1.5 milhão de pessoas afectadas. Escassez da água potável e aparecimento de surto de coléra. |
| 1991-93 | Todo o país afectado, 1.32 milhão de pessoas afectadas. Grande fracasso agrícola; escassez de água potável. |
| 1987 | Inhambane 8 000 pessoas afectadas. |
| 1983-84 | Maior parte do país foi afectada. Ecloração da epidemia de coléra, muitos morreram de seca e guerra. |
| 1981-83 | Sul e Centro de Moçambique afectados, 2.46 milhões de pessoas afectadas. |
| 1980 | Sul e Centro afectados, 60 000 pessoas afectadas. |

Fonte: Atlas para Preparação e Resposta Contra Desastres na Bacia do Limpopo (INGC *et. al.*, 2003).

2.2 Relação entre a seca na região da África Austral e as anomalias na Circulação Geral

Os fenómenos que a seguir são descritos têm forte influência nas secas na nossa região, concretamente Moçambique. O fenómeno atmosférico denominado Oscilação Sul, correspondente a uma variação da pressão atmosférica no Oceano Pacífico, a qual se apresenta em intervalos de 3 a 10 anos. As fases desta oscilação são indicadas pelo Índice de Oscilação Sul (IOS ou SOI) que é a diferença estandardizada de pressões ao nível médio do mar (NMM) entre Tahiti no Pacífico Oeste e Darwin na Australia.

Quanto ao fenómeno oceânico conhecido como *El Niño*, este é o aquecimento anormal das águas do Pacífico Este Equatorial, ao largo do Perú e do Equador, e é uma manifestação local da "Oscilação Austral", como consequência dos índices negativos da Oscilação Sul. Devido a estreita relação entre o *El Niño* e a Oscilação Sul estes são conhecidos de forma conjunta como episódios "*El Niño* – Oscilação Sul" ou ENSO (ROJAS e AMADE, 1996).

DANUNE (1987), no seu trabalho reporta que, em 1982-1983, o fenómeno ENSO foi mais intenso do que tinha sido há quase um século, quer para o aquecimento considerável das águas superficiais assim como para a sua extensão geográfica, e o seu impacto sócio-económico.

Ainda de acordo com DANUNE (1987), as precipitações no sudeste de África concretamente entre Moçambique e Zimbabwe dependem muito dos fenómenos ENSO: em 28 manifestações deste fenómeno, 22 coincidem com uma diminuição da precipitação nesta zona do globo. O fenómeno ENSO está associado a mudanças geográficas maciças no regime normal de precipitação dos trópicos e afecta claramente a maior parte do Sul de África. A sua relação com o sudeste de África é particularmente grande.

Existem outros factores que influenciam a variação climática na região, para além, das temperaturas da superfície do mar (TSM), variação da pressão atmosférica que são responsáveis pela ocorrência dos fenómenos *El Niño e La Niña*. Pode-se ainda, incluir factores tais como a dinâmica interna da atmosfera, condições da superfície terrestre e o facto da região poder ser dividida em várias regiões de precipitação homogênea, cujas correlações com o ENSO diferem uma da outra. Geralmente, o fenómeno ENSO é responsável por cerca de 30% da variabilidade do comportamento da precipitação, por esta razão, estes factores devem ser tomados em consideração no processo de previsão climática.

CAPITULO 3

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Conceito de Seca

3.1 As secas

A seca é um fenómeno cujo início e fim são difíceis de identificar, porque nada a distingue logo de início de um simples período de bom tempo. Segundo DANUNE (1987), definiu que:

“ O primeiro dia sem chuva de um período de bom tempo contribui tanto para a seca como o seu último dia, mas ninguém pode avaliar a gravidade do fenómeno antes que este último dia tenha chegado e que a chuva não tenha enfim, retornado.”

De entre inúmeras definições de seca propostas, até então, não se optou por uma definição que seja simultaneamente consensual e possa ter uma rigorosa tradução quantitativa.

VAZ (1993), definiu a seca genericamente como a ocorrência dum défice significativo nas disponibilidades de água durante um período de tempo suficientemente longo e abrangendo uma área suficientemente extensa.

Parece ser evidente, que a percepção da seca tem a ver com o desvio dum padrão de normalidade de precipitação que tem de ser tomado como referência. Por esta razão, é de salientar que aridez e seca são conceitos bem distintos. A aridez seria uma situação de escassez de água que se verifica em determinadas regiões do mundo com carácter de permanência, correspondendo a uma característica média ao longo de muitas décadas, sendo portanto uma característica climática dessas regiões (VAZ, 1993).

A seca é uma situação de anormalidade, de alguma forma excepcional, tal como acontece com as cheias. As secas podem ser de vários tipos de acordo com o seu impacto. Sendo assim, neste estudo destacaremos a seca meteorológica que ocorre quando a precipitação é muito inferior à normal durante um longo período de tempo (VAZ, 1993). Salientar que para além deste tipo de

secas existem vários outros tipos, como por exemplo seca hidrológica, seca agrícola e seca sócio-económica.

A seca tem significado diferente para cada um, em função das suas necessidades em água. Geralmente, considera-se a seca como um fenómeno meteorológico bem definido, mas os conceitos agrícolas e hidrológicos são diferentes. Portanto, a seca meteorológica, é difícil de identificar com exactidão à primeira vista. Isto deve-se ao facto da própria natureza do fenómeno, história climática e meteorológica de alguns países africanos ser mal conhecida e quase sempre os dados são de pouca confiança ou suas séries são demasiado pequenas (DANUNE, 1987).

3.2 A seca e as actividades humanas

A principal actividade humana susceptível de provocar a seca é a combustão de materiais primários fósseis, que tem atingido níveis sem precedentes. O aquecimento das camadas inferiores da atmosfera devido ao aumento das concentrações do dióxido do carbono (CO_2) e de gases como metano (CH_4), ozono (O_3), fluorcarbonetos (CFC's) e óxidos de azoto (NO_x) modificam os fenómenos hidrológicos e originam a queda irregular e desigual da precipitação.

A acumulação dos gases acima citados provoca o chamado "efeito de estufa", isto porque, deixam passar os raios solares de pequeno comprimento de onda (c.d.o) a luz visível, como também absorvem ou reenviam para a terra as radiações de grande c.d.o (infravermelhos), por ela emitidos. Alguns analistas ligados a meteorologia, supõem ainda que a seca prolongada que se faz sentir actualmente em África a escala regional é o primeiro sinal deste aquecimento.

A segunda actividade humana associada a seca é a transformação da paisagem. A eliminação progressiva das florestas e das pastagens, e a utilização excessiva das madeiras como combustível ou como material de construção, pode levar ao risco de aumento do albedo da terra, consequentemente afectando a capacidade de reflexão dos raios luminosos (HARE *et al.*, 1992). A Terra arrefecer-se-ia, porque absorveria menos luz solar, fazendo com que, as camadas baixas da atmosfera se arrefecessem também, porque seriam invadidas por massas de ar, causando a redu-

ção dos processos de convecção da atmosfera, fenômeno este que impediria a formação das nuvens que por sua vez reduziriam a precipitação.

PRINCÍPIOS FÍSICOS DE SENSORAMENTO REMOTO APLICADO À COBERTURA VEGETAL

Sensoramento remoto é a ciência e a arte de observar um alvo sem ter contacto físico com o mesmo, baseando-se apenas na interação deste alvo com a radiação electromagnética (Lillesand & Kiefer, 1995). O registo destas interações é feito pelo rastreamento regular da interação da radiação electromagnética em diferentes faixas espectrais, formando distintas imagens. A interação de cada faixa com cada alvo, é função da estrutura física e química do alvo e do comprimento de onda (c.d.o) da radiação electromagnética. A radiância tem uma relação directa com a reflectância, e, por sua vez, é característica de cada alvo. Cada alvo interage diferentemente com a radiação electromagnética de cada faixa espectral, sendo o resultado uma ampliação do espectro de observação dos alvos terrestres através dos sensores remotos aéreos ou orbitais.

3.3 O Sensor AVHRR

O sensor Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) está presente na série de satélites polares da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), a qual iniciou suas operações com o satélite TIROS-N em 1978.

O AVHRR/NOAA é um radiômetro imageador de varredura mecânica que opera em cinco bandas espectrais. Os dados adquiridos durante cada passagem permitem, após o processamento em terra, a análise de parâmetros de interesse em hidrologia, oceanografia, uso da terra e meteorologia.

Segundo dos SANTOS Jr. *et al.* (2003), os satélites do sistema AVHRR/NOAA operam em órbita polar e síncronica com o sol, focalizando pontos da superfície terrestre situados entre os paralelos 78°N e 78°S. O sensor AVHRR, tem aproximadamente 102 minutos de período orbital, efectuando 14,1 órbitas por dia. Esta plataforma foi programada para efectuar duas passagens diárias, uma diurna e outra nocturna. A seguir é ilustrada a imagem do sensor AVHRR.

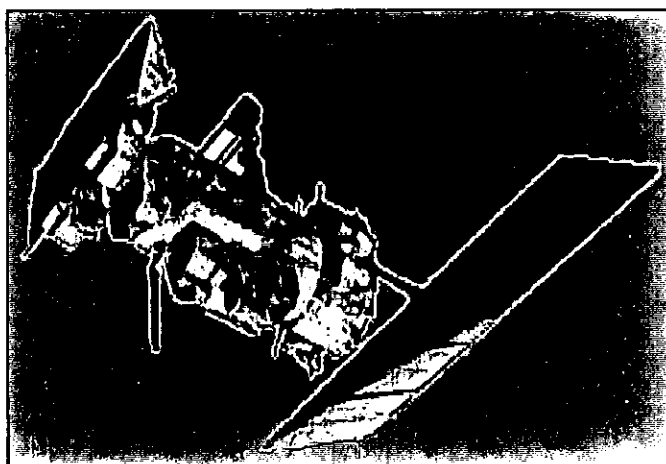


Figura 2. Ilustra o satélite da série NOAA que transporta a bordo o sensor AVHRR.
Fonte: <http://www.ufrpe.br/geosere/conteudo/noaa.html> (da Silva *et al.*, 2003)

3.4 Características do AVHRR para o índice de vegetação

Actualmente, as áreas da superfície terrestre observadas instantaneamente variam da ordem de 100 m^2 até $1.000.000 \text{ m}^2$. O sensor denominado AVHRR, colocado a bordo do satélite NOAA, pode observar objectos do “pixel GAC” (Global Area Coverage) representando uma área de 18 km^2 (5×3 pixels LAC) e “pixel LAC” (Local Area Coverage) representando uma área na ordem de 1.2 km^2 e observando objectos sob a posição nadir, havendo degradação da mesma em direcção às bordas da imagem, onde chega a alcançar $2.5 \times 6 \text{ km}^2$. Graças à resolução espacial do sensor e à inclinação da órbita do satélite, descrita a uma altitude de aproximadamente 840 km , é possível obter uma cobertura total do globo a cada 24 horas (considerando o mesmo horário de observação).

Esta resolução espacial é suficiente para o monitoramento da cobertura vegetal em escalas que incluem uma região, país ou mesmo todo o globo terrestre (SHIMABUKURO, *et al.* 1998). Resalte-se que este sensor observa uma ampla faixa da superfície terrestre permitindo que todo o planeta seja monitorado diariamente, produzindo uma quantidade razoável de dados capazes de serem processados rotineiramente. O sensor possui 5 bandas espectrais distribuídas nas faixas do visível ($0.58 - 0.68 \mu\text{m}$), do infravermelho próximo ($0.725 - 1.10 \mu\text{m}$), do infravermelho médio

(3.55 – 3.93 μm) e duas no infravermelho distante (10.3 – 11.3, 11.5 -12.5 μm) do espectro eletromagnético.

Destas bandas, as mais utilizadas para estudos da vegetação são as identificadas pelos números 1 e 2 (veja a fig.3). A banda 1 corresponde à cor vermelha, cuja radiação é em grande parte absorvida pelos pigmentos das plantas para realização do processo de fotossíntese. Isto faz com que as áreas ocupadas pela vegetação apareçam escuras nas imagens da banda 1, devido à pouca quantidade de radiação reflectida. Por outro lado, na banda 2, que corresponde à radiação do infravermelho próximo, a maior parte da energia é reflectida devido ao espalhamento da radiação eletromagnética que ocorre na estrutura interna das folhas (SHIMABUKURO, *et al.* 1998).

Tabela 2. Tabela resumo das características de resolução do sensor (AVHRR), a bordo dos satélites NOAA.

| Satélite NOAA – Sensor AVHRR | | | | | |
|------------------------------|--|--|---------------------|---------------------------|--------------------------|
| Banda | Faixa Espectral (μm) | Principais Aplicações | Ângulo de Varredura | Faixa de Imageamento | Amplitude da Plataforma |
| 1 | 0.58 - 0.68 | -Mapeamento diurno de nuvem, gelo e neve. -Definição de feições de solo e cobertura vegetal. | $\pm 55.4^\circ$ | $\approx 2700 \text{ km}$ | $\approx 840 \text{ km}$ |
| 2 | 0.725 - 1.1 | -Delimitação da superfície da água. -Definição de condições de fusão de neve e gelo. -Avaliação da vegetação e monitoramento meteorológico (nuvens). | | | |
| 3 | 3.55 - 3.93 | -Mapeamento noturno e diurno de nuvens. -Análise da temperatura da superfície do mar. -Detecção de pontos quentes (incêndios). | | | |
| 4 e 5 | 10.30 - 11.30 (4) 11.50 - 12.50 (5) | -Mapeamento noturno e diurno de nuvens. -Medição da superfície do mar, lagos e rios. -Detecção de erupção vulcânica. -Humidade do solo, atributos meteorológicos das nuvens. -Temperatura da superfície do mar e humidade do solo. | | | |

Fonte: Adaptada: http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_sen.html

Desta forma, as áreas vegetadas aparecem com tonalidade clara na imagem desta banda. Isto pode ser observado também na (fig.3) abaixo, que mostra uma curva típica de radiação reflectida pela vegetação, onde na banda 1, cerca de 5% da energia incidente é reflectida enquanto que na banda 2 cerca de 50% é reflectida. Importa ressaltar que nestas duas bandas espectrais o sensor AVHRR detecta a radiação ou energia reflectida pelos objectos.

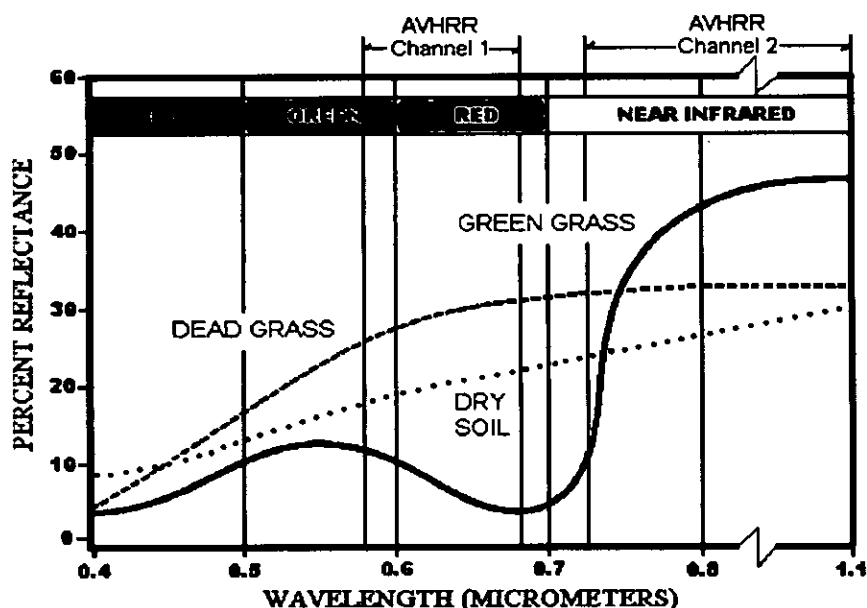


Figura 3. Espectro eletromagnético mostrando a janela atmosférica, posição das bandas do sensor AVHRR, e as curvas espectrais de vegetação e de solo.

Fonte: <http://edc.usgs.gov/greenness/helppage.html#Electromagnetic>

3.5. Índice de Diferença de Vegetação Normalizada (NDVI)

Os índices de vegetação representam uma técnica amplamente utilizada, na área do sensoramento remoto, por indicarem a presença e condição da vegetação monitorada. O êxito da utilização destes índices de vegetação se fundamenta no facto de que a produção primária de uma comunidade vegetal ter estreita relação com a energia solar absorvida, o que define o crescimento e o desenvolvimento dessa comunidade.

Segundo ZUCULE (2003), a energia electromagnética radiante ao incidir sobre uma superfície pode ser expressa por três propriedades de interacção: Absortância (*Abs.*), Reflectância (*Ref.*) e

Transmitância (*Trans.*) e que pelo princípio da conservação de energia, esta interação energia incidente e suas frações pode ser expressa pela equação:

$$Abs. + Re f. + Trans. = 1 \quad (3.1)$$

As medidas de índice de vegetação têm, em geral, associação directa com a quantidade de biomassa, o índice de área foliar, a cobertura do solo, a interceptação da radiação e o rendimento agrícola (SHIMABUKURO *et al.*, 1998).

O objectivo desta técnica é reduzir o total de dados espectrais, e realçar a contribuição espectral da vegetação verde, bem como minimizar a contribuição do solo, o ângulo solar, a vegetação senescente e a atmosfera. Os índices de vegetação são baseados em combinações lineares, razões ou transformações ortogonais de várias bandas espectrais.

A vegetação é caracterizada por uma intensa absorção devido à clorofila na região do vermelho (0,4 - 0,7 μm) e por uma intensa reflexão na faixa do infravermelho próximo (0,725 - 1,10 μm) causada pela estrutura celular das folhas. Uma cobertura vegetal com déficit tende a absorver menos radiação solar (aumenta sua reflectância no visível) e absorve mais no NIR ("Near Infra-red" ou Infravermelho próximo). Deste modo a diferença de reflectâncias ou sinais entre canais 1 e 2, tende a decrescer quando a cobertura está mais seca (ZUCULE, 2003).

Várias transformações matemáticas dos dados das bandas 1 e 2 do AVHRR mostraram-se indicadores sensitivos à presença da vegetação verde e são referidos como índices de vegetação nestas bandas. A diferença dos valores dos dados das bandas 1 e 2 são proporcionais à reflectância da cena vista, sendo a medida do grau de vegetação verde na imagem captada pelo sensor. Assim sendo, o NDVI, é universalmente definido como (KASSA, 1999):

$$NDVI = \frac{CH2 - CH1}{CH2 + CH1} \quad (3.2)$$

Onde: CH2 = é a energia reflectida na região do infravermelho próximo do espectro electromagnético pelo canal 2;

CH1 = é a energia reflectida na região do visível (banda do vermelho) do espectro electromagnético pelo canal 1.

A validação directa do NDVI/NOAA é difícil devido a extensão de cobertura da área por cada "pixel"; e foi mostrado que:

$$APAR = f[LAI, ISR, CanopyGeometry] \quad (3.3)$$

Onde:

APAR = Radiação Activa Absorvida Fotossinteticamente (Absorbed Photosynthetically Active Radiation)

LAI = Índice de Área Foliar (Leaf Area Index)

ISR = Radiação de Onda Curta Emergente (Incoming Short Wave Radiation).

Também pode-se escrever ou afirmar (KASSA, 1999) que:

$$NDVI = f[APAR] = f[LAI] \quad (3.4)$$

O NDVI é preferido para monitoramento da vegetação global porque compensa parcialmente a variação nas condições de iluminação, inclinação da superfície terrestre e aspectos das observações do sensor em função da ampla largura da órbita (2.700 km) e os seus valores teoricamente podem variar de +1 à -1.

Nuvens, água e neve têm reflectâncias maiores no visível do que no infravermelho, sendo que, nestas condições o NDVI tem valores negativos. Rochas e solos expostos têm reflectâncias similares nestas duas bandas e o resultado no índice de vegetação é aproximadamente zero. Em paisagens com vegetação o NDVI varia de 0,1 à 0,6, onde os valores mais altos são associados com maior vigor e densidade da cobertura vegetal. Efeitos atmosféricos como o espalhamento por poeira, aerossóis e nuvens de tamanho dos subpixels agem para aumentar a reflectância na banda 1 em relação à banda 2 e reduzir o valor do índice da vegetação. Como ilustra a fig. (3), as plantas saudáveis absorvem a maior parte da radiação incidente que as atinge no visível e reflecte uma

uma grande porção no NIR, enquanto que, plantas não saudáveis ou vegetação escassa reflectem mais no visível e menos no NIR.

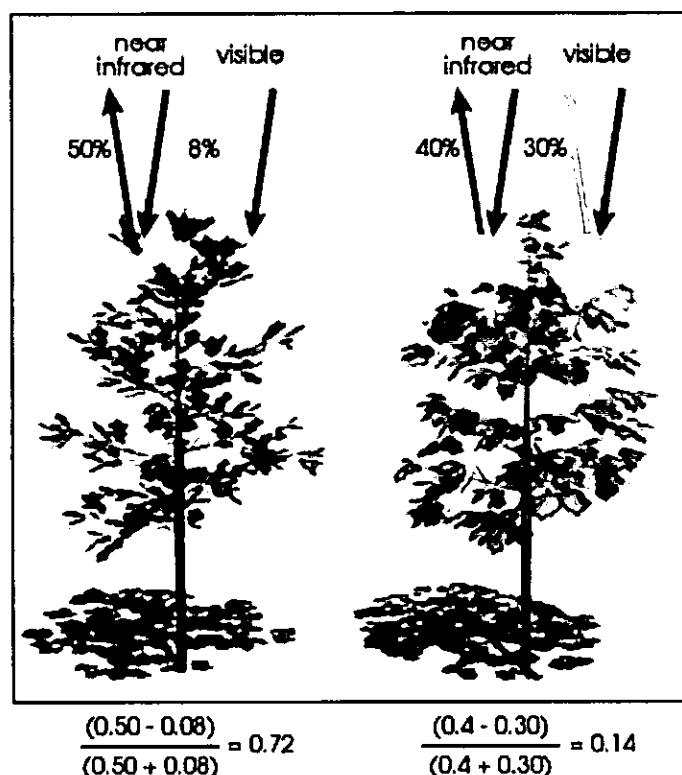


Figura 4. Ilustra a percentagem de energia reflectida por uma planta fotossinteticamente activa, (a direita), e com stress hídrico, (a esquerda), nas bandas 1 (visível) e 2 (NIR) que são usadas para calcular o NDVI.

Fonte: http://earthobservatory.nasa.gov/Library/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.html (WEIER and HERRING).

3.6 Descrição do algoritmo para obtenção da fracção evaporativa da superfície como indicador de seca

O sistema Terra-Atmosfera como um sistema fechado permite a transferência de energia, excluindo matéria, dentro e fora do sistema. A radiação solar absorvida pela superfície é emitida em forma de calor radiante bem como em calor latente e sensível (VOGT *et al.*, 2000). O modelo de balanço de energia é baseado na equação geral do balanço de energia:

$$R_{net} = \lambda ET + H + G \quad (3.5)$$

Onde: R_{net} = é a densidade do fluxo da radiação líquida;

λET = é a densidade do fluxo de calor latente transferido;

H = é a densidade do fluxo de calor sensível transferido por condução, convecção e advecção;

G = é o termo de transferência da densidade do fluxo de calor da superfície (solo).

Inicialmente, a avaliação instantânea da energia ($R_{net} - G$)_i e do fluxo de calor sensível (H)_i são obtidos independentemente. O fluxo de calor latente transferido (λET) é também obtido num segundo processo como resíduo da equação da taxa de energia (w/m^2):

$$\lambda ET_i = (R_{net} - G)_i - H_i \quad (3.6)$$

As componentes da radiação líquida (R_{net}) são obtidas como se segue (w/m^2):

$$R_{net} = R_G * (1 - \alpha) + L \downarrow - L \uparrow \quad (3.7)$$

Para certos países, a radiação global (R_G) estimada para certos modelos agrometeorológicos operacionais (VOGT *et al.*, 2000), e o albedo da superfície (α) é obtido da reflectância das ondas curtas medidas pelo sensor AVHRR. As componentes de ondas longas são estimadas a partir da temperatura do ar, humidade e emitância de ondas longas medidas pelo sensor AVHRR. O fluxo instantâneo de calor do solo (G_i) é aproximado a fracção da radiação líquida como uma função do NDVI.

O fluxo de calor sensível (H_i) é estimado através da diferença entre a temperatura da superfície radiométrica (T_s), a temperatura do ar medida na superfície (T_a) e a capacidade de resistência aerodinâmica (r_a) (w/m^2):

$$H_i = \frac{c_p \cdot \rho_{air} \cdot (T_s - T_a)}{r_a} \quad (3.8)$$

onde:

c_p = é o calor específico do ar e

ρ_{air} = é a densidade do ar

A diferença entre a temperatura da superfície radiométrica conhecida e a temperatura da superfície aerodinâmica não conhecida, que teoricamente pode ser aplicada, é quantificada na expressão dada por r_a . Esta é acompanhada através da definição de diferentes áreas de superfície para o calor (Z_{oh}) e para o momento (Z_{om}) (S/m):

$$r_a = \frac{\ln\left(\frac{Z_m - d}{Z_{om}}\right) \cdot \ln\left(\frac{Z_h - d}{Z_{oh}}\right)}{k^2 \cdot U(Z_m)} \quad (3.9)$$

onde:

d = é a altura de mudança

K = é a constante de Von Karman

Z_m = é a altura observada

U = é a velocidade do vento na altura Z_m .

Finalmente, a fracção evaporativa (EF) é obtida de acordo com a equação:

$$EF = \frac{\lambda ET_i}{(R_{net} - G)_i} \quad (3.10)$$

CAPITULO 4

METODOLOGIA DE ESTUDO

A seguir será descrita a metodologia adoptada para a realização deste estudo, que tem como área de estudo Moçambique. Usa como ferramenta de estudo, dados do NDVI e a precipitação total mensal (mm) nas épocas de verão chuvoso, compreendida entre Outubro à Março para o período 1981-2001.

4.1 Equipamentos e programas

Para a realização deste trabalho foi necessário o uso do seguinte equipamento:

- Computador PC Pentium IV, Disco duro de 40 Gigas e memoria Ran de 512 KB;
- Sistemas de Informação Geográfica: WINDISP5.1, ArcView3.2 e ArcView8.1 ou ArcMap para Windows;
- Base de dados do DINAGECA, disponível no GISLab (Dep.^o de Geografia - UEM).

4.2 Organização e fontes de dados

A realização deste trabalho compreendeu as seguintes etapas principais: A primeira etapa consistiu na colecta de dados de precipitação e o NDVI, em toda a extensão do território moçambicano, no período compreendido entre 1981 à 2001; A segunda etapa consistiu na análise das séries temporais da precipitação e do NDVI, para investigar a relação entre as duas variáveis. E finalmente, usou-se o NDVI para definir um intervalo do índice de seca a partir dos valores da reflectância.

Contudo, o estudo baseou-se nos dados das seguintes estações:

- Região Sul (Maputo Observatório, Chibuto, Vilanculos, Maniquenique, Umbeluzi, Marracuene, Massingir, Panda, Inharrime, Xai-Xai e Inhambane);
- Região Centro (Beira Observatório, Quelimane, Chimoio, Tete e Pebane);
- Região Norte (Nampula, Pemba, Lichinga, Montepuez, Mocimboa da Praia e Angoche).

Os dados das imagens do NDVI usados neste trabalho, foram disponibilizados pela FEWS-NET (Famine Early Warning System Network) em parceria com a USGS (United States Geological Survey) com sede nos EUA. Estas imagens tem uma resolução espacial de 8 x 8 km/pixel em formato binário de 8 bits e uma resolução temporal mensal definidas em décadas a partir de Outubro à Março de 1981-2001.

4.3 Análise e interpretação de dados

A análise dos dados permitiu em geral, um melhor entendimento uma vez que sumarizou o conjunto de dados, descrevendo suas variações e comportamentos, possibilitando interpretações mais confiáveis e detecção de possíveis erros.

Para o processamento das imagens de satélite usou-se alguns pacotes aplicados em GIS, com a finalidade de:

- classificar a seca de acordo com as designações padronizadas;
- selecionar as imagens correspondentes aos anos críticos em que ocorreu a seca (na série temporal);
- calcular a média das imagens do período em estudo (1981 à 2001), tendo em consideração os anos críticos de ocorrência de seca;
- comparar a média (1981-2001) em relação a cada período de ocorrência de seca;
- calcular os valores de reflectância da vegetação e dividir os intervalos em classes correspondente a cada tipo de seca.

Para a determinação da relação entre a precipitação e o NDVI, procedeu-se a interpolação dos dados da precipitação pelo método Inverse Distance Weighted, ou seja, Inverso do Quadrado da Distância (IDW) para as estações acima citadas. Este método consiste em apoiar processos de decisão espacial, obter uma superfície contínua, transformação de dados vectoriais em raster e o cálculo de isolinhas para visualização.

Os dados de cada parâmetro em estudo, foram examinados nos seguintes pacotes aplicados em GIS,

➤ O WINDISP5.1 usado para:

- apresentar e analisar séries temporais de imagens de satélite, especificamente para o monitoramento da vegetação e climas para o aviso prévio de secas, cheias, perdas de culturas e riscos de incêndios.

➤ O ArcView3.2 e o ArcView8.1 (ArcMap) usado para:

- criar e editar dados geográficos, assim como tabulares;
- mapeamento, análise e gestão de dados, utilizados em todos os níveis da família ArcGIS e são de baixo custo.

A construção dos gráficos das distribuições de frequências e análise estatística dos parâmetros em estudos, foi possível com o auxílio do pacote EXCEL, que permitiu uma representação quantitativa dos parâmetros. A seguir é ilustrada a figura do esquema de como foi efectuado o processamento dos dados usados neste trabalho:

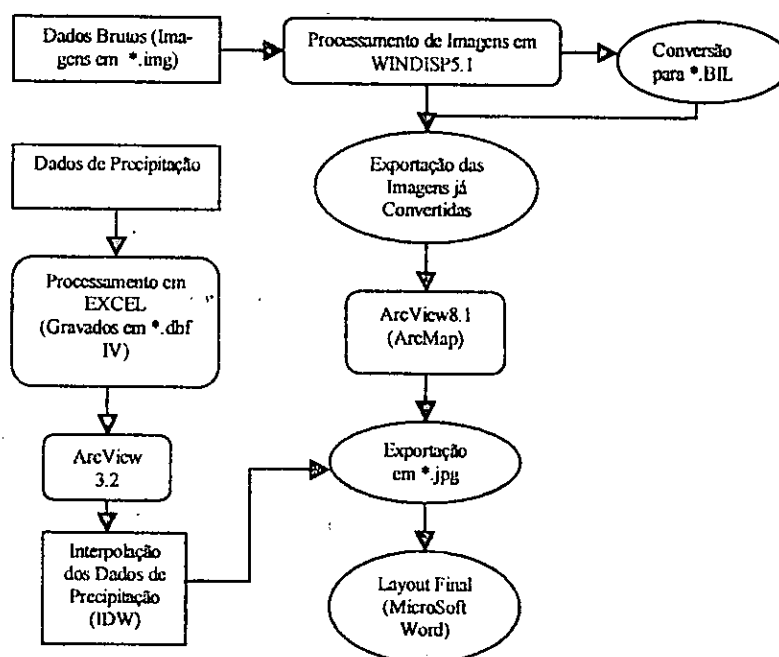


Figura 5. Ilustração das etapas usadas para o processamento dos dados.

4.4 Análises de correlação

A análise de correlação linear é usada neste estudo como forma de avaliar o grau de associação entre duas variáveis. Tal como todas as técnicas estatísticas, as análises de correlação não implicam qualquer ligação causa-efeito entre as variáveis e, por isso, não há explicações sobre os mecanismos físicos que sustentam esta relação.

Para uma análise complementar da correlação é necessário o conhecimento da regressão linear simples para se descrever a relação entre a precipitação (variável independente ou variável preditora) e NDVI (variável dependente ou variável resposta). A equação típica de regressão assemelha-se a equação de uma recta ($y = mx + b$) é expressa na forma $\hat{y} = b_1x + b_0$, onde b_0 é o intercepto y e b_1 é o coeficiente angular. Para se dar mais relevância ao estudo da regressão foi preciso estudar a análise da correlação linear entre as variáveis, cujo coeficiente é dada pela expressão:

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3.11)$$

Onde o "r" é denominado de coeficiente de correlação de Pearson, uma vez que envolve termos não lineares. Em geral, quanto menor for a variabilidade das variáveis, menor é "r" sendo o restante igual (MINIUM, 1970). RAMAGE (1983), afirma que o "r" pode ser influenciado pelas características duma determinada amostra. É importante salientar, que a estabilidade de "r" depende do número de casos. Quanto maior for a amostra, mais estável é o "r". Para a análise da correlação usou-se um nível de significância de 5%.

4.5 Limitação do estudo

O estudo foi desenhado para ser efectuado para todo o território moçambicano, mas devido a inúmeros factores tais como:

- falta de cobertura completa em estações meteorológicas no território moçambicano, que fez com que o estudo fosse limitado para determinadas regiões atrás citadas ;
- Incompatibilidade das imagens de satélite depois de convertidas em relação ao ArcView3.2, pois estas só são compatíveis em ArcView8.1 (ArcMap), porque a extensão BIL das imagens deste sensor são compatíveis para o ArcMap;
- O georeferenciamento da base de dados do mapa temático de Moçambique, para a extensão WIN (no pacote WINDISP5.1), tem anomalias na distribuição dos distritos e postos administrativos. Este problema fez com que alguns distritos listados na metodologia não aparecessem nos resultados, relativo a distribuição do NDVI a nível de Moçambique.
- Erros na aquisição de dados (por ex., na digitalização), erros numéricos no armazenamento dos dados, erros de conversão (vector x *raster*, *raster* x vector) e erros advindos dos modelos lógicos (acumulação de erros das demais etapas e que se propagam através destas manipulações).

CAPITULO 5

RESULTADOS e DISCUSSÃO

5.1 Análise da relação existente entre a precipitação e o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI)

A análise da relação entre os parâmetros NDVI x Precipitação, é feita com objectivo de encontrar uma relação directa entre ambos.,

A evolução do NDVI mensal cumulativo (época de verão chuvoso) observada no período em estudo, apresenta uma tendência de crescimento da refletância do verde. No verão observa-se abundância do verde com valores do NDVI e precipitação muito altos. A ocorrência do NDVI e precipitação com valores muito baixos manifestam os valores limiares do estado da vegetação (veja tabela 3).

Para situações de ocorrência de secas, considera-se que para os valores ≤ 0.23 (NDVI) e ≤ 50 mm (precipitação) indicam as probabilidades de início de seca severa, e os valores ≤ 0.37 (NDVI) e ≤ 100 mm (precipitação) indicam as probabilidades de início de seca moderada (veja tabela 3).

A figura (6) ilustra o comportamento da vegetação em relação a precipitação, evidenciando uma relação directa, isto é, o aumento dum parâmetro implica o aumento do outro e vice-versa. Nos distritos de Massingir, Panda, Chibuto e Inharrime a vegetação não acompanha a diminuição ou aumento da precipitação, portanto, associa-se a este comportamento a influência do efeito das brisas marítimas que possibilitam manter uma certa humidade, evitando assim uma queda acentuada da folhagem (CUNHA, 1972).

Um dos factores de realce para o estudo do comportamento da NDVI x Precipitação, é a classificação dos solos das regiões seleccionadas para o estudo, pois o excesso/défice de nutrientes está internamente relacionado ao grau de fertilidade em que se encontra o solo, isto é, a falta de elementos essenciais requeridos para desenvolvimento vegetativo.

Generalizando, segundo o INIA (1997), os solos em Moçambique possuem uma fertilidade baixa a média, excepto os solos aluvionares (*Fluvisols*) que se encontram nos vales dos rios, tais

como Zambeze, Limpopo e Incomati. Os distritos do norte do país, nas zonas com altitudes intermédias predominam os *Lixisols* e *Luvisols*. Estes solos apresentam camadas superficiais leves sobre um subsolo mais pesado com uma fertilidade baixa a média.

Os solos das zonas elevadas com maior pluviosidade, são ácidos, pesados, com uma baixa fertilidade e alta capacidade de fixar fósforo, mas com boas características físicas (*Ferralsolos* e *Acrisols*). Uma grande parte do país é caracterizada por solos (*Arenosols*), especialmente no Sul, com uma fertilidade e retenção de água muito baixa. Os *Arenosols* (28%), *Lixisols* (23%), *Leptosols* (9%), *Acrisols* (8%), *Ferralsols* (7%), *Fluvisols* (6%), *Luvisols* (5%) são os solos principais em 86% da área de Moçambique (ver Anexo 3).

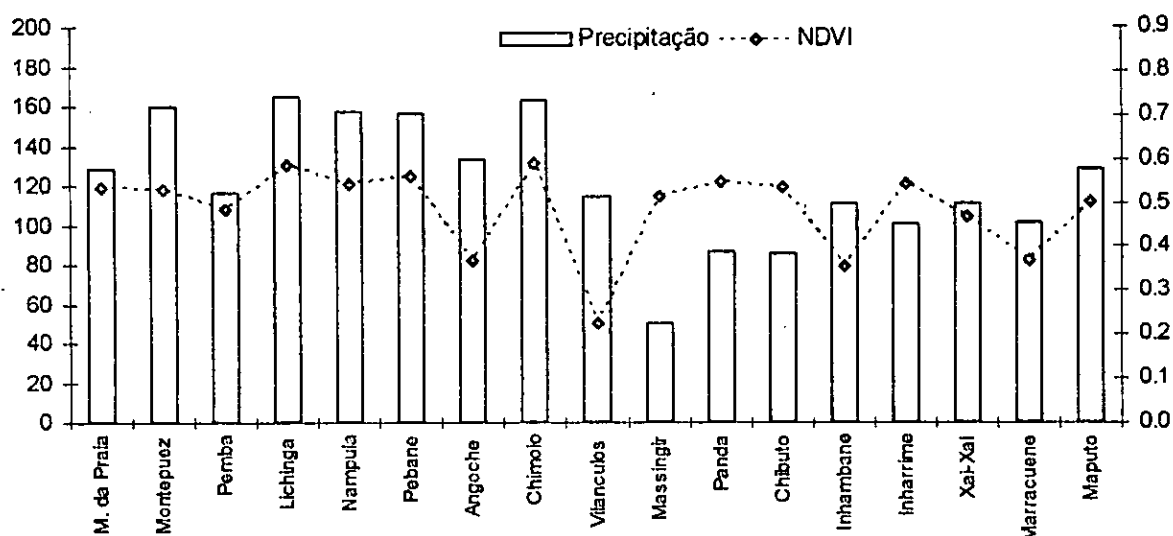


Figura 6. O comportamento da precipitação em relação ao NDVI no período e época em estudo. Nota: A linha a tracejado usada para o NDVI é somente para o proposito de visualização, e não implica dados contínuos do NDVI.

Os gráficos a seguir representam a relação entre o NDVI e a precipitação no período compreendido entre Outubro a Março (1981-2001). Para a análise destes selecionou-se os distritos com índices elevado de ocorrência de secas (severa, moderada e fraca). A seguir vamos considerar primeiro o distrito de Vilanculos, do gráfico seguinte conclui-se que houve muito pouca queda de precipitação de 1981 à 1996. Nos anos de 1983, 1988 registaram-se quedas na ordem dos 70 mm e de 1992 e 1995 os valores da queda decresceram até ≤ 50 mm. O NDVI segue o mesmo

comportamento da precipitação, registando pequenos valores nos mesmos períodos em que a precipitação decresceu. A estas anomalias da precipitação, assim como, da vegetação estão associadas aos fortes fenómenos ENSO que se fizeram sentir nos respectivos anos.

A razão pela qual os distritos localizados nas zonas costeiras registam uma elevada precipitação, está associada ao clima que é fortemente influenciado pelas águas quentes do canal de Moçambique. Uma vez que os ventos predominantes naquela região são de quadrante este a sueste, elevam assim a humidade responsável pela elevada precipitação (INGC *et. al*, 2003).

O pico registado na (fig. 7), concretamente no ano de 1982 em relação ao NDVI, pode-se associar as cheias que se registaram no ano transacto (1981), que assolaram maior parte da região Sul. Uma vez que a vegetação responde as necessidades hídricas do solo, então, faz sentido associar o pico as cheias de 1981. Segundo a INGC *et. al* (2003), as cheias registadas nos anos de 1996, 1997, 1999, 2000 e 2001 foram responsáveis pelos picos de precipitação registados nos respectivos anos (veja a fig. 7).

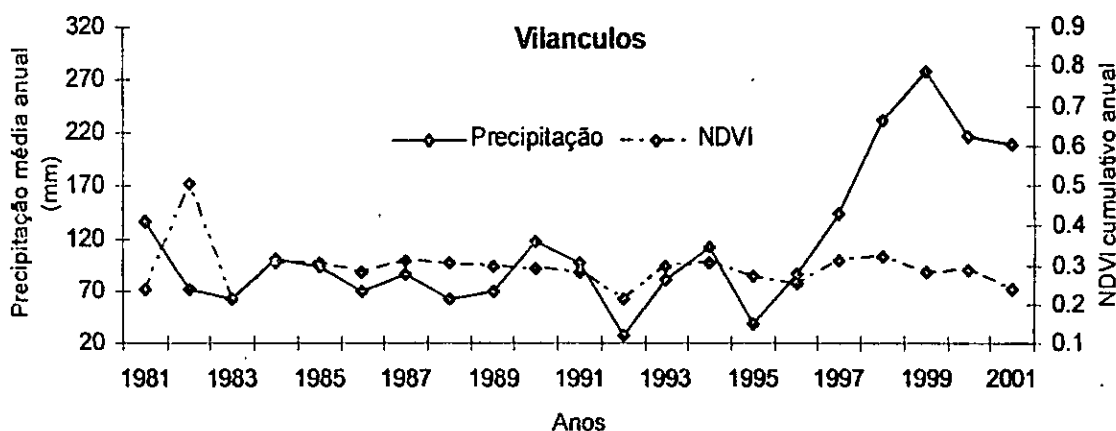


Figura 7. Comportamento da precipitação em relação ao NDVI no distrito de Vilanculos.

Considerando agora o distrito de Massingir, vê-se do gráfico (fig. 8) que a queda da precipitação é irregular chegando mesmo a atingir os 30 mm, o que evidencia ser um distrito muito afectado pela seca. É um distrito onde, apesar de verificar-se uma queda irregular de precipitação, o NDVI é alto ou quase regular, este facto deve-se a capacidade de fertilidade e retenção de água pelo solo ser muito alta, o que mantém quase constante a humidade do solo, ou seja o NDVI responde a disponibilidade da humidade no solo.

Portanto, o déficit hídrico altera o Índice de Área Foliar (área foliar em relação à superfície do solo ocupado pela planta). A uma temperatura mais baixa as folhas respiram menos, consequentemente, estão mais túrgidas, fazendo com que haja aumento no LAI. Porém, quando as folhas das plantas entram em estresse, elas ficam em estado de murcha, o que diminui o LAI.

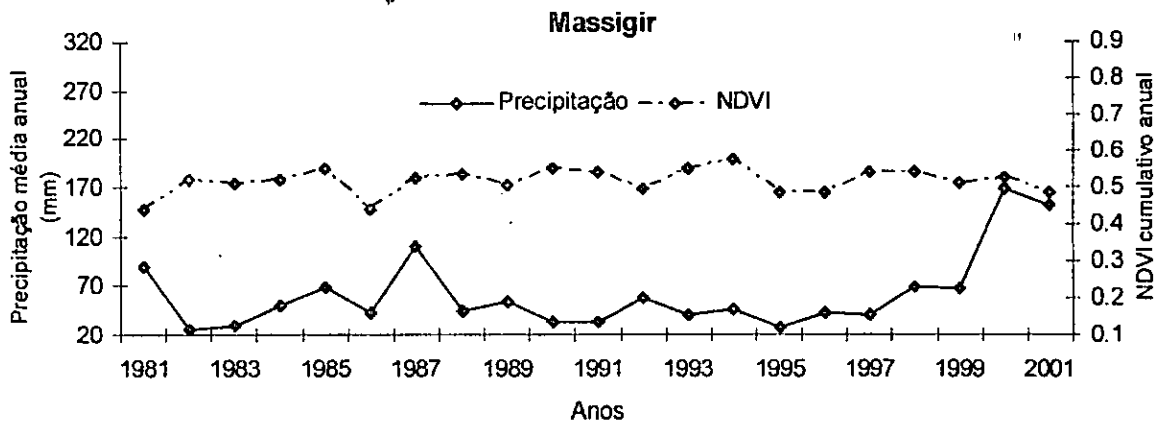


Figura 8. Comportamento da precipitação em relação ao NDVI no distrito de Massigir.

O distrito de Marracuene assemelha-se ao de Massigir, sendo, portanto, um distrito com sérios problemas de situações de ocorrência de secas. Neste distrito, a queda da precipitação é irregular e com valores médios muito baixo. O NDVI é quase regular, com oscilações nos anos onde o ENSO foi intenso. Portanto, os distritos de Massigir e Marracuene, devido a sua localização sobre a Bacia do Limpopo e rio Incomati, e por possuírem solos do tipo *Fluvisols* ou aluvionares (com fertilidade e retenção de água muito alta), a vegetação nestas regiões é suportada pelas águas subterrâneas.

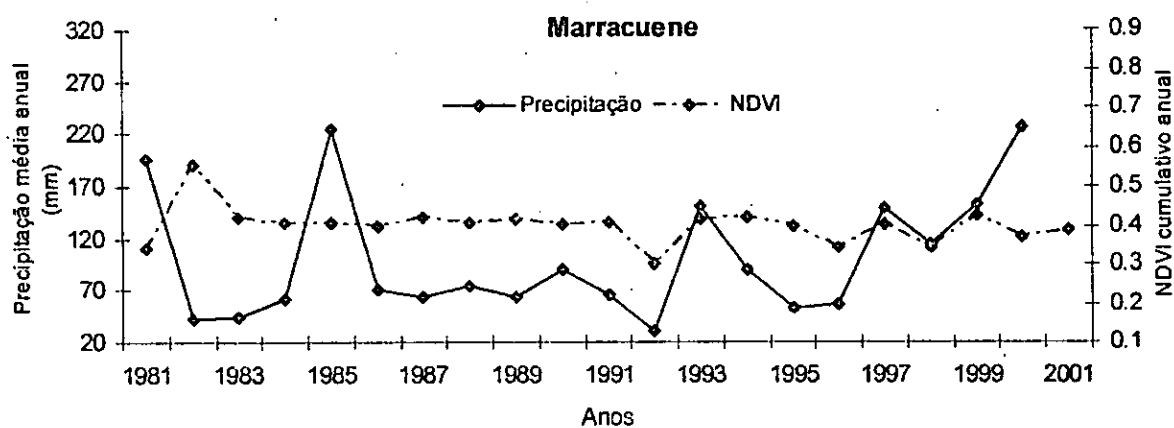


Figura 9. Comportamento da precipitação em relação ao NDVI no distrito de Marracuene.

O distrito de Chimoio (fig. 10), é aquele que apresenta um comportamento normal em relação a precipitação assim como ao NDVI devido ao tipo de clima local. Nos anos em que o fenómeno ENSO foi intenso, o comportamento dos dois parâmetros foi análogo, registando-se um decréscimo dos mesmos (1982-83, 1991-93 e 1995).

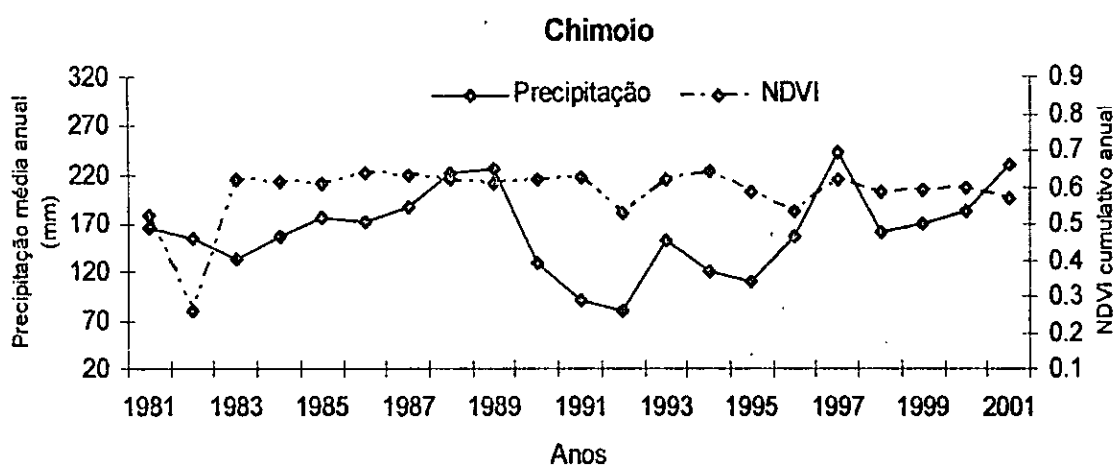


Figura 10. Comportamento da precipitação em relação ao NDVI no distrito de Chimoio.

Os gráficos dos restantes distritos seleccionados para o estudo encontram-se nos anexos (Anexo 4).

5.1.1 Correlação entre o NDVI e a precipitação

Com ajuda do pacote EXCEL, analisou-se a correlação entre as duas variáveis em estudo, e concluiu-se que existe uma forte correlação entre ambos (veja a figura 11), com o valor do coeficiente de correlação $R = 0.852$ e a equação de estimativa dada por $y = 0.00267x + 0.104$ onde y corresponde ao NDVI e x a precipitação.

As equações de estimativa são úteis quando usadas para estimar o valor de uma variável, dado um valor determinado da outra variável. Se a recta de regressão se ajusta bem aos dados, então faz sentido utilizar sua equação para fazer estimativas, desde que não ultrapassemos os limites dos valores disponíveis (veja o quadro 3). Só devemos utilizar a equação de predição se r indica a existência de uma correlação linear significativa (TRIOLA, 1999).

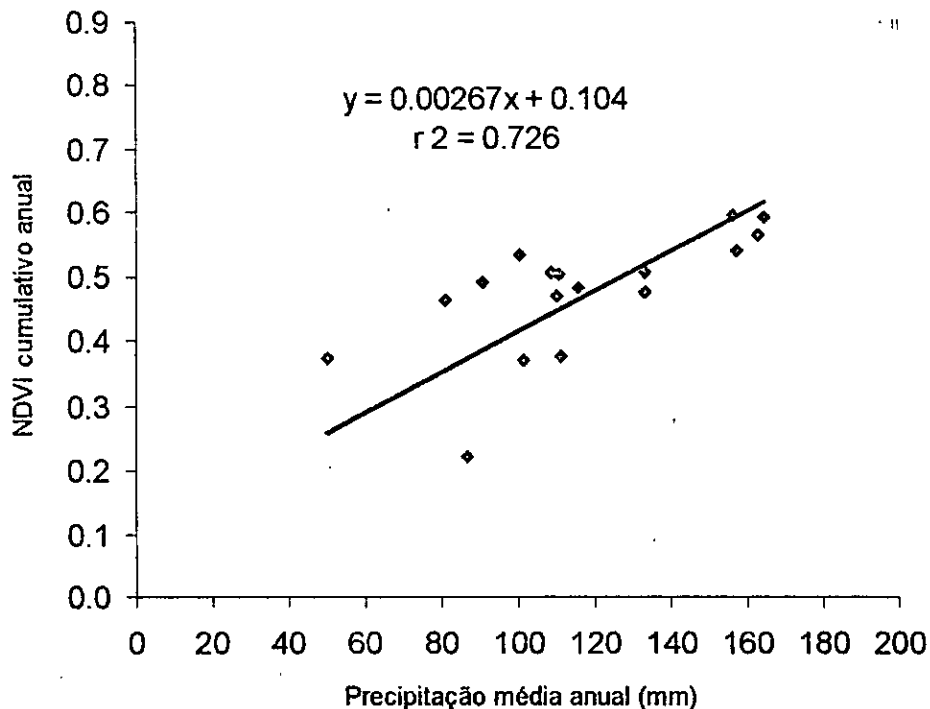


Figura 11. Gráfico da correlação entre o NDVI e a precipitação no período e época em estudo. (nível de significância $\alpha = 5\%$)

Usando a equação de estimativa $y = 0.00267x + 0.104$, podemos prever os valores do NDVI para uma situação de seca. Mas é preciso frisar que, a base de uma estimativa deve ser encarada como

subjectiva, contudo, há um certo optimismo quanto a possibilidade de se conseguir um “método” predictivo modesto e temporário sob algumas condições usando técnicas empírico-estatísticas. A seguir é mostrado uma tabela com os valores do NDVI e a precipitação correspondente.

Tabela 3. Valores da correlação entre a precipitação e o NDVI obtidos a partir da equação de predição.

| Precipitação (mm) | NDVI Equivalente | Precipitação (mm) | NDVI Equivalente |
|-------------------|------------------|-------------------|------------------|
| 0 | 0.10 | 190 | 0.61 |
| 10 | 0.13 | 200 | 0.64 |
| 20 | 0.16 | | |
| 30 | 0.18 | | |
| 40 | 0.21 | | |
| 50 | 0.23 | | |
| 60 | 0.27 | | |
| 70 | 0.29 | | |
| 80 | 0.32 | | |
| 90 | 0.35 | | |
| 100 | 0.37 | | |
| 110 | 0.40 | | |
| 120 | 0.43 | | |
| 130 | 0.45 | | |
| 140 | 0.48 | | |
| 150 | 0.51 | | |
| 160 | 0.53 | | |
| 170 | 0.56 | | |
| 180 | 0.59 | | |

Comparando os valores da precipitação, segundo o estudo conjunto do INGC, UEM e FEWS-NET (2003), em “Atlas para Preparação e Resposta Contra Desastres na Bacia do Limpopo”, estabeleceram que valores de precipitação ≤ 100 mm evidenciavam probabilidade de ocorrência de secas. Portanto, partindo deste pressuposto e olhando para os valores (da tabela 3), verifica-se que para valores ≤ 100 mm de precipitação correspondente ao NDVI ≤ 0.37 significa o valor limiar da ocorrência de seca nos distritos selecionados para o estudo.

Analisando a imagem de satélite (fig. 12) e a imagem de interpolação dos dados da precipitação (fig. 13), relativa a média (1981-2001), nota-se que as zonas com níveis de cinza acastanhado (imagem de satélite), evidencia uma vegetação rara ou escassa, e comparando esta com a imagem de interpolação dos dados de precipitação, há uma coincidência das regiões com déficit de

precipitação com as de vegetação rara ou escassa. Segundo PARKINSON (1998), os valores típicos do NDVI para uma floresta tropical são de 0.60 e 0.05 para o deserto.

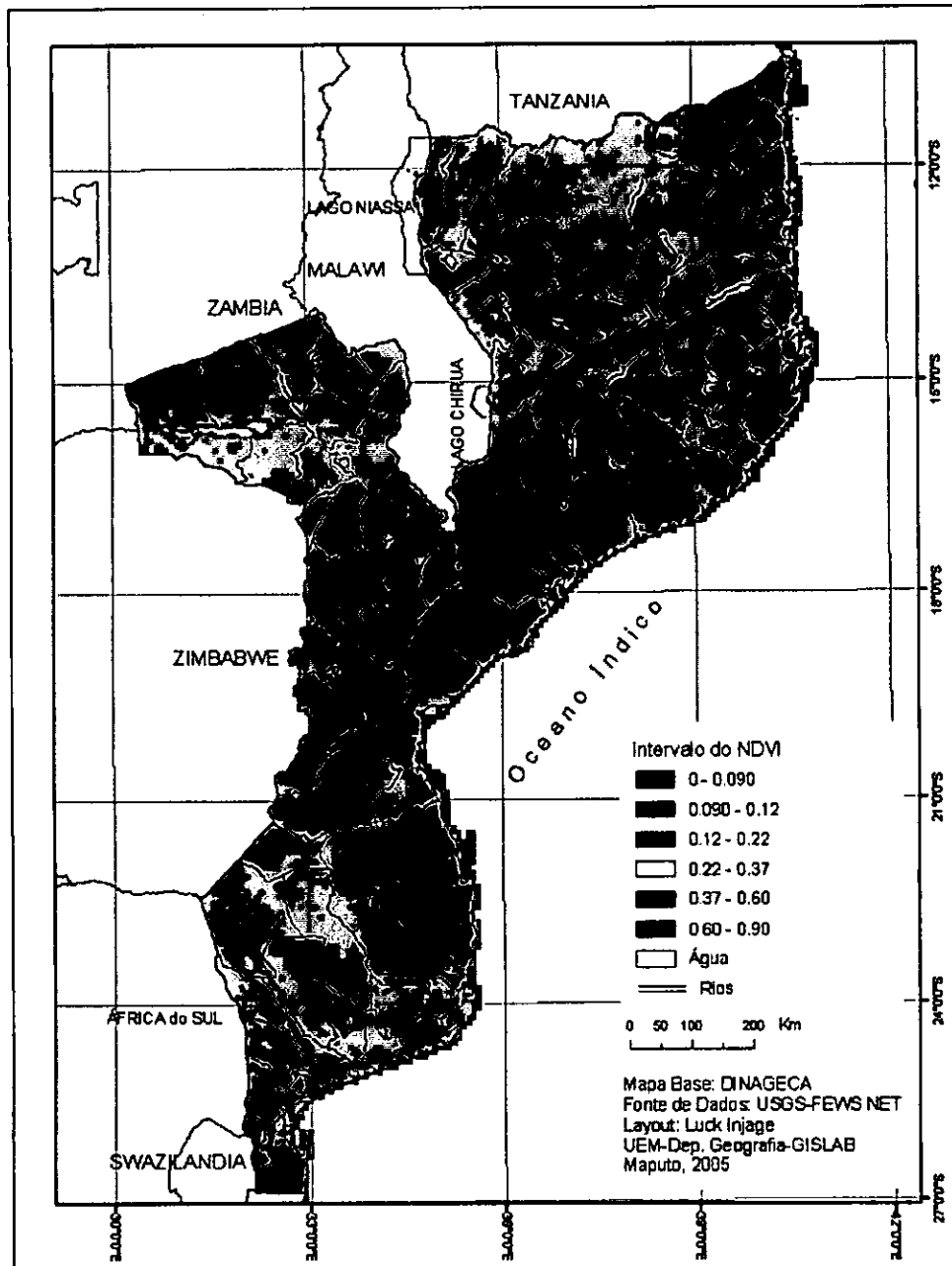


Figura 12. Mapa ilustrativo da média do NDVI no período 1981-2001 para os meses de Outubro a Março.

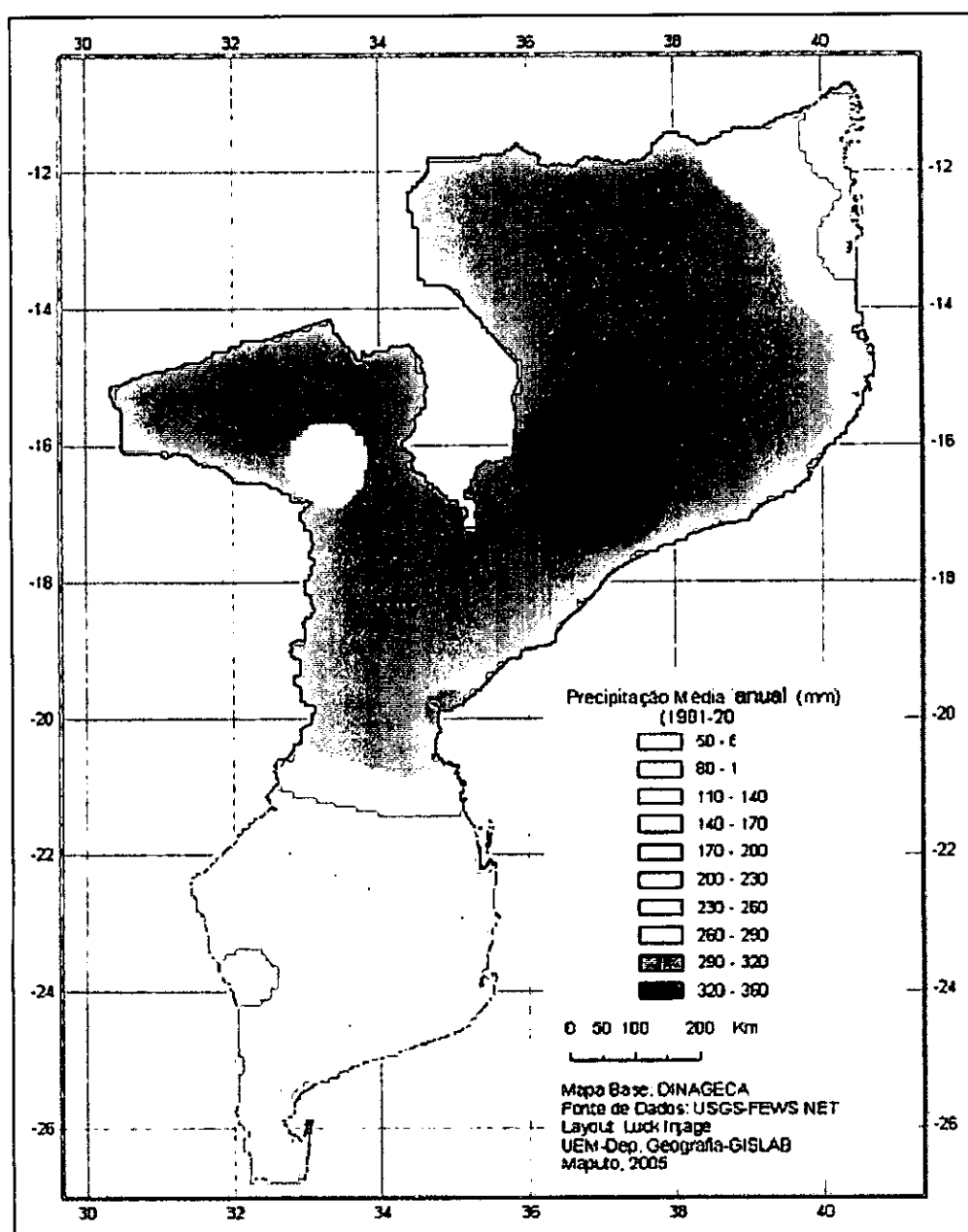


Figura 13. Mapa ilustrativo da média da precipitação no período 1981-2001 para os meses de Outubro a Março.

Mais imagens da Precipitação x NDVI dos períodos de ocorrência de seca selecionados podem ser encontradas nos anexos deste trabalho (veja anexo 2).

5.2 Determinação do intervalo do NDVI significativo para o monitoramento de secas em Moçambique

Para a determinação do intervalo do NDVI significativo para a seca, baseou-se na média geral das imagens de satélite e interpolação dos dados da precipitação no intervalo de tempo em estudo (1981-2001).

Dividiu-se os dados em cinco classes, então, de acordo com o vigor do NDVI, atribuiu-se os respectivos nomes e valores de acordo com os valores correspondentes a cada classe. Portanto, segundo a descrição adoptada para este trabalho, optou-se por classificar a seca de acordo com os valores correspondentes de NDVI: Seca muito severa (0.090 - 0.12), severa (0.12 - 0.22), moderada (0.22 - 0.37) e fraca (0.37 - 0.59) veja a figura 12.

A variável muito fraca (0.59 - 0.90) é considerada não muito relevante do ponto de vista de seca, por se tratar de situações com um alto valor de refletância do verde. Um quadro resumo é apresentado a seguir como resultado do parágrafo (5.1):

Tabela 4. A classificação de seca

| Classificação de Secas | Intervalo do NDVI | Percentagem de ocorrência (%) |
|-----------------------------|-------------------|-------------------------------|
| Deserto ^(*) | 0 - 0.090 | 0 - 9 |
| Muito Severa | 0.090 - 0.12 | 9 - 12 |
| Severa | 0.12 - 0.22 | 12 - 22 |
| Moderada | 0.22 - 0.37 | 22 - 37 |
| Fraca | 0.37 - 0.59 | 37 - 59 |
| Muito Fraca ^(**) | 0.59 - 0.90 | 59 - 90 |

A classificação é válida somente para os distritos seleccionados.

(*) É uma situação que não ocorre no nosso país.

(**) Vegetação densa

5.3 Identificação de zonas propensas a secas com o auxílio de imagens de satélite

A figura (14) mostra o resultado da identificação de zonas propensas a secas com o auxílio de imagens de satélite. Este basou-se no uso da média geral das imagens dos períodos de ocorrência deste fenómeno (veja tabela 1) no intervalo em estudo (1981-2001) e processadas em Arc-View8.1. Estas zonas foram identificadas, usando-se o NDVI cumulativo mensal (Outubro à Março) que é um índice muito usado no estudo de mapeamento e monitoramento de secas para esta região do globo.

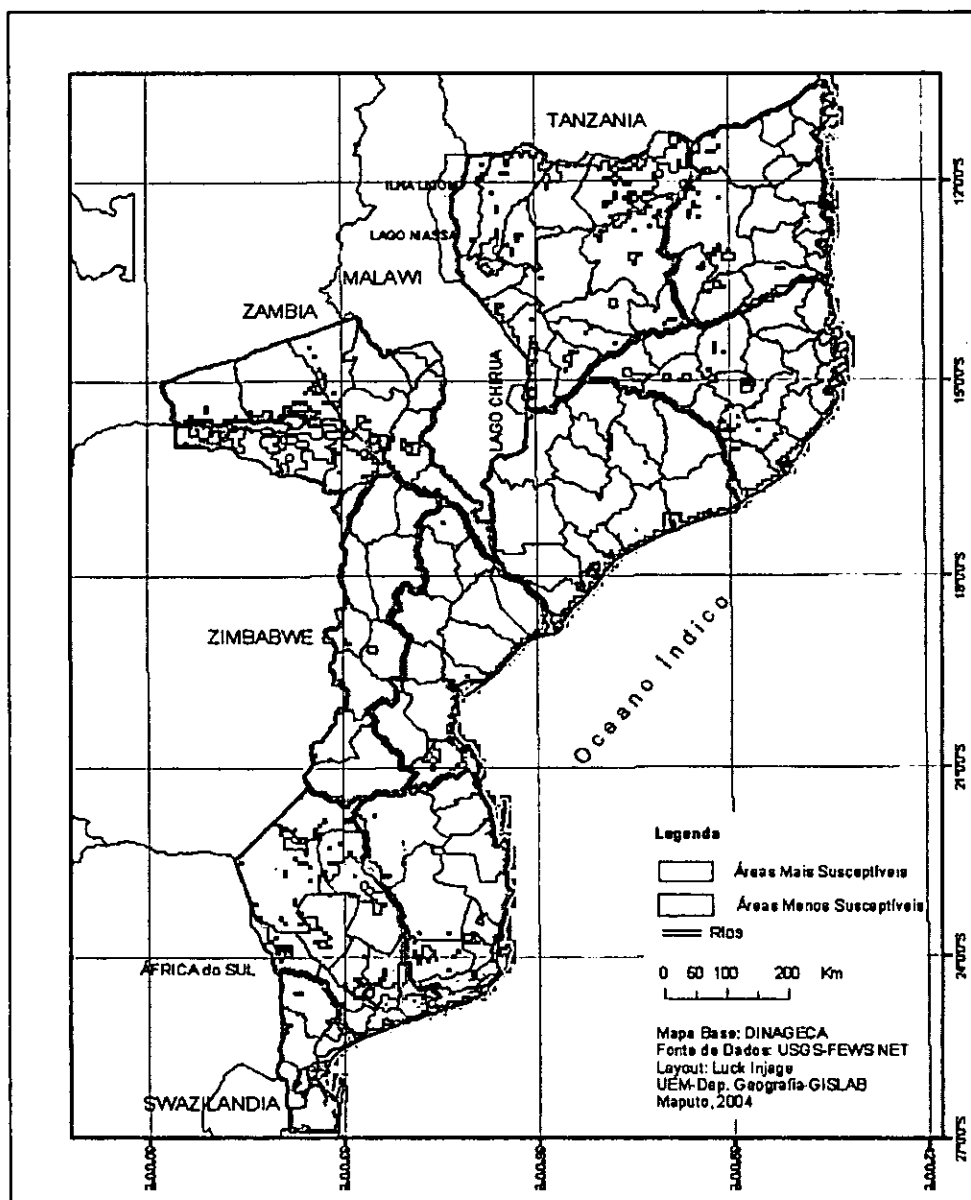


Figura 14. Mapa ilustrativo das principais zonas propensas a secas (obtido a partir da média das imagens em estudo).

Vê-se que as zonas mais propensas a secas são as que ostentam o nível de cinza (tonalidade da reflectância de um objecto) acastanhado e as menos propensas as de branco (veja a fig. 14). Portanto, as principais zonas propensas a secas são:

Região Sul:

- **Inhambane:** Mabote, Panda, Homoine, Jangamo e Inharrime;
- **Gaza:** Massangena, Chicualacuala, Chigubo, Mabalane, Massingir, Chibuto e Manjacaze;
- **Maputo:** Boane, Manhiça e Magude.

Região Centro:

- **Zambézia:** Milange, Namacurra, Maganja da Costa, Ile e Pebane;
- **Sofala:** Cidade da Beira, Chemba, Machanga;
- **Tete:** Angonia, Chifunde, Maravia, Chiuta, Moatize, Changara, Cahora Bassa e Magoe;
- **Manica:** Manica.

Região Norte:

- **Nampula:** Malema, Ribaúe, Cidade de Nampula, Mogovolas, Moma, Mécuburi e Angoché.
- **Niassa:** Mecula, Marrupa, Lago, Cidade de Lichinga, Mandimba, Cuamba e Mecanhelas.
- **Cabo Delgado:** Mueda, Montepuez, Namuno, Chiure e Balama.

CAPITULO 6

CONCLUSÕES e RECOMENDAÇÕES

6.1 Conclusões

Dado a natureza dos dados em estudo, recorreu-se a análise da correlação para mostrar a relação directa existente entre o NDVI x Precipitação, obtendo-se um coeficiente de correlação $R = 0.852$ (correlação perfeita positiva). Com o auxílio da equação de estimativa $y = 0.00267x + 0.104$ foi possível estimar que para os valores ≤ 0.23 (NDVI) e ≤ 50 mm (precipitação) indicavam as probabilidades de início de seca severa, e os valores ≤ 0.37 (NDVI) e ≤ 100 mm (precipitação) indicavam as probabilidades de início de seca moderada.

Foi necessário recorrer a classificação dos solos de Moçambique, porque estes constituem factores importantes no desenvolvimento da vegetação numa determinada região.

A classificação de seca usada neste estudo baseando-se no NDVI, consistiu na divisão em classes de cinco e a atribuição dos valores correspondentes, portanto, para a seca muito severa (0.090-0.12), seca severa (0.12-0.22), seca moderada (0.22-0.37) e seca fraca (0.37-0.59) e finalmente seca muito fraca (vegetação densa) (0.59-0.90). Contudo, a análise mostrou que o NDVI é um indicador complexo e de difícil interpretação.

Dos resultados encontrados e confrontados com os resultados de ROJAS e AMADE (1996), nota-se que para além das províncias de Inhambane, Gaza, Maputo e o Sul de Tete (probabilidades de ocorrência de seca $\leq 78\%$), podem acrescentar-se as províncias de Niassa, Zambézia, Sofala, Cabo Delgado e Nampula como sendo as províncias com probabilidades de ocorrência de seca. Estas últimas, têm uma probabilidade de não ocorrência de seca de $\leq 41\%$.

A província de Niassa, de acordo com as suas características climáticas, vegetação, e topográfica pode considerar-se que tem uma probabilidade de ocorrência de $\leq 10\%$. A causa da vegetação rara (escassa), pode associar-se a limitações do NDVI tais como: o excesso de nebulosidade (diminui o NDVI), restrições em florestas densas, complexidade de relevo. Estes factores limitantes

são devidos a interação da energia electromagnética reflectida com a topografia e orientação solar do terreno, entre outros factores.

Após o processamento dos dados foi possível demonstrar que em países como Moçambique, onde existe uma escassez de cobertura de dados digital a partir da qual maior parte dos monitoramentos e uso de informação relativa a desastres podia ser extraída, os dados do sensoramento remoto usando GIS, obtidos dos satélites seriam os adequados tecnicamente para cobrir este problema.

6.2 Recomendações

As recomendações seguintes são feitas para enfatizar a metodologia descrita neste estudo como:

- O NDVI unicamente é um fraco indicador de seca, podendo este ser associado a dados biofísicos (solos, evapotranspiração, etc) capazes de determinar áreas de riscos e informações sócio-económicas (suporte das zonas ecológicas), de modo a encontrar grupos vulneráveis a seca. O NDVI integra-se no GIS que é uma ferramenta essencial de integração de diversas séries de dados, que facilitam a tomada de decisão atempada dos desastres naturais .
- Nas regiões onde a qualidade da base de dados de precipitação é fraca, estes devem ser preenchidos por dados de precipitação proveniente dos satélites (RFE) que são económicos e precisos.
- Qualquer proposta no sistema de monitoramento de secas, deveria se estender na relação entre o NDVI e outros parâmetros do sensoramento remoto, tais como o RFE de modo a se obter previsões e dados em tempo real para o monitoramento.
- Ao Departamento de Física seria importante e oportuno criar-se condições de modo a instalação de um laboratório de GIS, visto ser uma área muito explorada ultimamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARONE, E.A.N. (2002).** Análise Espacial e Temporal das Queimadas Florestais em Moçambique. Trabalho para obtenção do grau de Licenciatura. UEM – Departamento de Física. Maputo – Moçambique.
- CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (CONDES).** (2002). Relatório Nacional de Moçambique – Cimeira Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável. MS Graphics. Maputo – Moçambique.
- CUNHA, F.R., (1972).** Meteorologia Tropical e Agrícola, Universidade Lourenço Marques-Faculdade de Agronomia e Silvicultura. Lourenço Marques-Moçambique.
- da SILVA, H.P; SCHULER, C.A.B. (2003).** Recife Receiving Station. Disponível em: <<http://www.ufrpe.br/geoserc/conteudo/noaa.html>>. Acesso: 20 de Outubro de 2004.
- DANUNE, J.B., (1987).** As Secas em Moçambique num Contexto Global e Regional. Dissertação (Agrometeorologia). Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica. Lisboa.
- dos MUCHANGOS, A. (1999);** Moçambique, Paisagens e Regiões Naturais., Tipografia Globo, Lda – Maputo.
- HARE, F.K.; WARREN, A.; MAIZELS, J.K.; KATES, R.W.; JOHNSON, D.L.; HARING, K.J. and GARDUÑO, M.A.. (1992).** Desertificação: Causas e Consequências. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.
- dos SANTOS Jr., R.F.; GIACOMELLO, R.; MASSAFERA Jr., V.; ZULLO Jr., J.; ROCHA, J.V. e LAMPARELLI, R.. (2003).** Análise de Quatro Anos do Banco de Imagens NOAA14 – AVHRR do Estado de São Paulo. Disponível em <http://iris.sid.inpe.br:1908/col/ltid.inpe.br/sbst/2002/11.14.15.48/doc/15_192.pdf>. Acesso: 27 de Agosto de 2004.
- INSTITUTO NACIONAL DE GESTÃO ÀS CALAMIDADES NATURAIS (INGC); UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE (UEM) e FEWS NET. (2003).** Atlas para Preparação e Resposta Contra Desastres na Bacia do Limpopo. Cidade do Cabo-África do Sul.
- INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGAÇÃO AGRONÓMICA (INIA). (1997).** Recomendações de adubação azotada e fosfórica para as culturas anuais alimentares e algodão em Moçambique. Departamento de Terra e Água, Comunicação Nº 88, Maputo- Moçambique.
- KASSA, A..(1999).** Drought Risk Monitoring for the Sudan Using NDVI (1982 - 1993). Dissertação (Grau: Mestre em Ciências de Sistemas de Informação Geográfica). Disponível em: <www2.soas.ac.uk/geography/waterissues/ocasionalpapers/acrobatfiles/occ25.pdf>. Acesso: 20 de Agosto de 2004.

- LILLESAND, T.M. and KIEFER, R.W..(1995).** Remote Sensing and Image Interpretation. 3 ed.. John Wiley & Sons. Inc. New York. Disponível em: <<http://geocities.yahoo.com.br/floramrural/0195.pdf>>. Acesso: 19 de Outubro de 2004.
- LIU, W.T.H. e KANAZAVA, P.S. (2003).** Variabilidade Climática e Previsões: Aplicabilidade dos Satélites de Observações Ambientais como Instrumento de Planejamento do Desenvolvimento Local. Disponível em < <http://www.ucdb.br/coloquio/arquivos/pauloshi.pdf>>. Visitado em 28 de Agosto de 2004.
- Manual: Tutorial de Geoprocessamento. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_sen.html>. Acesso: 19 de Outubro de 2004.
- MINIUM, E.W. (1970).** Statistical reasoning in psychology & education. John Wiley & Sons, inc., New York-London-Sydney. 465 pp.
- MOREIRA, M. A . (2001).** Fundamentos do Sensoramento Remoto e Metodologias de Aplicação. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). 551p.
- PARKINSON, C.L. (1998).** EARTH FROM ABOVE: Using Color-Coded Satellite Images to Examine the Global Environment. University Science Books. Sausalito, California.
- RAMAGE, C.S. (1983).** Teleconnections and the siege of time. In: Journal of Climatology, Royal Meteorological Society. pp 223-231.
- ROJAS, O. E AMADE, J., (1996).** Estudo Agroclimático da Precipitação em Moçambique. Ministério de Agricultura e Pesca-Sistema Nacional de Aviso Prévio para a Segurança Alimentar. Maputo-Moçambique.26p.
- SAKALL, S. (2004)..** Moçambique (25/06/1975) ex-colônia de Portugal. Disponível em <<http://www.sergiosakall.com.br/africano/mocambique.html>>. Acesso: 14 de Outubro de 2004.
- SAKET, M.; TAQUIDIR, M.A. and BANZE, C.J.A.. (1995).** Methodology and Results the Forestry Vegetation Mapping at 1:250 000. Ministry of Agriculture and Fisheries - National Directorate of Forests and Wildlife. Maputo - Mozambique.
- SHIMABUKURO, Y.E.; RUDORFF, B.F.T.; PONZONI, F..J.. (1998).** A Cobertura Vegetal Vista do Espaço: Uma Ferramenta para a Preservação. Vol.5. S.P. p. 195-198. Disponível em <<http://geocities.yahoo.com.br/floramrural/0195.pdf>>. Acesso: 19 de Outubro de 2004.
- TRIOLA, M. F..(1999) ;** Introdução à Estatística. 7ª Edição, Livros Técnicos e Científicos, Editora S.A (LTC); Rio de Janeiro.

VAZ, A.C. (1993). Uma Metodologia para a Caracterização e Monitorização de Secas. Instituto Superior Técnico. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa-Portugal.

VOGT, J.V.; NIEMEYER, S.; SOMMA, F.; BEAUDIN, I. e VIAU, A.A. (2000). Drought Monitoring from Space. Kluwer Academic Publishers. Netherlands. Disponível em: <<http://agrienv.jrc.it/publications/pdfs/drought00.pdf>>. Acesso: 27 de Agosto de 2004.

WEIER, J. and HERRING, D. (?). Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Disponível em: <http://earthobservatory.nasa.gov/Library/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.html>. Acesso: 14 de Setembro de 2004.

ZUCULE, J.N. (2003). Quantificação de Queimadas e Incêndios Florestais em Moçambique usando Imagens de Satélite. Trabalho para obtenção do Grau de Licenciatura. UEM – Departamento de Física. Maputo – Moçambique.

ANEXOS

ANEXO 1

(Dados do NDVI e da Precipitação usados neste estudo)

Precipitação (1981-2001)

| Distritos | 1981 | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| M. da Praia | 88.9 | 149.1 | 34.1 | 87.8 | 158.7 | 150.5 | 67.7 | 53.5 | 81.5 | 97.2 | 135.3 | 81.6 | 82.8 | 105.8 | 60.4 | 82.5 | 121.2 | 119.3 | 148.1 | 132.9 | 239.5 |
| Montepuez | 102.9 | 154.0 | 121.5 | 142.2 | 173.1 | -- | 51.2 | 105.1 | 122.6 | 124.9 | 223.1 | 109.7 | 107.7 | 124.1 | 204.0 | 99.1 | 140.5 | 75.7 | 105.3 | 246.1 | -- |
| Pemba | 91.3 | 110.5 | 116.1 | 115.2 | 84.9 | 131.9 | 110.7 | 61.7 | 147.3 | 113.3 | 160.7 | 73.2 | 121.8 | 113.5 | 135.3 | 107.4 | 114.1 | 125.5 | 121.7 | 183.5 | 98.7 |
| Lichinga | 159.6 | 181.8 | 134.2 | 159.1 | 181.7 | 152.7 | 140.1 | 193.8 | 261.0 | 128.2 | 167.9 | 128.7 | 168.6 | 106.1 | 120.7 | 142.0 | 166.4 | 110.9 | 238.5 | 212.5 | 206.4 |
| Nampula | 105.1 | 157.0 | 186.5 | 134.5 | 180.1 | 183.8 | 144.0 | 179.5 | 167.2 | 118.3 | 164.0 | 154.6 | 186.0 | 131.8 | 163.2 | 146.1 | 176.1 | 159.9 | 151.1 | 173.7 | 148.8 |
| Angoche | 164.9 | 136.5 | 115.2 | 177.6 | 91.2 | -- | 119.6 | -- | 40.8 | 56.6 | 162.5 | 122.4 | 121.6 | 140.7 | 152.0 | 222.8 | 181.3 | 122.2 | 85.7 | 187.6 | -- |
| Pebane | 171.3 | 150.7 | 128.8 | 229.7 | 112.5 | 165.8 | 45.0 | 176.5 | 220.1 | 83.9 | 255.1 | -- | -- | -- | -- | 244.8 | -- | 38.6 | 132.9 | 191.9 | -- |
| Manica | 165.4 | 154.1 | 133.2 | 156.6 | 175.8 | 171.8 | 188.2 | 221.4 | 226.0 | 129.1 | 90.5 | 80.1 | 152.4 | 121.1 | 110.9 | 156.7 | 243.8 | 160.6 | 169.7 | 183.5 | 230.2 |
| Vilankulos | 136.5 | 71.6 | 63.4 | 100.8 | 94.5 | 70.8 | 86.4 | 62.0 | 69.3 | 119.0 | 98.6 | 27.9 | 81.3 | 113.5 | 38.1 | 86.5 | 143.4 | 231.3 | 276.7 | 216.7 | -- |
| Massingir | 89.0 | 25.2 | 30.1 | 49.2 | 68.9 | 42.4 | 114.1 | 45.2 | 54.0 | 33.5 | 33.9 | 58.3 | 39.9 | 46.1 | 26.8 | 42.1 | 40.9 | 69.0 | 66.8 | 168.7 | -- |
| Panda | 108.4 | 43.0 | 57.7 | 101.2 | 56.9 | 49.9 | 59.6 | 64.0 | 68.6 | 67.4 | 86.8 | 83.8 | 71.6 | 72.5 | 40.4 | 66.2 | 68.0 | 149.8 | 142.5 | 165.6 | -- |
| Chibuto | 143.3 | 16.2 | 0.7 | 104.0 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 71.6 | 89.1 | 122.8 | 35.0 | 23.2 | 78.0 | 184.4 | 104.9 | 54.7 | 170.3 | -- |
| Inhambane | 109.0 | 87.4 | 79.8 | 119.7 | 118.0 | 97.4 | 72.9 | 57.9 | 84.4 | 60.1 | 118.0 | 91.9 | 104.2 | 143.6 | 62.4 | 97.6 | 117.2 | 158.1 | 171.1 | 190.8 | 192.0 |
| Inharrime | 74.8 | 57.0 | 71.5 | 109.0 | 70.4 | 67.3 | 50.8 | 54.6 | 69.9 | 59.2 | 82.7 | 72.4 | 147.3 | 79.4 | 61.1 | 138.4 | 126.9 | 125.4 | 268.6 | 225.5 | -- |
| Xai-Xai | 102.1 | 49.0 | 63.8 | 130.1 | 122.3 | 113.0 | 54.9 | 65.5 | 107.7 | 148.7 | 71.0 | 117.2 | 131.3 | 91.6 | 64.9 | 85.3 | 100.1 | 138.3 | 179.2 | 218.1 | 171.9 |
| Marracuene | 196.6 | 43.1 | 45.2 | 61.3 | -- | -- | -- | -- | 89.4 | 65.8 | 30.9 | 151.1 | 88.9 | 88.9 | 53.6 | 55.9 | 148.9 | 113.5 | 153.4 | 226.2 | -- |
| Maputo | 149.1 | 34.1 | 87.8 | 158.7 | 150.5 | 67.7 | 53.5 | 81.5 | 97.2 | 135.3 | 81.6 | 82.8 | 105.8 | 60.4 | 82.5 | 121.2 | 119.3 | 148.1 | 132.9 | 239.5 | 128.3 |

NDVI (1981-2001)

| Distritos | 1981 | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| M. da Praia | 0.43 | 0.56 | 0.57 | 0.53 | 0.55 | 0.55 | 0.60 | 0.54 | 0.56 | 0.55 | 0.56 | 0.57 | 0.54 | 0.52 | 0.51 | 0.52 | 0.52 | 0.55 | 0.52 | 0.51 | 0.49 |
| Montepuez | 0.38 | 0.56 | 0.52 | 0.56 | 0.55 | 0.56 | 0.60 | 0.54 | 0.53 | 0.54 | 0.54 | 0.56 | 0.55 | 0.54 | 0.53 | 0.53 | 0.53 | 0.52 | 0.50 | 0.52 | 0.47 |
| Pemba | 0.37 | 0.50 | 0.59 | 0.49 | 0.49 | 0.51 | 0.55 | 0.52 | 0.49 | 0.49 | 0.48 | 0.50 | 0.48 | 0.50 | 0.47 | 0.47 | 0.48 | 0.46 | 0.44 | 0.47 | 0.44 |
| Lichinga | 0.53 | 0.57 | 0.56 | 0.60 | 0.59 | 0.61 | 0.63 | 0.60 | 0.59 | 0.60 | 0.59 | 0.60 | 0.61 | 0.60 | 0.59 | 0.56 | 0.58 | 0.61 | 0.57 | 0.57 | 0.54 |
| Nampula | 0.48 | 0.33 | 0.45 | 0.58 | 0.58 | 0.57 | 0.59 | 0.57 | 0.58 | 0.57 | 0.57 | 0.58 | 0.58 | 0.57 | 0.55 | 0.53 | 0.56 | 0.56 | 0.55 | 0.56 | 0.47 |
| Pebane | 0.54 | 0.59 | 0.57 | 0.41 | 0.60 | 0.60 | 0.47 | 0.58 | 0.59 | 0.58 | 0.60 | 0.34 | 0.59 | 0.61 | 0.57 | 0.58 | 0.58 | 0.58 | 0.58 | 0.58 | 0.55 |
| Angoche | 0.22 | 0.64 | 0.24 | 0.59 | 0.27 | 0.36 | 0.61 | 0.30 | 0.38 | 0.38 | 0.38 | 0.58 | 0.40 | 0.37 | 0.38 | 0.37 | 0.35 | 0.36 | 0.36 | 0.36 | 0.22 |
| Chimoio | 0.52 | 0.26 | 0.62 | 0.61 | 0.61 | 0.64 | 0.63 | 0.62 | 0.61 | 0.62 | 0.62 | 0.53 | 0.62 | 0.64 | 0.59 | 0.53 | 0.62 | 0.59 | 0.59 | 0.60 | 0.57 |
| Vilanculos | 0.24 | 0.51 | 0.22 | 0.31 | 0.31 | 0.28 | 0.31 | 0.31 | 0.30 | 0.30 | 0.28 | 0.22 | 0.30 | 0.31 | 0.27 | 0.25 | 0.31 | 0.32 | 0.28 | 0.29 | 0.24 |
| Massingir | 0.44 | 0.52 | 0.51 | 0.52 | 0.55 | 0.44 | 0.52 | 0.53 | 0.51 | 0.55 | 0.54 | 0.50 | 0.55 | 0.58 | 0.49 | 0.48 | 0.54 | 0.54 | 0.51 | 0.52 | 0.49 |
| Panda | 0.51 | 0.54 | 0.53 | 0.57 | 0.57 | 0.48 | 0.59 | 0.58 | 0.50 | 0.56 | 0.56 | 0.54 | 0.57 | 0.59 | 0.46 | 0.52 | 0.57 | 0.54 | 0.52 | 0.55 | 0.52 |
| Chibuto | 0.48 | 0.38 | 0.54 | 0.56 | 0.59 | 0.38 | 0.58 | 0.55 | 0.51 | 0.56 | 0.53 | 0.37 | 0.56 | 0.58 | 0.50 | 0.52 | 0.58 | 0.55 | 0.39 | 0.55 | 0.54 |
| Inhambane | 0.33 | 0.55 | 0.23 | 0.38 | 0.35 | 0.29 | 0.33 | 0.33 | 0.36 | 0.36 | 0.35 | 0.37 | 0.39 | 0.38 | 0.33 | 0.28 | 0.33 | 0.32 | 0.32 | 0.34 | 0.33 |
| Inharrime | 0.52 | 0.51 | 0.54 | 0.57 | 0.58 | 0.55 | 0.58 | 0.57 | 0.55 | 0.55 | 0.54 | 0.55 | 0.57 | 0.59 | 0.50 | 0.53 | 0.56 | 0.54 | 0.51 | 0.53 | 0.52 |
| Xai-Xai | 0.49 | 0.39 | 0.49 | 0.54 | 0.55 | 0.53 | 0.56 | 0.50 | 0.48 | 0.52 | 0.49 | 0.49 | 0.52 | 0.54 | 0.47 | 0.50 | 0.54 | 0.53 | 0.50 | 0.48 | 0.48 |
| Marracuene | 0.34 | 0.56 | 0.42 | 0.41 | 0.41 | 0.40 | 0.42 | 0.41 | 0.42 | 0.40 | 0.41 | 0.30 | 0.42 | 0.42 | 0.40 | 0.34 | 0.40 | 0.34 | 0.43 | 0.37 | 0.39 |
| Maputo | 0.39 | 0.48 | 0.50 | 0.53 | 0.53 | 0.49 | 0.53 | 0.50 | 0.51 | 0.44 | 0.53 | 0.47 | 0.53 | 0.52 | 0.49 | 0.42 | 0.51 | 0.49 | 0.50 | 0.51 | 0.44 |

ANEXO 2

(Layout dos mapas do NDVI e da Precipitação para os períodos de ocorrência de secas selecionados no estudo)

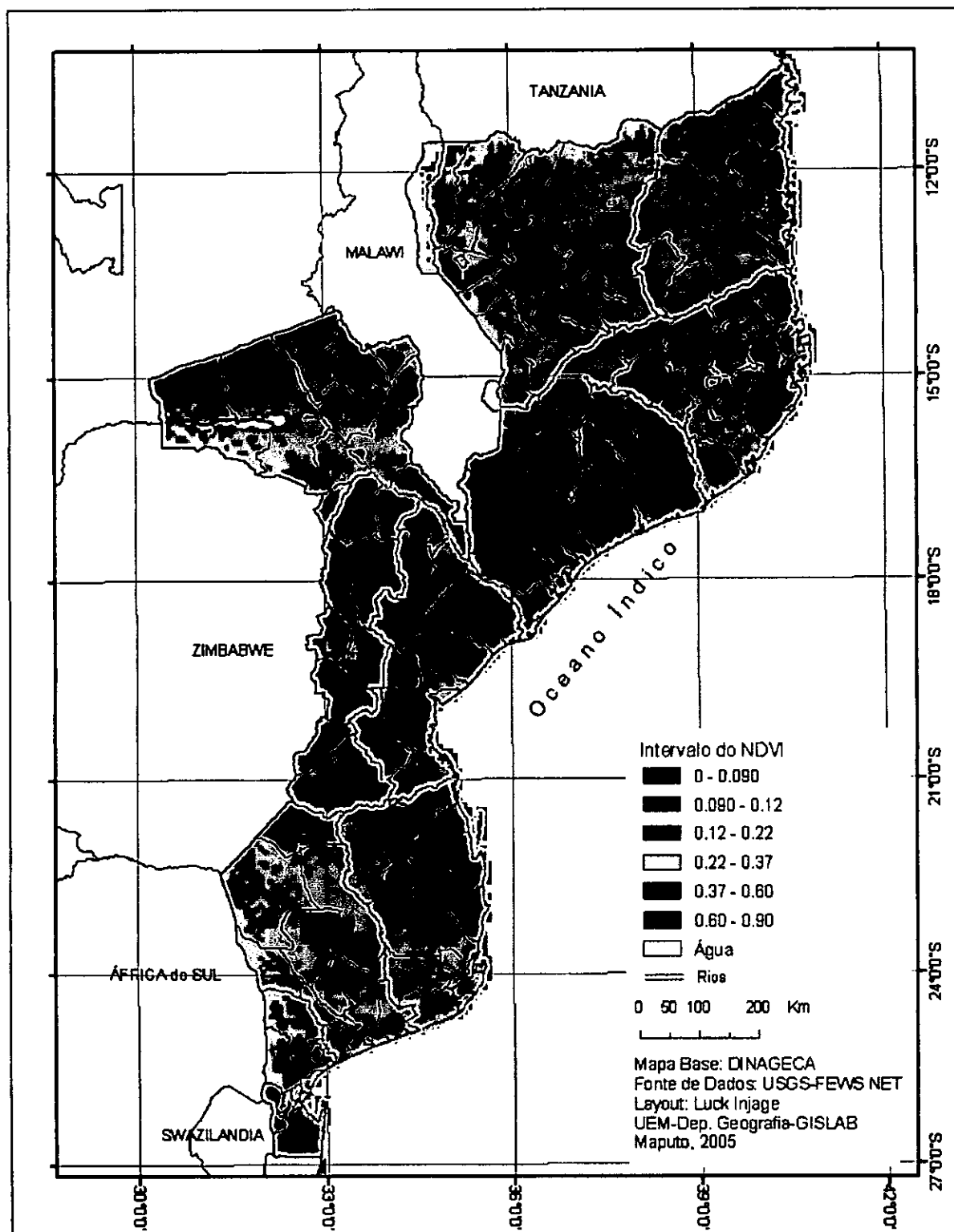


Figura 2.1. (a). Mapa ilustrativo da média do NDVI no período 1981- 1983 para os meses de Outubro a Março.

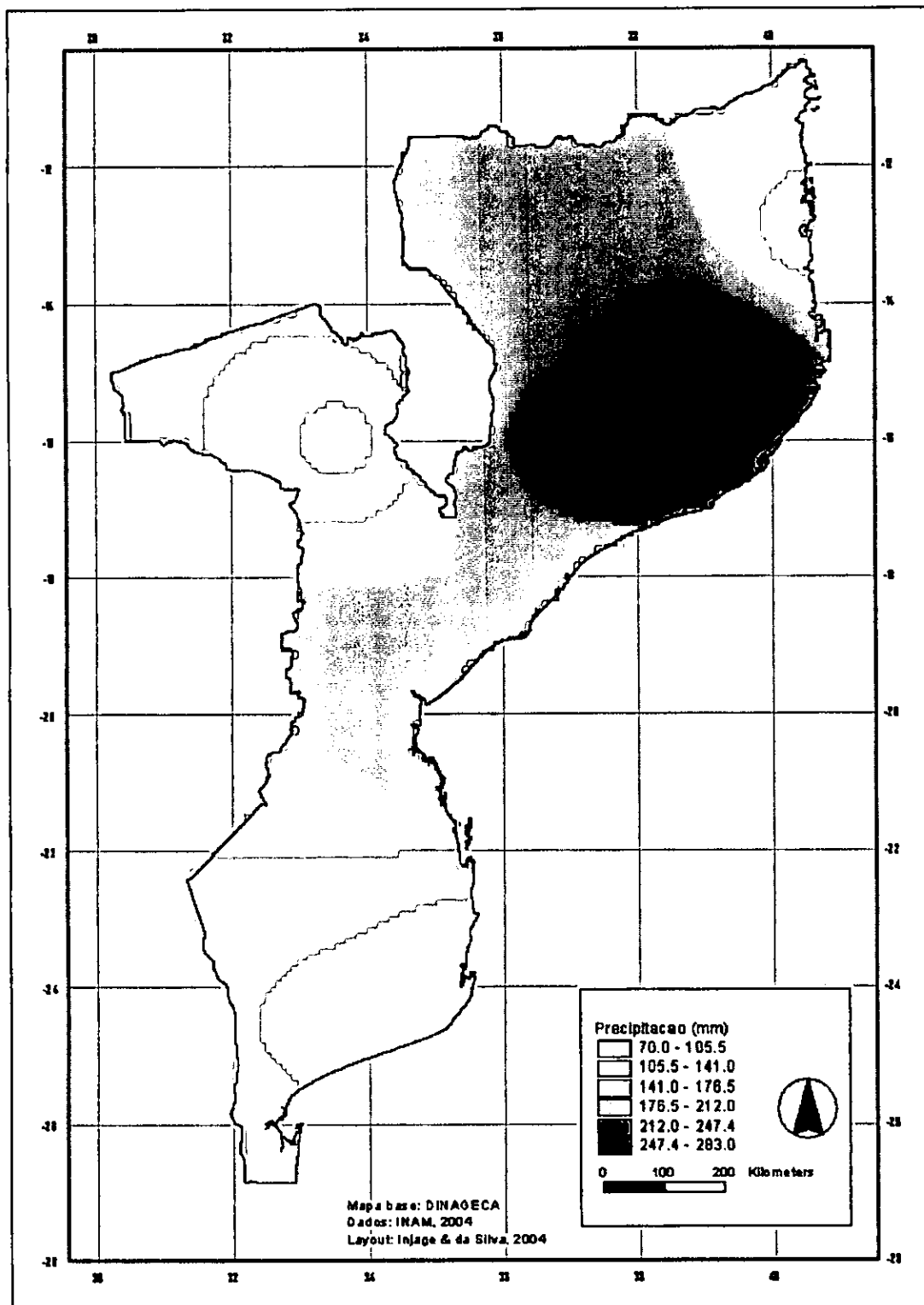


Figura 2.1. (b). Mapa ilustrativo da média da precipitação no período 1981-1983 para os meses de Outubro a Março.

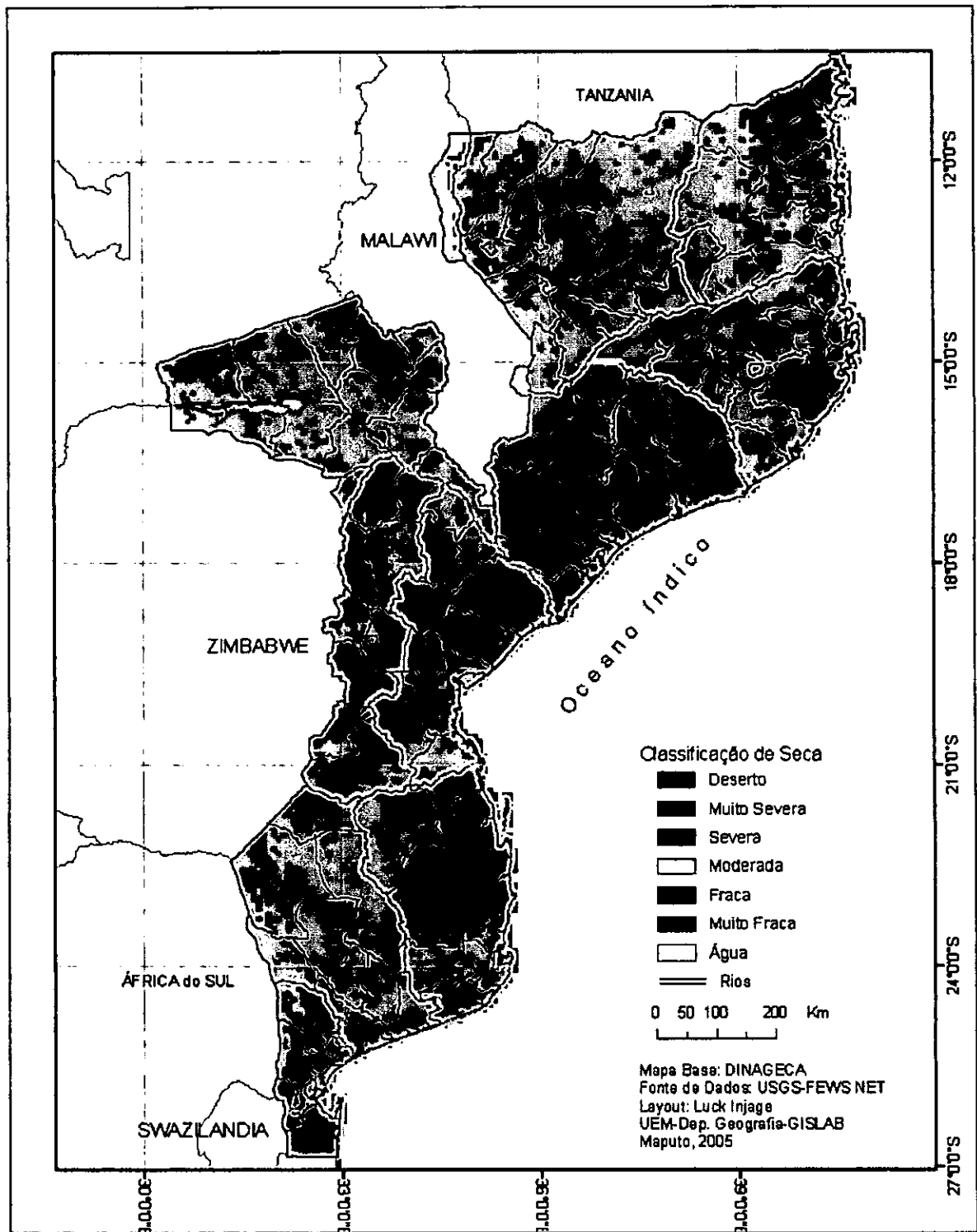


Figura 2.2. (a). Mapa ilustrativo da média do NDVI no período 1983-1984 para os meses de Outubro a Março.

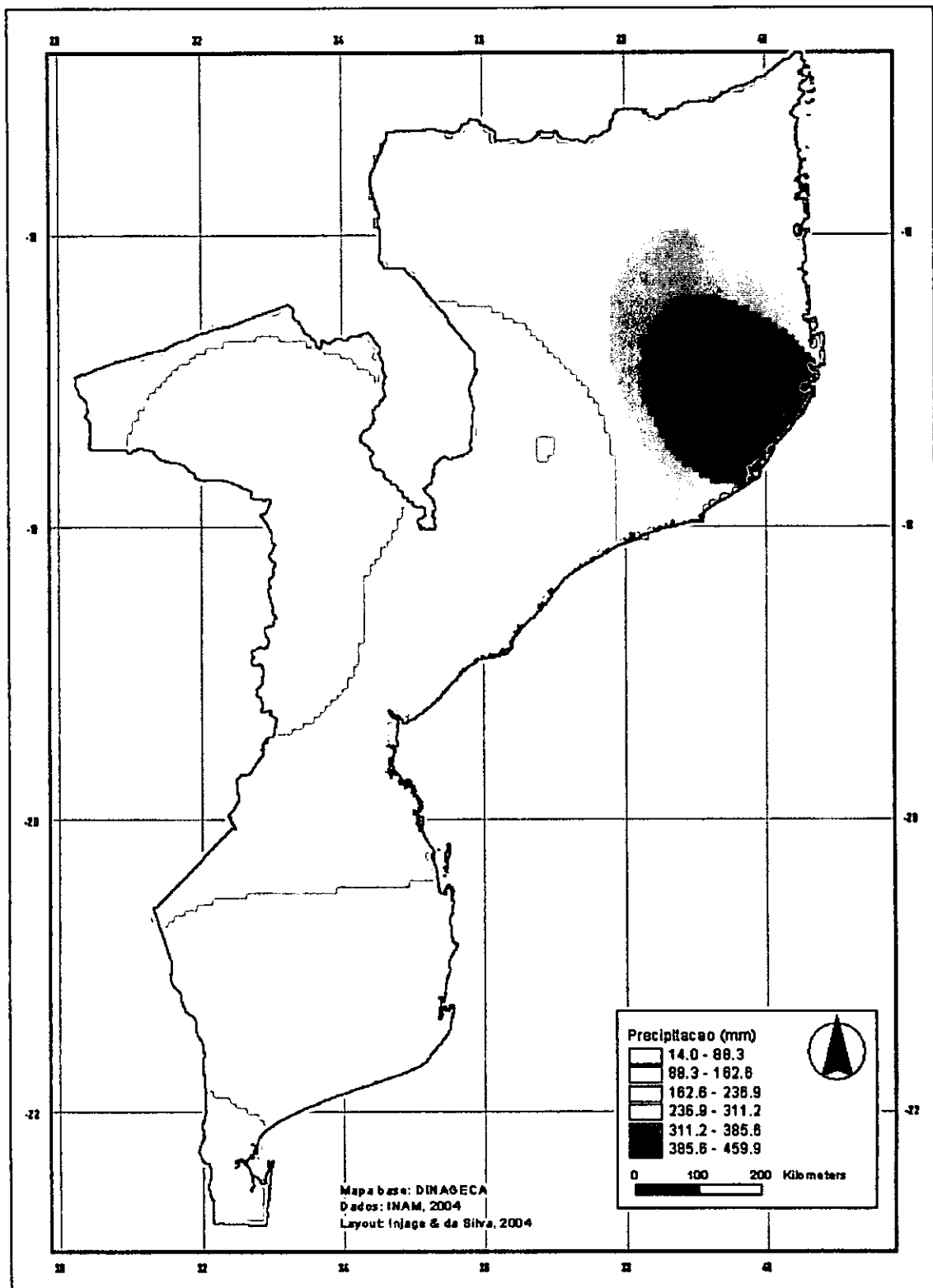


Figura 2.2. (b). Mapa ilustrativo da média da precipitação no período 1983-1984 para os meses de Outubro a Março.

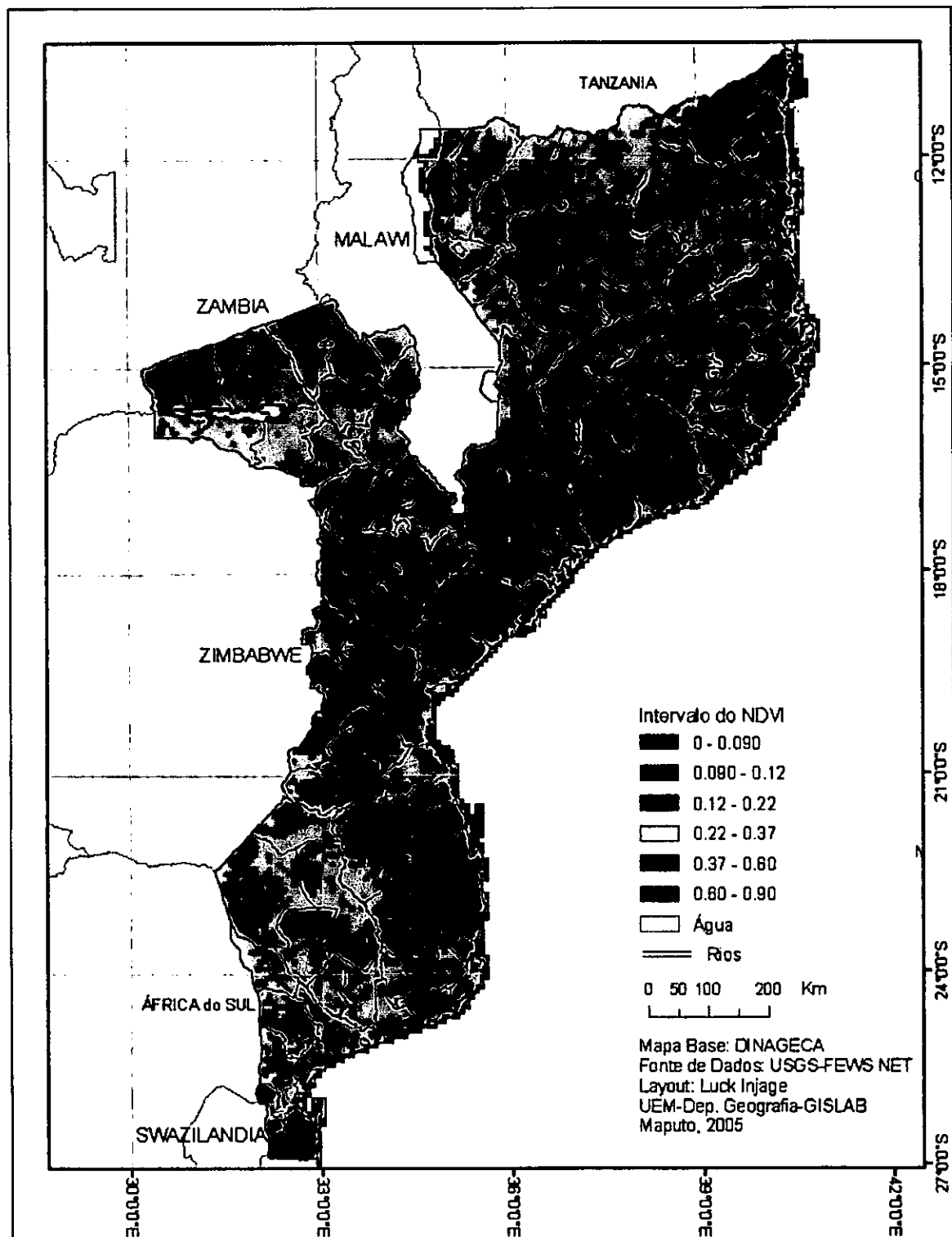


Figura 2.3. (a). Mapa ilustrativo da média do NDVI no período 1991-1993 para os meses de Outubro a Março.

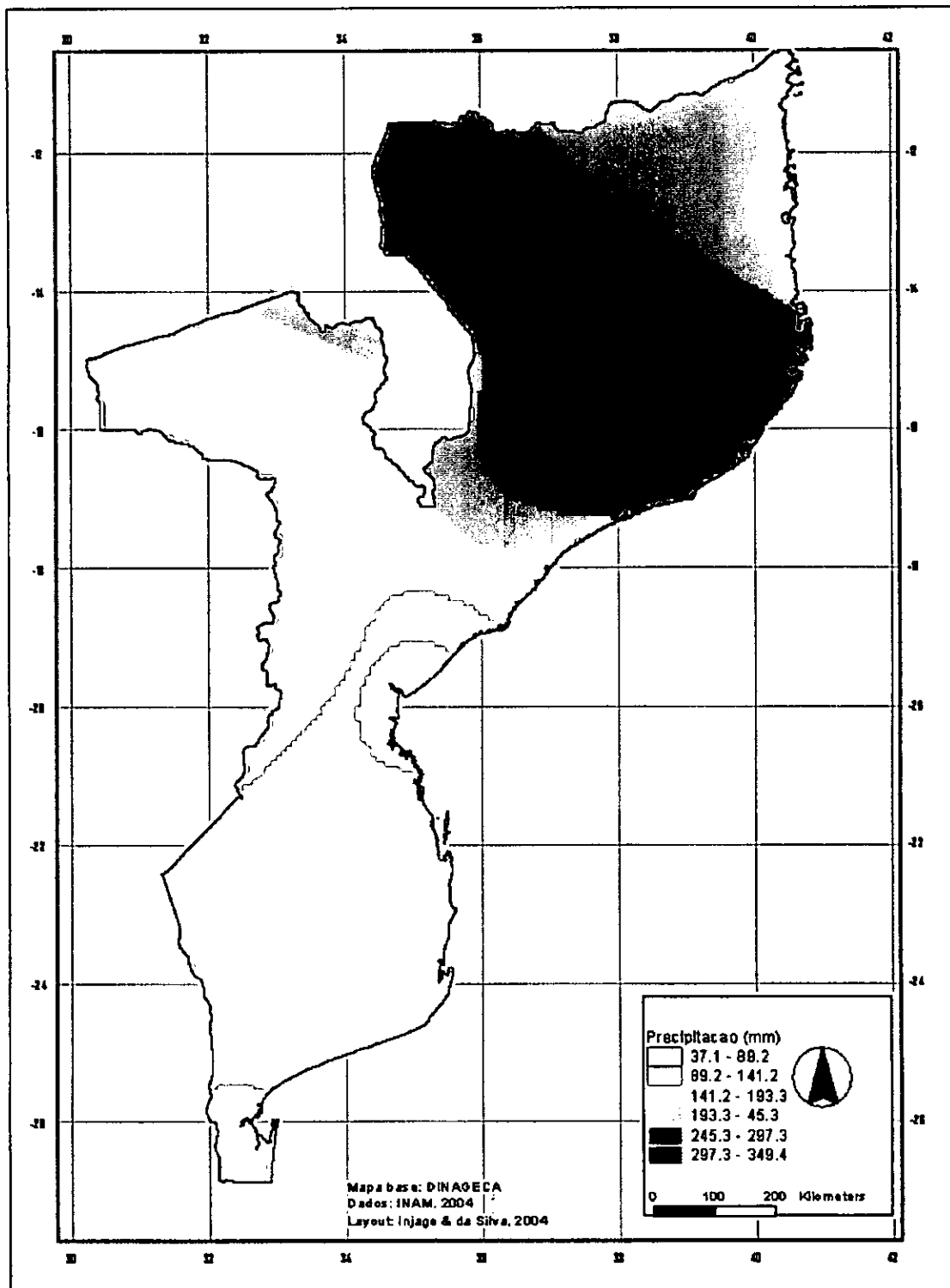


Figura 2.3. (b). Mapa ilustrativo da média da precipitação no período 1991-1993 para os meses de Outubro a Março.

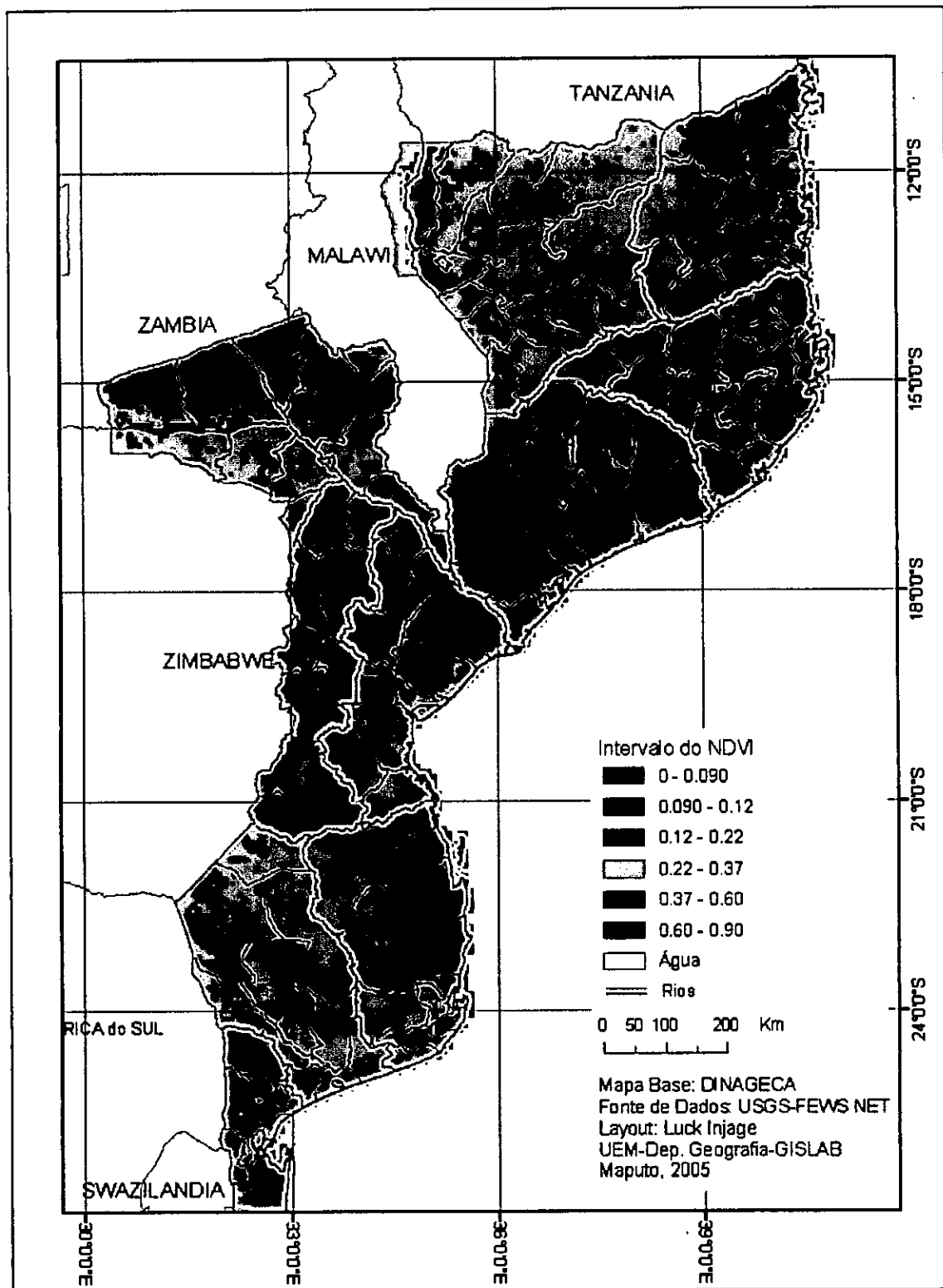


Figura 2.4. (a). Mapa ilustrativo da média do NDVI no período 1994-1995 para os meses de Outubro a Março.

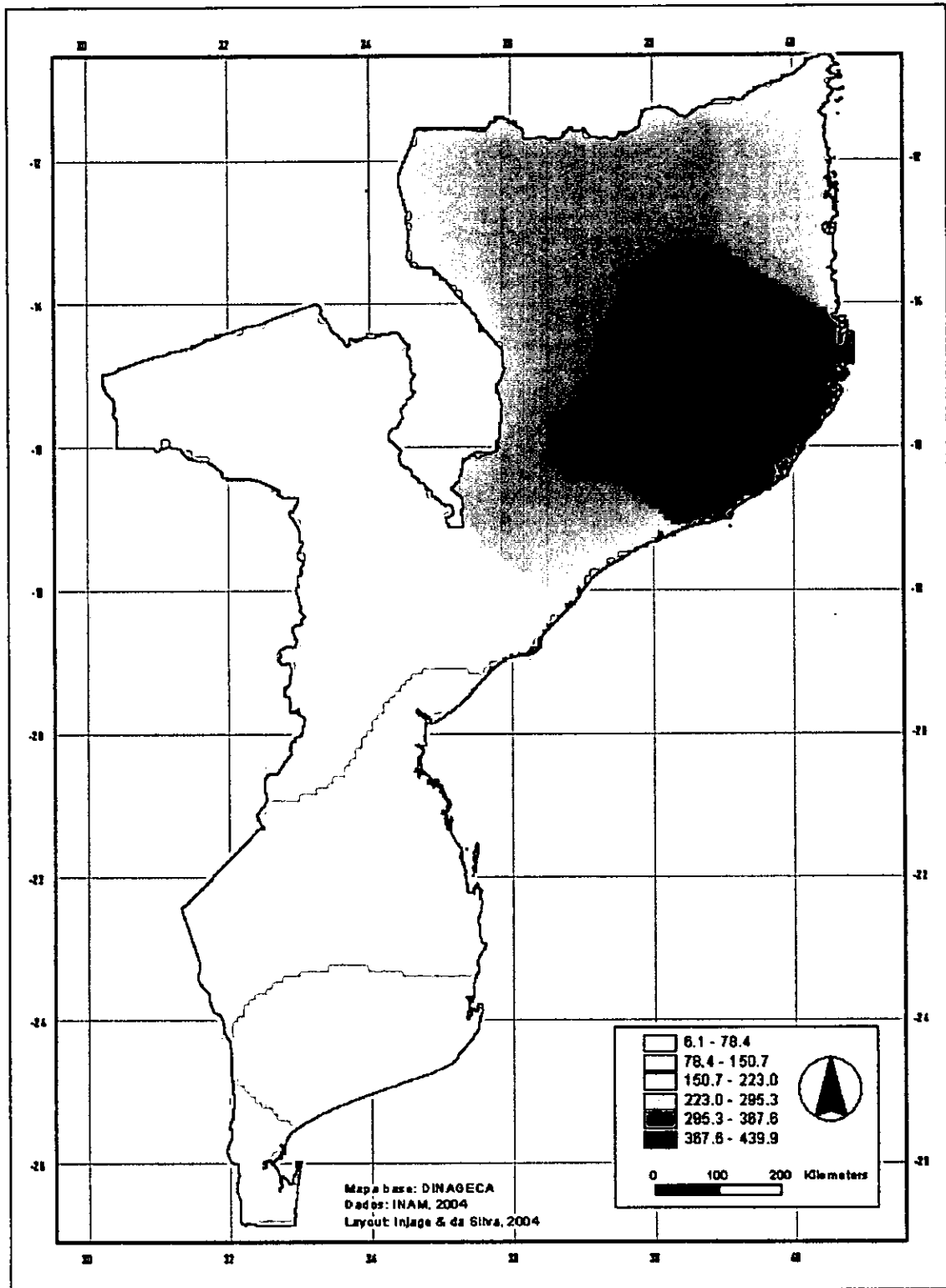


Figura 2.4. (b). Mapa ilustrativo da média da precipitação no período 1994-1995 para os meses de Outubro a Março.

ANEXO 3

(Mapa da distribuição espacial dos solos no território moçambicano e a respectiva classificação)

MAPA NACIONAL DE SOLOS
Classificacao FAD

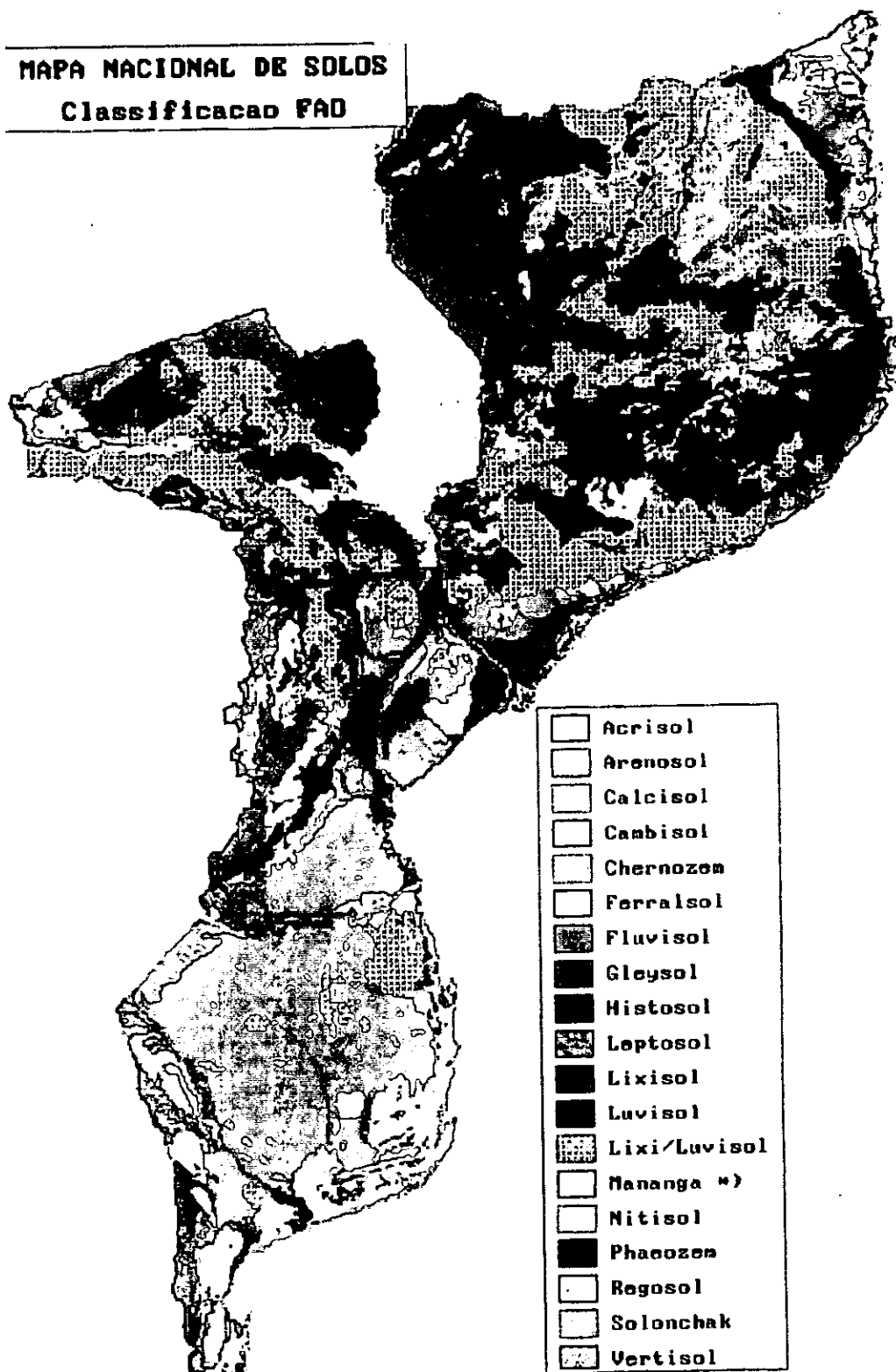


Figura 3.1. A distribuição espacial dos solos (FAO "Major Soil Groupings") no território moçambicano (Base: INIA, 1997).

ANEXO 4

(Análise dos restantes gráficos correspondentes aos distritos selecionados para o estudo)

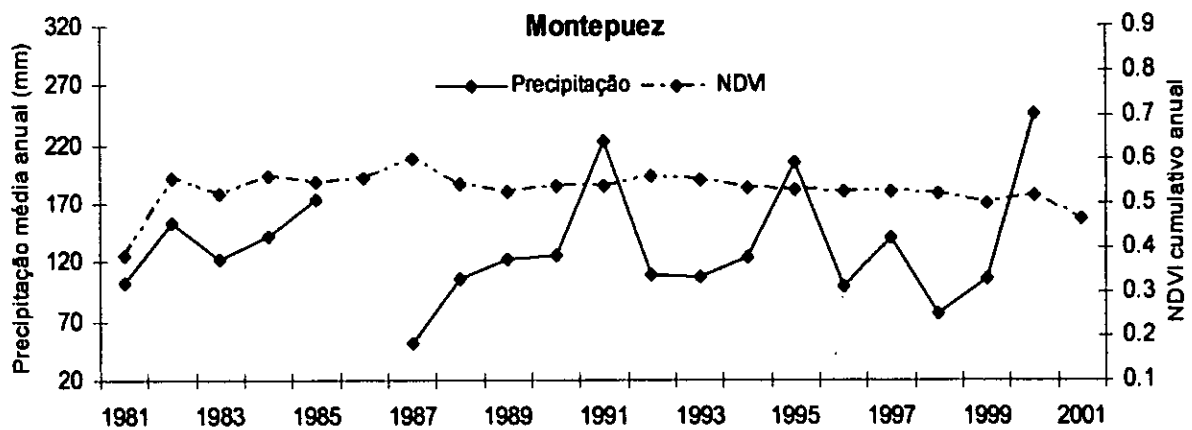
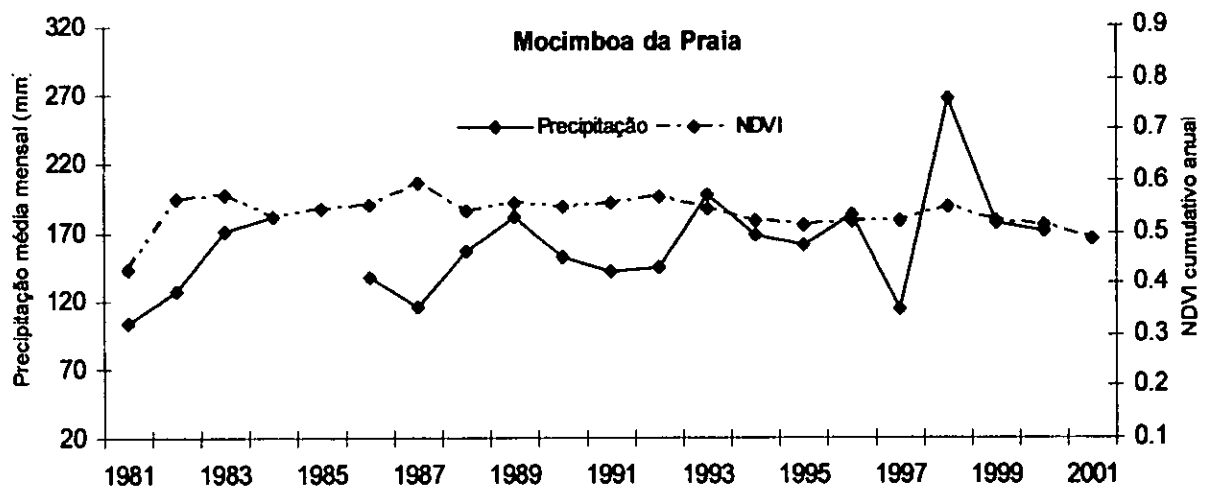
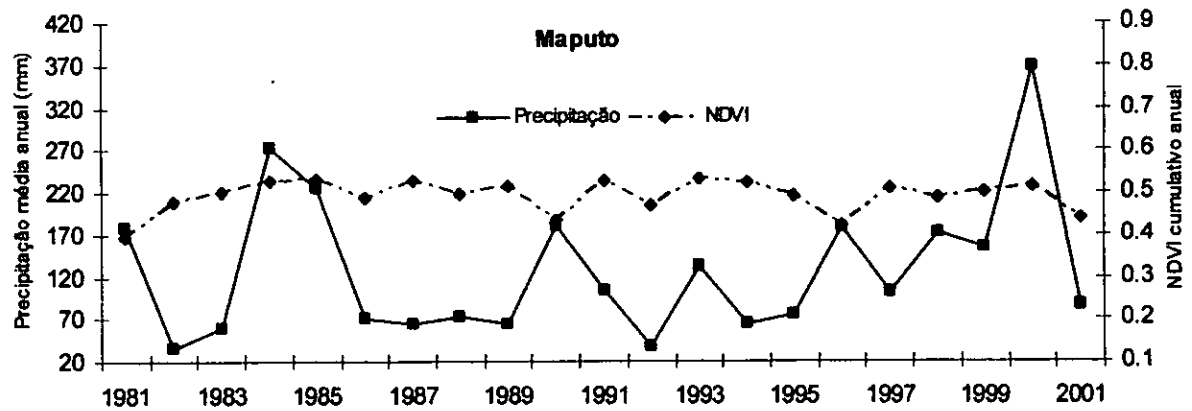


Figura 4.1. Comportamento da precipitação em relação ao NDVI nos distritos de Maputo, Mocimboa da Praia e Montepuez.

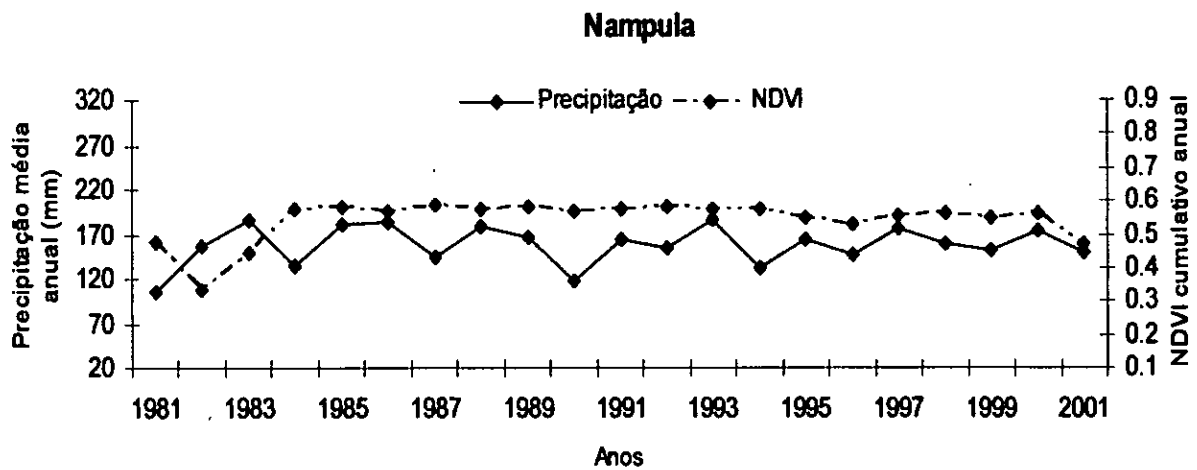
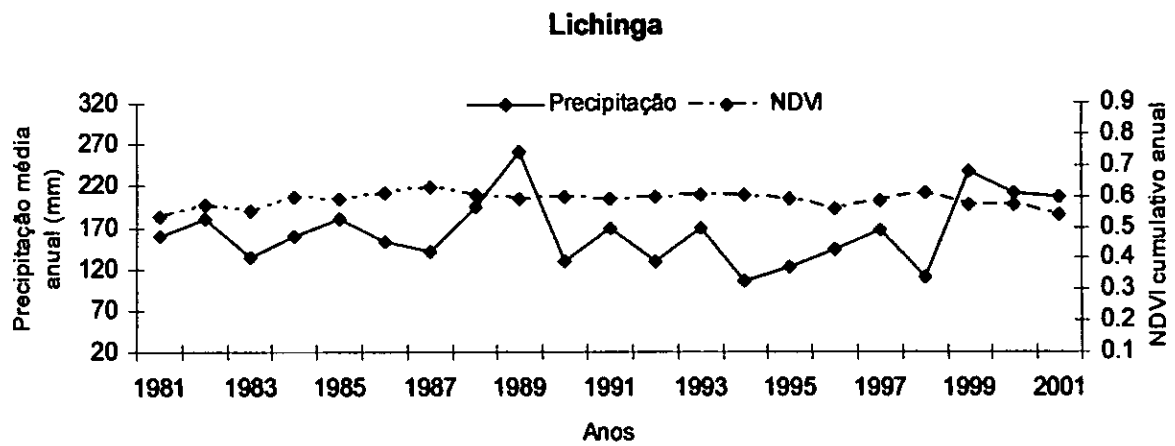
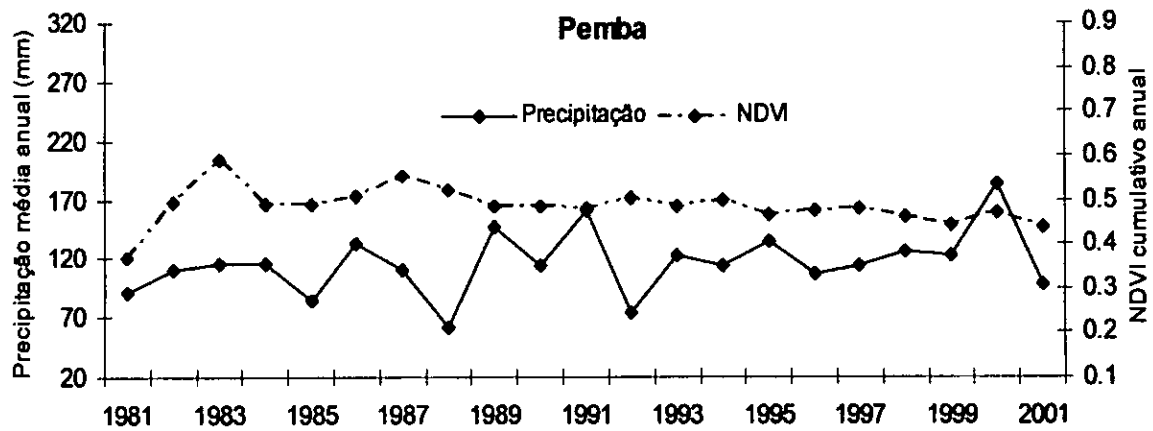


Figura 4.2. Comportamento da precipitação em relação ao NDVI nos distritos de Pemba, Lichinga e Nampula.

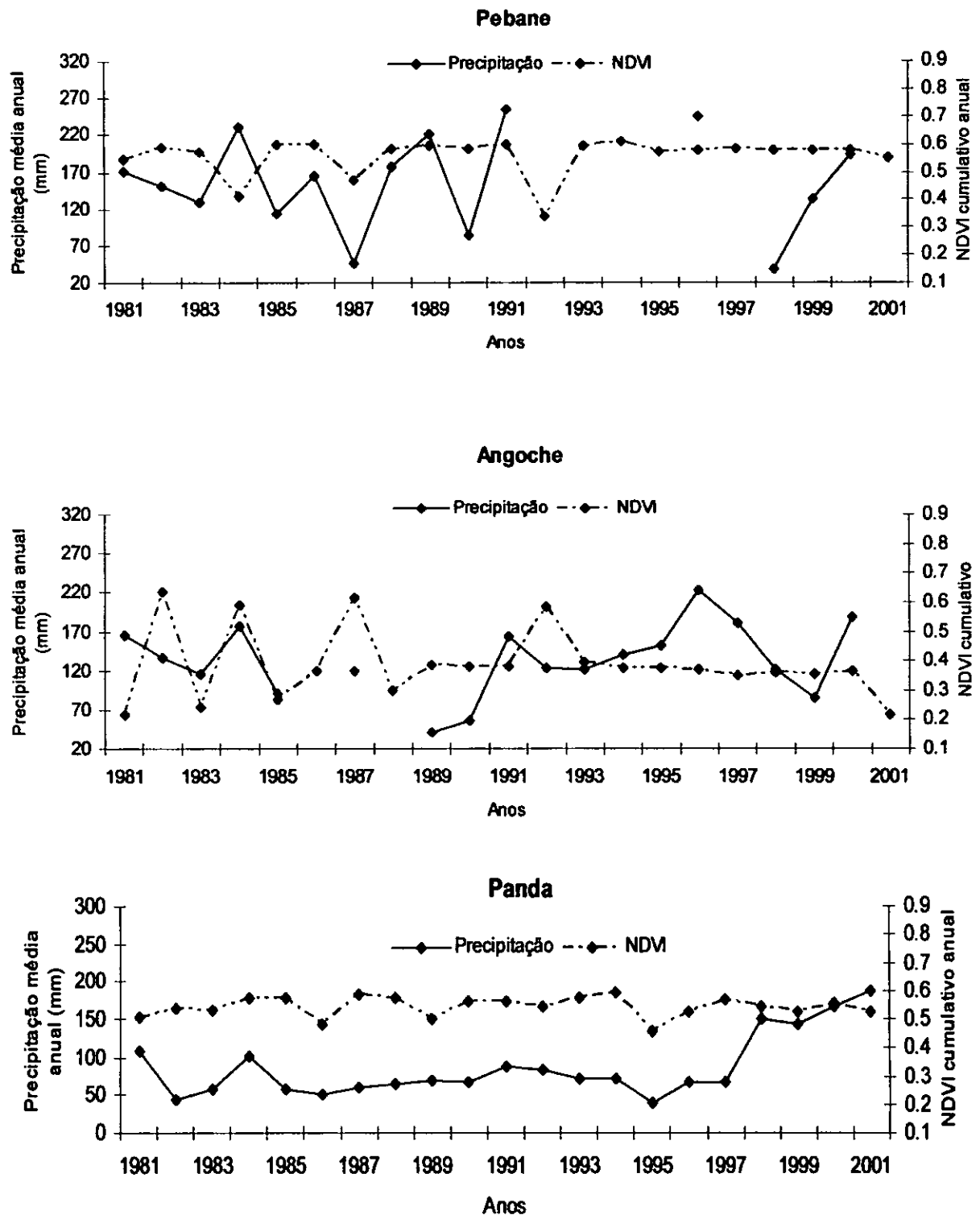


Figura 4.3. Comportamento da precipitação em relação ao NDVI nos distritos de Pebane, Angoche e Panda.

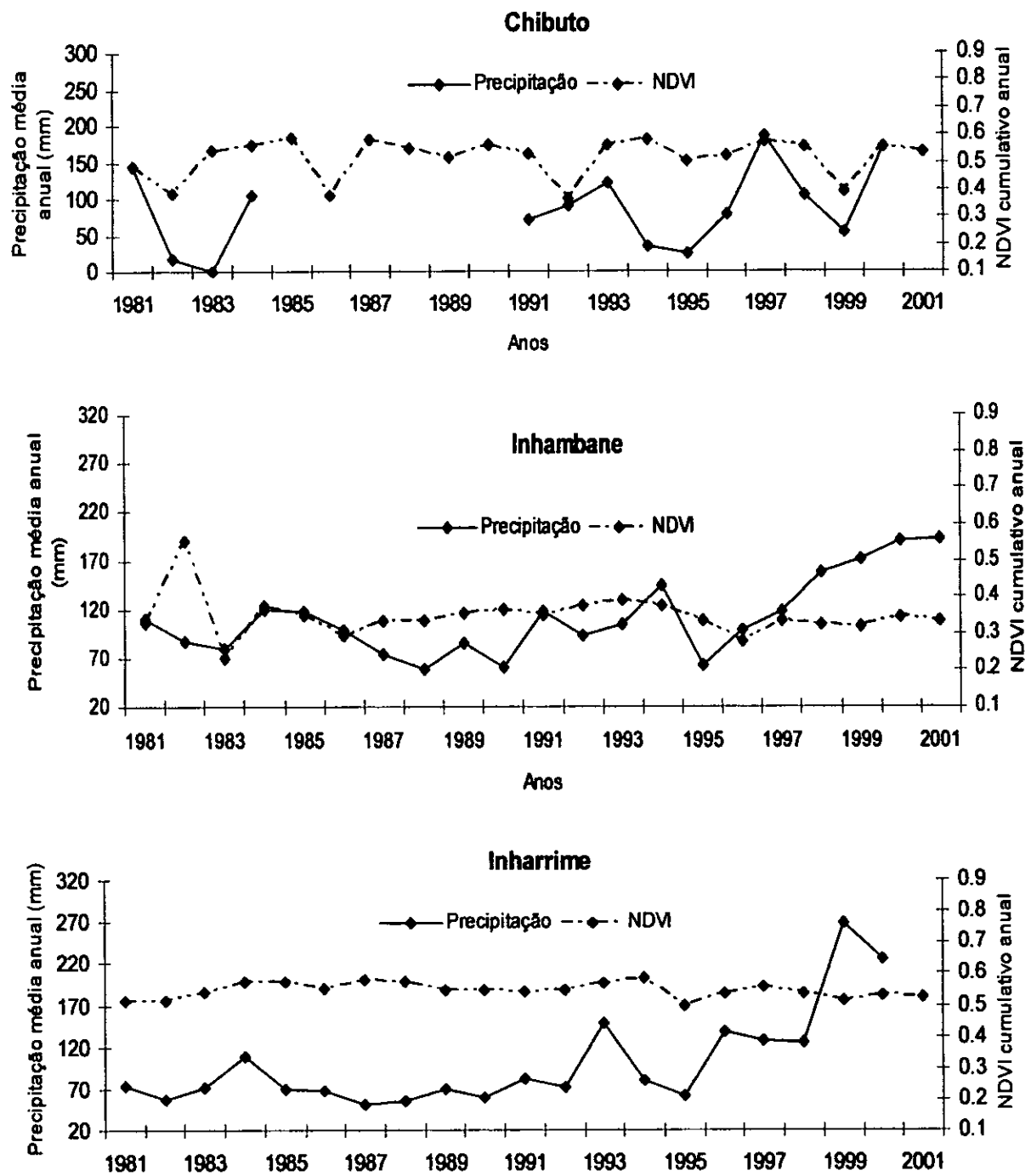


Figura 4.4. Comportamento da precipitação em relação ao NDVI nos distritos de Chibuto, Inhambane e Inharrime.

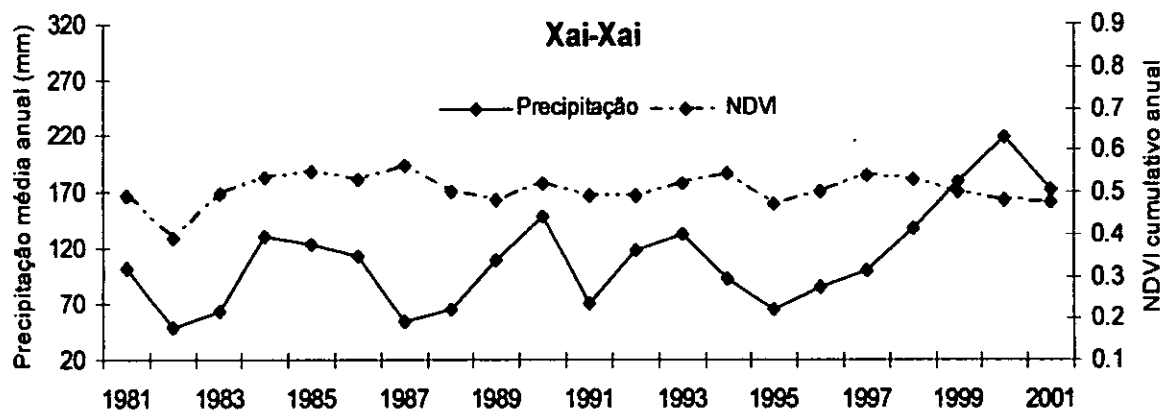


Figura 4.5. Comportamento da precipitação em relação ao NDVI no distrito de Xai-Xai.