



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

ADOLFO JOSÉ ALBINO

DISSERTAÇÃO

BASES GEOAMBIENTAIS PARA A GESTÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
UMBELUZI-MOÇAMBIQUE

RIO DE JANEIRO 2012

Autor: Adolfo José Albino

**Bases Geoambientais para a Gestão da Bacia Hidrográfica do Rio Umbelúzi
Moçambique**

Dissertação apresentada ao programa de
Pós-Graduação do Departamento de Geografia da
Universidade Federal do Rio de Janeiro como
exigência para conclusão do curso de Mestrado.

Orientadores:

Prof^a. Dr^a. Josilda Rodrigues da Silva Moura

Prof. Dr. Rafael Silva de Barros

Rio de Janeiro

2012

Adolfo José Albino

**BASES GEOAMBIENTAIS PARA A GESTÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO
RIO UMBELÚZI-MOÇAMBIQUE**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA, UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM GEOGRAFIA.

Data da aprovação: __/__/____

Aprovado por:

Prof^a. Dr^a. Josilda Rodrigues da Silva de Moura (Orientadora UFRJ)

Prof. Dr. Rafael Silva de Barros (Orientador UFRJ)

Prof^a. Dr^a Carla Bernadete Madureira Cruz (UFRJ)

Prof^a. Dr^a. Andréa Carmo Sampaio (UFRRJ)

FICHA CATALOGRÁFICA:

Albino, Adolfo José.

Bases Geoambientais para a Gestão da Bacia Hidrográfica do Rio Umbelúzi Moçambique

Adolfo José Albino UFRJ/ Geografia, 2012.

Orientadores: Prof^a. Dr^a. Josilda Rodrigues da Silva de Moura

Prof. Dr. Rafael Silva de Barros

Dissertação (Mestrado) – UFRJ, Geografia, PPGG, 2012.

Referências bibliográficas: 145-147

DEDICATÓRIA

Em memoria ao meu pai Sr. Miguel Albino Mussumbonuco

AGRADECIMENTOS

Agradeço, antes de tudo, à Natércia Lichuge e Nemzi Albino, pois elas estão sempre presentes em minha vida.

Sou grato à minha mãe, Domingas José Uetimane, que é uma pessoa maravilhosa e me ensinou a ser feliz; aos meus irmãos: Olinda, Tomás, Ilidio, Glória e Sandra são meus melhores amigos e companheiros de toda a vida, que sempre estiveram ao meu lado; agradeço também a todos os meus sobrinhos, primos, cunhados, tios e toda família Musumbunoco (kanimabo).

Agradecimentos aos meus orientadores, Josilda Rodriguês da Silva de Moura e Rafael da Silva de Barros, que me ensinaram muita coisa ao longo desses dois anos e sempre com um sorriso no rosto e boa vontade no coração, mesmo nos momentos difíceis. Vocês são pessoas especiais.

Ao Ministério das Pescas de Moçambique- Escola de Pesca, por me conceder a bolsa de estudo, e ao Dr. Victor Agostinho Bomba agradeço igualmente por ter acreditado em mim;

O meu muito obrigado ao programa de Pós-Graduação em Geografia física da UFRJ por me aceitar no seu programa de mestrado.

Agradeço à Professora Doutora Carla Madureira, à Professora Doutora Naise Peixoto e a Professora Doutora. Andréia Sampaio, pois aceitaram o convite de fazer parte da banca avaliadora. Fico muito feliz por vocês estarem fazendo parte da conclusão de mais um ciclo de minha formação. Sou muito grato a vocês por tudo que fizeram por mim.

A toda equipe dos laboratórios *NEQUAT e EPAÇO* (Sensoriamento Remoto) com a qual convivi durante estes dois anos de pesquisa meu muito obrigado.

Sou grato aos grandes companheiros e amigos desta longa e árdua caminhada o Rocky Hilário, Fernando Pessoa e Felipe Moura só vocês sabem o quanto passei para terminar este trabalho.

Deixo aqui os agradecimentos aos meus professores de licenciatura da “Universidade Pedagógica de Moçambique” e por fim, sou grato a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a materialização deste trabalho, o meu muito obrigado.

RESUMO

Este estudo é baseado na bacia hidrográfica do Rio Umbeluzi, localizada na África Austral, com o foco no seu baixo curso que corre dentro do território moçambicano, objetivando desenvolver um banco de dados geoambientais com bases georreferenciadas e que sirvam de suporte para ações de planejamento e gestão dos recursos hídricos da bacia do Rio Umbeluzi que se localiza na província de Maputo.

Os resultados obtidos mostram que bacia hidrográfica do rio Umbeluzi é vulnerável a cheias na época chuvosa e de escassez hídrica na época seca devido à factores antropogênicos e naturais, apesar desta Bacia ter todos os elementos que permitam a integração de processos biogeofísicos, econômicos e sociais, permitindo a integração institucional, e articulação com o gerenciamento integral, possibilitando ainda a implantação de bancos de dados que funcionarão como uma plataforma para o desenvolvimento de projetos para alternativas de desenvolvimento tendo em conta a preservação da qualidade e quantidade dos recursos hídricos.

Este estudo torna evidente que novas tecnologias como: SIG, Gecotecnologias e ecohidrologias são soluções que incluem os usos de sistemas naturais e processos naturais que possam ser utilizadas intensivamente na conservação e recuperação e gestão dos recursos hídricos de forma integral.

ABSTRACT

This study is based on Umbeluzi River basin, located in southern Africa, with a focus on its lower course that runs within Mozambique, aiming to develop database with geo-environmental and geo-referenced databases which support for planning and management water resources of the river basin Umbeluzi that localisa in Maputo province.

The results show that Umbeluzi river basin is vulnerable to floods during the rainy season and suffers from escases water in the dry season due to anthropogenic and natural factors, despite all evidence to the integration of processes biogeophysical, economic and social is the natural unit allowing institutional integration, and coordination with the entire management, enabling the deployment of databases that serve as a platform for the development of projects with development alternatives taking into account the perserve quality and quantityof water resources.

And it makes clear that new technologies like the Sig, eco-technologies and solutions that are ecohidrologias include the uses of natural systems and natural processes that can be used extensively in the conservation and restoration and management of water resources holistically.

LISTA DAS FIGURAS

PAG

1. Figura 1: Localização de Moçambique. -----	4
2. Figura 2: Vulnerabilidade de Cheia e Secas em Moçambique-----	6
3. Figura 3: Representação da Albufeira da Barragem-----	7
4. Figura 4: Área do Baixo curso da Bacia Hidrográfica do Rio Umbeluzi-----	15
5. Figura 5: Sub-Bacias do Rio Umbeluzi-----	16
6. Figura 6: Tipo de Solo do Baixo curso da Bacia do rio Umbeluzi-----	18
7. Figura 7: Curvas de Nível do Baixo curso da Bacia do Rio Umbeluzi-----	19
8. Figura 8: Curvas de Nível intervalos de 100 metros-----	20
9. Figura 9: Hipsometria da Bacia do Rio Umbeluzi-----	21
10. Figura 10: Curvas de Nível intervalos de 20 metros-----	
11. Figura 11: Distribuição de tipos de Clima em Moçambique-----	27
12. Figura 12: Países da Região da Áfria Austral -----	30
13. Figura 13: Distribuição espacial da precipitação normal em OND e JFM-----	66

LISTA DAS TABELAS

PAG

1. Tabela 1: Representação dos principais Rios transfronteiriços em África-----41
2. Tabela 2: Localização das Estações Pluviométricas -----44
3. Tabela 3: Localização das Estações Hidrométricas -----67

LISTA DOS GRÁFICOS

PAG

1. Gráfico 1: Precipitação acumulada ano 2000-----	49
2. Gráfico 2: Precipitação acumulada ano 2001-----	50
3. Gráfico 3: Precipitação acumulada ano 2002-----	51
4. Gráfico 4: Precipitação acumulada ano 2003-----	52
5. Gráfico 5: Precipitação acumulada ano 2004-----	53
6. Gráfico 6: Precipitação acumulada ano 2005-----	53
7. Gráfico 7: Precipitação acumulada ano 2006-----	54
8. Gráfico 8: Precipitação acumulada ano 2007-----	54
9. Gráfico 9: Precipitação acumulada ano 2008-----	55
10. Gráfico 10: Precipitação acumulada ano 2009-----	55
11. Gráfico 11: Precipitação acumulada ano 2010-----	56
12. Gráfico 12: Precipitação Anual acumulada entre os anos 2002 á 2011-----	57
13. Gráfico 13: Precipitação Anual Acumulada entre 2002 e 2011 / Seca e Chuvosa.-----	58
14. Gráfico 14: Número de dias com precipitação ano 2000-----	59
15. Gráfico 15: Número de dias com precipitação no ano 2001-----	60
16. Gráfico 16: Número de dias com precipitação no ano 2002-----	60
17. Gráfico 17: Número de dias com precipitação no ano 2003-----	61
18. Gráfico 18: Número de dias com precipitação no ano 2004-----	61
19. Gráfico 19: Número de dias com precipitação no ano 2005-----	62
20. Gráfico 20: Número de dias com precipitação no ano 2006-----	62
21. Gráfico 21: Número de dias com precipitação no ano 2007-----	63
22. Gráfico 22: Número de dias com precipitação no ano 2008-----	63
23. Gráfico 23: Número de dias com precipitação no ano 2009-----	64
24. Gráfico 24: Média de Dias com precipitação no ano 2010-----	64

SUMÁRIO:

FICHA CATALOGRÁFICA:	IV
AGRADECIMENTOS:	V
RESUMO:	VI
ABSTRACT:	VII
LISTA DE FIGURAS.....	XI
LISTA DE TABELAS:.....	XIII
LISTA DE GRÁFICOS:.....	X
1. Introdução	1
1.1. Objetivos	4
1.1.1. Objetivo Geral	4
1.1.2. Objetivos Específicos:	4
1.2. Área de Estudo	5
1.2.1. Breve Caracterização de Moçambique e do Rio Umbeluzi.....	5
1.2.2. Clima de Moçambique	6
1.2.3. Contexto Socio-econômico de Moçambique.....	8
1.2.4. Hidrografia	10
1.2.5. Rios	10
1.2.6. Área de Estudo, bacia do rio Umbeluzi	13
1.2.7. Caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio Umbeluzi	14
1.2.7. Barragem dos Pequenos Libombos.....	19
1.2.8. Contexto Geoambiental da Bacia do Rio Umbeluzi	22
1.2.9. Aspectos da Geologia e do Relevo.....	22
1.2.10. Topografia	23
1.2.11. Hipsometria	25

1.2.12. Solos.....	26
1.2.13. Cobertura Vegetal	27
1.2.14. Clima:.....	34
1.2.15. Clima na área do baixo curso da Bacia do Rio Umbeluzi.....	36
1.2.16. Aspectos Meteorológicos	39
2. Fundamentação Teórica.....	39
2.1. <i>As Bacias Hidrográficas da África Austral</i>	41
2.2. <i>Revisão dos Instrumentos de Gestão Nacional e Transfronteiriça</i>	43
<i>Protocolo de Partilha dos Cursos de Água da SADC</i>	43
2.2.1. Países da região da África Austral (SADC)	44
2.2.2. Modelo de Gestão de Recursos Hídricos de Moçambique	45
2.2.3. Mecanismos Legais.....	45
2.2.4. Lei das Águas (1991)	45
2.2.5. Política Nacional de Águas de Moçambique 2007	46
Mecanismos Institucionais	47
2.2.6 Nível Nacional	47
2.2.7. Nível Regional e Local	47
2.2.8. Estágio Atual	48
2.3. <i>Dinâmica hidrológica da bacia</i>	48
2.4. <i>O regime de cheias e secas dos rios de Moçambique e do rio Umbeluzi</i>	52
2.4.1. Secas.....	52
2.4.2. Cheias.....	53
2.5. <i>Qualidade da água do rio Umbeluzi</i>	55
2.5.1. Temperatura	56
2.5.2. Transparência	56

2.5.3. Turbidez	57
2.5.4. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	58
2.5.5. Oxigênio Dissolvido (OD)	58
2.5.6. Análise Microbiológica da água.....	59
2.6. Planejamento Ambiental dos Recursos Hídricos.....	65
2.7. Sensoriamento Remoto	67
2.8. Análise espaço temporal da Cobertura e do Uso da Terra	72
2.8.1. Importância da Ocupação do Uso da terra	75
3. Metodologia.....	78
3.1 - Materiais e Métodos.....	81
<i>Funções Matemáticas</i>	84
<i>Criação de Matrizes.....</i>	85
4. Resultados e Discussões.....	88
4.1. Distribuição da Precipitação	88
4.1.2. Precipitação:.....	88
4.2. <i>Análise da precipitação através do modelo matemático Matlab.....</i>	90
4.3. <i>Análise da vazão do rio Umbeluzi</i>	115
4.3.1. Análise estatística do escoamento dos caudais à montante da barragem	116
4.3.1. Análise estatística do escoamento dos caudais à jusante da albufeira.....	125
4.4. <i>Análise do Mapa de Uso e Cobertura da Terra</i>	135
Tabela: 8.....	138
Fonte: Elaborado pelo autor ano 2012	138
5. Conclusões e Recomendações	139
6. Revisão Bibliográfica.....	143

1. Introdução

Esta dissertação tem como área de estudo a bacia do Rio Umbeluzi, localizada na África Austral, com foco no seu baixo curso, que corre dentro do território Moçambicano, tendo como principal objetivo desenvolver um banco de dados geoambientais com bases georreferenciadas, que sirva de suporte para ações de planejamento e gestão dos recursos hídricos dessa bacia.

O rio Umbeluzi é a principal fonte de abastecimento hídrico da Cidade de Maputo, capital de Moçambique, bem como da cidade industrial de Matola e da vila do distrito de Boane, no mesmo país.

A escolha da bacia hidrográfica do Rio Umbeluzi como área de estudo, com o foco maior no baixo curso deste rio em território moçambicano, deve-se ao fato de que Moçambique é o país de origem deste autor. Além disso, Moçambique é um país vulnerável a intensas variações climáticas sazonais, típica de climas tropicais sub-úmidos, tendo chuvas intensas centradas no verão e estiagem prolongada no inverno, que repercutem diretamente no regime hídrico da bacia, com uma variação de períodos de grandes inundações a fases de secas prolongadas. Tal característica afeta diretamente a população, majoritariamente rural, cuja sobrevivência depende fundamentalmente da agricultura de subsistência, colocando em risco o abastecimento dos setores urbanos e industriais. Sendo assim, tais constrangimentos contribuem para um ineficiente desempenho dos setores econômicos, resultando no agravamento da qualidade de vida de grande parte da população que vive no limiar da pobreza.

Historicamente, Moçambique é o país mais afetado por desastres naturais na África Austral. De acordo com dados do Relatório Mundial sobre os desastres naturais (2000), mais de oito milhões de moçambicanos foram afetados pelas calamidades naturais, devidas sobretudo, ao regime hidrológico, nos últimos trinta anos.

Segundo a base global de dados sobre os desastres naturais (INGC 2010), Moçambique registrou um total de 53 calamidades decretadas pelo governo nos últimos 45

anos; com 1,17 casos em média por ano, destacando-se as cheias de 2000 que foram associadas a uma onda de ciclones, tendo um impacto desastroso na vida das populações e do país em geral.

A crise da água no século XXI vem sendo apontada por alguns especialistas mais como uma questão de gerenciamento do que uma crise real de escassez e estresse (Rogers *et al.*, 2006). Entretanto, para outros, é o resultado de um conjunto de problemas ambientais agravados por outros problemas relacionados à economia e ao desenvolvimento social (Gleick, 2000). Para Somlyody & Varis (2006), o agravamento e a complexidade da crise da água decorrem de problemas reais de disponibilidade e aumento da demanda, e de um processo de gestão ainda setorial e de resposta a crises e problemas sem atitude preditiva e abordagem sistêmica.

No caso de Moçambique, nas grandes cheias sazonais a abundância de águas contrasta com os períodos de extrema escassez, nos meses de seca, quando a agricultura é severamente afetada e inclusive o abastecimento doméstico fica comprometido. Conviver com esses extremos é um desafio que se impõe a um país que está em fase de reconstrução, com uma demanda crescente pelo recurso e uma vital necessidade de regularização da disponibilidade hídrica ao longo de todo o ano.

O rio Umbeluzi, sendo a principal fonte de abastecimento da capital de Moçambique, centro econômico e político do país, tem grande importância estratégica, e a gestão da bacia e do seu regime hídrico são essenciais para a garantia de continuidade do processo desenvolvimentista, em seus múltiplos aspectos.

Entretanto, há uma profunda carência de dados sistematizados e georreferenciados que forneçam as bases para a construção de uma política de planejamento e gestão dos recursos hídricos, tendo em conta a bacia hidrográfica como unidade espacial de análise.

Este trabalho propõe-se a suprir essa carência básica, através da criação de um banco de dados, contemplando o mapeamento da área da bacia, a caracterização da ocupação e o uso da terra, a distribuição da frequência de precipitação, a caracterização da dinâmica

climato-hidrológica e o georreferenciamento de dados secundários de qualidade da água cujas metodologias serão discutidas mais adiante.

Não foi do escopo da pesquisa chegar a uma análise profunda. Por limitações de tempo, optou-se pela organização e processamento dos dados primários e secundários e, sempre que possível uma análise expedita que servi-se como um pré-diagnóstico.

1.1. Objetivos

A seguir são apresentados os objetivos que permearão o desenvolvimento desta dissertação.

1.1.1. Objetivo Geral

Promover um estudo sobre a bacia do rio Umbeluzi, localizada na África Austral, com foco sobre o seu baixo curso, que corre dentro do território moçambicano, visando desenvolver um banco de dados geoambientais, com bases georreferenciadas, que sirva como suporte para ações de planejamento e gestão dos recursos hídricos, tendo em conta a bacia como unidade de planejamento.

1.1.2. Objetivos Específicos:

Os objetivos específicos são as bases constituintes do banco de dados, conforme detalhado a seguir:

- Delimitação e extração da área da bacia e sub-bacias;
- Mapeamento da cobertura vegetal e uso da terra;
- Caracterização da dinâmica climato-hidrológica do baixo curso do Rio Umbeluzi;
- Análise integrada expedita dos dados secundários de qualidade da água com a dinâmica climato-hidrológica;
- Pré-diagnóstico expedito da bacia do rio Umbeluzi, com foco no baixo curso deste rio, em território moçambicano;
- Sugestão de diretrizes integradas na gestão dos recursos hídricos e gestão ambiental da bacia do rio Umbeluzi.

1.2. Área de Estudo

1.2.1. Breve Caracterização de Moçambique e do Rio Umbeluzi

Moçambique é um país de grande extensão geográfica (799.380 Km²) e com uma ampla diversidade hidrológica. Cerca de 13.000 km² do território nacional são ocupados pelas águas interiores que incluem lagos, represas e rios (Barca, 1992).

Localiza-se a sudeste do continente africano (Figura 1), sendo limitado a leste pelo Oceano Índico, a norte pela Tanzânia, a noroeste pelo Malawi e Zâmbia, a oeste faz fronteira com o Zimbabwe, África do Sul e Swazilândia, e a sul com a África do Sul.



Figura1: Mapa da África Austral com a localização de Moçambique.

Fonte: ARA-SUL, Administração Regional de água Sul (2010).

Em termos de coordenadas geográficas, Moçambique situa-se entre as latitudes 10° 27' Sul e 26° 52' Sul e entre as longitudes 30° 12' Este e 40° 51' Este, enquadrando-se no fuso horário dois.

1.2.2. Clima de Moçambique

Em Moçambique existem duas estações bem marcadas: a estação chuvosa e a estação seca. A primeira estação tem início no mês de outubro e termina em março. A segunda estação vai de abril a setembro. Segundo Muchangos (1999), o país possui, de uma maneira geral, um clima quente e úmido, com temperaturas médias anuais entre 22° C e 24°C, e precipitação média anual de 1.200 mm³. As chuvas de grande intensidade ocorrem nos meses de novembro, dezembro e janeiro; as moderadas nos meses de outubro, fevereiro e março; e a estiagem inicia-se nos meses de abril e maio, com seca completa nos meses de junho, julho, agosto e setembro. Esse clima é condicionado pela localização da zona de baixas pressões equatoriais, das células anticiclônicas tropicais e das frentes polares do Antártico (Muchangos, 1999).

A estação chuvosa em Moçambique acontece no verão e é dividida em dois períodos, sendo o primeiro correspondente aos meses de outubro, novembro e dezembro (**OND**) e o segundo, aos meses de janeiro, fevereiro e março (**JFM**).

Análises estatísticas de cálculo de precipitação no primeiro período da estação chuvosa (OND) mostram que chove mais (370 – 470 mm) nas regiões ocidentais do planalto de Chimoio, extremo norte do planalto de Marávia e parte ocidental da Alta Zambézia, onde é registrado o valor médio mais elevado (566 mm).

As regiões de menor valor médio da quantidade de precipitação são a zona interior do sul de Save, extremo norte da província de Niassa, o litoral das províncias de Cabo Delgado e Nampula. Os valores médios mínimos, 120 mm e 142 mm, são respectivamente dos postos de Mecula e Pafuri. A Figura 2 apresenta a distribuição espacial das normais de precipitação em Moçambique. Nota-se que, no extremo sul, onde se localiza a área de estudo, os valores de precipitação são bem mais baixos que no restante do país.

Distribuição espacial da precipitação (mm^3) normal em Moçambique para OND e JFM

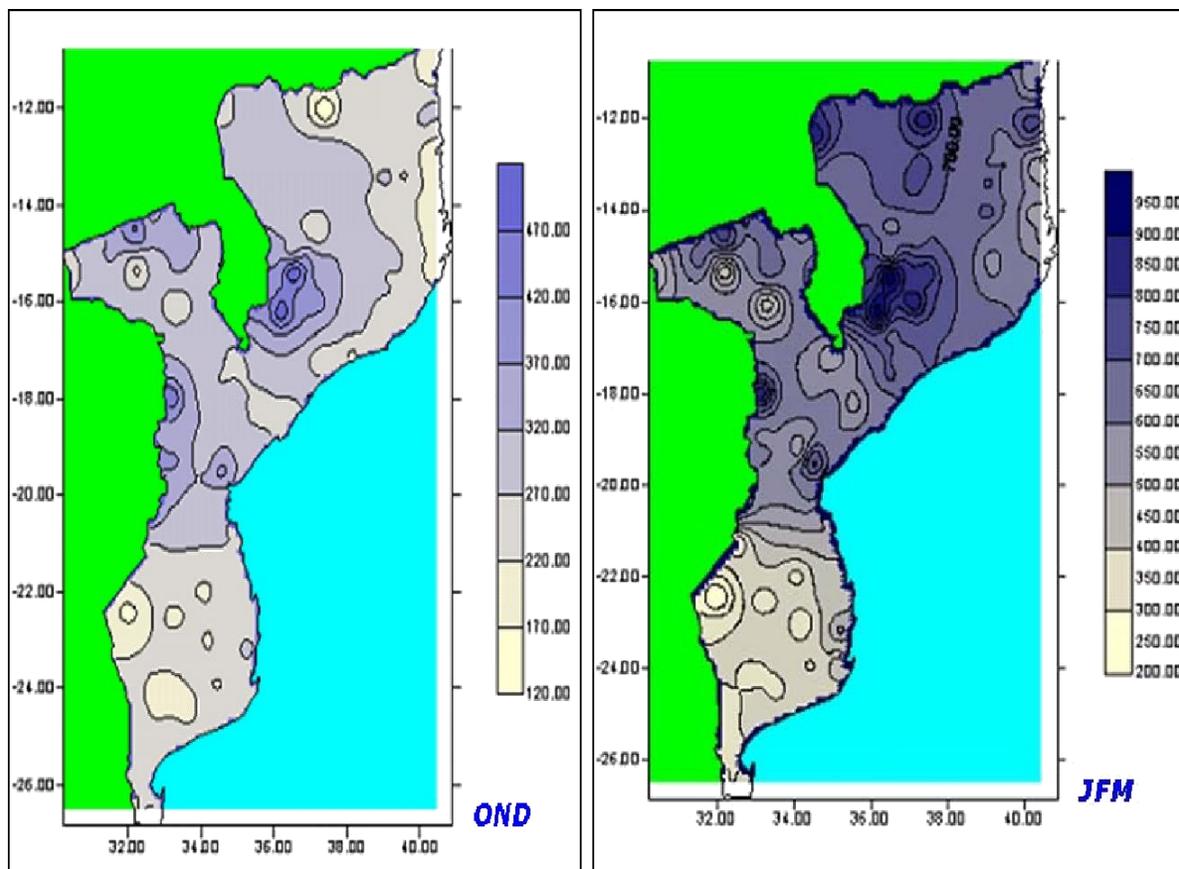


Figura 2: Distribuição espacial da precipitação (mm) normal em Moçambique para OND e JFM

Fonte: INAM (2010).

O litoral moçambicano sofre influências da corrente quente (Moçambique- Agulhas) e dos correspondentes ventos dominantes marítimos do quadrante Leste. A dinâmica climática resulta em variações de períodos de anos com predomínio de seca, e períodos com predomínio de chuvas intensas. Barrer (2006, apud Barros, 2009) fez um estudo mostrando a ocorrência das cheias e secas extremas nas últimas três décadas, tomando como base o nível das inundações e estiagens mais prolongadas, e dos impactos por elas causados à população, conforme pode ser observado no gráfico apresentado na Figura (3).

Vulnerabilidade de Cheia e Secas em Moçambique

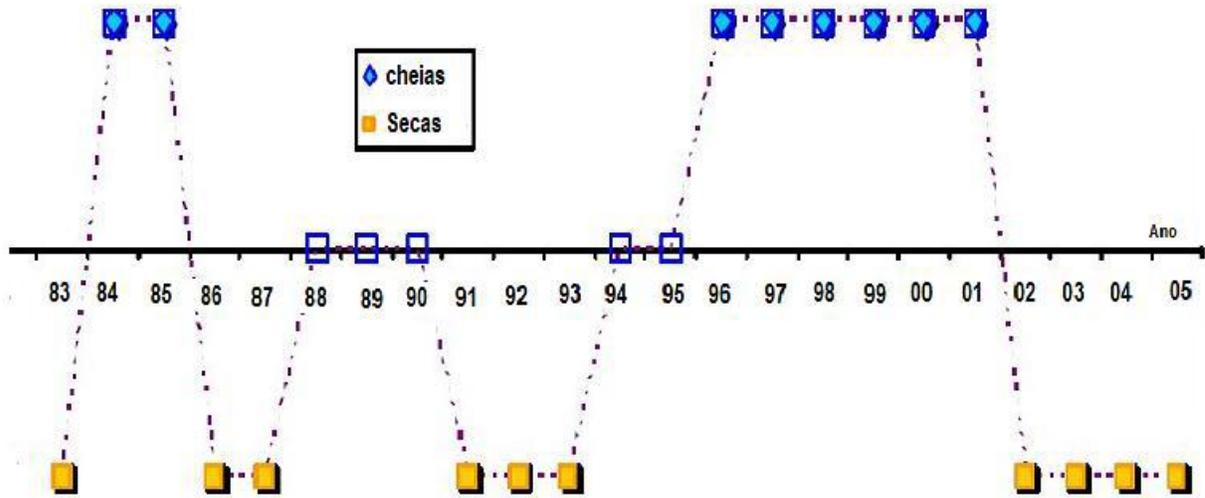


Figura 3: Vulnerabilidade de Cheia e Secas em Moçambique, segunda Bakker, 2006.

Fonte: Barros (2009).

1.2.3. Contexto Socio-econômico de Moçambique

Moçambique é um dos países mais pobres do mundo, segundo o relatório de índices de Desenvolvimento do PNUD (2010) “apesar das impressionantes taxas de crescimento econômico e do encorajador progresso em termos de desenvolvimento alcançado pelo governo nos últimos anos, a pobreza continua a ser grave e generalizada”.

Segundo esse mesmo relatório, o número de moçambicanos que viviam na pobreza absoluta reduziu de 70% em 1997 para 54% em 2003 (ano da última pesquisa nacional de domicílios). Mesmo assim, a grande maioria da população rural ainda vive com menos de um dólar por dia e carece de serviços básicos como abastecimento de água potável e acesso a serviços de saúde e escolas.

“A pobreza ainda é um fenômeno predominantemente rural em Moçambique. Mais de 80% das famílias pobres vivem em áreas rurais. A agricultura é a principal fonte de alimento e renda, mas a produtividade agrícola é muito baixa. Agricultores e Pescadores geralmente produzem o suficiente para atender às necessidades básicas de alimento de suas famílias,

tendo talvez um pequeno excedente para venda”, PNUD (2010). A renda do cultivo e da pescaria é insuficiente e a maioria da população rural sobrevive no nível da subsistência. As comunidades rurais são extremamente vulneráveis a desastres naturais como as secas e as enchentes que ocorrem particularmente no sul e centro do país, onde se localiza a capital Maputo.

O crescimento médio anual do PIB agrícola foi 6,2%, um nível muito superior ao da maioria dos países africanos. Porém a produção agrícola, que é muito dependente das chuvas, está sujeita a flutuações anuais significativas devido às secas e às cheias. “As secas, em 1994, e as cheias, em 2000, causaram reduções significativas da produção. No período de 2005-2007, as taxas anuais de crescimento do PIB em termos reais se situaram a níveis compreendidos entre 7,3% e 8,8% e a maioria das projeções indica que a economia continuará a crescer a taxas anuais de 5% no futuro próximo” PNUD (2010).

Ainda segundo o relatório do PNUD (2010), a agricultura (produção agrícola, pecuária, silvicultura, pesca) é o setor responsável pela percentagem mais baixa do Produto Interno Bruto (23%). Este percentual é considerado ínfimo num país de baixo rendimento agrícola. O setor dos serviços é o que mais contribui para o aumento do PIB (47%), seguido pela indústria (30%). A contribuição significativa da indústria para o aumento do PIB global se deve a uma pequena quantidade de grandes investimentos nos setores de mineração, energia e produção de alumínio. Segundo o Relatório de Desenvolvimento Mundial de 2010 do Banco Mundial sobre a agricultura (apud PNUD, 2010), tais investimentos mostram que Moçambique é um país que passa por uma mudança de perspectivas econômicas, ou seja, ocorre na região a transição de uma economia baseada na agricultura para uma baseada no setor transformador (PNUD, 2010).

Apesar de a contribuição da agricultura ser relativamente modesta, trabalha no setor cerca de 80% da população. Isto indica que a produtividade agrícola é muito baixa, em comparação com a produtividade de outros setores (FAO, 2010).

A média anual da despesa pública de Moçambique com o desenvolvimento da agricultura foi estimada em 3,5% em 2007 e em 7,5% em 2008, quer dizer, inferior ao

objetivo de 10% aprovado pelos Ministros da Agricultura africanos na conferência de Maputo da União Africana, em. (FAO, 2010).

“Cerca de 70% da população moçambicana reside em zonas rurais, que abriga 80% da população mais pobre. Entre 1997 e 2003, a incidência da pobreza no país diminuiu de 69,4% para 54,1% e o “poverty gap” (diferença entre o rendimento médio nacional e o rendimento médio da população que vive abaixo da linha de pobreza) foi reduzido de 29,2 % para 19,9 %. Isto significa que os membros da população que continuaram na linha da pobreza aumentaram o seu consumo cinco vezes mais, (PNUD, 2010).

1.2.4. Hidrografia

As características hidrográficas do território moçambicano foram descritas por Muchangos (1999). A seguir apresenta-se uma breve síntese do trabalho deste autor.

1.2.5. Rios

“De norte para sul, as principais bacias hidrográficas que drenam o país são: Rovuma, Messalo, Montepuez, Lúrio, Monapo, Ligonha, Licungo, Zambeze, Púnguè, Búzi, Save, Govuro, Inharrime, Limpopo, Incomáti, Umbeluzi, Tembe e Maputo”. Os grandes cursos de água moçambicanos são de abastecimento predominantemente pluvial, de regime periódico, apesar de a maioria dos seus afluentes serem de regime ocasional, A maior parte dos rios de Moçambique corre de oeste para leste devido à configuração do relevo, atravessando sucessivamente montanhas, planaltos e planícies e desaguando no Oceano Índico.

“Os principais rios de Moçambique têm suas nascentes nos países vizinhos, exceto no norte do país onde a maioria das nascentes tem a sua bacia hidrográfica totalmente em Moçambique”, Muchangos (1999).

As oscilações do caudal dos rios ao longo do ano são condicionadas, segundo Muchangos (1999), por fatores climáticos, registrando os caudais máximos na época das

chuvas e os mínimos na estação seca. Nas terras altas os rios possuem grande capacidade erosiva e constituem cascatas, limitando dessa forma a navegabilidade. Nas planícies se formam os meandros, lagoas e pântanos e são depositadas as aluviões.

Muchangos (1999) observa também que, além do relevo, a natureza dos solos também influencia o caudal, a estrutura e o padrão da rede hidrográfica. Quanto às bacias hidrográficas, dado que as condições orográficas, atmosféricas, climáticas e pedológicas exercem grande influência sobre o regime caudal, o autor distingue três regiões no que diz respeito ao comportamento dos rios: Norte, Centro e Sul.

A Região Norte localiza-se entre as bacias dos rios Zambeze e Save e situada na parte sul do rio Save ao Maputo. Nessa região, as bacias hidrográficas apresentam predominantemente um padrão dendrítico devido à sua melhor distribuição, frequência das chuvas e à maior dispersão de rochas magmáticas e metamórficas. Destaca-se aí o rio Lúrio, que nasce no monte Malema a mais de 1.000 m de altitude e tem cerca de 1.000 km de comprimento, e possui uma bacia hidrográfica de 60.800 km², sendo considerada a maior bacia totalmente inserida em território moçambicano. Devido à sua extensão, o rio Lúrio representa, junto com os seus numerosos afluentes, a linha mestra da subdivisão do Planalto Moçambicano (Muchangos,1999).

Também localizado na região norte, o rio Rovuma faz fronteira com a Tanzânia em quase todo o seu percurso. Tem suas nascentes localizadas no planalto do Ungone, na Tanzânia, e atinge Moçambique na sua confluência com o rio Messinge. A partir daí, toma a direção oeste-leste numa extensão de mais de 600 km² até a sua foz no Oceano Índico onde desagua em forma de estuário (Muchangos,1999). Em território moçambicano, a bacia do rio Rovuma é de 101.160 km², sendo ele um rio estreito na maior parte do seu percurso, alargando-se somente ao atingir a planície litorânea. Os seus principais afluentes da margem moçambicana são: Messinge, Lucheringo e Lugenda. Os mesmos têm origem nas terras altas do Niassa e possuem elevado potencial hidroelétrico (Muchangos,1999).

Na Região Centro destaca-se o rio Zambeze, o maior e mais importante rio que atravessa o território moçambicano. Com cerca de 2.600 km de comprimento, é o 26º rio

mais comprido do mundo, o 4º rio mais extenso da África, tendo sua nascente na Zâmbia a cerca de 1.700 m de altitude. A barragem de Cabora Bassa, que é a maior do país, resulta do represamento das águas do rio Zambeze em Songo, na província de Tete. O rio Zambeze desagua num amplo delta de cerca de 7.000 km² de superfície. O caudal médio do rio é estimado em cerca de 16.000 m³/s, transportando e depositando anualmente um volume de aluviões de mais de 500.000.000 de toneladas. O principal braço do delta do Zambeze é o rio Cuama que é retilíneo e é aproveitado para navegação fluvial (Muchangos, 1999).

Finalmente, na Região Sul, os principais cursos de água são: Govuro, Inhanombe, Limpopo, Incomáti, Umbeluzi, Tembe e Maputo. Os rios Limpopo, Incomáti, Umbeluzi, Tembe e Maputo têm como característica comum nascerem em países vizinhos e atravessarem os montes Libombos, que é uma grande cordilheira, e, ao atingirem a planície perdem a sua capacidade erosiva e formam nas suas margens extensas planícies aluviais, propícias à agricultura. Na planície, o seu caudal é condicionado pela influência combinada das condições climáticas gerais, do fraco declive e da elevada permeabilidade das rochas sedimentares. Nas seções inferiores desses rios, formam-se frequentemente pântanos, a navegabilidade dos rios nesta região é limitada devido ao regime sazonal do caudal e à sua elevada capacidade de assoreamento (Muchangos, 1999).

1.2.6. Área de Estudo, bacia do rio Umbeluzi

O Rio Umbeluzi é um dos rios que localizam-se na Região Sul (Figura 4), pela caracterização Muchangos (1999) e atravessa a Cordilheira dos Libombos, quando entra em território moçambicano, atravessando uma garganta cortada nas cordilheiras dos Pequenos Libombos. Este relevo foi aproveitado para a construção de uma grande represa: a Barragem dos Pequenos Libombos Figura (4).

Localização aproximada da Bacia do rio Umbeluzzi

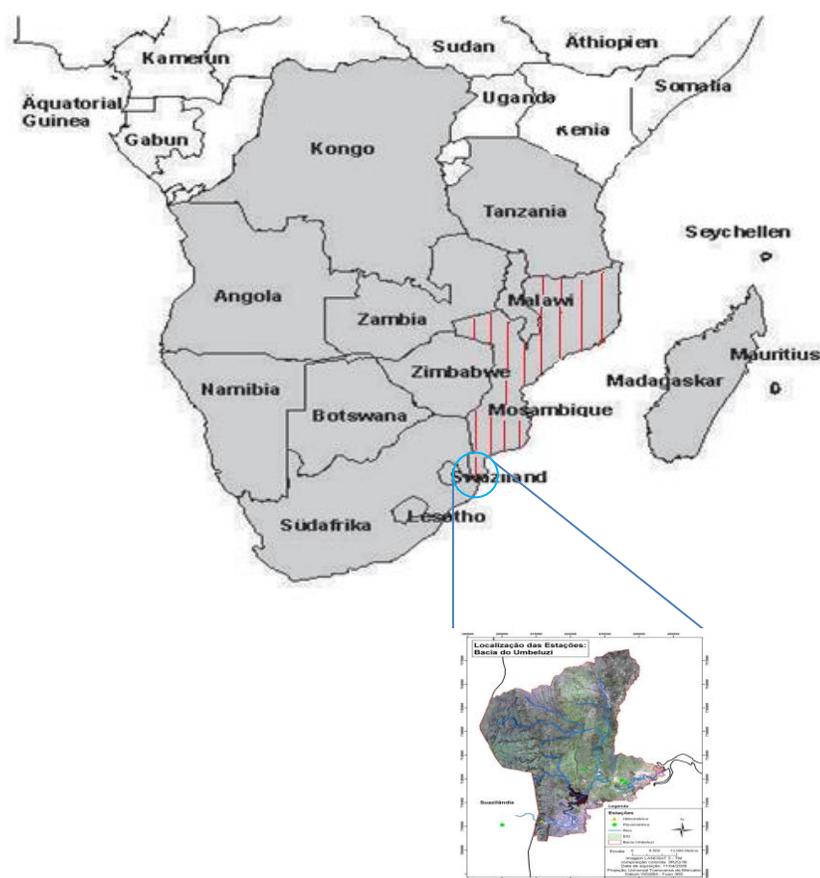


Figura 4 – Localização aproximada da Bacia do rio Umbeluzzi

Fonte: Adaptado pelo autor a partir de dados da SADC.

A área de estudo deste trabalho envolve o baixo curso da bacia hidrográfica do Rio Umbeluzi situada na parte sul da Província de Maputo na região sul do território Moçambicano. A mesma é delimitada pelos paralelos **25° 40' 22"** e **26° 16' 47"** de latitude Sul e pelos meridianos **31° 55' 43"** e **32° 29' 01"** de longitude Este aproximadamente. A bacia hidrográfica do rio Umbeluzi possui uma área total de **2066 km²** calculados com o GIS na República de Moçambique.

1.2.7. Caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio Umbeluzi

O rio Umbeluzi nasce no Reino da Suazilândia e tem como principais afluentes: os Rios Black M'buluzi e o White M'buluzi. Ambos confluem com o rio principal aproximadamente a 22 km da fronteira de Goba localizada no Posto Administrativo de Changalane no Distrito de Namaacha (Moçambique) por onde o rio Umbeluzi entra em Moçambique.

Os principais afluentes do Rio Umbeluzi em território nacional são: o Rio Calichane que aflui no Umbeluzi na barragem dos Pequenos Libombos e o rio Movene a jusante da barragem (ARA-SUL, 2010).

O rio Movene aflui pela margem esquerda, encontrando-se com o Umbeluzi próximo da vila de Boane. A Grande parte dos afluentes e subafluentes em território moçambicano tem sua origem nos grandes Libombos. Quase todos os anos, tanto Calichane como Movene secam no período de estiagem. Cada um deles tem seus tributários principais:

- O Matalha, o Maxibobo e a Cumbe são afluentes do Movene;
- Os rios Impocuane, Mabelebele, Impamputo e Machuanine são de Calichane;

Dada a grande extensão do rio Impamputo, que nasce um pouco ao norte da vila de Namaacha, diversos documentos se referem ao rio Calichane como Impamputo - Calichane. Diversos braços de cheias abandonados mantêm o nome do rio Impamputo-Calichane, sem, contudo, apresentar uma ligação permanente ou estável com os seus rios ou afluentes

principais. Por exemplo, o caso de Changanane e do Muguane, ambos da margem direita entre Goba e Boane. , ARA-SUL (2010).

A bacia do rio Umbeluzi se confina ao norte com as bacias dos rios Incomate e Matola e a sul com as bacias dos rios Maputo e Tembe. A foz do rio Umbeluzi faz parte do estuário dos rios Tembe, Matola e Infulene que é denominado de estuário Espírito Santo. Este está situado junto aos Portos de Maputo (Lopes, 2011).

O Rio Calichane possui um afluente: o Impamputo. Sendo o primeiro o mais comprido de todos os demais rios e possuindo uma extensão de 42 km², dos quais 15 km² se estendem desde a confluência com o Impamputo até a confluência com o Umbeluzi. O rio Movene é quase todo ele de característica nacional, tendo uma extensão de 105 km². Já o comprimento do rio Umbeluzi é de 314 Km² em território Moçambicano é de 80 km². (ARA-SUL, 2010).

Segundo Costa (2007) a geomorfologia fluvial engloba o estudo das Bacias Hidrográficas e das bacias de drenagens propriamente ditas. A primeira análise considera as principais características que condicionam o regime hidrológico. A segunda perspectiva se detém aos processos fluviais e às formas resultantes do escoamento das águas. Assim sendo, a caracterização de uma bacia hidrográfica está associada aos mais diferentes aspectos, tais como: geologia, geomorfologia, relevo, hidrologia, climatologia, biota e a ocupação do uso da terra.

Bacia Do Rio Umbeluzi Baixo curso

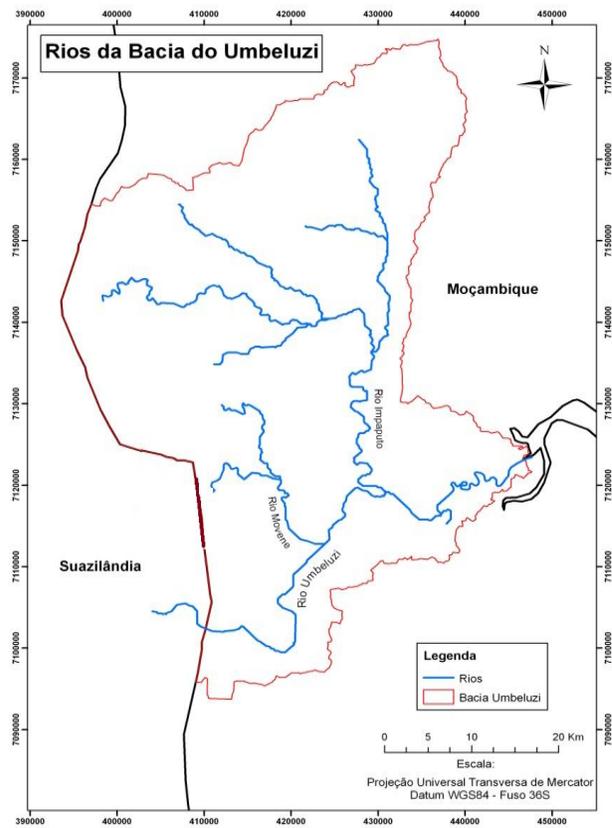


Figura: 5 Bacia Do Rio Umbeluzi Baixo curso

Fonte: Mapa elaborado pelo autor a partir Dados extraídos do programa STRM (2012)

A bacia do rio Umbeluzzi foi delimitada neste trabalho a partir de dados SRTM no modelo *Hydrology* (2000), e pode ser observada com mais detalhes na Figura 6.

Bacia do Rio Umbeluzi

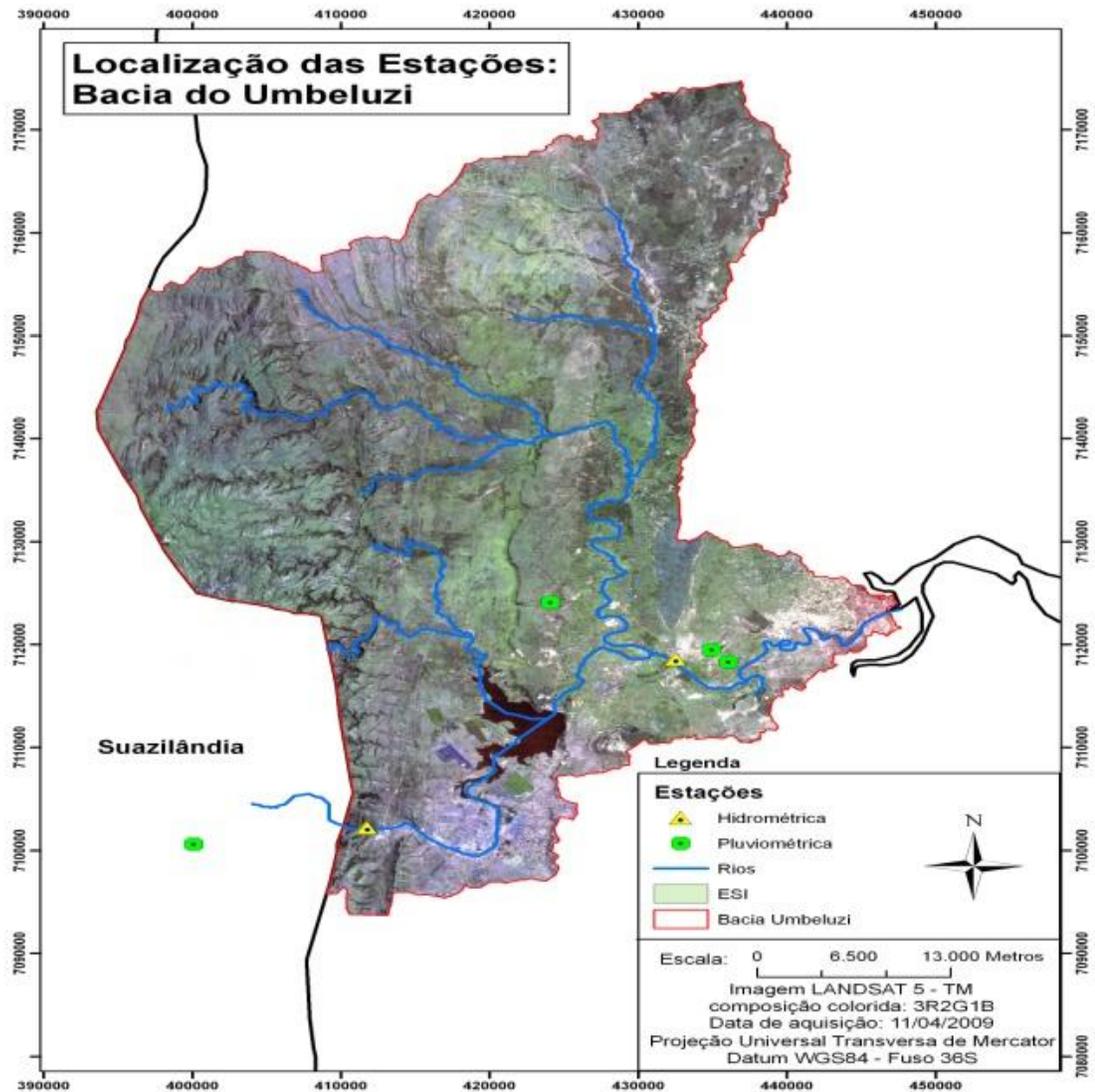


Figura: 6 Bacia do Rio Umbeluzi

Fonte: Mapa elaborado pelo autor a partir de dados extraídos do programa STRM (2012)

As sub-bacias do rio Umbeluzi foram delimitadas neste trabalho a partir de dados SRTM no modelo *Hydrology* (2000), e podem ser observadas com mais detalhes na Figura:(7).



Fonte: Mapa elaborado pelo autor extraídos do programa SRTM (2012)

Figura: 7

Ao atravessar uma garganta cortada nas cordilheiras dos Pequenos Libombos o rio Umbeluzi sofre um estrangulamento que foi aproveitado para a construção da Barragem dos Pequenos Libombos (Figuras 8 e 9), que foi construída com a finalidade de administrar o regime hídrico, captando água durante a época chuvosa para o abastecimento da cidade de Maputo (capital do País), da zona industrial do município da Matola e da área agrícola do distrito de Boane, sobretudo na época de estiagem. Entretanto, nos picos de chuva, a

capacidade de represamento é inferior ao volume de vazão, o que obriga a abertura das comportas, promovendo grandes inundações da planície adjacente, que, de fato, estende-se até a foz do rio, no Oceano Índico. Essas inundações promovem perdas humanas e materiais, e imensos prejuízos às atividades econômicas (rurais, urbanas e industriais), além de comprometer a qualidade da água do abastecimento doméstico, tornando-se urgente a criação de mecanismos de gestão dos recursos hídricos em toda a área da bacia, especialmente no seu baixo curso, a partir da entrada do rio no distrito de Goba.

1.2.7. Barragem dos Pequenos Libombos

Segundo ARA-SUL (2010), teve início em 1980 a construção da barragem dos Pequenos Libombos que foi concluída em 1998. Os objetivos principais desta barragem são:

- (i) regular o caudal do Rio Umbeluzi para garantir o abastecimento de água para consumo da Cidade de Maputo (capital de Moçambique), cidade da Matola, Distrito de Boane.
- (ii) garantir água para irrigação;
- (iii) controlar as cheias;
- (iv) Produzir energia elétrica.

A barragem possui as seguintes características:

- ✓ Capacidade de armazenamento: 400 milhões de metros cúbicos
- ✓ Capacidade útil: 350 milhões de metros cúbicos
- ✓ Área inundada: 38 Km²
- ✓ Nível de pleno armazenamento: 47 m
- ✓ Nível de máxima cheia: 49.55 m
- ✓ Desenvolvimento do coroamento: 1540 m.

A ARA-SUL fornece água em bruto para duas empresas de abastecimento, três empresas industriais e vinte e duas empresas agrícolas.

Barragem dos Pequenos Libombos(Comportas)



Figura: 8 – Barragem dos Pequenos Libombos(Comportas)

Fonte: ARA –SUL, 201

Vista por cima da baragem dos pequenos Libombos, distrito de Boane provincia de Maputo



Fonte: ARA-SUL, 2011.

Figura: 9 Vista por cima da baragem dos pequenos Libombos, distrito de Boane provincia de Maputo

1.2.8. Contexto Geoambiental da Bacia do Rio Umbeluzi

1.2.9. Aspectos da Geologia e do Relevo

O baixo curso da bacia do rio Umbeluzi apresenta, segundo LOPES (2011), formações geológicas do Cretáceo (riolitos e basaltos) com representações de eras mais modernas na área costeira/planície litorânea, onde formações pós-cretácicas estão cobertas por formações quaternárias representadas por dunas interiores e aluviões. Também são distribuídas, da foz para as nascentes, as aluvionares, arenitos, basalto, riolitos, novamente basaltos, calcários, xistos, rochas básicas e granito (Lopes, 2011).

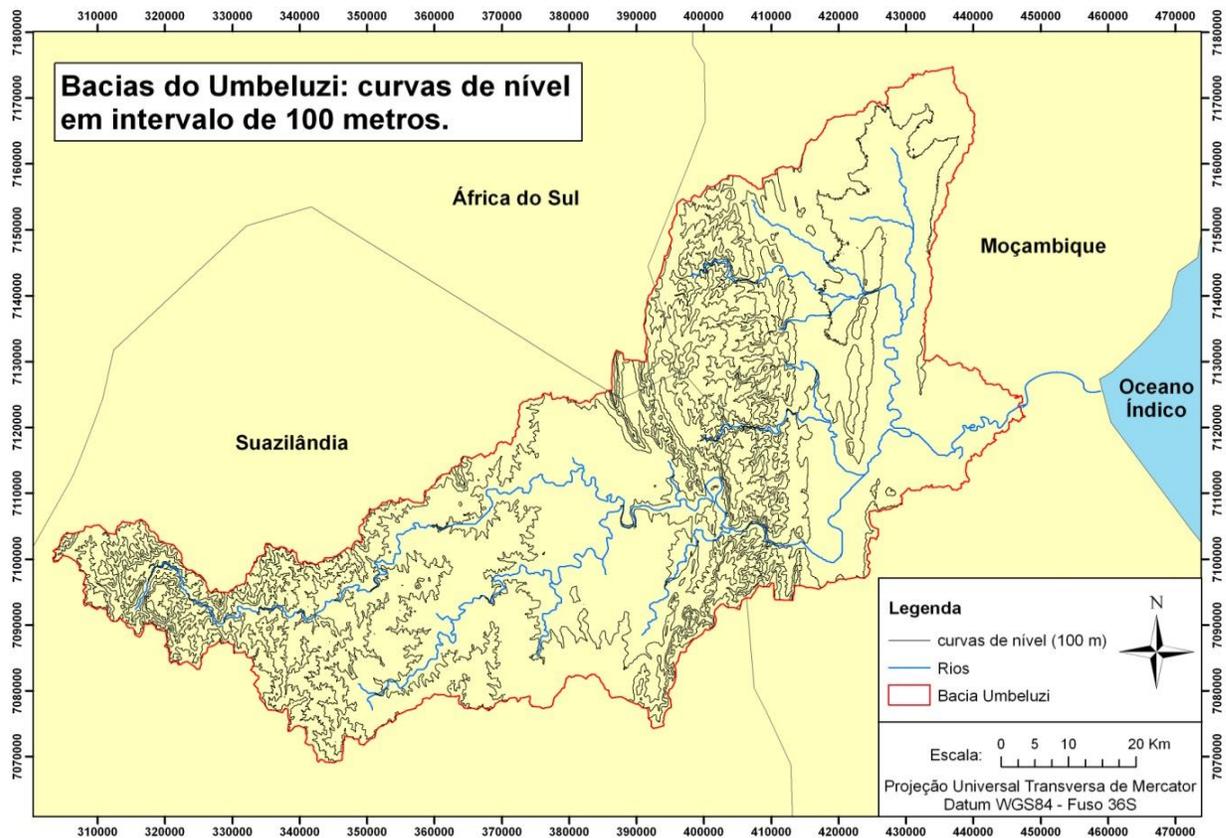
Segundo a interpretação da carta geológica e da nota explicativa de Afonso (1976, apud Lopes, 2011), a geologia regional do baixo curso da bacia do Rio Umbeluzi pertence ao complexo vulcânico dos Libombos-Karró Superior que se alongam na direção Norte-Sul. O mesmo complexo vulcânico é formado por riolitos, brecha tufa e cinzas vulcânicas geralmente de grão fino e médio, cuja coloração varia de vermelho a castanho. A sua estrutura é de bandas, lâminas, fenocristais de ortoclásio e oligoclásio, minerais maciços e uma criptocristalina. Encontra-se também, nas duas margens do rio Umbeluzi, coberturas quaternárias de materiais arenosos constituídas por depósitos aluvionares ou por aluviões com cascalho, quartzo, riolitos, alguns minerais e rochas. Estes depósitos são raramente eólicos e tem utilidade particular em obras de engenharia civil (Lopes, 2011).

O relevo do baixo curso da bacia do rio Umbeluzi é caracterizado, em geral, por uma paisagem levemente ondulada e sem grandes diferenças de altitude. Na parte norte, este e sudoeste apresenta uma paisagem com pequenas diferenças de nível, formando-se uma verdadeira planície. Em contraste, as regiões sul e oeste são marcados por uma variação gradual de altitudes que se estende até a cadeia dos Pequenos Libombos e o Distrito de Namaacha (Lopes 2011).

1.2.10. Topografia

Os mapas topográficos da bacia do rio Umbeluzi foram elaborados nesta pesquisa a partir dos dados do Modelo Digital de Elevação (MDE).

A topografia da bacia do Umbeluzi pode ser melhor observada a partir das Figuras (10) e (11) que representam as curvas de nível em intervalos de 100 e 50 metros respectivamente topografia da bacia do Umbeluzi pode ser melhor observada a partir das Figuras (10) e (11) que representam as curvas de nível em intervalos de 100 e 50 metros respectivamente.



Fonte: Fonte: Mapa elaborado pelo autor extraídos do programa SRTM (2012)

Figura: 10

Curvas de Nível em Intervalos de 50 metros do Baixo curso da bacia Hidrográfica do Rio Umbeluzi

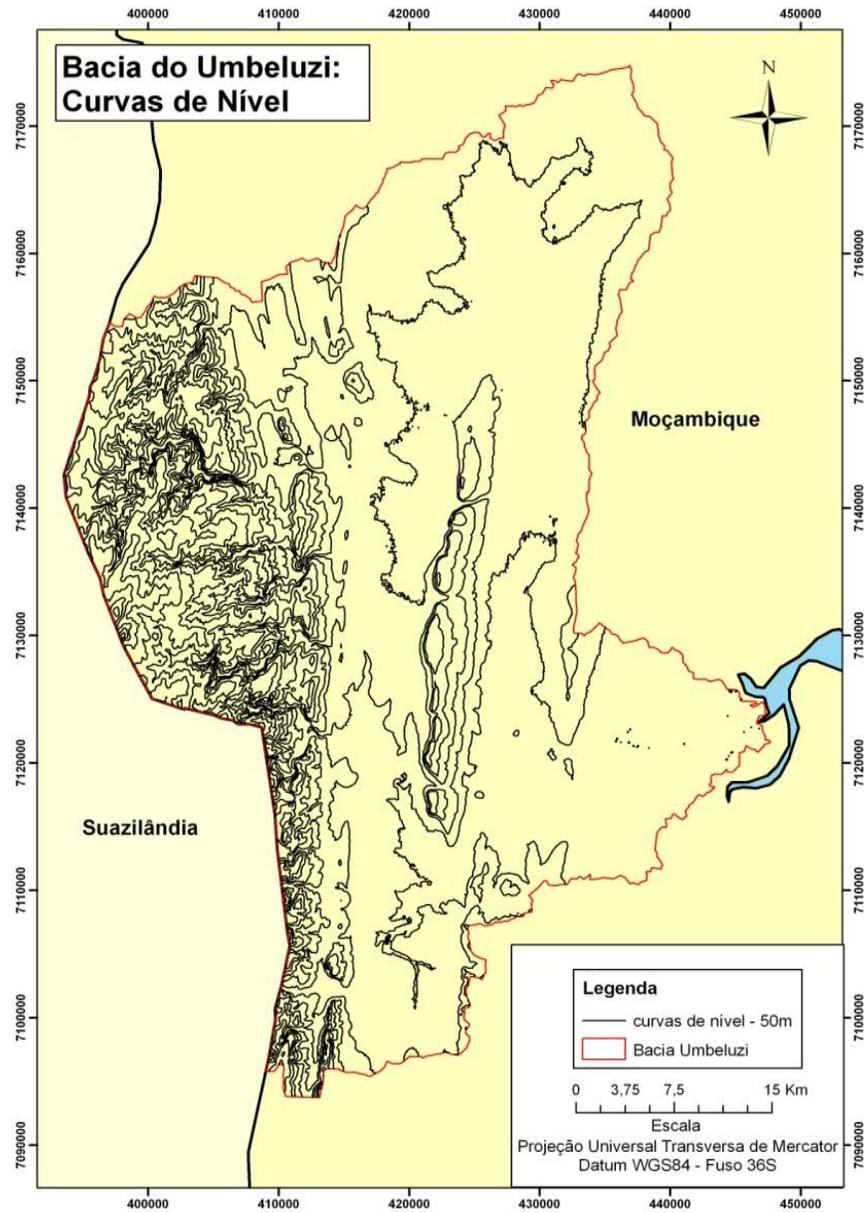


Figura 11:

Fonte: Mapa elaborado pelo autor extraídos do programa SRTM (2012)

A Figura (11) representa a topografia a partir das curvas de nível em intervalos de 50 metros, evidenciando melhor a amplitude altimétrica devida à cordilheira dos Libombos, que também marca a fronteira política do país com a África do Sul e o reino da Suazilândia.

1.2.11. Hipsometria

O mapa hipsométrico da bacia do rio Umbeluzi foi um dos produtos desta pesquisa, e nos permite visualizar que o mesmo tem suas nascentes em altitudes entre 1.200m à 1.823m, na Suazilândia, e abre-se em uma vasta planície entre 400 e 200 metros. Essa planície é formada a partir do confinamento provocado pela Cordilheira dos Libombos que se ergue até uma altitude de 600 metros, na fronteira da Suazilândia com Moçambique. Nessa cordilheira, o rio cortou uma profunda garganta, desaguando, mais abaixo, numa vasta planície, em altitudes entre 100 a 0 metros, indo desaguar no Oceano Índico. Nessa planície, que caracteriza o seu baixo curso, a drenagem cria uma vasta área de inundação no Distrito de Boane, Província de Maputo.

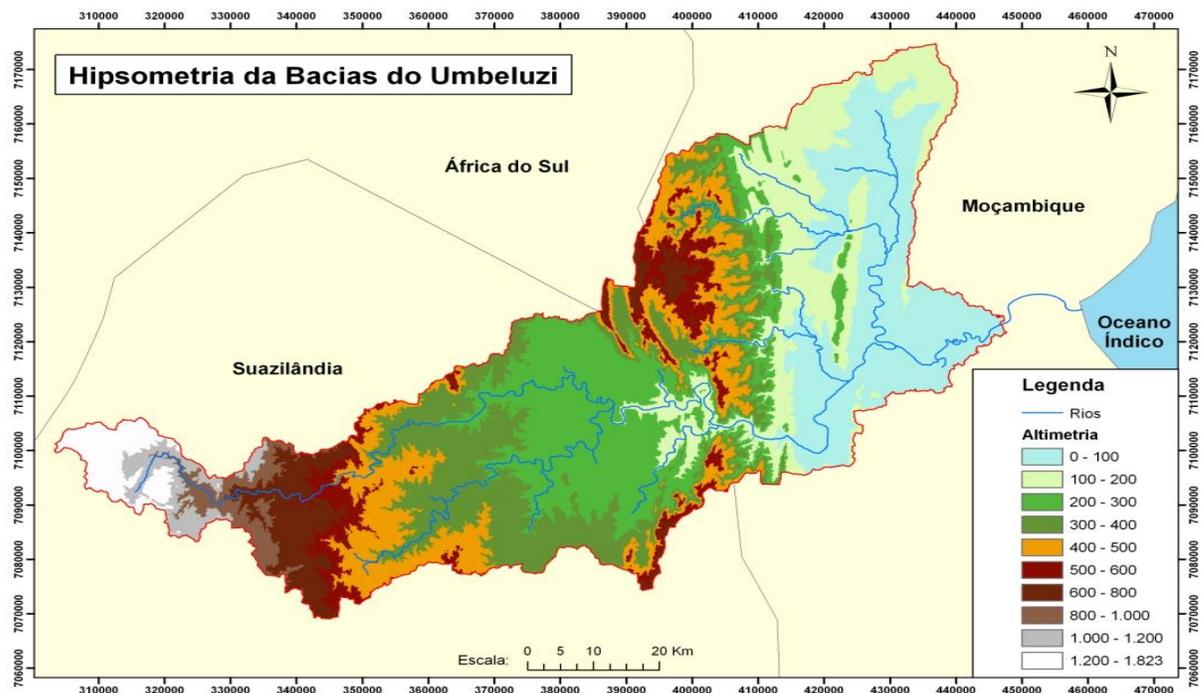


Figura 12: Hipsometria da bacia do rio Umbeluzi.

Fonte: Fonte: Mapa elaborado pelo autor extraídos do programa SRTM (2012)

1.2.12. Solos

São escassas as informações sobre os solos na área da bacia do rio Umbeluzi, havendo disponível a descrição do DINAGECA (Direção Nacional de Geografia e Cadastro) de 1997, que individualiza na área do baixo curso da bacia do Rio Umbeluzi três grandes grupos de solos:

- Solos fluviais de alta fertilidade, que abundam principalmente ao longo das margens dos rios Tembe e Umbeluzi, mais precisamente nos bairros de Belo Horizonte, Campoane, 25 de Setembro e Jossias Tongogara;
- Solos arenosos de fertilidade muito baixa e baixa retenção de água que ocupam grande parte da proximidade da Vila de Boane;
- Solos argilosos vermelhos que ocupam uma proporção espacial intermédia entre os bairros de Belo Horizonte, Campoane, 25 de Setembro e Jossias Tongogara.

A Figura 15 mostra a preparação de solos fluviais para a lavoura, cujo com potencial agrícola e pecuário é explorado por agricultores do setor privado e familiar, lavoura em solos fluviais da bacia do Umbeluzi, no bairro de Massaca, distrito de Boane, Província de Maputo.



Figura 15: lavoura em solos fluviais da bacia do Umbeluzi, no bairro de Massaca, distrito de Boane, Província de Maputo.

Fonte: foto do autor 2011

1.2.13. Cobertura Vegetal

Ao descrever as características da flora moçambicana e sua distribuição regional, Muchango (1999) considera que Moçambique está situada na região sudano-zambezíaca, da qual também fazem parte a Tanzânia, o Malawi, a Zâmbia, o Zimbabwe, o Botswana e a Swazilândia.

Em função do meio geográfico em que se desenvolve e do grau de intervenção humana, a flora moçambicana pode subdividir-se em: terrestre, aquática e cultural. A composição e distribuição de sua flora terrestre estão relacionadas com sua posição geográfica na zona subequatorial, tropical do Hemisfério Sul e também na área da costa oriental e austral do continente africano. Além disso, as condições regionais e locais do clima,

relevo, rios, lagos, rochas, solos e a distância em relação ao Oceano Índico exercem influência sobre a composição e distribuição da flora terrestre (MUCHANGO, 1999).

A localização de Moçambique na região florística sudano-zambeziaca e as condições climáticas condicionam o desenvolvimento de variedades de associações vegetais hidrófilas, mesófilas e xerófilas de floresta e de savanas arbóreas e arbustivas. As diferenças na distribuição, composição, densidade e variedade de espécies se devem aos fatores de: latitude, alternância entre as terras altas e as depressões, continentalidade, natureza pedológica, condições de água, de solo e o grau de intervenção humana. Estes fatores provocam diferenças espaciais na distribuição da vegetação.

A área de dispersão da floresta está relacionada com o clima, continentalidade, altitude e as condições edáficas. Ela apresenta características mesófilas- subequatoriais com grande diversidade e tamanho de árvores que atingem até 35 m de altura. Para esta floresta, o clima subequatorial do norte do país e de todo o litoral oferece as melhores condições para o seu desenvolvimento devido às características de umidade e pluviosidade. Ela se desenvolve preferencialmente em áreas onde a pluviosidade é superior a 1000 mm³ por mais de cinco meses e tem o carácter de floresta sempre verde, MUCHANGO (1999).

Trata-se de uma floresta que possui grande densidade de estrato arbóreo, árvores de tronco grosso com amplas copas que se elevam até a uma altura de 10 a 20 m. Em geral, suas folhas são pequenas e caducas, raramente largas e perenes. O estrato herbáceo é pobre e constituído por gramíneas curtas.

Segundo MUCHANGO (1999), na área de estudo, a vegetação original era formada por floresta densa ou aberta, existindo dominância das espécies da família das *sapotaceae*. Essas florestas localizavam-se na cordilheira dos Libombos, porém, devido à ação dos derrubes das queimadas para o fabrico do carvão, grande parte das encostas passou a ser amplamente recoberta por savanas, encontrando-se florestas reduzidas em pequenas manchas, em solos argilosos mais ou menos pedregosos de origem basáltica ou riolítica, menos propensos a agricultura.

Na planície do Umbeluzi, formada logo após a transposição da cordilheira dos Pequenos Libombos, predominava a floresta aberta com savana de *Albizia*, *Afzeli*, *Sclerocarva*, *Strychnos*. Essa vegetação hoje se encontra pouco preservada, dando lugar às áreas de pastagem e agricultura, apresentando manchas de savana secundária e árvores de fruto espontâneas ou subespontâneas (Muchangos,1999).

A savana arbórea também floresce nas altitudes médias dos vales inferiores dos rios sendo caracterizada por vários subtipos que correspondem com as variações edáficas. È uma vegetação de caráter xereofílicos que aumenta com a salinidade, ocorrendo em solos salinos, argilosos ou arenosos e em áreas restritas. Esta forma de vegetação integra, em geral, as pastagens e tipos de themeda-turbina (Muchangos, 1999).

A figura 16 e 18 ilustram o tipo de vegetação terrestre mais caracterísitco do vale do Umbelize, a vegetação de savana arbustiva e arbórea.



Figura: 16

Fonte; Autor 2011

Figura 17: vegetação de savana arbustiva típica da região do vale do rio Umbeluzi, em Mafuiane, no distrito de Namaacha, província de Maputo.



Figura: 17

Fonte: Autor 2011

Figura 18: vegetação de savana arbustivo-arbórea típica do vale do rio Umbeluzi, em Mafuiane, no distrito de Namaacha, província de Maputo.



Fonte: Autor 2011

Figura 18: vegetação arboria arbustiva

Os corpos hídricos da zona sul de Moçambique estão tomados por plantas aquáticas. Isto, segundo ARA-SUL (2010), é motivo de grande preocupação, uma vez que as plantas estão largamente distribuídas em quase toda extensão da bacia do Umbeluzi, com maior abundância da *Azolla filiculoides* e *Trapanansem* em alguns pontos. Essas plantas aquáticas são denominadas invasivas, pois têm a capacidade de se fixar e crescer fora do seu intervalo natural de dispersão. Também podem ser introduzidas acidentalmente através das atividades humanas, dos cursos de água e ainda quando são utilizadas para algum propósito específico,

tornando-se prejudiciais devido ao seu rápido crescimento. As Figuras 19 e 20 ilustram a ocorrência da vegetação aquática em corpos hídricos no vale do rio Umbeluzi.

Figura 17e 18: Plantas Aquáticas na albufeira da Barragem dos Pequenos Libombos



Figura: 19

Fonte: ARA-SUL



Figura: 20

Fonte: ARA-Sul, tipo de vegetação aquática abundante no vale do rio Umbeluzi.

1.2.14. Clima:

Os tipos de clima em Moçambique (Figura: 21 e 22) são determinados pela localização da zona de baixas pressões equatoriais, das células anticiclônicas tropicais e das frentes polares do Antártico (MUCHANGO, 1999). O litoral moçambicano sofre influências da corrente quente denominada Moçambique - Agulhas e dos correspondentes ventos dominantes marítimos do quadrante este.

Caracteristicamente o clima de Moçambique apresenta duas estações bem marcadas: uma chuvosa (meses de outubro a março) e seca (meses de abril a setembro). O carácter predominantemente tropical do clima moçambicano se define, sobretudo, pela coincidência entre o período de chuvas e o período quente, e pela amplitude térmica anual muito baixa, sendo, em todo País, inferior à amplitude térmica diária (Muchangos, 1999).

Muchango (1999) registra que a temperatura média anual é superior a 20° C, exceto nas montanhas das Províncias de Niassa, Zambézia, Tete e Manica, onde ocorrem temperaturas inferiores a 16°C condicionadas pela altitude. Segundo esse mesmo autor, as temperaturas mais elevadas ocorrem entre os meses de dezembro a fevereiro, podendo as máximas de temperatura atingir 38° C e até mesmo 49° C. Os meses de junho e julho são os mais frios.

O período das chuvas, que tem início em outubro, é mais curto que a fase das secas, exceto em algumas regiões costeiras onde as chuvas duram aproximadamente seis meses.

A influência oceânica contribui para certa uniformização do clima de toda a zona litorânea onde a temperatura média é da ordem de 24° C e a pluviosidade varia de 800 a 1.400 milímetros (MUCHANGO, 1999). Já as regiões mais afastadas do litoral apresentam climas secos e semiáridos.

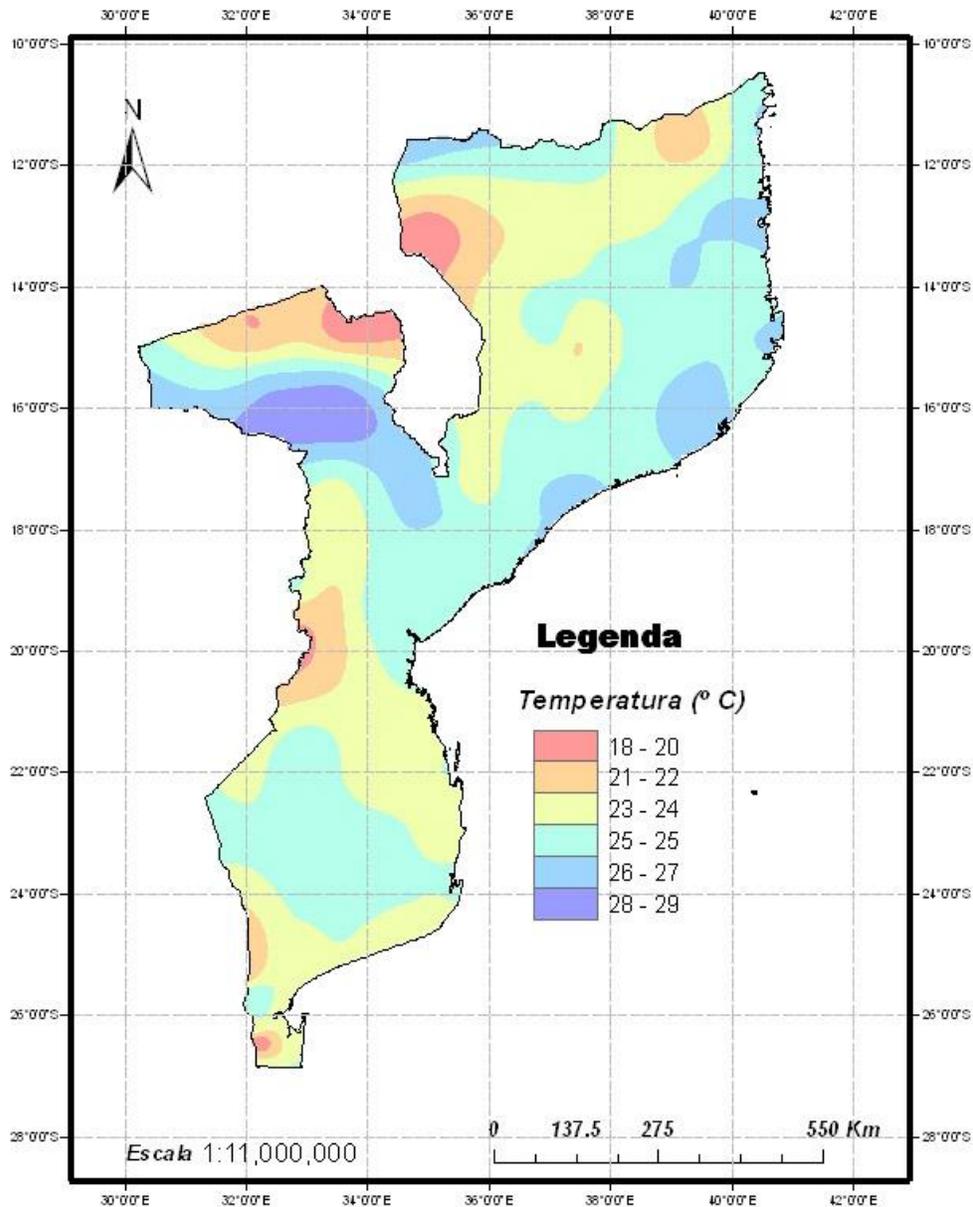


Figura. 21 e 22: Distribuição dos tipos de clima em Moçambique

Fonte: INAM, (2010).

1.2.15. Clima na área do baixo curso da Bacia do Rio Umbeluzi

Segundo o relatório da CONSULTC (1992) o clima na parte sul da bacia do rio Umbeluzi pode ser definido, pela classificação de Koppen, como clima seco de estepe (**BS**);

enquanto na região de Goba, o tipo de clima é tropical chuvoso de savana (**Aw**). Já na parte norte da mesma bacia predomina o tipo seco de estepe com estação seca no inverno (**Bsw**) e na zona ocidental, numa pequena área junto a Namaacha clima é temperado úmido sem estação seca (**Cf**).

A precipitação média cresce da costa até a Cordilheira dos Libombos, partindo de 600 mm³ e atingindo 900mm³. Ela decresce no flanco ocidental da cordilheira dos libombos para 600/700 mm³, aumentando sucessivamente até 1300 mm³ na região mais ocidental da bacia. No mês de novembro, a época das chuvas tem início na área litorânea. Em outubro, nos Libombos, terminando respectivamente em abril/março. A duração da precipitação é de cerca de 6 meses, chegando a 7/8 meses na região da Namaacha. A maior concentração de chuvas se registra de dezembro a fevereiro (Estudos Hidrológicos, 1974, apud CONSULTC, 1992).

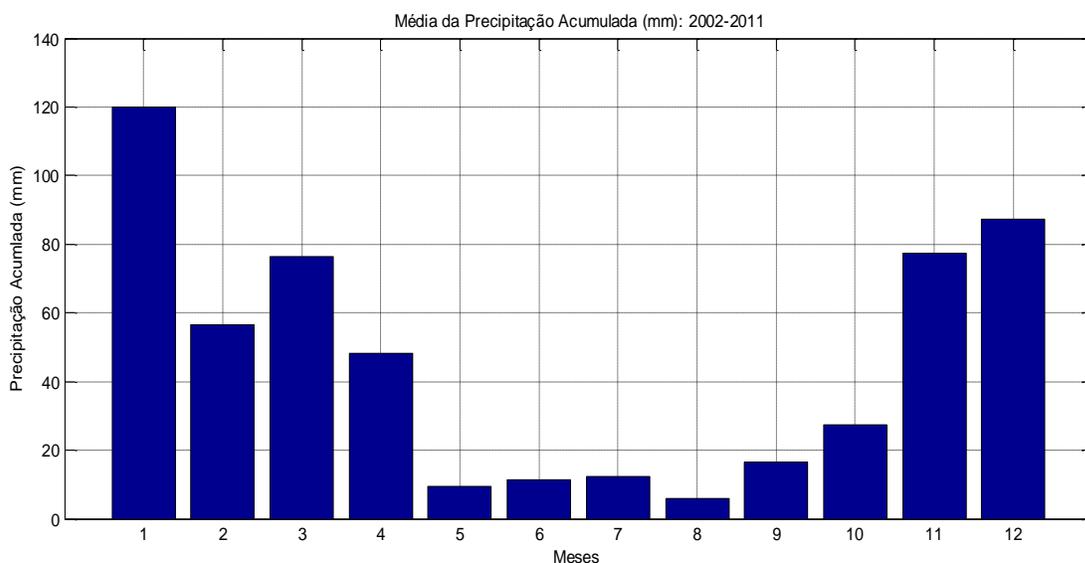
Lopes (2011) classificou o clima na área do baixo curso da bacia do rio Umbeluzi como subúmido, com intensa variação do regime pluvial ao longo do ano. Segundo este autor, a temperatura média anual é de 24°C, sendo os meses de junho e julho o período do ano mais frio, e janeiro e fevereiro, o mais quente. A amplitude térmica anual é de 8,8°C. A umidade relativa média anual é de 80,5%, variando de um valor máximo de 86% em Julho a um valor mínimo de 73,55%, em novembro.

A pluviosidade média anual (PMA) é de 752mm³, variando entre os valores médios de 563,6mm³ no período úmido e 43,6mm³ no período seco, havendo propensão a ciclones, depressões, cheias e secas, que levam a grandes desastres. Dentre estes mencionados Lopes (2011) destaca:

- Ciclone El-Nino em 2003 que causou danos significativos á produção agrícola e à infraestrutura econômica e social;
- As grandes secas nos anos 1983, 1990 e 1991;
- As cheias de grande relevo em 1984 e 2000.

No desenvolvimento deste trabalho, constatou-se, a partir da análise dos dados de precipitação dos últimos 10 anos (período de 2002 a 2011), obtidos das estações pluviométricas da ARA-SUL, localizadas dentro da área da bacia, no baixo curso do rio Umbeluzi, nos distritos de Goba e Boane (vide capítulo dos resultados desta

dissertação), que a média do total de precipitação mensal acumulada (Figura 21) caracteriza dois períodos bem distintos, uma estação seca nos meses de maio a outubro, e uma estação chuvosa que ocorre nos meses de novembro a abril. Essa distinção diverge daquela tradicionalmente dada para o clima de Moçambique, que aponta os meses de abril a setembro como meses de seca, e outubro a março como meses de maior umidade.



Fonte: produzido pelo autor 2012.

Figura 23: Média do total de precipitação mensal acumulada entre os anos de 2002 a 2011

Na análise do total acumulado de precipitação nos meses de seca (abril a setembro), constatou-se uma média de 84mm³, com grande variabilidade registrada entre os anos, detacando-se o ano de 2009 como o ano mais seco, com precipitação total de 10 mm³, contrastando com o total de 200mm³, registrado em 2011.

Já no período úmido (outubro a março), a média do total acumulado de precipitação foi de 359 mm³, variando entre 680 mm³ precipitados no período úmido de 2011, o ano mais chuvoso, e 150mm³ precipitados no período úmido de 2003, o ano mais seco (Figura 23)..

1.2.16. Aspectos Meteorológicos

A dinâmica meteorológica da região do baixo curso de rio Umbeluzi caracteriza-se pela ação das baixas pressões, provocando chuvas contínuas de grande intensidade com trovoadas dispersas (MUCHANGO, 1999).

A ação dos alísios úmidos reforçam as condições de ocorrências de chuvas orográficas em época chuvosa sobre o planalto Sul Africano, onde se formam baixas pressões, de origem térmica, que afetam o estado do tempo na região sul de Moçambique; e massas de ar instáveis que dão origem às nuvens densas e ventos fortes. Nessa mesma região, nos meses mais frios, a entrada de massas frias formam sistemas frontais resultantes do contato com a massa de ar quente, originando aguaceiros, com precipitação em forma de granizo e saraiva (chuvas com ventos).

2. Fundamentação Teórica

O conceito de bacia hidrográfica define-se segundo Tucci (1997) uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída. Ela é composta por um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no seu exutório. Pode ser então considerada um ente sistêmico onde se realizam os balanços de entrada de água proveniente da chuva, e saída de água através do exutório, permitindo assim que sejam delineadas bacias e sub-raciais cuja interconexão se dá pelos sistemas hídricos.

O Manual sobre A Gestão Integrada dos Recursos Hídricos (2009) publicado pela Parceria Global de Água e a Rede Internacional das Bacias Hidrográficas (INBO) reconhece a bacia hidrográfica como a unidade para o planejamento da gestão dos recursos hídricos. Como unidade de planejamento, e considerando que muitas bacias não respeitam linhas de demarcação territoriais, o desafio que se impõe fundamentalmente é que a gestão dos recursos hídricos seja feita de forma integrada.

Wolf (2011) esclarece que os recursos hídricos de bacias de rios transfronteiriços estabelecem elos entre os usuários de diferentes países dentro de um único sistema. “As águas transfronteiriças são amplamente partilhadas entre nações, regiões, grupos étnicos e comunidades, e o seu consumo à montante determina as opções à jusante, em termos de gestão, criando cenários para disputas ou para cooperação”. (Calhman, 2008)

Segundo Wolf et al (2005), as disputas podem ser atribuídas a três questões-chaves: quantidade, qualidade e oportunidade, sendo, dentre as três, a quantidade o motivo mais óbvio.

Para gerenciar as tensões que emergem deste uso compartilhado e muitas vezes desigual, a gestão dos recursos hídricos em bacias de rios transfronteiriços precisa ser governada por leis e acordos internacionais, que podem ser em nível mundial, regional, bem como no âmbito de nações que partilham determinada bacia (Wolf, 2011).

A bacia do Rio Umbeluzi representa um desses desafios, já que é partilhada por três países: Moçambique, Suazilândia e África do Sul. Com demandas próprias e agendas nacionais diferenciadas com relação à gestão dos recursos hídricos, esses três países precisam encontrar um termo de cooperação para a gestão efetiva dos recursos da bacia que proporcionem a todos o alcance de seus objetivos.

Existem, porém, dificuldades específicas para uma abordagem centrada na bacia hidrográfica como unidade espacial, como, por exemplo, a questão dos dados administrativos e a gestão da água subterrânea.

No primeiro caso, a maior parte dos dados de bacias transfronteiriças é colhida nacionalmente, exceto em alguns casos raros que são extraídos em períodos diferentes, com uso de distintos métodos de recolha e armazenamento, assim como a utilização de diversas abordagens e tecnologia (Ward and Robinson, 2000).

Por outro lado, verifica-se que uma abordagem centrada na bacia hidrográfica implica no uso de métodos e metodologias de análise que precisam ser compatíveis, tanto em relação às técnicas de obtenção de dados que atendam às exigências estabelecidas em cada país, como

para os instrumentos de verificação e análise dos dados colhidos, levando à necessidade de adoção de um programa adicional mais abrangente. Ou seja implica na adoção de uma metodologia comum, assim como métodos e instrumentos, algo que pode ser bastante dispendioso.

Numa outra perspectiva, levando-se em consideração que o levantamento de dados centrado na bacia hidrográfica utilize as águas de superfície como base de planejamento e gestão, é relevante mencionar que nem sempre todas as águas subterrâneas são integradas na análise da bacia, uma vez que nem sempre as águas abaixo do nível do solo estão dentro dos mesmos limites que os das superficiais (Ward and Robinson, 2000).

Essa não correspondência entre os limites da bacia hidrográfica (águas superficiais) e os limites da bacia hidrogeológica subjacente (águas subterrâneas) leva a considerações que devem ser feitas quanto ao fluxo das águas, particularmente naquilo que se refere ao cálculo do Balanço Hídrico.

2.1. As Bacias Hidrográficas da África Austral

Existem quinze bacias fluviais transfronteiriças na Comunidade para o Desenvolvimento da África Austral (SADC) que são partilhadas por dois ou mais países. Elas se estendem desde a bacia fluvial do grande rio Congo (3 730 470 km², na região norte da SADC) até a bacia fluvial do rio Umbeluzi (5 500 km², a sudeste).

A bacia do rio Zambeze (1 390 000 km²) abrange quatro estados membros da SADC. Estima-se que cerca de 70% dos recursos hídricos na região da SADC sejam partilhados por mais de um país. Portanto, uma das características da região é a partilha de sistemas de cursos d' água, abrangendo os direitos sobre a água muito complexa e conflitos potenciais sobre a utilização dos recursos partilhados SADC (2003).

A tabela que a seguir arrola as bacias fluviais de acordo com as seguintes características: área da bacia hidrográfica; extensão do rio; média anual de escoamento e os estados ribeirinhos nelas incluídos; as áreas de drenagem que são também designadas por

bacias hidrográficas, incluindo toda a terra desde a sua origem até a sua foz (Dunne and Leopold 1978).

Principais Rios transfronteiriços em África

Rios	Área fluvial (km ²)	Extensão dos Rios (km ²)	*MAR (Mm ³)	Estados ribeirinhos
Búzi	31 000	250	2,5	Zimbábue, Moçambique
Congo	3 730 470	4 700	1 260 000	Angola, Burundi, Ruanda, República Central Africana, Tanzânia, Congo, Camarões, RD do Congo, Zâmbia.
Cuvelai	100 000	430	Ephemeral	Angola, Namíbia
Incomáti	49 965	480	3,5	África do Sul, Suazilândia, Moçambique.
Kunene	106 500	1 050	5,5	Angola, Namíbia.
Limpopo	408 000	1 750	5,5	Botsuana, África do Sul, Zimbábue, Moçambique.
Maputo-Usutu-Pongola	32 000	380	2,5	África do Sul, Suazilândia, Moçambique.
Nilo	3 254 555	6 700	86	Tanzânia, Burundi, Ruanda, Quênia, Uganda, RDC do Congo, Eritreia, Etiópia, Sudão, Egipto.
Okavango	530 000	1 100	11	Angola, Namíbia, Zimbabué, Botsuana
Orange-Senqu	721 000	2 300	11,5	Lesoto, África do Sul, Botsuana, Namíbia.

Púngue	32 500	300	3	Zimbabué, Moçambique.
Rovuma	155 500	800	15	Tanzânia, Malawi, Moçambique.
Save/Sabi	106 420	740	7	Zimbabué, Moçambique.
Umbeluzi	5 500	200	0,6	Suazilândia, Moçambique.
Zambeze	1 390 000	2 650	94	Angola, Namíbia, Botsuana, Zimbabué, Zâmbia, Malawi, Tanzânia, Moçambique.

Tabela 1: Representação dos principais Rios transfronteiriços em África

Fonte: Apod ARA Sul (2010).

2.2. Revisão dos Instrumentos de Gestão Nacional e Transfronteiriça

Protocolo de Partilha dos Cursos de Água da SADC

A Comunidade para o Desenvolvimento da África Austral (SADC) tem origem na Conferência para coordenação do Desenvolvimento da África Austral (SADCC) que foi realizada em 1980 em Lusaka, capital da Zâmbia. O principal objetivo da SADCC era coordenar os projetos de desenvolvimento para redução da dependência econômica em relação à África do Sul, onde até então vigorava o regime apartheid. Os estados membros eram a Angola, Botsuana, Lesoto, Malauí, Moçambique, Suazilândia, Tanzânia, Zâmbia e Zimbábue. Em 17 de agosto de 1995, na cidade de Windhoek (Namíbia), A SADCC foi transformada em SADC.

Atualmente a SADC possui 15 estados membros, representados na Figura (24). Os seus objetivos são: a coordenação do uso sustentável dos recursos naturais e a proteção efetiva do ambiente. Em 1995, na Cidade de Johannesburgo, África do Sul, foi criada o protocolo dos cursos de água partilhados na SADC e representou o primeiro protocolo setorial desta comunidade (Boroto, 2004, apud Barros, 2009).

2.2.1. Países da região da África Austral (SADC)

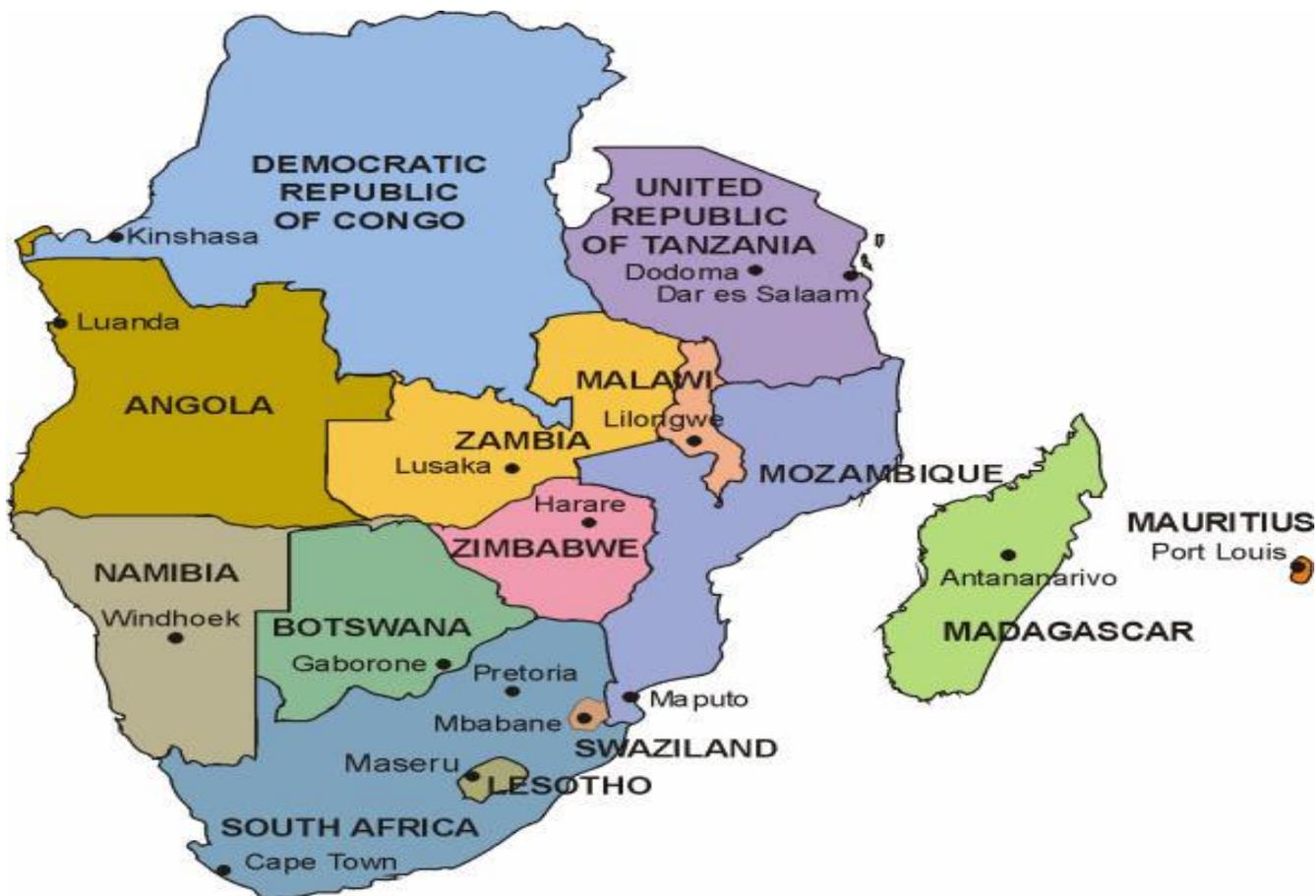


Figura 24: Países da região da África Austral (SADC)

Fonte: Apud Barros (2009).

Este acordo se inspirou nas Regras de “Helsinque 1966” que estabeleceu a necessidade de criação de instituições de bacias de rios transfronteiriças que se encarregariam da gestão dos recursos hídricos dessas bacias. O Protocolo de Águas da SADC de 1995 não estava em conformidade com os novos desenvolvimentos mundiais em matéria de leis internacionais, tal como a Convenção das Nações Unidas sobre Direito do Uso dos Cursos de Águas Internacionais para Fins Distintos da Navegação.

Depois que os países aprovaram essa convenção - embora ela ainda não tenha sido ratificada por um número suficiente de países para sua entrada em vigor - em 2002 foi assinado outro protocolo denominado Protocolo Revisado de Partilha das Águas da SADC. O mesmo salvaguarda a maioria dos princípios contidos nas legislações internacionais sobre bacias de rios transfronteiriças.

2.2.2. Modelo de Gestão de Recursos Hídricos de Moçambique

Para a gestão dos recursos hídricos o governo moçambicano criou mecanismos legais e institucionais, que serão apresentados a seguir.

2.2.3. Mecanismos Legais

Os instrumentos legais para a gestão dos recursos hídricos incluem a Lei das Águas (1991); a Política Nacional de Águas (1995), sendo posteriormente revisada em 2007; a Política Tarifária de Águas (1998) e um conjunto de decretos.

2.2.4. Lei das Águas (1991)

A Lei das Águas (1991) considera como domínio público do recurso hídrico: as águas interiores, as superficiais e os respectivos leitos e as subterrâneas. Além disso, todas as respectivas águas descritas anteriormente são tidas como propriedades do Estado-Nação. Constituem ainda domínio público hídricos as obras, equipamentos hidráulicos e suas dependências realizadas pelo Estado-Nação ou por sua conta.

Essa lei introduz a descentralização na gestão dos recursos hídricos, cooperação institucional, participação pública na tomada de decisão, licenciamento no uso da água, princípio de poluidor pagador, o papel do setor privado no desenvolvimento dos recursos hídricos, cooperação internacional em rios compartilhados, bacia como unidade de gestão dos recursos hídricos e a necessidade da preservação, uso eficiente e sustentável dos recursos hídricos e as prioridades no abastecimento (Lei da Água, 1991, apud Barros 2009).

No que cabe à cooperação internacional, a lei prevê adoção de medidas de gestão coordenadas entre os países envolvidos numa mesma bacia, tendo em conta os interesses de cada um, bem como o uso equitativo e exploração conjunta dos recursos hídricos.

2.2.5. Política Nacional de Águas de Moçambique 2007

A Política Nacional de Águas, revisada em 2007, preconiza em seus objetivos a redução da vulnerabilidade das cheias e secas através de uma coordenação e planeamento, uso de medidas estruturais e não estruturais em áreas ciclicamente afetadas; promoção da paz e integração regional e garantia de recursos hídricos para o desenvolvimento de Moçambique através da gestão conjunta da água em bacias hidrográficas compartilhadas.

As políticas principais incluem:

- Adoção da gestão integrada dos recursos hídricos, considerando a bacia hidrográfica como unidade fundamental.
- Gestão e planeamento que respeita a relação intrínseca entre águas superficiais e subterrâneas, aspectos relacionados com a qualidade e quantidade, preservação ambiental e necessidades ambientais.
- Dar à água um valor econômico que ultrapasse o seu valor social;
- Aumento da participação dos tomadores de decisão através da descentralização;
- Promoção do papel da mulher na gestão da água;
- Educação em água;
- Melhoramento no inventário dos recursos hídricos e registro dos usuários da água (Política Nacional da Água, 2007, apud Barros, 2009).

Mecanismos Institucionais

Distinguem-se três níveis institucionais, a saber: nacional, regional e local.

2.2.6 Nível Nacional

O Conselho Nacional de Águas (CNA), criado sob a égide da Lei das Águas (1991), é um órgão consultivo do Conselho de Ministros para a implementação das políticas da água e outros aspetos relevantes para a gestão da água. Tomam parte deste conselho todos os Ministérios interessados no setor da água, sendo presidido pelo Ministério das Obras Públicas e Habitação: responsável pelo controle e direcionamento do setor das águas a nível superior, (Barros, 2009).

Dentro do Ministério das Obras Públicas e Habitação se encontra a Direção Nacional da Água que é responsável pela elaboração e implementação das políticas da água, planeamento e gestão dos recursos hídricos e promoção da cooperação em bacias de rios compartilhados (Barros, 2009).

2.2.7. Nível Regional e Local

Sob a tutela da Direção Nacional da água estão respectivamente as Administrações Regionais de Águas (ARAS). Estas têm a função de promover a gestão operacional e desenvolvimento dos recursos hídricos no nível da bacia hidrográfica. (Barros, 2009).

As ARAS podem incluir uma ou mais bacias hidrográficas e são dotadas de personalidade jurídica e administrativa, autonomia financeira e patrimonial. Elas são constituídas por Unidades de Gestão de Bacias¹² (UGBs). Cada UGB compreende Comitês de Bacias (CBs) que são representados por todos os tomadores de decisões (NORAGRIC, 1997, apud Barros, 2009), incluindo os usuários da bacia, municípios e investigadores.

Os CBs são órgãos de consulta em questões tais como o plano de alocação anual da água, projetos de desenvolvimento dos recursos hídricos e mitigação de eventos hidrológicos extremos. Também fornecem informações necessárias à UGB sobre o registro de novos usuários (Kramer, 2003, apud Barros, 2009).

2.2.8. Estágio Atual

As instituições criadas para a gestão dos recursos hídricos não são completamente descentralizadas ou centralizadas (Carmo Vaz & Pereira, 2000, apud Bakker, 2006, apud Barros, 2008) e algumas funções são desempenhadas por todas elas, criando dessa forma cenários confusos em termos de responsabilização por certos atos (Comunicação pessoal, Vaz, apud Barros, 2008).

As (ARAS) desempenham papel crucial no processo de descentralização da gestão dos recursos hídricos, porém elas têm mostrado uma lentidão na criação de instituições e mecanismos facilitadores, tais como comitês de bacias, registro de usuários, planos de bacias e entre outros.

2.3. Dinâmica hidrológica da bacia

O conhecimento da dinâmica hidrológica de um curso fluvial e de sua bacia é um dos mais valiosos instrumentos para a gestão das águas, e pode ser definido através de estudos hidrológicos que conciliam dados de precipitação, chuvas excedentes, escoamentos superficial e subsuperficial, e vazão fluvial.

O hidrograma de uma onda de cheias é formado pela sobreposição de dois tipos de fluxos provenientes do escoamento superficial e outro da contribuição do lençol freático. Consideram-se englobados no escoamento superficial a contribuição do escoamento superficial, do escoamento subsuperficial e a vazão proveniente da precipitação sobre o canal do rio.

Assim, quando se inicia a fase de cheias, os primeiros acréscimos sensíveis são por causa, exclusivamente, do escoamento superficial, pois este sofre os efeitos da precipitação. Por outro lado, o escoamento subterrâneo, pela natureza do fenômeno da infiltração, tarda em receber a influência da água precipitada e é regido, nos primeiros instantes, pela própria curva de depleção. Após certo intervalo de tempo, devido a continuidade do próprio processo de infiltração e conseqüente elevação de nível do lençol freático, a descarga subterrânea sofre uma intensificação que apresenta naturalmente um desenvolvimento menos acentuado que aquele do escoamento superficial. Um novo período de depleção tem lugar depois de cessar o efeito da precipitação, quando a contribuição subterrânea retorna a obedecer a sua lei normal de variação. O hietograma da chuva excedente representa a parcela do hietograma que contribui diretamente para o escoamento superficial direto na bacia, isto é, a parcela da precipitação que não infiltra (Ruben, 1999).

A bacia do Umbeluzi é vulnerável as cheias resultantes chuvas intensas e pelo fato de se encontrar na jusante da maioria dos rios que nascem nos países vizinhos. Nesta bacia, destacam-se cinco eventos de cheias catastróficas: as cheias de 1966, de 1972, de 1974, de 1984 e do ano de 2000. As cheias de 1972, 1974 e 2000, foram associadas a precipitações intensas, enquanto as catástrofes de 1966 e 1984 estiveram associadas aos ciclones tropicais Claude e Demoina, respectivamente.

A cheia de 1984, associada ao ciclone Demoina ocorreu antes da construção da barragem dos Pequenos Libombos, e foi a pior de todas as enchentes, tendo causado enormes danos humanos e materiais. As cheias do ano 2000 foram também catastróficas, ocorrendo como resultado de chuvas intensas. Entretanto, estas últimas não representam um dano significativo se compararmos com as cheias ocorridas no mesmo ano e noutras bacias espalhadas pelo país, que foram de magnitude bem superior.

O ciclo hidrológico pode ser definido segundo Guerra (1998) como o ponto de partida para o processo erosivo. Durante o período de chuva, a água cai no solo, independentemente da cobertura vegetal. A ação das gotas de chuva causam a erosão por salpicamento. A água se infiltra no solo e quando o mesmo não consegue mais absorvê-la, o excesso escoar na superfície ou na subsuperfície, arrastando assim as partículas do solo.

A quantidade de solo desestruturado depende da intensidade da precipitação, da velocidade e do tamanho das gotas de chuva (Pereira,2000). A intensidade de precipitação é o fator pluviométrico mais importante. Ela e a duração da chuva determinam a erosividade, (a capacidade de provocar a erosão) de um evento chuvoso. A frequência também influi no processo de erosão hídrica, pois chuvas que ocorrem num intervalo menor aumentam a umidade do solo, aumentando portanto a enxurrada. Já em longos períodos com ausência de chuva, a vegetação sofre por falta de água, reduzindo a proteção natural do solo, tornando-o mais erosível frente a um novo evento chuvoso.

Durante a chuva, uma parte da água é evaporada. A outra parcela chega ao solo de forma direta, por gotejamento das folhas e escoamento pelos troncos quando interceptada pela vegetação.

Para Guerra (1998), a água que chega ao solo pode ser armazenada em pequenas depressões ou se infiltrar, aumentando a umidade do solo e abastecendo o lençol freático. Bertoni e Lombardi Neto (1990) definem a infiltração como o movimento da água dentro da superfície do solo realizado pelas forças da gravidade (através dos grandes poros em solos saturados) e da capilaridade (em solos não saturados). Em solo não saturado, a condutividade da água é dada em função de sua umidade, ou seja, a água se move de zonas úmidas para zonas mais secas, Winter, (1976).

A infiltração de água no solo é um processo que depende de fatores relacionados as características do solo e da superfície. Os primeiros são: estrutura e textura. Os segundos são: declividade, rugosidade, preparo e manejo do solo, cobertura vegetal, frequência e intensidade das chuvas.

Ainda segundo Guerra (1998), o escoamento superficial se inicia quando o solo, durante uma chuva, perde sua capacidade de infiltrar a água, ou seja, quando o solo está saturado. A partir da saturação do excedente que não é infiltrado, forma-se o escoamento

superficial que ocorre através da ação da gravidade gerada pelo desnível das encostas (Lorandi e Cansado, 2002).

A água escoar por caminhos preferenciais e tem que transpor as barreiras das rochas, da vegetação e da força do atrito entre a água e a superfície do solo. Estes obstáculos, por sua vez, contribuem para a diminuição de sua energia.

O escoamento superficial corresponde à parte do ciclo hidrológico relativo ao deslocamento das águas sobre a superfície do solo. As gotas de chuva que atingem o solo provocam o desagregamento das partículas que obstruem os poros do solo e provocam o selamento da superfície. Fator este que aumenta o escoamento superficial, a intensidade e o tempo de duração da precipitação.

- Tipo de precipitação (chuva, granizo ou neve);
- Cobertura e uso da terra;
- Evapotranspiração, pois quanto maior ela for, menor será a velocidade de infiltração;
- Área, forma e declividade da bacia. Quanto maior a área e a declividade da bacia, maior será o escoamento superficial; quanto mais a forma da bacia se aproximar da forma circular, mais rápida será a concentração do escoamento e maior será sua vazão;
- O tipo de solo interfere diretamente na infiltração de água e, conseqüentemente, no escoamento superficial;
- A topografia influencia a velocidade do escoamento, sendo que as áreas mais declivosas apresentam menor capacidade de armazenamento de água que as áreas planas. Assim sendo, nessas áreas o escoamento superficial é maior;(Adolfo, juntei os vários símbolos que pareciam fazer sentido. Confira este trecho)
- Rede de drenagem com grau de ramificação e altos valores de densidade de drenagem aumentam a concentração do escoamento superficial.(Adolfo,conferir este tópico)

A principal causa do escoamento superficial é a ausência da cobertura vegetal, que facilita o desagregamento das partículas do solo e formação de crostas, aumentando o processo de escoamento, e conseqüentemente as taxas de erosão do solo. A água que escoar

das encostas é o principal agente de arraste das partículas do solo, que além de desestruturá-lo, causa o assoreamento e poluição dos cursos de água provocados pelos resíduos químicos que também são arrastados juntamente com o material edáfico (Guerra,1998).

2.4. O regime de cheias e secas dos rios de Moçambique e do rio Umbeluzi

As secas, as cheias e os ciclones tropicais estão entre os principais desastres naturais que assolam Moçambique. A frequência de ocorrência de desastres naturais no país é estimada em 1.67% (DFID, 2006). Isto significa que todos os anos o país sofre pelo menos um desastre natural “de grande escala” sempre relacionados à extremos de precipitação, e, paradoxalmente, também relacionados a secas extremas, às vezes ocorrentes no mesmo ano de inundações.

Esses desastres provocam vários danos: a morte de pessoas; destruição ou falha de culturas agrícolas, levando à insegurança alimentar; importação de alimentos; dependência de ajuda alimentar externa; perda no crescimento econômico e nas taxas de rendimento; destruição de infraestruturas; redução do investimento estrangeiro direto; perda de rendimento em diversos setores da economia do país; desvio de aplicação dos fundos do Estado para responder aos desastres naturais ao invés de sua aplicação em programas de desenvolvimento. Por exemplo, o total de custos associados à implementação de ações de mitigação dos impactos da seca no período 2004/05 em Moçambique foi estimado em USD 14,453 milhões (DNA, 2005).

2.4.1. Secas

A seca é um fenômeno físico extremo e transitório em climas tropicais sub-úmidos, caracterizado pela escassez de água associada a períodos longos de reduzida precipitação, com repercussões negativas sobre o ecossistema, as atividades socioeconômicas e a disponibilidade de água para o consumo humano/barragens.

Em Moçambique, as áreas afetadas pela seca e/ou em risco de desertificação são: Maputo (Moamba, Namaacha e Magude), Gaza (Mabalane, Chicualacuala e Massangane), Inhambane (Massinga, Funhalouro, Vilanculos, Inhassoro, Govuro), Sofala (Nhamatanda, Gorongosa, Maríngué, Chemba e Caia), Tete (Moatize, Mágoé, Changara), Manica (Macossa, Machaze e Tambara) e Nampula (Nacaroa e Memba) (MICOA, 2004).

Os registros de ocorrência de secas para o período compreendido entre 1999 e 2005 apontam que este fenômeno ocorre em quase todo o país, porém a região sul, onde se localiza a bacia do Umbeluzi, aparece como a área de maior incidência (MICOA, 2004).

2.4.2. Cheias

As cheias são um fenômeno natural extremo e temporário provocado por precipitações moderadas por longos períodos ou por precipitações curtas mas de elevada intensidade.

Em Moçambique, as cheias são causadas por um conjunto de fatores: em particular, a precipitação intensa localizada; atividade dos ciclones tropicais e a deficiente gestão das barragens localizadas dentro ou fora de Moçambique e em seus países vizinhos. Os rios que correm em território moçambicanos mais propensos à ocorrência de cheias são os rios Púngue, Zambeze, Búzi, Save, Limpopo, Incomáti, Umbeluzi e Maputo.

As cheias são mais frequentes na região centro do país (Sofala e, particularmente na Zambézia) e na área sul (Gaza e, especialmente em Maputo), ocorrendo com mais frequência no período úmido compreendido entre os meses de novembro a março (MICOA, 2004).

Em 2000, Moçambique sofreu as piores cheias cujo impacto destruidor nunca fora verificado antes. A tabela (2) mostra os níveis de precipitação registrados nas estações de observação meteorológicas de Inhambane e Maputo, destacando-se as cheias de 2000, em Inhambane e Maputo, e a de 2001, em Inhambane.

As cheias do ano 2000 tiveram impactos drásticos sobre o ambiente, com destruição de infraestruturas rodoviárias e ferroviárias, dentre outras. Cerca de 30.000 km², quer dizer, aproximadamente 2/5 do território moçambicano ficou inundado, numa área compreendendo desde a bacia do rio Umbeluzi, Incomáti, Limpopo e Save, na região Sul do país, até a bacia

do rio Búzi, na parte central. Economicamente, tais enchentes resultaram em perdas diretas e indiretas avaliadas em USD 599 milhões, na redução do crescimento econômico de 10 % para 3.8 % e no aumento da inflação de 11 para 13 % (MICOA, 2005).

Tabela 2: As principais cheias em Moçambique

Ano	Províncias Afetadas por cheias	Observações
2001	Inhambane, Zambezia, e Sofala.	Inundações no Rio Limpopo, Maputo, Umbeluzi, Incomáti, Buzi, Púngué, 115 pessoas mortas, 500,000 afetados.
2000	Sofala, Inhambane, Gaza, Manica e Maputo	Inundações no Rio Limpopo, Maputo, Umbeluzi, Incomáti, Buzi, Púngué, 699 óbitos, 5.2 milhões de pessoas afetadas, 491 mil deslocados e 95 desaparecidos nas áreas abrangidas.
1999	Sofala e Inhambane	Maiores precipitações dos últimos 37 anos, 100 mortos e 300 mil pessoas afetadas, estradas destruídas.

Fonte: UEM/FEWS Net/INGC (2002)

2.5. Qualidade da água do rio Umbeluzi

A água é vital para sobrevivência humana e seu consumo é essencial em diversas atividades, sendo de suma importância a análise de sua qualidade para sua correta utilização. Os parâmetros qualitativos que devem ser avaliados englobam valores diferenciados segundo o uso designado, ou seja, seus aspectos físicos, químicos e biológicos devem ser analisados de acordo com a destinação do recurso (Gheyi et al, 2011).

Strieder et al (2003, apud Gheyi, 2011), comentam que a utilização da água para uma determinada finalidade não deve depreciar os diversos usos possíveis, dentre os quais figuram: os aspectos culturais, as atividades recreativas e a preservação da diversidade biológica. Em consequência, surge a necessidade de monitorar os recursos hídricos a fim de disponibilizar subsídios que auxiliem na recomendação de medidas adequadas de manejo para manter os ambientes aquáticos com qualidade.

Gheyi (2011), observa que dependendo da destinação do recurso, alguns aspectos são analisados e outros, em sua maioria, são desprezados, pois não é considerada a importância da realização da análise de qualidade da água. Nesse contexto, exemplificam-se as características microbiológicas que são sempre observadas quando se analisa a água para o consumo humano. Tais parâmetros, entretanto, são desprezados quando a destinação é outra .

Ainda segundo Gheyi (2011), quando a finalidade é a irrigação, observa-se que as análises solicitadas pelos produtores apenas se preocupam com os aspectos físicos e químicos, minimizando a importância dos fatores microbiológicos que afetarão os produtos finais ingeridos pelo consumidor. Os aspectos microbiológicos podem até não trazer nenhum prejuízo à produção, porém são suscetíveis de carregar outros danos se os parâmetros que devem ser analisados se encontrarem presentes em níveis não admissíveis.

Outro aspecto relevante da qualidade microbiológica da água é a sua adequação quanto aos padrões de potabilidade estabelecida pela Organização Mundial da Saúde (OMS), pois várias doenças de veiculação hídrica podem ser contraídas quando as técnicas de purificação da água não forem eficientes para inativar ou dizimar os organismos patogênicos que podem estar presentes nos mananciais (Gheyi, 2011).

2.5.1. Temperatura

Segundo Oliveira (2008), as variações de temperatura, fazem parte do regime climático normal de corpos de água naturais, que apresentam variações sazonais e diurnas, assim como uma estratificação vertical.

A temperatura superficial é influenciada por fatores tais como: latitude, altitude, estação do ano, período do dia, taxa de fluxo e profundidade. A elevação da temperatura em um corpo d'água pode ser provocada, por exemplo, por despejos industriais de usinas de processamento de cana, uma atividade muito presente na área de estudo.

A temperatura desempenha um papel crucial no meio aquático, condicionando as influências de uma série de variáveis físico-químicas. Normalmente, à medida que a mesma aumenta, aumentam a condutividade térmica e a pressão de vapor, e diminui a viscosidade, a tensão superficial, a compressibilidade, o calor específico, a constante de ionização e calor latente de vaporização. Por fim, organismos aquáticos possuem limites superior e inferior de tolerância térmica, ótimas temperaturas para crescimento, temperaturas específicas em gradientes térmicos e limitações de temperatura para migração, desova e incubação do ovo (Oliveira, 2008).

2.5.2. Transparência

Essa variável pode ser medida facilmente no campo, utilizando-se o disco de Secchi. A profundidade máxima da transparência permite estimar a profundidade da zona fótica, ou

seja, o local de penetração vertical da luz solar na coluna d'água que indica o nível da atividade fotossintética dos lagos ou reservatórios (Oliveira, 2008).

2.5.3. Turbidez

A turbidez de uma amostra de água é o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la. Esta redução se dá por absorção e espalhamento, uma vez que as partículas que provocam turbidez nas águas são maiores que o comprimento de onda da luz branca devido à presença de sólidos em suspensão tais como partículas inorgânicas - areia, silte, argila- e detritos orgânicos - algas e bactérias, plâncton em geral e etc. (Oliveira, 2008).

A erosão das margens dos rios em estações chuvosas, que é intensificada pelo mau uso do solo, é um exemplo de fenômeno que resulta em aumento da turbidez das águas e que exige manobras operacionais, tais como alterações nas dosagens de coagulantes e auxiliares nas Estações de Tratamento de Águas. Este exemplo mostra também o caráter sistêmico da poluição, ocorrendo inter-relações ou transferência de problemas de um ambiente ao outro: água, ar ou solo.

De acordo com Oliveira (2008), os esgotos domésticos e diversos efluentes industriais também provocam elevações na turbidez das águas. Por exemplo, as atividades de mineração contribuem para os aumentos excessivos de escuridão aquática que têm provocado formação de grandes bancos de lodo em rios e alterações no ecossistema aquático. A alta turbidez reduz a fotossíntese de vegetação enraizada submersa e de algas. Este reduzido desenvolvimento de plantas pode, por sua vez, suprimir a produtividade de peixes. Logo, águas escuras podem influenciar as comunidades biológicas aquáticas e afetar negativamente os usos doméstico, industrial e recreacional de uma água.

2.5.4. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

A DBO da água é a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica em decomposição microbiana aeróbia e transformá-la em uma forma inorgânica estável. Aquela é normalmente considerada como a quantidade de oxigênio consumido durante um determinado período de tempo e numa temperatura de incubação específica. Segundo Oliveira (2008), um período de tempo de cinco dias numa temperatura de incubação de 20°C é frequentemente usado e referido como DBO 5,20.

Os maiores aumentos de DBO, num corpo d'água, são provocados por despejos de origem predominantemente orgânica. A presença de um alto teor de matéria orgânica pode induzir ao completo esgotamento do oxigênio na água, provocando o desaparecimento de peixes e outras formas de vida aquática.

Um elevado valor da DBO pode indicar um incremento da microflora presente e interferir no equilíbrio da vida aquática, além de produzir sabores e odores desagradáveis. Além disso, pode obstruir os filtros de areia utilizados nas estações de tratamento de água.

No setor do tratamento de esgoto, a DBO é um importante parâmetro no controle da eficiência das estações de tratamentos biológicos aeróbios e anaeróbios assim como os físico-químicos. Embora de fato ocorra demanda de oxigênio apenas nos processos aeróbios, a demanda “potencial” pode ser medida na entrada e saída de qualquer tipo de tratamento (Oliveira, 2008).

2.5.5. Oxigênio Dissolvido (OD)

O oxigênio proveniente da atmosfera dissolve-se nas águas naturais devido à diferença de pressão parcial. Este mecanismo é regido pela Lei de Henry que define a concentração de saturação de um gás na água em função da temperatura (Oliveira, 2008).

2.5.6. Análise Microbiológica da água

De acordo com Corte *et al* (2002), a análise microbiológica reflete diretamente os efeitos da poluição sobre os recursos hídricos. As propriedades microbiológicas da água são utilizadas para determinar a presença de organismos patogênicos, considerando-se a possibilidade de ocasionar ao homem doenças de veiculação hídrica. A ausência/ deficiência dos serviços de saneamento básico constitui o principal fator para a presença de micro-organismos patogênicos nos mananciais destinados ao abastecimento humano. Esse fato se torna mais significativo na zona rural. Diante disso, é imprescindível o monitoramento da qualidade microbiológica da água tratada, pois a ausência de um sistema adequado de saneamento na região pode acarretar prejuízos à saúde da população.

A caracterização microbiológica da água é determinada por meio de exames bacteriológicos e hidrobiológicos. Segundo Corte *et al* (2002) os principais indicadores microbiológicos de qualidade da água são:

- ✓ **Número total de Bactérias:** O Parâmetro indicativo de poluição é determinado pelo número total de bactérias por centímetro cúbico ou milímetro da amostra de água. Variações bruscas nas análises indicam poluição e Níveis baixos indicam água pouco poluída.
- ✓ **Coliformes Fecais:** Podem indicar a presença de micro-organismos patogênicos na água. Quando encontrados, expressam que a água recebeu contaminação de esgoto doméstico, podendo conter micro-organismos causadores de doenças. Entretanto, nem toda água em que eles apresentam indicam a ocorrência de contaminação. Esta é expressa pela quantidade mais provável de coliformes existentes em 100 mL de água da amostra.

O controle de Qualidade da Água no baixo curso da bacia do Umbeluzi é realizado sistematicamente pela ARA-Sul, uma instituição dotada de personalidade jurídica e autonomia administrativa, patrimonial e financeira, e que é tutelada pelo Ministério das Obras Públicas e Habitação através da Direção Nacional de Águas, tendo sua sede na cidade de Maputo e desenvolvendo sua atividade desde a fronteira sul até a bacia do rio Save (exclusive).

Entre as cinco ARA's criadas no âmbito da nova Lei de Águas (16/91), a ARA-Sul foi a primeira a se estabelecer no país em 1993, tendo como objetivo a gestão sustentável e autossuficiente dos recursos hídricos. A ARA-Sul tem a responsabilidade de: planejar e garantir a disponibilidade e distribuição equilibrada dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos; controlar o uso e o aproveitamento de água superficial e subterrânea, descarregar efluentes e outras atividades que afetem os recursos hídricos; outorgar os direitos de uso e a imposição de taxas relacionadas; elaborar projetos, construir e operar infraestruturas hidráulicas; autorizar e inspecionar as infraestruturas hidráulicas; prestar serviços técnicos para os setores públicos e privados; recolher e gerir os dados hidrológicos.

A ARA-Sul está dividida em quatro unidades de gestão de bacias para a execução de suas atribuições:

Unidade de Gestão da Bacia de Umbeluzi (UGBU), incluindo bacia de Maputo, com Sede em Boane;

- Unidade de Gestão da Bacia do Incomati, com sede em Corumana-Sábie e Delegação na Manhiça;
- Unidade de Gestão da bacia do Limpopo, Com Sede Chokwé e representação em Macarretane e Massingir;
- Unidade de Gestão da Bacia de Save (UGBS) que integra também as pequenas Bacias desde Mandlakazi até Vila Nova Mambone em Inhambane, Sem incluir a Bacia do Save com sede na Maxixe e perspectivas de formar uma Delegação em Vilanculos.

A área de jurisdição da ARA-Sul é de aproximadamente 150.000 km² através da qual correm os rios que têm um caudal total médio de 15 000 Mm³ por ano, com variações de amplitude consideráveis em tempos de cheias e de secas.

A ARA-Sul gera três grandes barragens importantes: Pequenos Libombos, Corumana e Massingire e um grande Açude denominado de Macarretane na bacia do Limpopo, além de algumas Barragens menores, diques, outras estruturas hidráulicas e uma extensa rede de estações hidroclimatológicas.

Entre os anos de 2010 e 2011, a ARA-SUL promoveu um detalhado estudo de qualidade da água do baixo curso do rio Umbeluzi. Durante o período da análise foi registrado uma diminuição dos teores de quase todos os parâmetros, com exceção da dureza total e nitrito pesquisado no mesmo período de 2010. Constatou-se, também, que os parâmetros do 2º trimestre de 2011, quando comparados com os do 2º trimestre de 2010, registraram maior diluição dos teores elementos pesquisados, uma resultante do prolongamento da fase de chuvas em 2011.

Os dados do 2º trimestre de 2011 apresentaram níveis de oxigênio dissolvido menores que os do mesmo período do ano anterior, mas ainda assim, superiores ao valor mínimo admissível para quase todas as estações, segundo as orientações da OMS. A diminuição do índice de OD na água do rio pode estar relacionada à maior presença de nutrientes. De um modo geral a qualidade de água está dentro dos parâmetros admissíveis, mas há necessidade de tratá-la para o consumo humano.

A Tabela (3) apresenta os parâmetros da qualidade de água para sete pontos monitorados pela ARA-Sul nos anos de 2010 e 2011.

Estações	Rio	Parâmetro/Período	Temp	pH	CE	OD	Dureza	Cloreto	Nitrato	Nitrito	Amônia	Turvão
E08	Umbeluzi	II trimestre 2010	21.90	7.60	732.00	4.64	148.00	127.66		0.01	0.23	5.10
		II trimestre 2011	19.43	7.10	497.00	4.32	161.20	74.44	2.60	0.03	0.21	2.60
E10	Umbeluzi	II trimestre 2010	22.00	8.43	510.00	10.55	128.00	60.28		0.01	0.24	8.90
		II trimestre 2011	17.27	7.99	415.00	3.45	145.60	46.08	4.04	0.03	0.28	8.00
E12	Movene	II trimestre 2010	21.40	9.51	1534.00	6.59	150.00	407.79		0.04	0.39	9.73
		II trimestre 2011	24.09	7.11	1381.00	2.07	340.60	170.16	8.43	0.06	0.29	0.80
E16	Impaputo	II trimestre 2010	21.40	7.85	264.00	8.03	30.00	67.37		0.00	0.11	0.88
		II trimestre 2011	17.73	7.35	186.00	3.14	46.80	35.45	0,5	0,03	0.07	1.60

ETA Jusante	Umbeluzi	II trimestre 2010	21.40	8.38	738.00	11.58	140.00	138.29		0.01	0.18	14.20
		II trimestre 2011	18.33	7.32	516.00	4.41	130.00	77.99	2.29	0.03	0.27	1.60
E629	Umbeluzi	II trimestre 2010	21.80	8.30	696.00	4.55	134.00	124.91		0.00	0.17	1.96
		II trimestre 2011	20.46	8.01	486.00	9.68	130.00	287.14	2.12	0.03	0.18	1.60
E631	Umbeluzi	II trimestre 2010	21.59	8.30	753.00	10.78	130.00	134.75		0.00	0.06	3.77
		II trimestre 2011	18.58	7.38	506.00	4.60	140.20	77.99	2.08	0.03	0.23	1.60

Tabela 3: Parâmetros de Qualidade medidos na Bacia do Umbeluzi nos anos de 2010/2011

Fonte: ARA SUL (2011)

Parâmetros Microbiológicos Analisados.

Nºda Estação	Rio	Parâmetro/Período	Coliformes Totais	Coliformes Fecais
E-08	Umbeluzi	IV Trimestre/10	>100	>100
		I Trimestre/11	>100	93.00
E-10	Umbeluzi	IV Trimestre/10	>100	>100
		I Trimestre/11	>100	68.00
E-12	Movene	IV Trimestre/10	-	-
		I Trimestre/11	-	-
E-16	Impaputo	IV Trimestre/10	>100	>100
		I Trimestre/11	>100	>100
ETA Jusante	Umbeluzi	IV Trimestre/10	>100	>100

		I Trimestre/11	-	-
E-629	Umbeluzi	IV Trimestre/10	52.00	38.00
		I Trimestre/11	>100	>100
E-631	Umbeluzi	V Trimestre/10	>100	>100
		I Trimestre/11	<1	47.00

Tabela: (4) Parâmetros Microbiológicos Analisados na Bacia do Umbeluzi nos anos de 2010/2011

Fonte: Ara Sul 2011(Adminitração Regional da água do Sul)

Na Bacia hidrográfica do Umbeluzi, registrou-se elevados teores de turvação. Isto se deve à concentração de partículas suspensas na água, provocando uma cor mais escura e a presença contínua de sedimentos na bacia. De um modo geral, constatou-se que a turvação durante este período de avaliação predominou em quase toda a extensão da bacia conforme mostra a distribuição espacial dos parâmetros analisados.

Avaliando-se a carga de nitrogênio amoniacal e as demandas existentes, fica evidente que o comportamento do PH e Oxigênio Dissolvido estão sendo alterados pela sobrecarga de nitrogênio amoniacal oriunda da atividade agrícola, que pode estar provocando alterações na vida aquática. Foi também notável a predominância de elevadas concentrações do cloreto e CE.

Feitas as análises microbiológicas da Bacia do rio Umbeluzi, constatou-se que ela contém coliformes fecais acima dos limites admissíveis, tornando a água imprópria para o consumo direto. De um modo geral, podemos constatar que a maioria dos parâmetros analisados está dentro dos limites admissíveis. Apesar de existir grande ação agrícola, ela apresenta água de boa qualidade desde que devidamente tratada antes de ser utilizada para o consumo humano. Na sequência do relatório (ARA-Sul, 2012) são apresentadas as seguintes recomendações:

- A água pode ser destinada ao abastecimento para o consumo humano após tratamento; desenvolvimento de campanhas de educação ambiental, conscientizando a população sobre os impactos negativos causados ao meio ambiente decorrentes do lançamento de resíduos sólidos e líquidos nas bacias hidrográficas.
- Alguns parâmetros importantes de indicadores de existência de nutrientes e Eutrofização- fósforo total, nitrato e amônia- não são analisados com uma frequência constante. Assim, aconselha-se que estes parâmetros sejam analisados com a devida frequência em virtude da grande influência da agricultura;
- Os pontos de coleta, localizados na jusante, revelam uma dependência na qualidade da água em função do período do ano. Em outras palavras, os valores de PH, DO e DBO apresentam ao longo do ano os piores valores no período seco e os melhores na fase úmida. Neste contexto, é indicado o monitoramento de DO e DBO nestes pontos identificados para mitigar os seus impactos; recomenda-se que sejam feitas amostragens para análise de metais pesados numa base anual, principalmente nas estações mais próximas das fronteiras a fim de avaliar o estado da qualidade de água na bacia;
- Constatou-se que a grande presença de um grupo de nutrientes (o ião amônio, NH_4^+ , o nitrito, NO_2 , e o nitrato, NO_3) causa poluição suscetível e perigosa para o homem. Esta toxicidade aumenta com o aumento do PH e o amônio pode ainda ser perigoso por ação de bactérias nitrificante e oxidada para nitrato; a reação química envolve grande consumo de oxigênio, provocando por vezes a desoxigenação da água. Por causa deste fenômeno é sugerido que se faça uma avaliação detalhada com auxílio da análise das descargas de efluentes para identificação destes nutrientes;

Este mesmo relatório (ARA-Sul, 2012) observa que, não havendo uma legislação Moçambicana do controle da qualidade de água bruta, torna-se difícil fazer um acompanhamento das condições existentes, orientando para que seja feito um estudo para

avaliar os índices de qualidade de água bruta. Finalmente, o relatório ressalta que a melhoria da qualidade da água do rio somente poderá ser efetivada caso seja levada em consideração as condições socioeconômicas da região, o envolvimento da população e demais atores envolvidos; apontando o comitê de bacia como um órgão com um papel relevante para promover a tomada de medidas preventivas e corretivas necessárias para atingir uma eficiente gestão integrada dos recursos hídricos.

2.6. Planejamento Ambiental dos Recursos Hídricos

Para Mateo (1997), o planejamento ambiental é um instrumento dirigido para programar o uso do território, as atividades produtivas, o ordenamento dos assentamentos humanos, o desenvolvimento da sociedade em congruência com a vocação natural da terra, o aproveitamento sustentável dos recursos, a proteção e a qualidade do meio ambiente.

O planejamento ambiental consiste em ser um elemento regulador das relações entre os sistemas naturais e sociais. Em época de discussões em torno do “desenvolvimento sustentável”, tal planejamento ambiental se constitui um desafio para a ciência de hoje (Mateo, 1997). Os objetivos salientam perspectivas e interesses, com interfaces em várias disciplinas, enfocando os ecossistemas, os agrossistemas, os sistemas urbano-industriais e os de diferentes amplitudes.

Neste sentido, são discriminados os quatro aspectos básicos do planejamento ambiental: recursos naturais, *habitat* humano, sistema e equilíbrio ecológico de todos os elementos que compõem a base espacial de distribuição de forças produtivas, exigindo o fim da degradação ambiental e a garantia da proteção do meio natural e dos “objetos de proteção aos impactos humanos indesejáveis” (Mateo, 1997). Segundo o mesmo autor, o planejamento ambiental exige as seguintes fases: organização, inventário, análises, diagnósticos, prognósticos e execução.

Portanto, deve-se atender a uma complexidade de parâmetros, incluindo variáveis ecológicas, econômicas, sociais e políticas com o propósito de garantir o uso adequado dos recursos naturais esgotáveis e, conseqüentemente, manter a capacidade de sustentação dos ecossistemas. Ao mesmo tempo, para cada nível espacial de distribuição de forças produtivas, os processos de planejamento das dimensões urbanas ou rurais têm suas características específicas. É fundamental que cada nível espacial e seus estágios de proteção correspondentes atendam aos diferentes níveis de informações geológicas Garcia (1997, *apud* Mateo, 1997).

Num campo de ação tão complexo quanto o setor de planejamento ambiental - que objetiva regular os vínculos entre os diferentes interesses socioeconômicos e políticos no que diz respeito à exploração, à assimilação do meio ambiente e de suas riquezas naturais - o papel da ética profissional se torna decisivo (Mateo, 1997). A mudança de atitude das comunidades é crucial para viabilizar estratégias que gerenciem ecossistemas, especialmente, em áreas alteradas por atividades humanas. Assim, a percepção ambiental, a participação coletiva e a validade social são itens fundamentais para serem considerados nas etapas do planejamento ambiental.

Em relação à gestão dos recursos hídricos, Peixinho (2010) observa que estes têm uma grande interação com os demais componentes do meio ambiente, principalmente a ocupação e os usos do solos. Os problemas crescentes relacionados com os recursos hídricos dizem respeito a adequação entre a demanda e oferta de água. A crescente demanda por alimentos e produtos industrializados, a urbanização desordenada, produzindo grandes metrópoles com os problemas ambientais inerentes a esta estrutura (saneamento básico, enchentes, etc) e outras atividades humanas, tais como o desmatamento, o assoreamento dos cursos d'água, os despejos industriais e urbanos, às atividades de mineração e poluição decorrentes de exploração agrícola, representam fatores que contribuem para o agravamento deste quadro, conduzindo para se utilize técnicas de gestão dos recursos hídricos que minimizem estes óbices (Peixinho, 2010).

Para enfrentar estes desafios os modelos de gestão de recursos hídricos vêm consolidando princípios que consideram a visão sistêmica e integrada dos elementos que

compõe o meio ambiente, com a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento e o processo participativo e descentralizado, como a forma mais adequada de tomada de decisão na administração da água (Peixinho, 2010).

Para que esse processo seja efetivo, é necessária a criação de uma ampla base de dados com informações as mais diversas, envolvendo aspectos físicos, bióticos, socioeconômicos, políticos, culturais e o elenco dos diversos atores que interagem na utilização dos recursos naturais e/ou estabelecem suas mais diversas atividades na área da bacia.

Essa base de dados, essencial para se reconhecer e melhor compreender as dinâmicas (físicas, bióticas e sociais) que operam na unidade bacia, é o ponto chave para a gestão e para a tomada de decisões.

As geotecnologias vem se constituindo num valioso instrumento para a organização dessas informações. Através do geoprocessamento, com auxílio do sensoriamento remoto e cartografia digital, possível reunir uma ampla base de informações georreferenciadas a qual pode-se atrelar um banco de dados, facilitando a visualização sistêmica da unidade espacial e, por conseguinte auxiliando na proposição de planos de gestão e de planejamento.

2.7. Sensoriamento Remoto

Pode-se definir sensoriamento remoto como a tecnologia que permite a aquisição de informações sobre objetos da superfície terrestre a partir da detecção e mensuração das mudanças que estes impõem ao campo eletromagnético. Elachi, (1987). De forma bem ampla, pode-se entender sensoriamento remoto como a aquisição de dados sobre um objeto sem que se entre em contato com ele. Com o advento dos satélites meteorológicos, a partir de 1960, e dos satélites de recursos naturais, a partir de 1970, a tecnologia de sensoriamento orbital passou ser concebida como um instrumento para aquisição de dados.

Os termos cobertura e uso da terra são cada vez mais encontrados em pesquisas e trabalhos de diversas áreas. Instituições públicas e privadas sempre utilizam essas informações para seu gerenciamento e planejamento. Para Egler (2003)

A leitura do território em sua expressão mais visível, isto é, através de uso e cobertura da terra, é uma tarefa fundamental para o conhecimento da questão ambiental e para contribuir na busca de soluções para superá-la.

Visto a importância de tal tipo de informação nas questões atuais e sua utilização em diversas áreas de pesquisa, faz-se necessário explicar o que se entende por conceitos de cobertura, uso e terra. Muitas vezes esses conceitos são utilizados de forma confusa, chegando a serem apresentados como uma coisa só. Por isso, a distinção entre cobertura e uso é fundamental para melhor compreensão do que se quer dizer. Conceitualmente, a diferença entre estas duas categorias parece ser bem simples, porém, na prática, ainda é muito comum o uso inapropriado destes termos.

- Primeiramente, a cobertura da terra está relacionada ao revestimento da superfície terrestre, incluindo aspectos bióticos e abióticos podendo ser vegetação, agriculturas, construções humanas, rochas, água e etc.
- Para Viera (2005), Ela é facilmente percebida, sendo a materialização das interações entre o meio e o homem. Também é ela que terá interações físicas com as diferentes faixas de energia, apresentando padrões específicos nas imagens de sensoriamento remoto.
- Já o termo uso envolve um valor atribuído pelo homem a uma determinada área ou a uma atividade econômica, sua noção é mais subjetiva e não é tão materializável como a cobertura. Ele está relacionado à cultura humana: Como um indivíduo ou um grupo se apropria da terra e a utiliza.

Para Skole, o uso da terra é o modo pelo qual o homem emprega alguma atividade em um tipo de cobertura, sendo determinado por fatores sociais complexos Skole, (1994) apud Briassoulis, (2000).

Algumas vezes, de forma indireta, é possível identificar padrões de imagens que podem ser associados a determinados usos, mas a maneira mais eficiente é a efetuação de exaustivos trabalhos de campo.

‘Apesar de distintas, as duas categorias estão sobrepostas espacialmente, isto é, um determinado local sempre possuirá um tipo de cobertura e de uso. Porém, esta sobreposição não é fixa, quer dizer, uma forma de cobertura pode ter diferentes utilidades, assim como o seu uso específico pode estar associado a mais de uma cobertura. Por exemplo, uma cobertura de floresta pode ser ocupada de variadas maneiras: área protegida, recreativa, propriedade particular etc. Ainda aqui, uma área protegida pode ter varias coberturas: floresta, afloramentos rochosos, vegetação herbácea, etc.’ (Viera 2005).

É muito comum encontrarmos na literatura os termos uso e cobertura do solo/da terra. Num primeiro momento, ambos os últimos termos podem parecer ambíguos. Porém, ao analisarmos mais atentamente seus significados, percebe-se que a palavra solo possui um caráter mais restritivo, limitando-se a aspectos físicos e químicos relacionados à pedologia. Enquanto que o termo terra parece estar ligado à ideia de superfície terrestre, mostrando serem mais adequado a ele os termos uso e cobertura. (Viera, 2005).

Por fim, neste trabalho serão utilizados os termos cobertura e uso da terra. Na Organização das Nações Unidas para agricultura e alimentação (FAO), a palavra terra é compreendida como uma área da superfície terrestre cujas características envolvem todos os atributos da biosfera- verticalmente acima e abaixo dessa área- que exercem influência significativa no uso da terra tanto no presente quanto no futuro. Destaca-se dentre os atributos da biosfera: a atmosfera; o solo, a geologia subjacente; a hidrologia; a população de plantas e animais; e os resultados das atividades humanas passadas e presentes.

Retornando ao que já foi discutido sobre espaço e paisagem, pretende-se relacionar cobertura com os sistemas de objetos e uso com os sistemas de ação. Isto porque a ideia de uso está atrelada à ação humana/ a alguma atividade que implica intenção/ propósito. Enquanto que a noção de cobertura é algo estritamente físico, concreto. Por isso que uma dada cobertura é percebida através da paisagem, pois é ela quem apresenta as formas, os objetos.

De outra forma, para percebermos o uso faz se necessário à busca por informações que nem sempre estão presentes na paisagem. Considerando que esta pode ser percebida e representada sob-diferentes perspectivas e maneiras, entende-se que existem variados

métodos de estudo sobre a paisagem. Este trabalho pretende perceber a mesma a partir de uma visão do alto, utilizando-se de imagens orbitais que tornam as paisagens perceptíveis e as caracterizam através das formas, cores e aspectos existentes nestes meios de representação. Assim sendo, poderemos extrair os tipos de cobertura da terra e inferir a possibilidade de alguns de seus usos.

Ao pensarmos nas formas de representação da cobertura e do uso da terra, o mapa se apresenta como o meio mais eficiente. Pois a espacialização dessas informações permite-nos uma análise topológica dos diferentes objetos, ajudando-nos a perceber as relações de contiguidade dos elementos representados. Outros exemplos de representação da cobertura e uso seriam: as tabelas, textos e croquis que também são úteis e complementam o próprio mapa.

Porém, para a representação da cobertura e do uso da terra em forma de mapas, faz-se necessário estabelecer as classes nas quais irão se enquadrar os diferentes tipos de cobertura e uso. Os conjuntos de rótulos, conceitos e relacionamentos criados para organizar um domínio de investigação são chamados de sistemas de classificação (Viera 2005).

Jansen e Gregório (2002) ressaltam que a classificação é uma abstração que busca representar a realidade.

Existem variados tipos de sistemas de classificação voltados para a cobertura e uso da terra que se configuram em propostas de busca e criação de modelos representacionais, oferecendo terminologia compatibilizada para as classes desse domínio de forma a atender aos diferentes pretextos e áreas de estudo. Existem vários exemplos de sistemas de classificação de cobertura e uso da terra, sendo os dois mais conhecidos: o CORINE (*Co-ordination of Information on the Environment*) que é voltado para áreas da União Europeia e

No Brasil existe o sistema brasileiro de classificação para uso e cobertura da terra. Proposto pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), ele objetiva atender todo território nacional. Este sistema se divide em três níveis de análise.

O primeiro indica as principais categorias da cobertura terrestre,

O segundo apresenta classes de “cobertura e uso” em escala mais regional

O terceiro explicita o uso propriamente dito.

A nomenclatura de uso e cobertura da terra foi concebida partindo do esquema teórico da cobertura terrestre que abrange os dois níveis hierárquicos propostos (IBGE, 2006).

Vieira (2006) ressalta que existe uma dificuldade em encontrar sistemas de classificação com abrangência suficiente para abordar diferentes níveis de análise, pois os modelos existentes são frutos de esforços individualizados de um determinado projeto.

A questão da escala também está vinculada aos sistemas de classificação. Por isso, é importante deixar claro as diferentes acepções de escala. Cartograficamente, esta é uma relação de medidas entre a realidade e sua representação, bem como a cada escala uma determinada quantidade de informações (detalhamento) deve ser representada. Ela é matematicamente definida e está relacionada à geometria dos objetos.

Segundo Castro, (2006) a escala geográfica é à medida que dá visibilidade ao fenômeno, estando ligada à dimensão de ocorrência do fenômeno. Tem-se, portanto, duas abordagens distintas do conceito de escala. Temos ainda a escala temporal que está associada a dimensão temporal de ocorrência de um fenômeno. Para os sistemas de classificação, a escala geográfica irá determinar quais objetos e fenômenos serão percebidos e a partir daí será escolhida uma escala cartográfica ideal para representá-los. Em uma determinada escala, um objeto aparece vinculado a uma classe, mas ao mudarmos de escala, este mesmo objeto pode deixar de ser percebido e se enquadrar em outra classe. Isto é um aspecto que dificulta a criação de um sistema de classificação único e aplicável para qualquer situação.

A sobreposição espacial de cobertura e uso é outro aspecto que dificulta a representação de ambos em um mesmo mapa, pois pode deixá-lo sobrecarregado de informação. Para Lillesand (2008), o ideal é representar a cobertura e uso em mapas separados, mas na prática acabam sendo mais eficiente misturar as duas categorias quando os dados de sensoriamento remoto são usados para mapear estas atividades. Para colocá-los

juntos, geralmente, alguns aspectos do uso são restringidos para uma melhor visualização ou vice-versa. Para o mapeamento da cobertura da terra a utilização do sensoriamento remoto tem sido de fundamental importância para que se consiga cobrir grandes áreas. Esta ferramenta permite uma visão da superfície muito boa e é imprescindível para a elaboração desse tipo de mapa. Já para classificar o uso da terra, esta ferramenta se mostra limitada, sendo possível apenas inferir alguns tipos de uso através de padrões da cobertura.

De acordo com Jansen e Gregório (2004) mesmo não sendo isso sempre possível, a informação de cobertura obtida através de sensoriamento remoto tem uma contribuição considerável para análise do uso. Pesquisas de campo, outras fontes de dados (censos demográficos e agropecuários) e órgãos gestores do território são necessários para um preciso mapeamento de uso da terra.

A informação sobre a cobertura e o uso da terra tem se mostrado valiosa, tanto como fonte de dado principal em que o fenômeno estudado está diretamente relacionado com o uso e cobertura, quanto como fonte de dado secundário, servindo como suporte contextual e auxiliando na investigação do fenômeno ou objeto. Porém, para se chegar aos valores destas duas categorias, um mapa de uso e cobertura tem que estar adequado às necessidades do estudo, o que envolve questões como escala e padronização de legenda.

2.8. Análise espaço temporal da Cobertura e do Uso da Terra

A cobertura e o uso da terra não são estáticos, eles variam ao longo do tempo. As ações humanas são as principais determinantes neste processo. Fatores naturais também influenciam as mudanças de cobertura e uso, mas, em geral, atuam em uma escala de tempo maior. Por isso, este tipo de mapeamento sempre está ancorado a uma determinada data, estando sempre sujeito a desatualizações com o passar do tempo. Dessa forma, dependendo do fenômeno a mudança pode ser mais rápida ou lenta.

O estudo do comportamento da cobertura e do uso da terra pode ser feito de duas maneiras: através de escalas temporais e espaciais. Por isso, a magnitude das mudanças de uso e cobertura varia de acordo com o período de tempo analisado e sua área geográfica.

É possível analisar a cobertura e o uso em diferentes recortes temporais. Uma forma simples de fazer isso é a comparação entre os distintos momentos: presente e passado.

Pode-se perceber assim as mudanças ocorridas ao longo deste intervalo de tempo. Tal tipo de estudo é conhecido como *change detection* (Viera 2005).

Além disso, quando se tem uma série histórica, com pelo menos mais de dois momentos, faz-se uma análise da dinâmica das mudanças de cobertura e uso, reconstituindo a evolução das transformações ocorridas na paisagem. O presente trabalho somente analise um momento histórico para se obter uma base de dados que sirva de planejamento da respectiva área de estudo.

Existe “uma terceira maneira de análise do comportamento da cobertura e uso da terra” que está ligada ao âmbito do monitoramento. Neste caso, a partir de uma série histórica ou não, é feita uma atualização constante do estado da cobertura e do uso da terra, considerando-se determinados intervalos de tempo. Este procedimento visa acompanhar as mudanças em andamento através de sucessivos mapeamentos. Em cada forma de análise serão encontrados resultados correspondentes ao tempo de observação, sendo a mesma definida de acordo com a sua proposta de estudo.

Para Briassoulis (2000), a abordagem adotada na análise da mudança de uso e cobertura é determinada pelos objetivos do pesquisador, sendo enquadrada basicamente em seis formas: descrição, explanação, predição, avaliação de impactos, prescrição e avaliação.

- A análise descritiva objetiva mostrar as modificações ocorridas dentro de um recorte temporal, esta abordagem não se preocupa em explicar as mudanças.
- A abordagem explanatória busca descobrir os fatores e forças que direta ou indiretamente e a longo ou curto prazo ocasionaram as transformações. Ela busca o porquê das mudanças.
- A predição tem como objetivo principal prever as mudanças futuras que ocorrerão através de modelos. Estas previsões podem ser baseadas na evolução das mudanças passadas/extrapolando essas tendências ou podem ser projetadas a partir da simulação de condições e cenários.

- O estudo da mudança de uso e cobertura voltada para a avaliação de impactos busca compreender como modificações de uso, que muitas vezes alteram a cobertura, podem se transformar em impactos negativos ou positivos dentro do contexto ambiental ou socioeconômico.
- A forma prescritiva tem como principal intenção: recomendar uma configuração de cobertura e uso que garanta o alcance de determinadas metas.
- Por fim, a análise de mudanças de cobertura e uso da terra pode ser feita com o intuito de avaliar, segundo critérios pré-determinados, as transformações passadas, presentes ou futuras de padrões de uso. O resultado dessas avaliações pode ser utilizado para sugerir alternativas de uso da terra.

Quando se fala em mudança de uso e cobertura é necessário frisar a relação entre as mudanças na cobertura e no uso da terra sendo que, na maioria das vezes, o uso da terra condiciona a mudança na cobertura. Esta também pode ser modificada por ações naturais: terremotos, deslizamentos e incêndios.

Para Meyer e Turner (1996), o uso altera a cobertura de três maneiras. Primeiramente, convertendo-a em outro tipo de cobertura. Segundo, modificando algumas de suas características sem convertê-la completamente. Terceiro, mantendo suas condições como estão. Todos esses mesmos padrões também se aplicam ao uso da terra.

A ligação entre as mudanças e uso e cobertura da terra também estão correlacionadas com a análise. Uma mudança de uso em uma escala local pode até mesmo não influenciar uma modificação de cobertura em igual escala, porém se a alteração ocorrer localmente em diversos lugares isolados, pode-se perceber uma mudança de cobertura em uma escala mais regional.

Diferentemente de outros tipos de mapeamentos (de solo ou geológico) não existe um especialista na elaboração de mapas de uso e cobertura. Tais profissionais são formados nas mais distintas áreas de atuação: geografia, biologia, engenharia, urbanismo e etc.

A multidisciplinaridade que envolve este tema tem potencialidades e limitações. Primeiro, ela tem o potencial de gerar uma visão integrada do assunto, tentando relacionar variados aspectos em um mesmo contexto e buscando uma abordagem holística que é tão

falada nos dias de hoje. Depois, a limitação multidisciplinar reside no fato de que é difícil se obter um consenso teórico e metodológico dos critérios utilizados quando se trabalha com este tipo de informação. A diversidade de disciplinas contribui para a existência de tal situação.

Cada uma das disciplinas possui suas peculiaridades e demandas que vão privilegiar diversos aspectos de mapeamento e análise de cobertura e uso. O trabalho interdisciplinar é fundamental nos dias de hoje, mas existe uma dificuldade muito grande em sintonizar as diferentes perspectivas.

Para Rindfuss *et al.* (2008), o desafio do trabalho interdisciplinar está em considerar a variedade dos potenciais de interação entre os agentes envolvidos e desenvolver estratégias para escolher quais potencialidades enfatizar.

2.8.1. Importância da Ocupação do Uso da terra

É importante discutir o uso e cobertura do solo ou ocupação da terra porque o uso e cobertura da terra mantêm relações de dependência com os fenômenos e fatores geográficos, isto é, aqueles aspectos que devem ser analisados em conjunto. Por exemplo, a alteração ou não do uso e cobertura da terra está condicionada aos aspectos de temperatura, precipitação, declive, clima, demografia, entre outros.

Segundo Rosa (2003), o desenvolvimento de um sistema para classificar dados sobre uso da terra, que são obtidos a partir da utilização de técnicas de sensoriamento remoto, tem sido muito discutido. O tipo e a quantidade de informações sobre uso da terra dependem das resoluções espaciais, radiométrica, espectral e temporal dos diferentes sistemas sensores. O tamanho da área mínima - capaz de ser descrita como pertencente a uma determinada categoria/classe de uso da terra - depende da escala de resolução dos dados originais, da escala de compilação e da escala final de apresentação, Briassoulis (1999).

Meyer (1994) definiu como cobertura da terra a caracterização dos estados físico, químico e biológico da superfície da terra. Identifica-se, primeiramente, as florestas, as gramíneas, a água, as áreas construídas. Depois, os propósitos humanos associados a uma

determinada cobertura como, por exemplo, a agricultura, a pecuária, a recreação, a conservação e a área residencial. Para entender a dinâmica do uso e cobertura da terra é necessário caracterizar a classificação de seu uso e agentes envolvidos, uma vez que somente a qualificação da cobertura não é suficiente.

Ambas as categorias devem ser analisadas em conjunto e não isoladamente, os motivos que justificam a influência e as alterações no uso da terra são apresentados sob três formas: convertendo a cobertura; modificando sua função, estrutura e característica sem, contudo, causar uma mudança de tipo e mantendo a cobertura contra agentes naturais de mudança. Aguiar, (2002).

Soares Filho (2005) explica que a aplicação do sensoriamento remoto, em várias escalas temporais por meio de mapeamentos, pode servir de análise nas relações espaciais obtidas e armazenadas em SIG e para desvendar os processos que resultaram na análise da dinâmica do “uso e cobertura da terra”.

Estes estudos permitem o conhecimento e controle da dinâmica das alterações constadas. Além disso, eles dependem de comparações de levantamentos e qualificações efetuadas em diferentes períodos, isto é, do monitoramento no qual é feita uma comparação entre mapas elaborados a partir de imagens que permitem inferências na análise de séries temporais para o conhecimento das razões históricas que deram origem às modificações eventualmente constadas no presente (Kronka *et al.*, 2005).

De acordo com Diniz (1984), as etapas essenciais para a elaboração de mapas de utilização de terra são: aquisição de fotografias aéreas e/ou imagens de satélite; definição da escala do mapa; definição da chave de identificação, ou seja, elementos que permitam a identificação do tipo de utilização da terra nas fotografias aéreas e/ou imagens de satélite e elaboração da classificação em que devem ser colocados os eventos observados nas fotografias.

Segundo B. L. Neto (1990), a cobertura vegetal influencia: a proteção indireta contra o impacto das gotas de chuva; a dispersão da água, interceptando e evaporando a mesma antes que ela atinja o solo; a decomposição das raízes das plantas que, formando canalículos no solo, aumentam a infiltração; o melhoramento da estrutura do solo pela adição de matéria orgânica, aumentando assim sua capacidade de retenção de água e a diminuição da velocidade de escoamento da enxurrada pelo aumento da infiltração.

Para Pinto (1991), a utilização do sensoriamento remoto com imagens de satélite teve início nas décadas de 60 e 70. Peterson *et al.*, (1991) *apud* Espinoza, (2008) argumentaram que o SIG e o sensoriamento remoto podem ser usados para acessar variáveis espaciais e temporais, proporcionando melhor integração e organização dos dados, avaliação e prognóstico de problemas com auxílio de modelos matemáticos de simulação.

Leprieur *et al.* (1994); Elvidge; Chen(1995); Huete (1988); Schowengerdt (1997) *apud* Espinoza (2008), argumentou que os referidos autores definiram os índices de vegetação como formulações empíricas que visam realçar o contraste espectral da vegetação. Essa técnica de processamento digital de imagens é frequentemente uma operação simples entre as bandas (infravermelho próximo/ vermelho) e o índice normalizado de vegetação (NDVI) que utiliza as bandas com maior variância a fim de destacar um determinado objeto de cena. Quanto maior o valor dos índices de vegetação, maior a probabilidade de que o alvo seja uma vegetação verde. Isto ocorre porque a vegetação verde e saudável absorve a radiação na faixa do vermelho e possui alta reflectância na região do infravermelho próximo.

Segundo Sabins (1999), o uso do sensoriamento remoto no mapeamento de uma determinada área propicia a realização de um levantamento sistemático da superfície da terra. Categorizam-se em classes os diferentes usos associados ao sistema de informação geográfica, simulando a dinâmica espacial do “uso da terra” com a produção de séries temporais de mapas para uma mesma área. Existem diversas formas de aquisição de dados para a atualização de bases de dados espaciais. Dentre elas, o uso da fotogrametria, do sensoriamento remoto, levantamento topográfico e etc (KURAK; MENEGUETTE, 2001).

Os dados do sensoriamento remoto têm sido amplamente difundidos, assimilados e utilizados para mapeamentos temáticos. “Os mapas produzidos por meio de sensoriamento remoto dependem da qualidade de informação da qual são derivados” (Congaton, apud Espinoza 2008).

“A composição colorida é a união de três canais multiespectrais que permitirão uma maior diferenciação visual dos elementos da imagem. Ela pode ser apresentada em cor verdadeira” CONGALTON; GREEN, 1999 *apud* ESPINOZA, 2008.

3. Metodologia

O desenvolvimento da análise guiou-se pelas seguintes etapas, cuja lógica pode ser melhor visualizada através do fluxograma representado na Figura 24:

- Delimitação e extração da área da bacia e sub-bacias a partir de dados SRTM (2000) com apoio da ferramenta *Hydrology* no *software* *ARCGIS 9.3*;
- Análise morfométrica da bacia (através da hipsometria e declividade);
- Compreensão da dinâmica climato-hidrológica através da análise dos dados secundários de precipitação (anuais, mensais, e extremas) e vazão, num período de dez anos (de 2000 a 2011), obtidos através de relatórios da Administração Regional de Água do Sul (ARA-SUL) e de duas estações pluviométricas (uma localizadas no baixo curso e uma no médio curso, em território da Suazilândia); os dados acima mencionados são analisados juntamente com os de escoamento na bacia do rio Umbeluzi em duas estações hidrométricas também gerenciadas pela ARA-SUL (localizadas uma a montante da represa, no distrito de Goba, e a outra à jusante da Barragem dos Pequenos Libombos);

- Análise integrada de dados secundários de qualidade da água no baixo curso da Bacia Hidrográfica do Rio Umbeluzi dos anos de 2010/2011 (ARA-SUL, 2011) com a dinâmica climato-hidrológica desses mesmos anos;

- Associação dos aspectos quantitativos e qualitativos da água visando à criação e implantação de diretrizes integradas de gestão dos recursos hídricos e gestão ambiental, prevendo a articulação do planejamento setorial dos diversos organismos públicos e privados com a participação de representantes da sociedade civil na gestão dos recursos hídricos; adequação das diretrizes descritas anteriormente às diversidades regionais; integração das políticas de gestão transfronteiriça dos recursos hídricos às diretrizes de gestão da bacia do rio Umbeluzi.

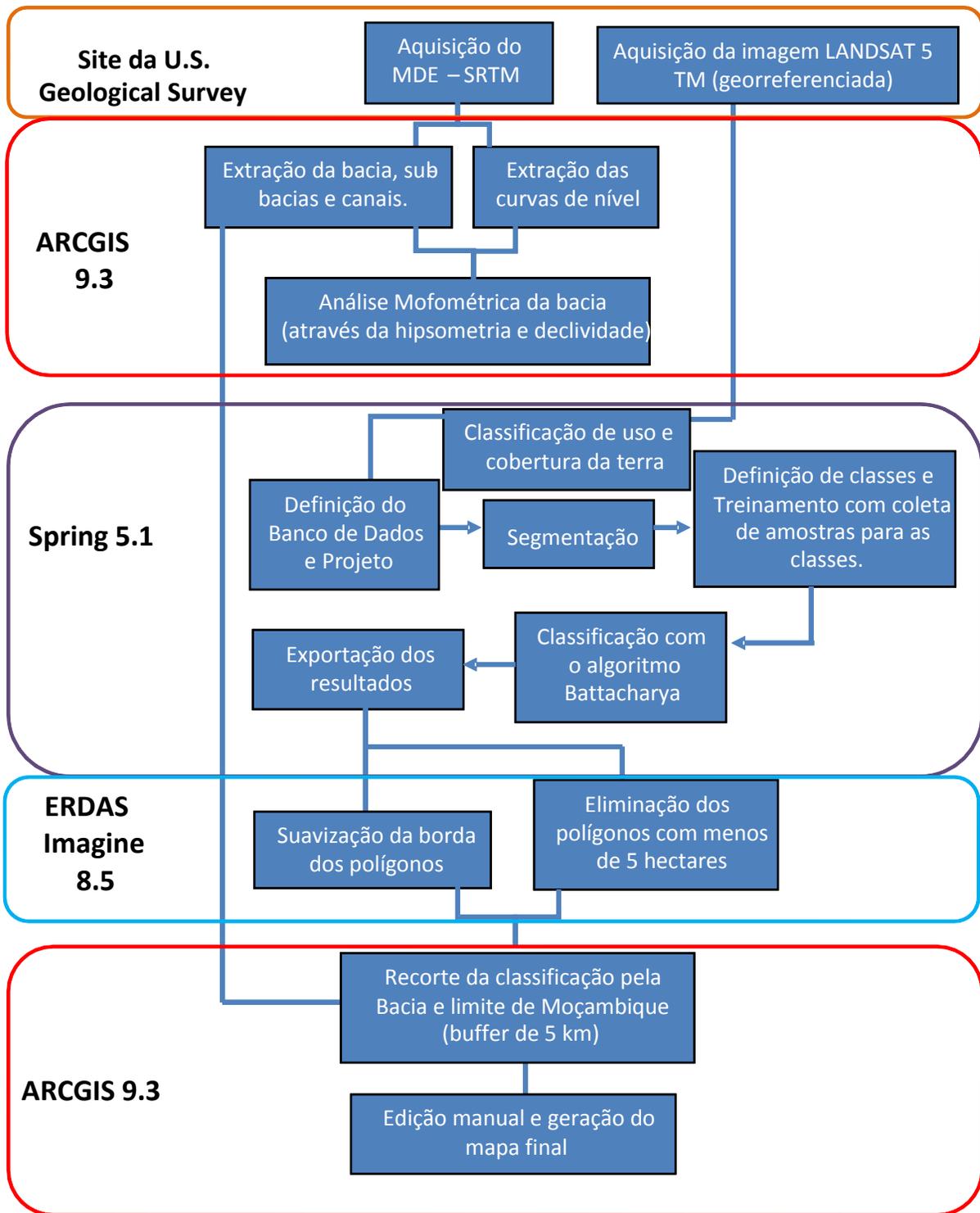


Figura 24: fluxograma representando as principais etapas desenvolvidas na dissertação.

Fonte: Elaborado pelo autor 2012

3.1 - Materiais e Métodos

Para a construção da base de dados geoambientais, proposta para esta pesquisa foram utilizados os seguintes materiais e métodos:

- Imagens Landsat 5 (12/03/2009);
- Dados SRTM – 2000;
- Base Cartográfica com os limites dos países da África (Fonte: Geocommunity);
- Dados de pluviosidade dos anos de 2000 a 2011 para a Bacia do Umbeluzi, no território Moçambicano;
- Dados de vazão e escoamento do rio Umbeluzi no território Moçambicano;
- Softwares:
 - ArcGis 9.3;
 - Spring 5.1;
 - ERDAS Imagine 8.5
 - Matlab 9.8;

Arc Gis 9.3

O ARCGIS 9.3 foi à ferramenta para consrução dos mapas e dos Modelos Digitais de Elevação.

Spring 5.1

O software Spting 5.1 foi utilizado na classificação das imagens de satélite Landsat. A segmentação do SPRING é um processo que se caracteriza em dividir a image polígonos formados por pixels com resposta espectral semelhante, O grau de similaridade usado para este trabalho foi 16, de tamanho mínimo de área igual a 25.

A classificação digital supervisionada é feita por um algoritmo, pelo método de Battacharya e do SPRING que mede as distâncias médias entre as distribuições de probabilidades de classes espectrais. Este último método, diferentemente do Ioseg, exige uma segmentação da imagem e um treinamento.

Depois da imagem segmentada, colhem-se amostras que irão habilitar a classificação. No caso deste trabalho, foram coletadas 141 áreas de treinamento, representativas das classes definidas para mapeamento. A seguir executa-se a classificação digital propriamente dita.

Quando a classificação chega ao fim, segue-se o processo de edição das áreas de confusão e geração do mapa temático final. Na edição foram eliminadas classes que foram consideradas confusas para o usuário e unir outras com sombras e luminosidade. Com a edição concluída foi obtido o mapa temático da “cobertura vegetal e uso da terra”.

ERDAS Imagine 8.5

O uso desse software foi necessário para a suavização da classificação feita pelo SPRING 5.1.

Matlab 9.8

Finalmente, para a análise hidroclimatológica optou-se pelo uso do software Matlab 9.8, onde foram agrupados os dados de precipitação das estações pluviométricas e dos dados de vazão das estações hidrométricas estudadas.

O Matlab é um *software* criado pela Mathworks em 1984 destinado à análise e modelagem de sistemas e algoritmos. Devido à sua praticidade, essa poderosa ferramenta computacional vem sendo utilizada tanto em universidades quanto em empresas do mundo todo. Dalcastagnê, (2008).

Em relação a uma linguagem de programação tradicional (por exemplo, a C/C++ ou Fortran), o desenvolvimento de algoritmos no ambiente Matlab é, sem dúvida, mais fácil e rápido. A desvantagem é: ao utilizarmos uma linguagem de programação tradicional é possível desenvolver algoritmos mais eficientes, Dalcastagnê, (2008).

O Matlab (*Matrix Laboratory*) pode ser definido como um ambiente de computação numérica baseado em matrizes. Dentre as suas principais características, destacam-se:

- Gráficos e visualização de dados:
 - ✓ Linguagem de programação de alto nível;
 - ✓ *Toolboxes*, oferecendo funcionalidades específicas por área de aplicação.

Exemplos de *toolboxes*:

- ✓ Optimization, Statistics, Financial;
- ✓ Fuzzy Logic, Neural Networks, Control System;
- ✓ Signal Processing, System Identification.

A estrutura de diretórios do Matlab é a seguinte:

- ✓ Diretório base: c:\matlab;
- ✓ Executáveis: c:\matlab\bin;
- ✓ Diretório de trabalho: c:\Matlab\work.

Ambiente Matlab

- Área de trabalho
- A área de trabalho do Matlab apresenta duas partes principais:
- Command Window: área na qual os dados e instruções são digitados e os resultados são apresentados;
 - ✓ Workspace: área de memória de trabalho do Matlab, na qual todas as variáveis são armazenadas.

Por exemplo, digite no Command Window a instrução “ver”. Como resultado, o usuário recebe as informações acerca das versões do Matlab, do Simulink e de todos os *toolboxes* instalados no computador. O sinal de prompt “>>” dessa janela indica que o sistema está apto a receber comandos, Dalcastagnê (2008).

Funções Matemáticas

O Matlab possui uma série de funções matemáticas (*built-in functions*). Além dessas funções previamente programadas, o usuário também pode criar funções para atender às suas necessidades. Uma função no Matlab apresenta a seguinte sintaxe: [saída1, saída 2, ... ,saídaN] = NomeFunção [entrada1, entrada2, ... ,entradaM]. Saída1 e saída N são os N parâmetros de saída da função; entrada1 e entrada M são os M parâmetros de entrada da função; Nome Função é o nome da função. Para obter ajuda em alguma função, pode-se utilizar o comando help ,(Dalcastagnê (2008)).

```
>> help sin
```

```
SIN Sine.
```

```
SIN(X) is the sine of the elements of X.
```

```
Overloaded methods
```

```
help sym/sin.m
```

```
>> x = pi/2;
```

```
>> a = sin(x)
```

a =

1.0000

Segundo Dalcastagnê, é interessante notar a função do Matlab. Na definição da variável “x” o seu valor não foi apresentado na tela devido à inserção do >>. Por outro lado, quando se definiu a variável “a”, o seu valor foi apresentado na tela porque não se colocou o “no final da instrução”. “Em termos numéricos não existe diferença alguma; o sinal” serve apenas para informar ao Matlab que não se deseja ver o resultado de uma operação na tela.

Criação de Matrizes

a) Matrizes numéricas: formadas por qualquer número ou operação numérica:

```
>> m = [-2.8 sqrt (2) (5+4)/8 1; sin (0.4) exp (0.7) fix (4.5) 100]
```

m =

-2.8000 1.4142 1.1250 1.0000

0.3894 2.0138 4.0000 100.0000

b) Acrescendo valores em uma matriz: é possível acrescentar apenas um valor em uma matriz; os demais novos componentes são considerados iguais a zero:

```
>> m(1,6) = 666
```

m =

-2.8000 1.4142 1.1250 1.0000 0 666.0000

0.3894 2.0138 4.0000 100.0000 0

c) Criação de vetores linearmente espaçados através do símbolo

Veja o exemplo abaixo, no qual x é um vetor que varia entre 1 e 5 com incremento 1 (valor padrão).

```
>> x = 1:5
```

x =

1 2 3 4 5

Se o incremento for # de 1, o seu valor deve ser incluído na instrução.

Veja o exemplo a seguir em que o incremento do vetor x é 0,5 e o do vetor y é -0,5.

```
> x = 1:0.5:5
```

```
x =
```

```
1.0000 1.5000 2.0000 2.5000 3.0000 3.5000 4.0000 4.5000 5.0000
```

```
>> y = 5:-0.5:1
```

```
y =
```

```
5.0000 4.5000 4.0000 3.5000 3.0000 2.5000 2.0000 1.5000 1.0000
```

d) Principais instruções relacionadas com matrizes:

Tabela: Comandos para criação de matrizes elementares

Função	Descrição	Exemplo
Eye	Cria matriz identidade	<pre>>> eye(3) ans = 1 0 0 0 1 0 0 0 1</pre>
Zeros	Cria matriz com todos os Elementos nulos	<pre>>> zeros(2,3) ans = 0 0 0 0 0 0</pre>
Ones	Cria matriz com todos os Elementos iguais a um	<pre>>> ones(2,3) ans = 1 1 1 1 1 1</pre>
Rand	Cria matriz com números pseudorandômicos, Com distribuição Uniforme entre 0 e 1	<pre>>> rand(2,3) ans = 0.9501 0.6068 0.8913 0.2311 0.4860 0.7621</pre>

Tabela: 4

Fonte: Dalcastagnê, 2008.

e) Concatenação de matrizes, ou seja, criação de matrizes a partir de outras matrizes:

```
>> C = [A B]
```

```
C =
```

```
1 2 3 4 5 6
```

```
>> D = [A; B]
```

```
D =
```

```
1 2 3
```

```
4 5 6
```

```
>> E = [A' B']
```

```
E =
```

```
1    4
```

```
2    5
```

```
3    6
```

4. Resultados e Discussões

4.1. Distribuição da Precipitação

4.1.2. Precipitação:

A precipitação é definida pelo depósito de água no globo terrestre proveniente da atmosfera. A mesma pode efetuar-se no estado sólido ou líquido, resultando em diferentes formas de precipitação (Holtz, 1976.).

A distribuição espacial e temporal da precipitação é um dos fatores condicionantes dos tipos climáticos, relacionando-se com características dos solos, da vegetação, da hidrografia e do regime hidrológico dos rios, sendo crucial na determinação do padrão de cheias e secas quando associadas à circulação da atmosfera e aos fatores fisiológicos da superfície, o que, segundo Holtz (1990) condiciona o escoamento.

Portanto, o período das cheias é um dos problemas universais da hidrologia. Em Moçambique, sua ocorrência está ligada, sobretudo, às precipitações extremas. O estudo destas últimas associado à ocorrência de cheias numa certa região permite a redução dos seus efeitos negativos através da definição de medidas adequadas. Por exemplo, o sistema de aviso de cheias e o planejamento de obras hidráulicas permitem a amortização das enchentes, minimizando deste modo largos prejuízos tais como a destruição de infraestruturas e perda de vidas humanas.

A pesquisa aqui apresentada considera apenas os dados de precipitação relacionados às chuvas, uma vez que as demais formas de precipitação - orvalho, geadas e neve - são inexistentes em Moçambique, sendo, portanto, negligenciadas para a análise de vazão e enchentes dos rios moçambicanos.

Os dados analisados são oriundos de quatro estações pluviométricas da ARA-SUL, localizadas na bacia do rio Umbeluzi, em áreas consideradas chaves para o entendimento do regime de chuvas e sua relação com a descarga fluvial na entrada e na saída da represa dos Pequenos Libombos. A Tabela (5) apresenta as quatro estações pluviométricas e suas respectivas coordenadas geográficas. Na Figura (5), pode-se observar essas estações plotadas no mapa da bacia.

Tabela 5: Localização das Estações Pluviométricas

Estação Pluviométrica		Coordenadas geográficas		
Nome	Código	Latitude	Longitude	Altitude(m)
Namaacha- Goba –Montante	P-315	26.12'.3''	32.00'.00''	41.4
Escola Agrária de Umbeluzi- Boane- Jusante	P-6	26.00'.0''	32.17'.30''	33.0
Barragem dos Pequenos Libombos	P-1169	26.00'.0''	32.14'.30''	23.7
Vila de Boane- Boane	P-302	26.12'.38	32.21'.00	10.0

Fonte: ARA-SUL, 2011.

4.2. Análise da precipitação através do modelo matemático Matlab

Precipitação Acumulada dos anos 2000 a 2011 em relação aos meses de ocorrência

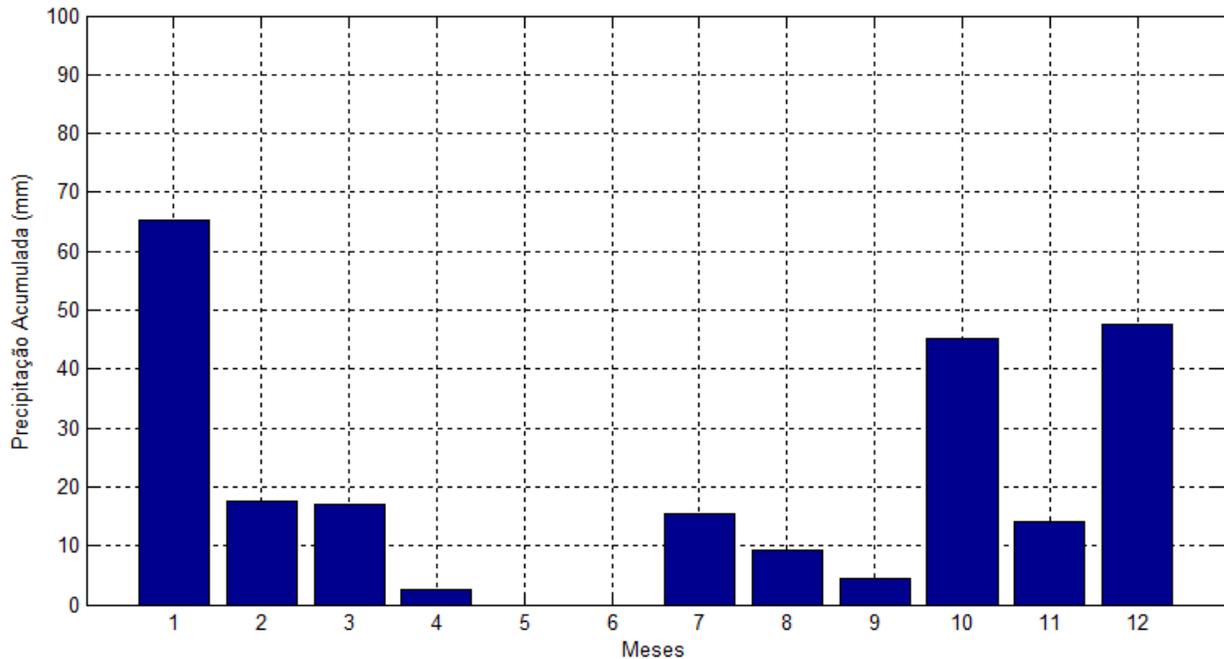


Gráfico 1: Precipitação mensal acumulada no ano de 2000.

Fonte: Elaborado pelo autor a partir das séries históricas de dados pluviométricos da ARA-SUL, trabalhada no Matlab.

O gráfico (1) ilustra a frequência da precipitação acumulada em mm^3 no ano 2000. Em relação ao volume precipitado nota-se que os valores acima de 40mm^3 ocorrem nos meses de janeiro, outubro e dezembro, respectivamente, sendo meses mais chuvosos em relação aos meses de abril à setembro, que caracterizam a época de seca segundo o calendário meteorológico do país.

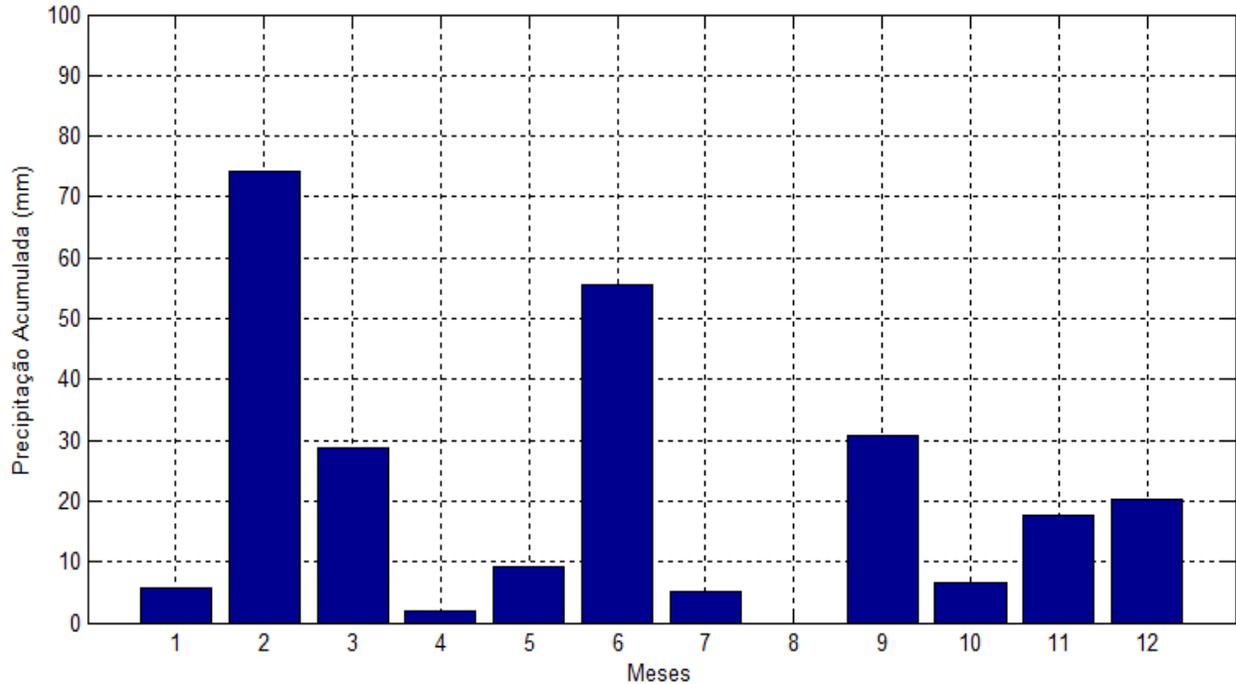


Grafico 2: Precipitação mensal acumulada no ano de 2001.

Fonte: Elaborado pelo autor a partir das séries históricas de dados pluviométricos da ARA-SUL, trabalhadas no Matlab.

Analisando a variação da precipitação acumulada do ano 2001 é de notar que a distribuição é anormal tendo em conta os periodos de chuvas com maior intensidade que são caracteristicamente os meses de outubro, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março. Entretanto, neste ano nota-se que o mês de junho apresenta um total de precipitação acumulada relativamente superior aos tradicionalmente considerados como meses de chuva.

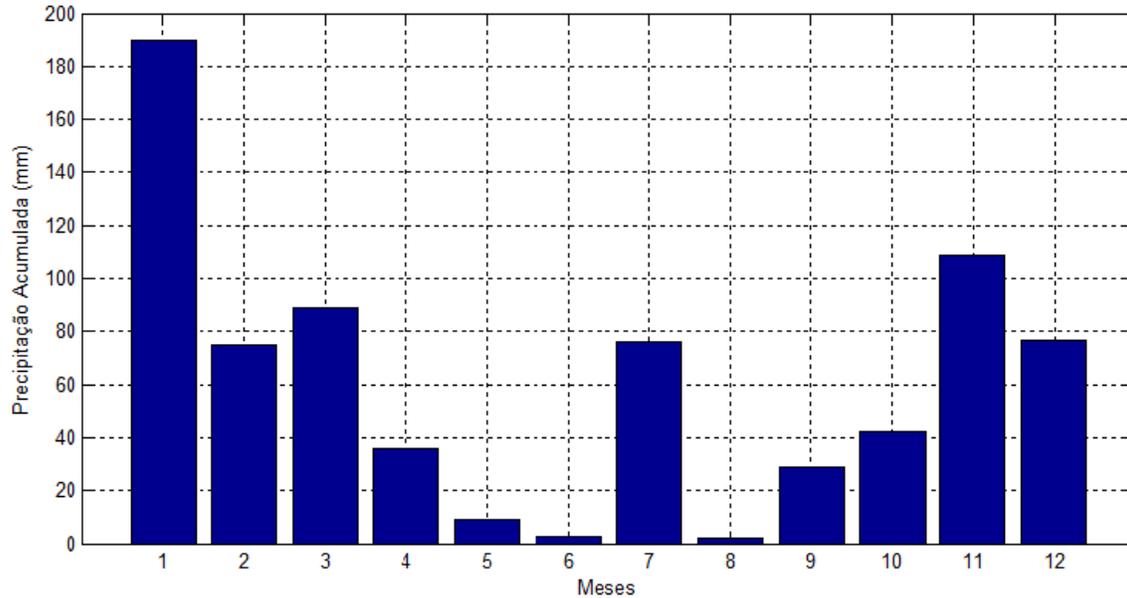


Grafico 3: Precipitação mensal acumulada no ano de 2002

Fonte: Elaborado pelo autor a partir das séries históricas de dados pluviométricos da ARA-SUL, trabalhadas no Matlab

Em relação ao grafico 3, referente a média acumulada de precipitação do ano 2002 é evidente o pico das chuvas nos meses correspondentes ao verão moçambicano, mostrando claramente que a maior quantidade de precipitação verificou-se no mês de janeiro, um mês em que recorrentemente se verificam as chuvas intensas. Observa-se, também, que o mês de julho, normalmente seco, apresentou um bom volume de precipitação.

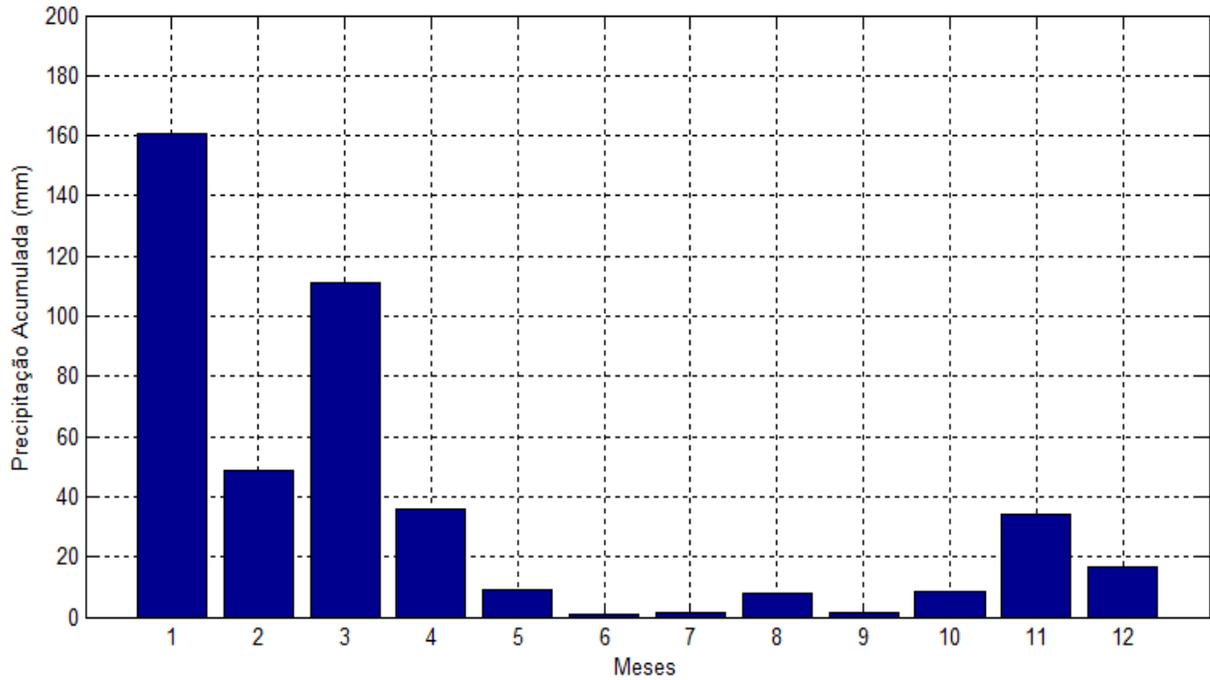


Grafico 4: Precipitação mensal acumulada no ano de 2003

Fonte: Elaborado pelo autor a partir das séries históricas de dados pluviométricos da ARA-SUL, trabalhadas no Matlab

As chuvas no ano 2003 de uma maneira geral foram escassas, com um índice de precipitação mensal acumulada abaixo de 10mm³ entre os meses de maio a outubro.

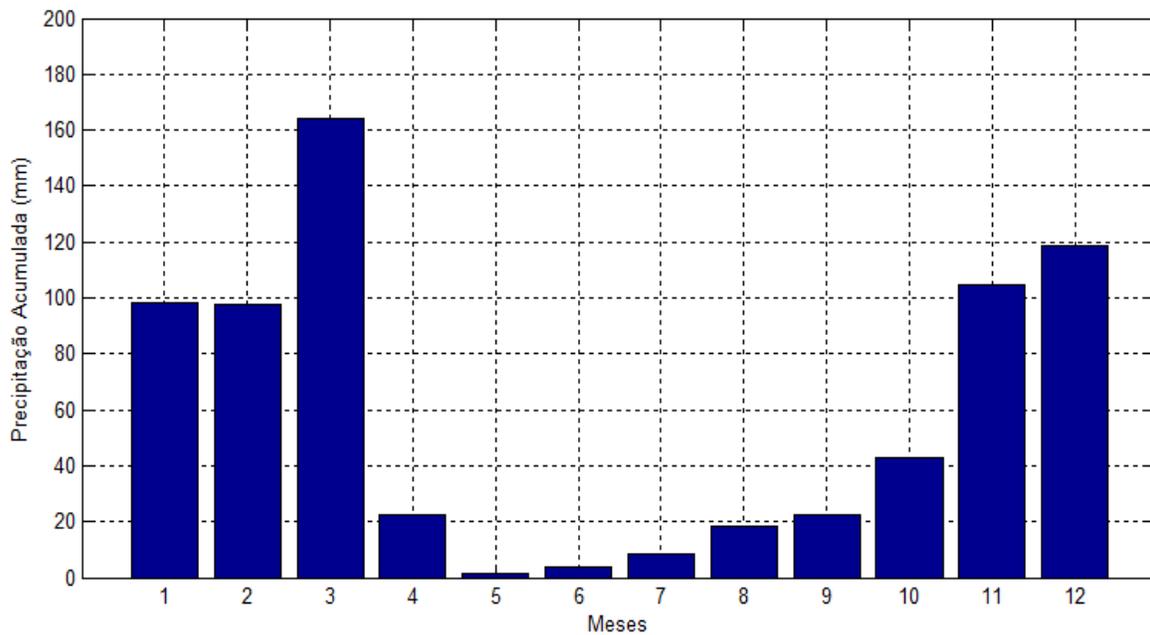


Grafico 5: Precipitação mensal acumulada no ano de 2004

Fonte: Elaborado pelo autor a partir das séries históricas de dados pluviométricos da ARA-SUL, trabalhadas no Matlab

Este gráfico reflete uma situação padrão de distribuição da precipitação ao longo de um ano, para as características climáticas da região.

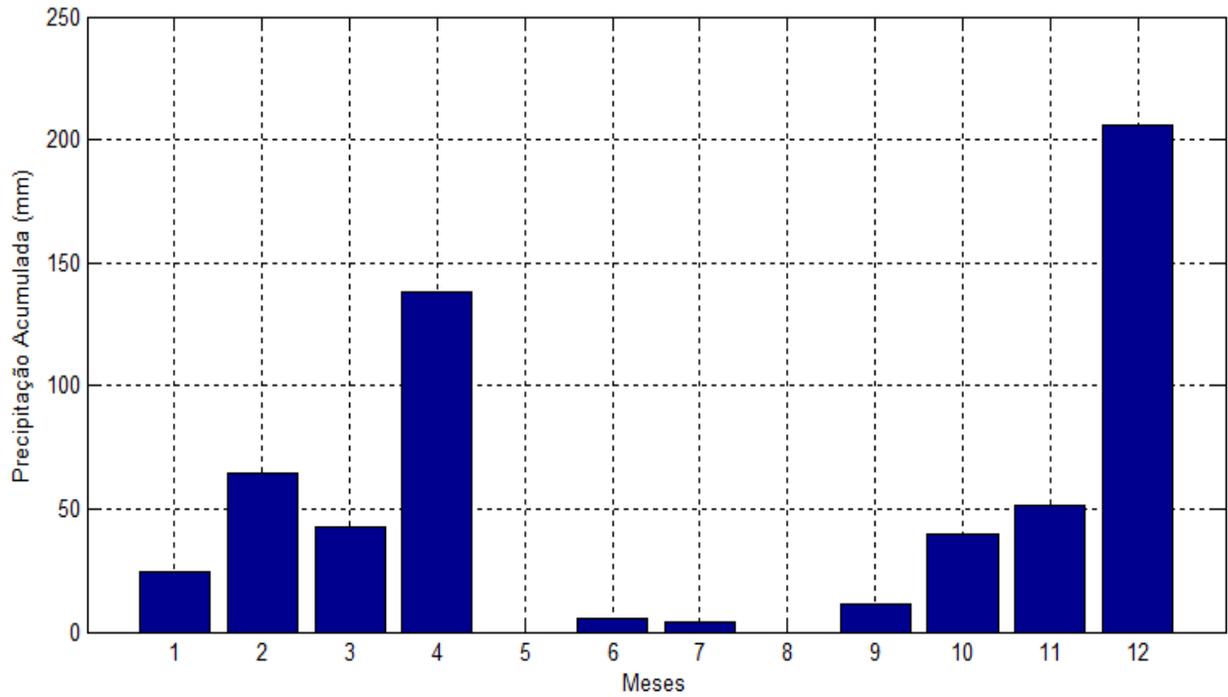


Gráfico 6: Precipitação mensal acumulada no ano de 2005

Fonte: Elaborado pelo autor a partir das séries históricas de dados pluviométricos da ARA-SUL, trabalhadas no Matlab

Neste gráfico chama atenção o mês de janeiro, normalmente muito chuvoso, apresentando uma precipitação muito baixa (em torno de 25 mm³), e um mês de abril atípico, com chuvas acima de 125 mm³.

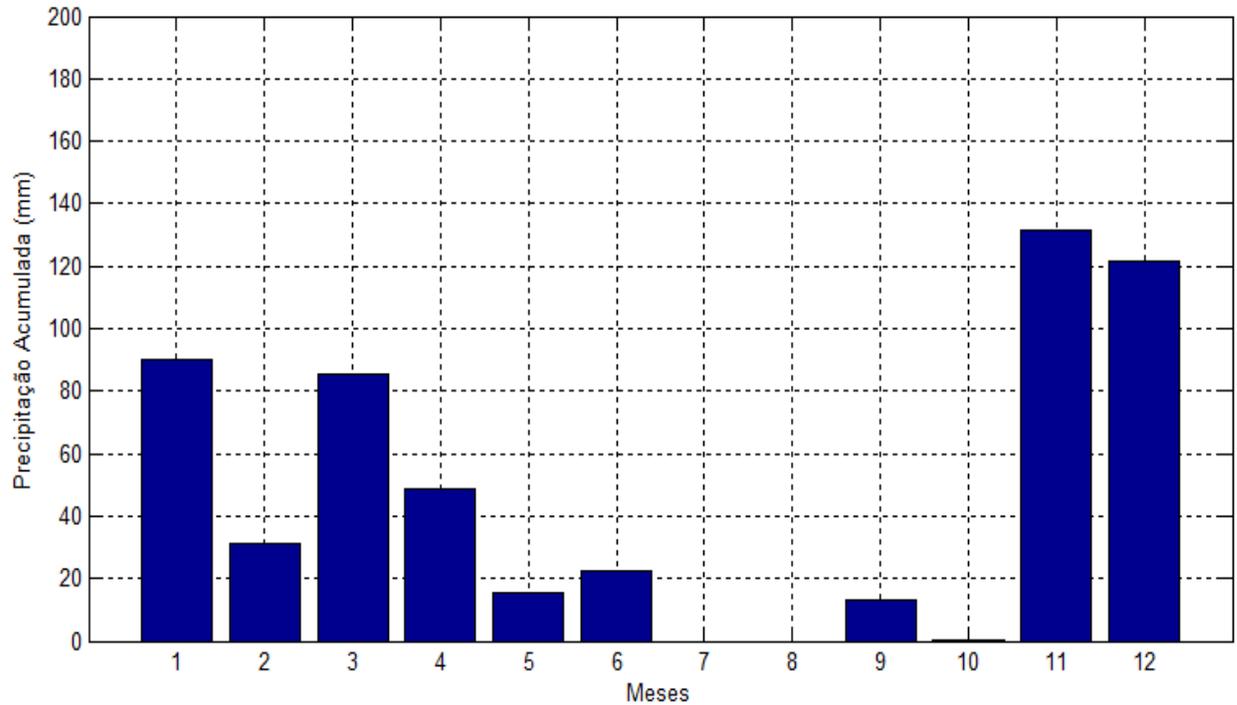


Grafico 7: Precipitação mensal acumulada no ano de 2006

Fonte: Elaborado pelo autor a partir das séries históricas de dados pluviométricos da ARA-SUL, trabalhadas no Matlab

Este gráfico reflete uma situação quase padrão de distribuição da precipitação ao longo de um ano, para as características climáticas da região. Observando-se um mês de outubro com precipitação quase nula, embora esse seja o mês que marca o início da época chuvosa.

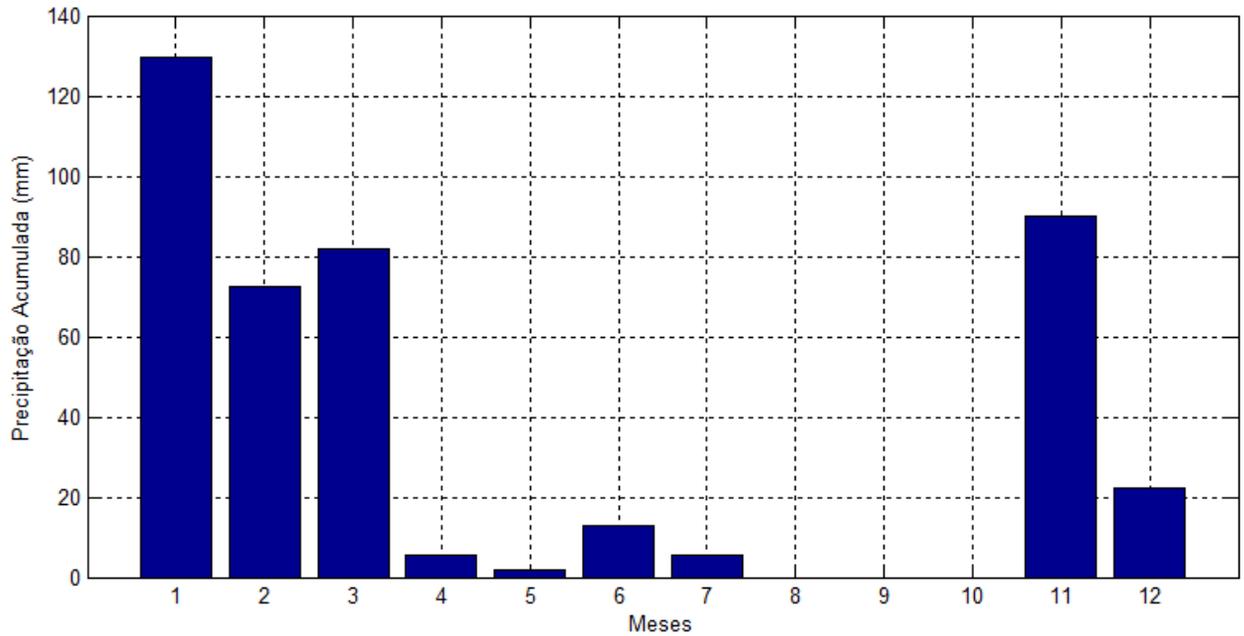


Gráfico 8: Precipitação mensal acumulada no ano de 2007

Fonte: Elaborado pelo autor a partir das séries históricas de dados pluviométricos da ARA-SUL, trabalhadas no Matlab

Este gráfico reflete uma situação muito parecida com a do ano anterior (2006), apresentando uma distribuição de precipitação quase padrão para as características climáticas da região.

Neste ano deve ser destacado o mês de outubro com precipitação 0.

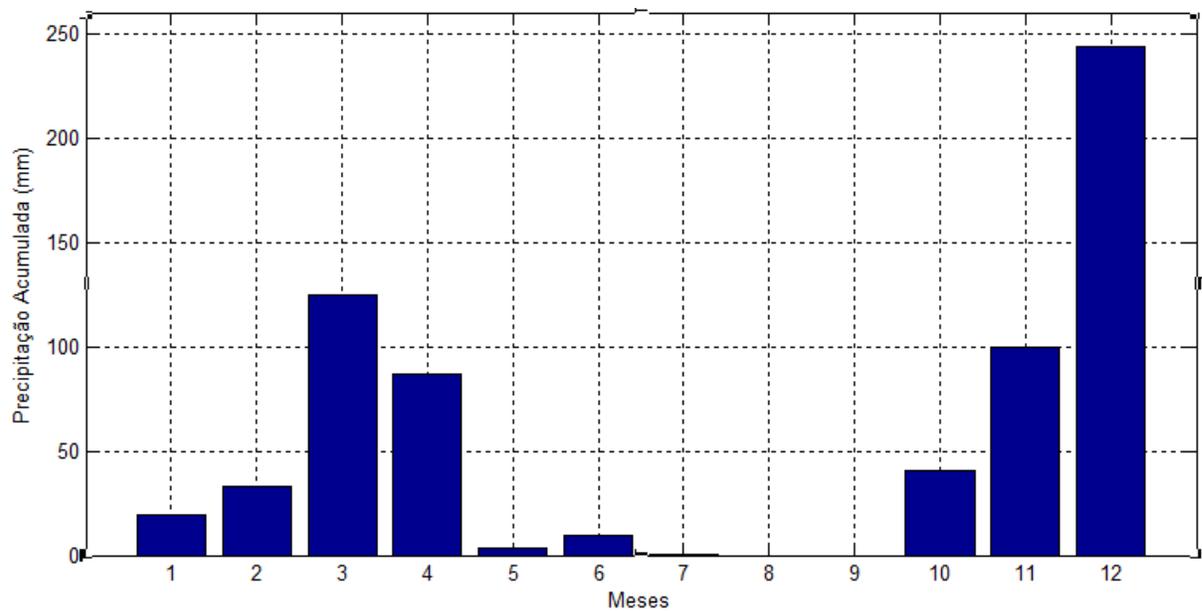


Gráfico 9: Precipitação mensal acumulada no ano de 2008

Fonte: Elaborado pelo autor a partir das séries históricas de dados pluviométricos da ARA-SUL, trabalhadas no Matlab

Este gráfico reflete um comportamento similar ao verificado no ano de 2005, com um mês de abril chuvoso, embora este mês marque o início do período seco, pluviosidade nula nos meses de agosto e setembro, e alguma concentração de chuvas em dezembro. |

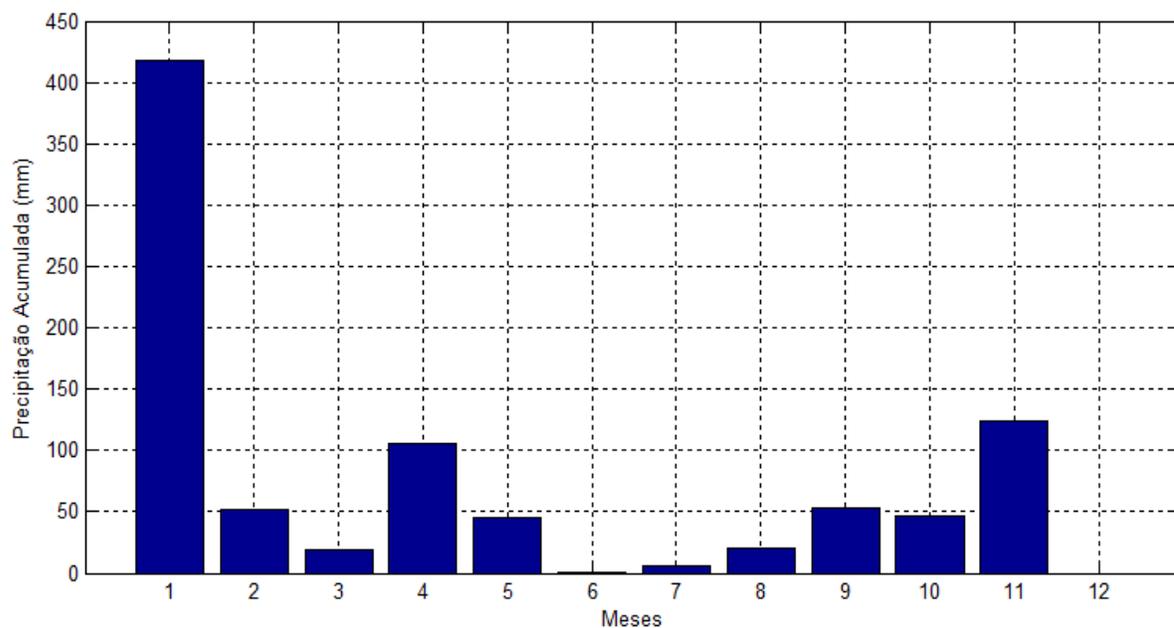


Grafico 10: Precipitação mensal acumulada no ano de 2009

Fonte: Elaborado pelo autor a partir das séries históricas de dados pluviométricos da ARA-SUL, trabalhadas no Matlab

Neste gráfico verifica-se que o período chuvoso foi extremo no mês de janeiro, com mais de 400 mm³ de chuvas. Considerando-se o mês de janeiro na sequência do mês de dezembro do ano anterior, têm-se um acumulado de quase 670 mm³ marcando um período chuvoso de alta intensidade. Entretanto, o mês de dezembro teve precipitação nula, o que vai se refletir num período chuvoso entre os anos de 2009 e 2010 anormal, com precipitação abaixo do esperado.

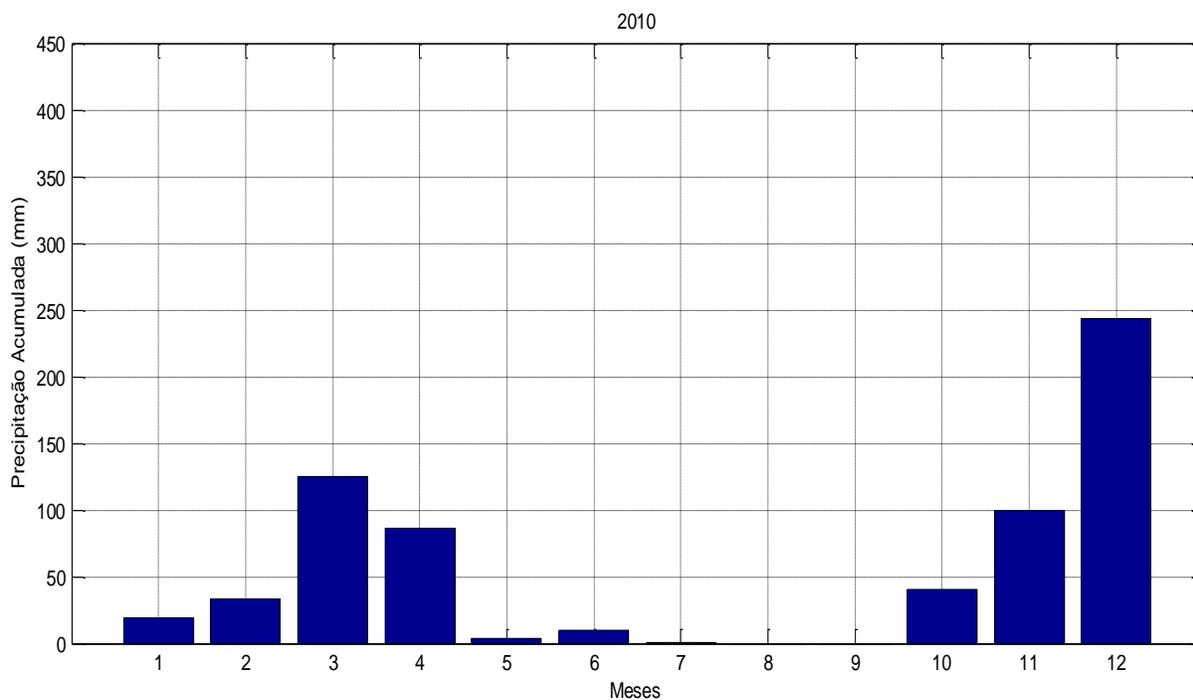


Gráfico 11: Precipitação mensal acumulada no ano de 2010

Fonte: Elaborado pelo autor a partir das séries históricas de dados pluviométricos da ARA-SUL, trabalhadas no Matlab

Este gráfico, visto em conjunto com o gráfico do ano de 2009, evidencia uma temporada chuvosa anormal, com índices pluviométricos totais muito abaixo esperado. No todo, registra-se um ano extremamente seco, uma vez que a precipitação acumulada entre os meses de janeiro e outubro ficou abaixo de 350 mm³, só começando a normalizar nos meses de novembro e dezembro, quando choveu 100 mm³ e 240 mm³ respectivamente.

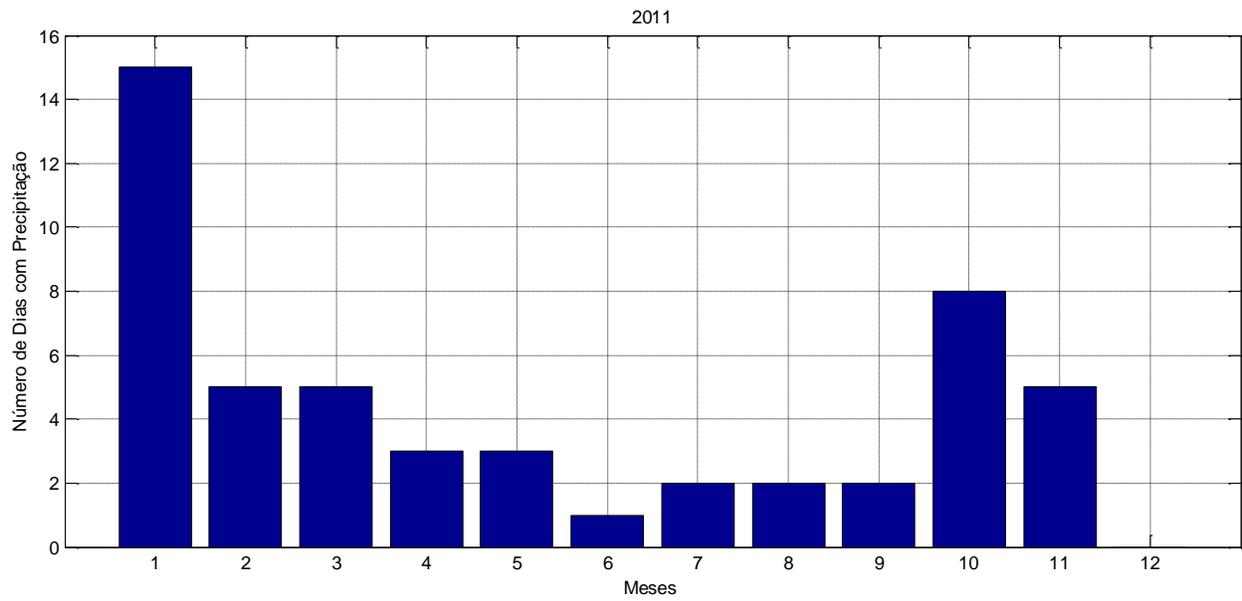


Grafico 12: Precipitação mensal acumulada no ano 2011

Fonte: Elaborado pelo autor a partir das séries históricas de dados pluviométricos da ARA-SUL, trabalhadas no Matlab

Média da precipitação mensal acumulada nos anos de 2002 a 2011.

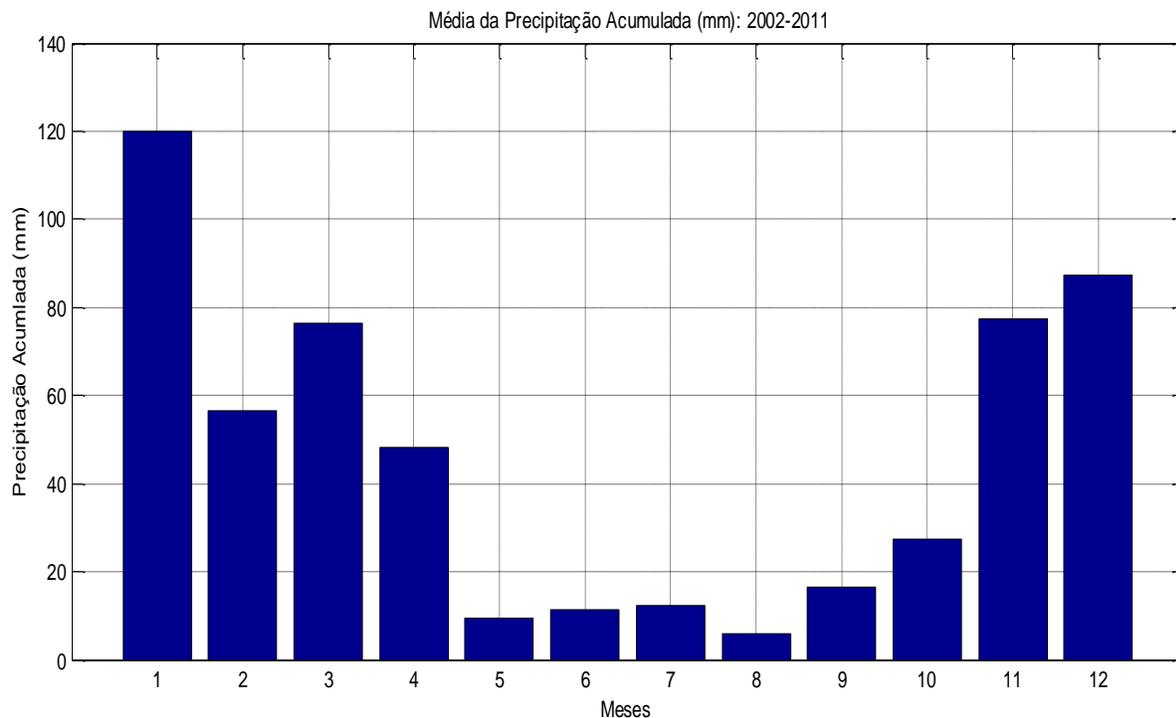


Gráfico 13: Média da precipitação mensal acumulada entre os anos 2002 a 2010

Fonte: Elaborado pelo autor a partir das séries históricas de dados pluviométricos da ARA-SUL, trabalhadas no Matlab

Este gráfico, já abordado no capítulo 2, no item clima, evidencia que a pluviosidade no baixo curso do rio Umbeluzi destoa um pouco do padrão esperado para Moçambique, que caracteristicamente tem sua estação chuvosa entre os meses de outubro a março, e a estação seca se estendendo dos meses de abril a setembro. Nota-se no gráfico, que abril ainda aparece como um mês chuvoso, com uma pluviosidade acumulada média de 50 mm³. Em relação a abril, o mês de maio apresenta uma ruptura abrupta, com uma pluviosidade acumulada média abaixo de 10 mm³. Outra anormalidade observa-se no mês de outubro, que deveria marcar o início da temporada de chuvas, e que apresentou uma pluviosidade acumulada média abaixo de 30 mm³.

Precipitação anual acumulada entre 2002 e 2011

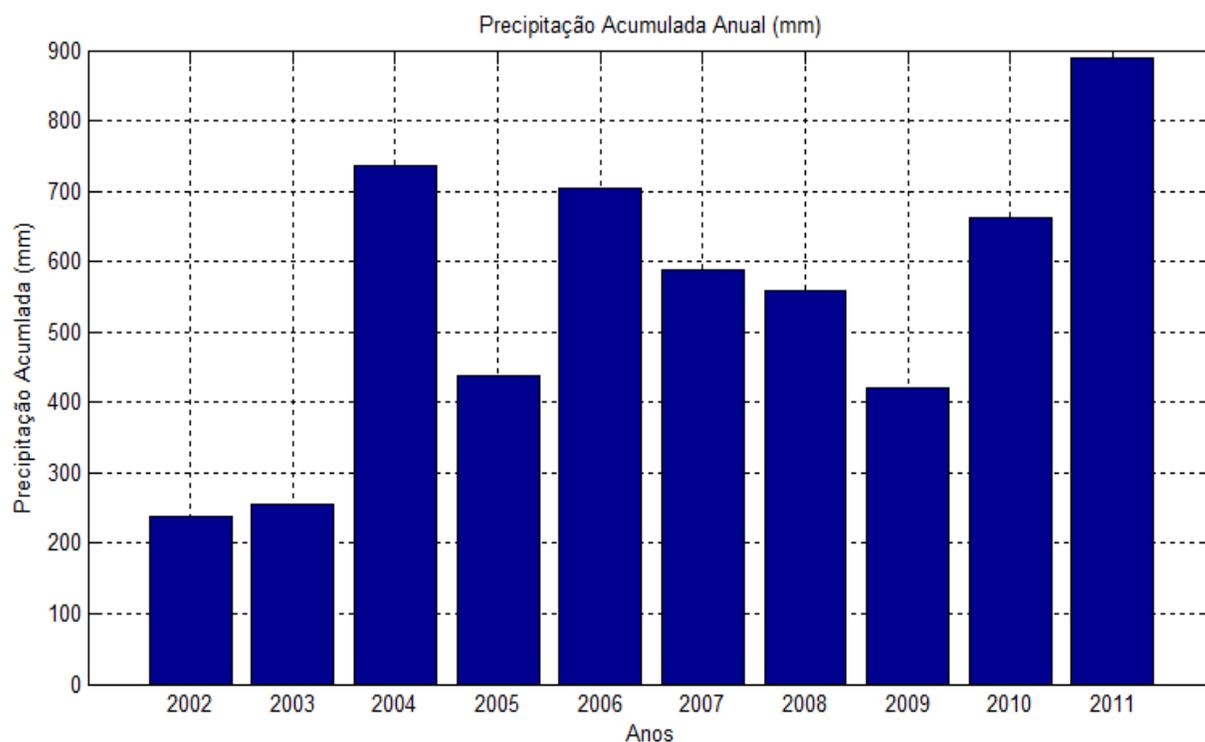


Gráfico 14: Precipitação anual acumulada entre os anos 2002 á 2010

Fonte: Elaborado pelo autor a partir das séries históricas de dados pluviométricos da ARA-SUL, trabalhadas no Matlab

Este gráfico evidencia alguma irregularidade nos totais pluviométricos anuais, com anos marcadamente mais secos, como os anos de 2002 e 2003, e anos marcadamente mais úmidos, como os anos de 2004, 2006, 2010 e 2011, com destaque para este último, quando a precipitação total somou quase 900 mm, quando o esperado para a região seria entre 500 a 700 mm.

Neste ano de 2011, o autor pode presenciar os efeitos das chuvas intensas no distrito de Boane, província de Maputo, na juzante da barragem dos Pequenos Libombos, constando os imensos prejuízos materiais e perdas humanas resultantes das enchentes, o que pode ser observado nas Figuras de 25, 26 e 27.

Figura:25



Figura:25

Fonte: Foto do Autor 2011 Pode sobre o Rio Umbeluzi depois das enchuradas, representada na figura, Dra. Josilda de Moura Orientadora da pesquisa.



Figura: 26

Fonte: Foto do Autor 2011 Pode sobre o Rio Umbeluzi depois das enchuradas, representada na figura, autor do trabalho.

Figura: 27



Fonte: Autor 2011

Precipitação anual acumulada entre 2000 e 2011 segundo as estações seca e chuvosa.

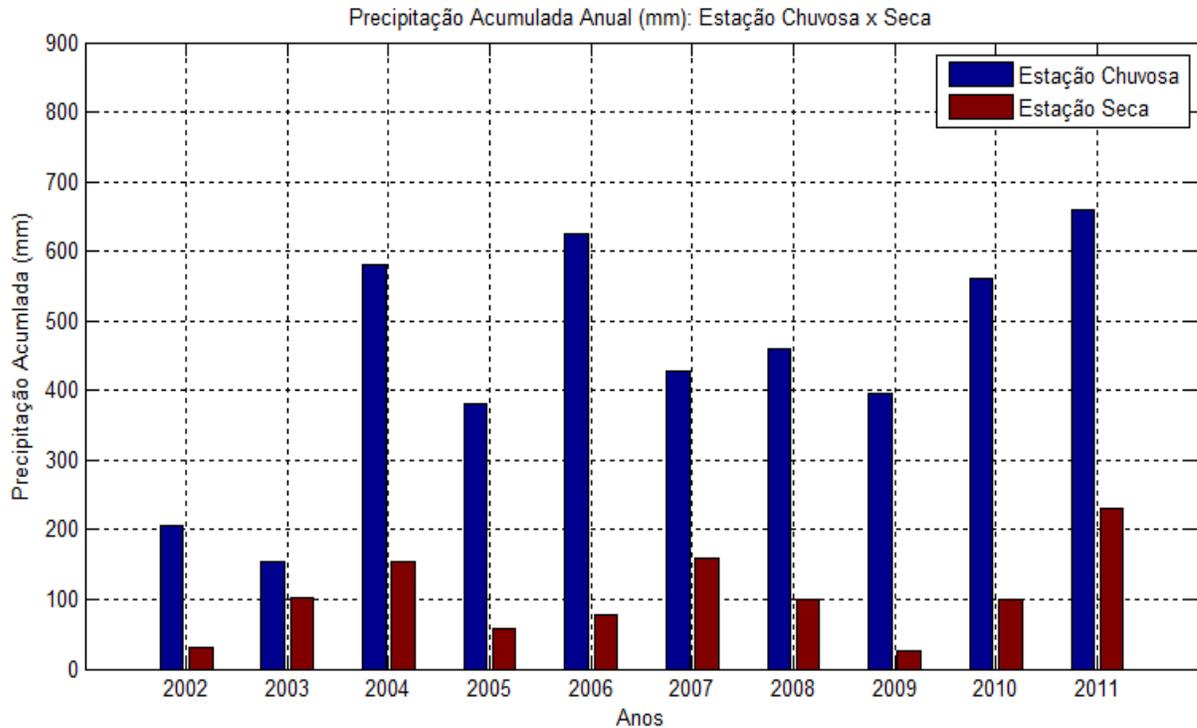


Gráfico 15: Precipitação Anual Acumulada entre 2002 e 2011 segundo as estações Seca e Chuvosa.

Fonte: Elaborado pelo autor a partir das séries históricas de dados pluviométricos da ARA-SUL, trabalhadas no Matlab

Este gráfico permite uma compreensão mais clara da diferença entre as estações secas e chuvosas, evidenciando que no geral, a precipitação acumulada nos meses de seca corresponde a menos da metade do total registrado nos meses de chuva, com exceção do ano de 2003 onde o total dos meses de chuva atingiu 150 mm³ e o total dos meses de seca 100 mm³.

Visto em conjunto com o gráfico anterior que demonstra a precipitação anual acumulada no mesmo período, pode-se concluir com algum cuidado, que embora as estações secas e chuvosas sejam bem marcadas, há uma grande variabilidade na sua ocorrência anual, sobretudo no tocante ao total de precipitação, que parece ter um ritmo próprio que poderia ser, talvez associado à ocorrência de fenômenos meteorológicos de maior escala.

Torna-se importante mencionar que o fenômeno El-Nino / Oscilação-Sul, (ENOS) é uma das mais fortes flutuações interanuais do clima. Apesar de ser originário do Pacífico, o ENOS tem influência sobre o clima global.

Micoa (2003), já observava que em Moçambique, a ocorrência do fenômeno El Niño contribui para a maior incidência de secas, enquanto a ocorrência do fenômeno La Niña, provoca um excesso de precipitação.

Entretanto essa correlação ainda carece de estudos mais aprofundados.

Número de dias com precipitação

Os gráficos a seguir apresentam ano a ano, de 2000 a 2011, o número de dias por mês com precipitação.

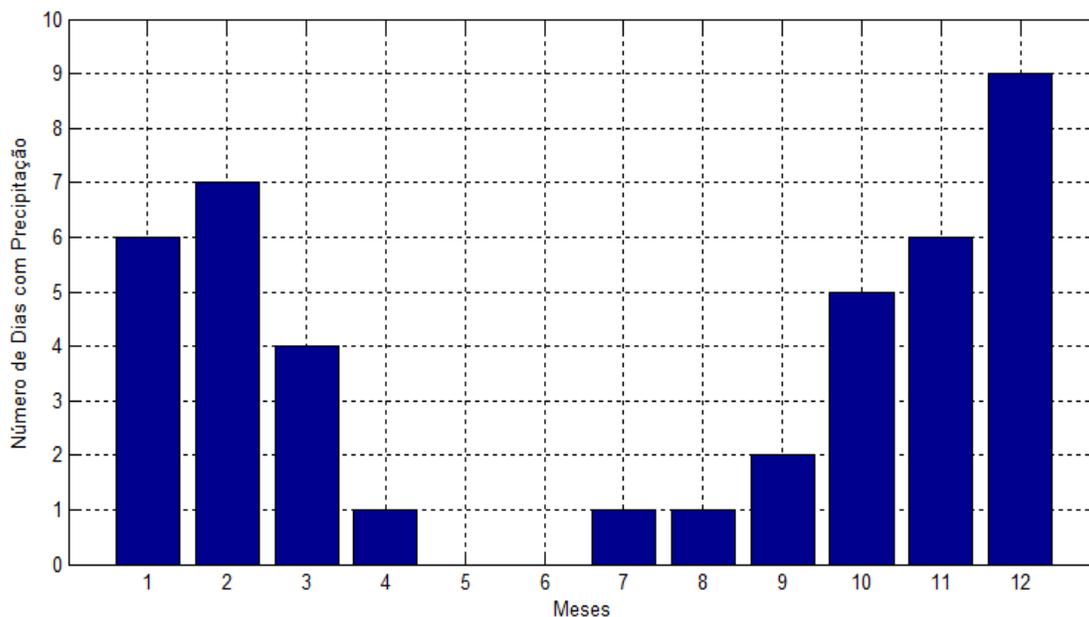


Gráfico 16: Número de dias com precipitação ano 2000

Fonte: Elaborado pelo autor a partir das séries históricas de dados pluviométricos da ARA-SUL, trabalhadas no Matlab

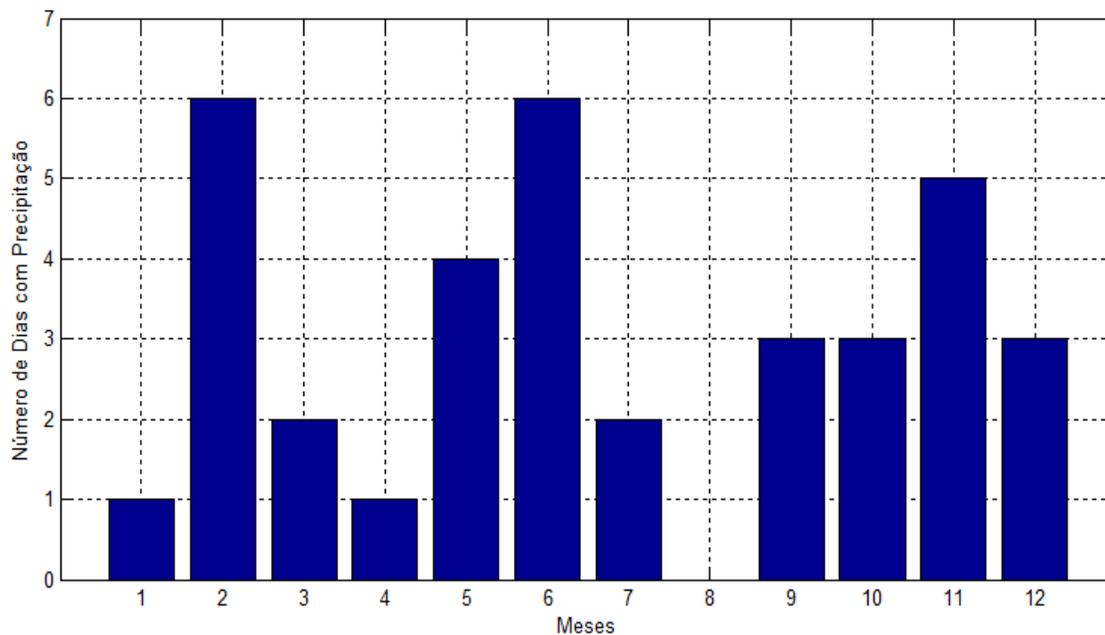


Grafico 17: número de dias com precipitação no ano 2001

Fonte: Elaborado pelo autor a partir das séries históricas de dados pluviométricos da ARA-SUL, trabalhadas no Matlab

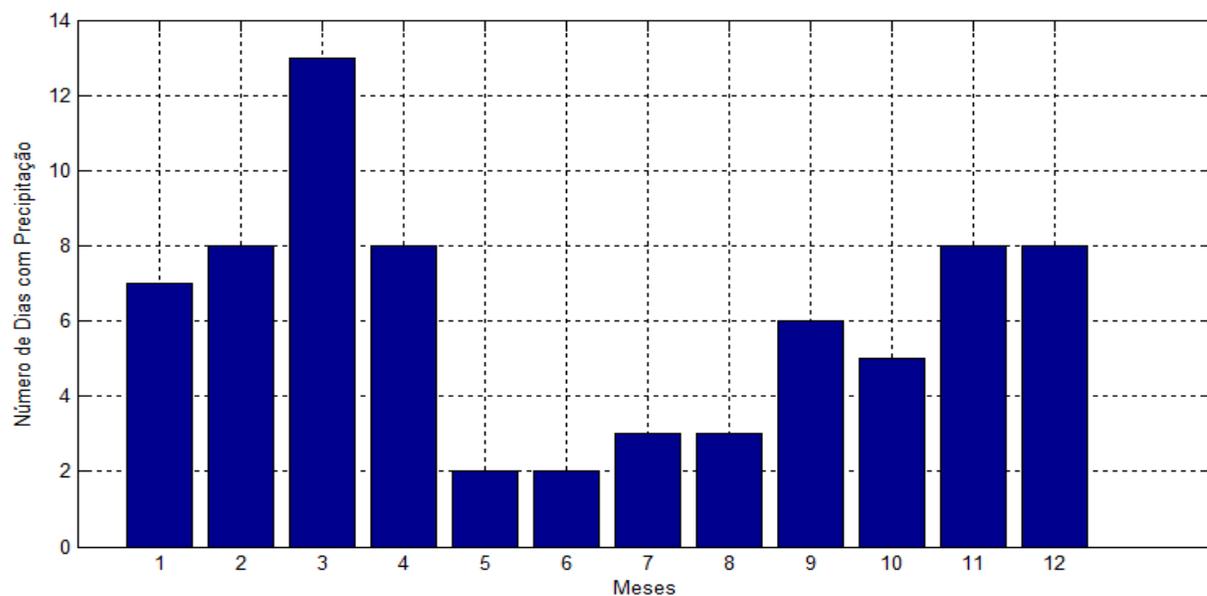


Grafico 18: número de dias com precipitação no ano 2002

Fonte: Elaborado pelo autor a partir das séries históricas de dados pluviométricos da ARA-SUL, trabalhadas no Matlab

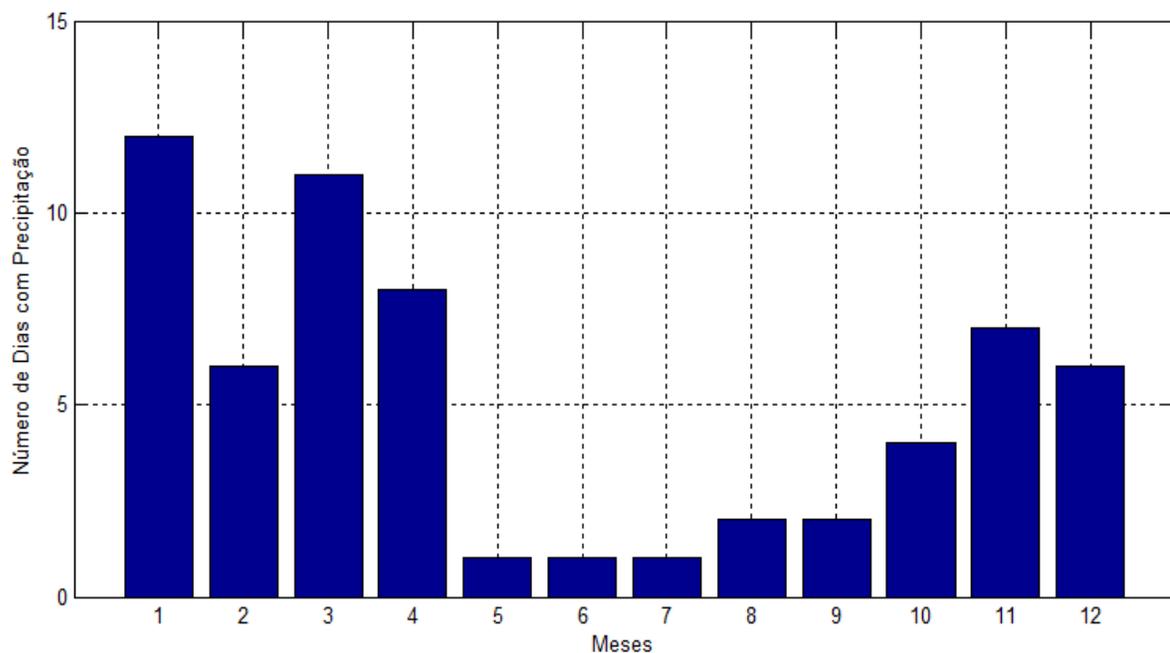


Grafico 19: número de dias com precipitação ano 2003

Fonte: Elaborado pelo autor a partir das séries históricas de dados pluviométricos da ARA-SUL, trabalhadas no Matlab

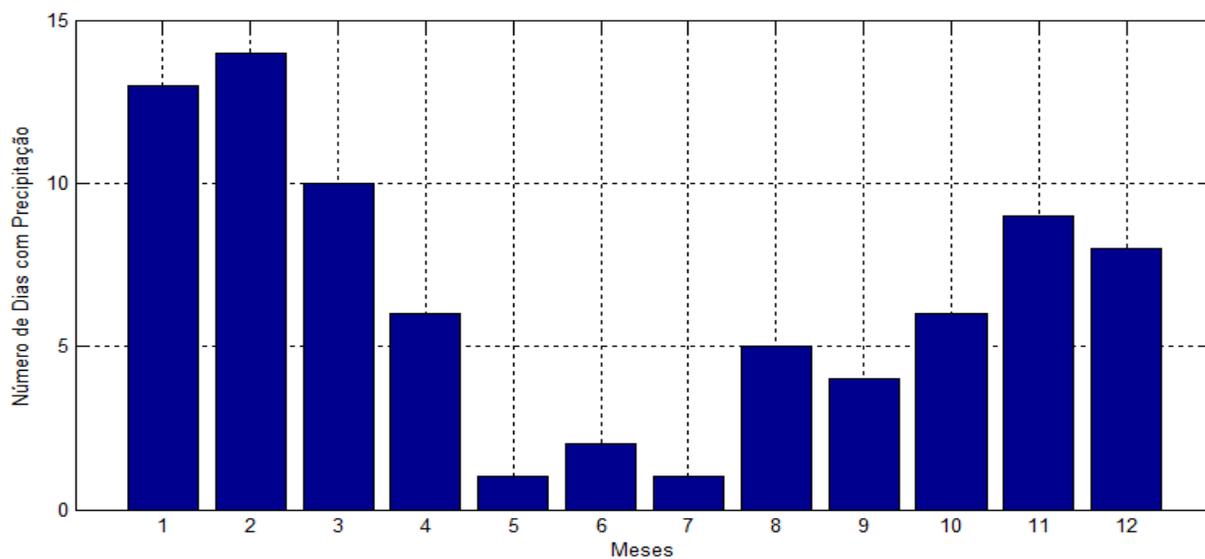


Grafico 20: número de dias com precipitação no ano 2004

Fonte: Elaborado pelo autor a partir das séries históricas de dados pluviométricos da ARA-SUL, trabalhadas no Matlab

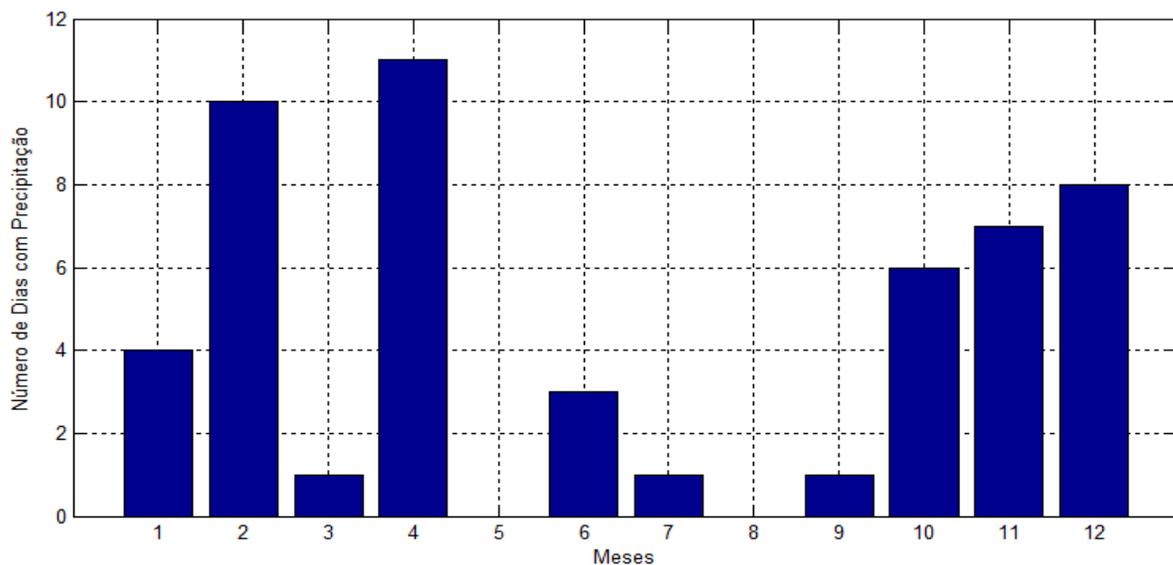


Grafico 21: número de dias com precipitação no ano 2005

Fonte: Elaborado pelo autor a partir das séries históricas de dados pluviométricos da ARA-SUL, trabalhadas no Matlab

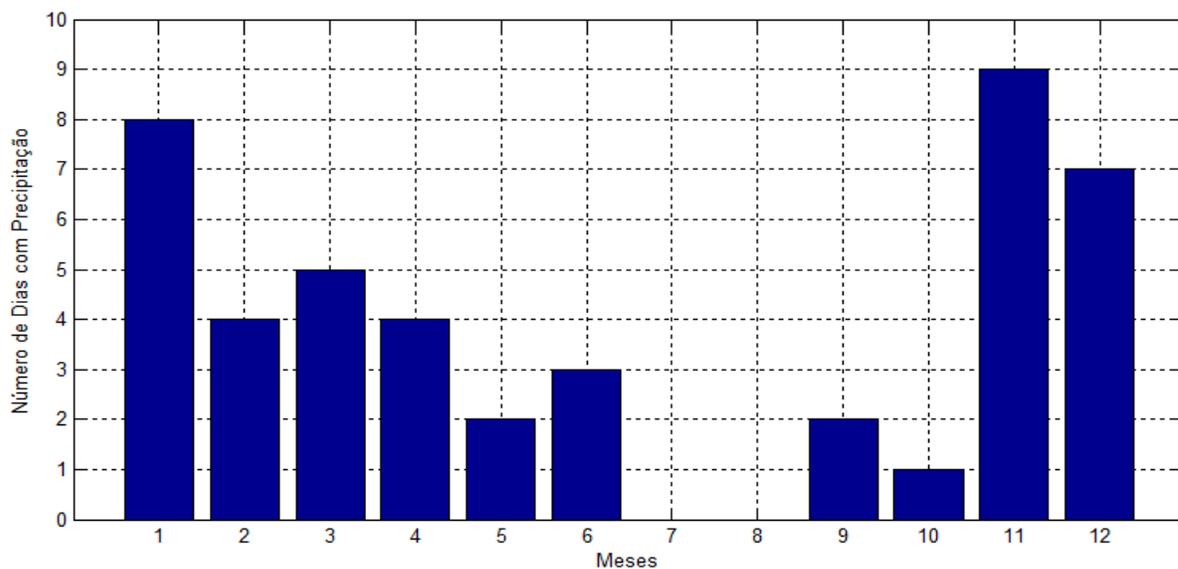


Grafico 22: número de dias com precipitação no ano 2006

Fonte: Elaborado pelo autor a partir das séries históricas de dados pluviométricos da ARA-SUL, trabalhadas no Matlab

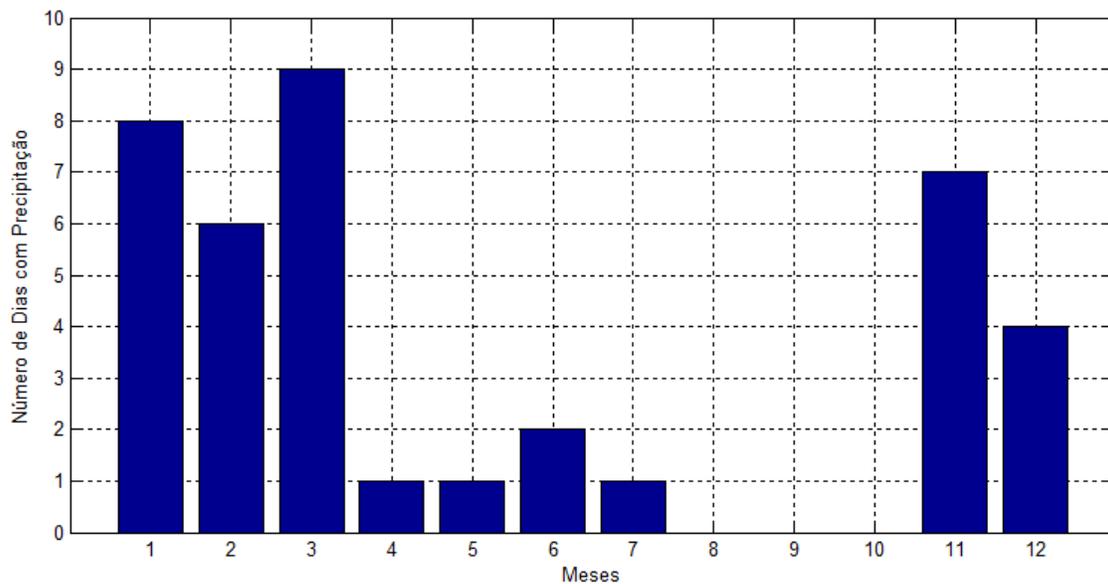


Grafico 23: número de dias com precipitação no ano 2007

Fonte: Elaborado pelo autor a partir das séries históricas de dados pluviométricos da ARA-SUL, trabalhadas no Matlab

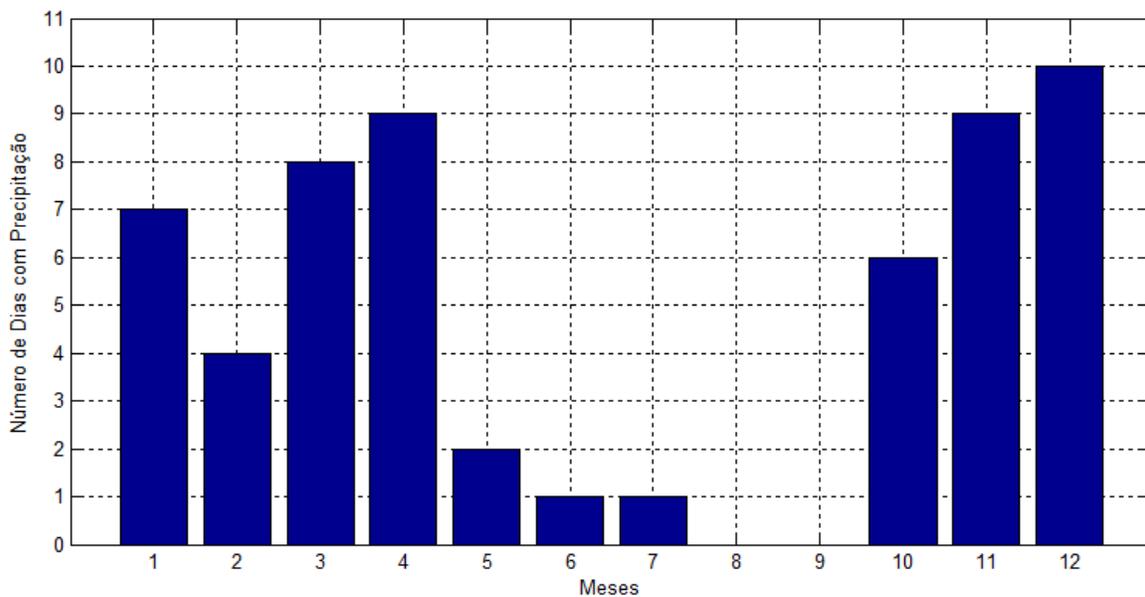


Grafico 24: número de dias com precipitação ano 2008

Fonte: Elaborado pelo autor a partir das séries históricas de dados pluviométricos da ARA-SUL, trabalhadas no Matlab

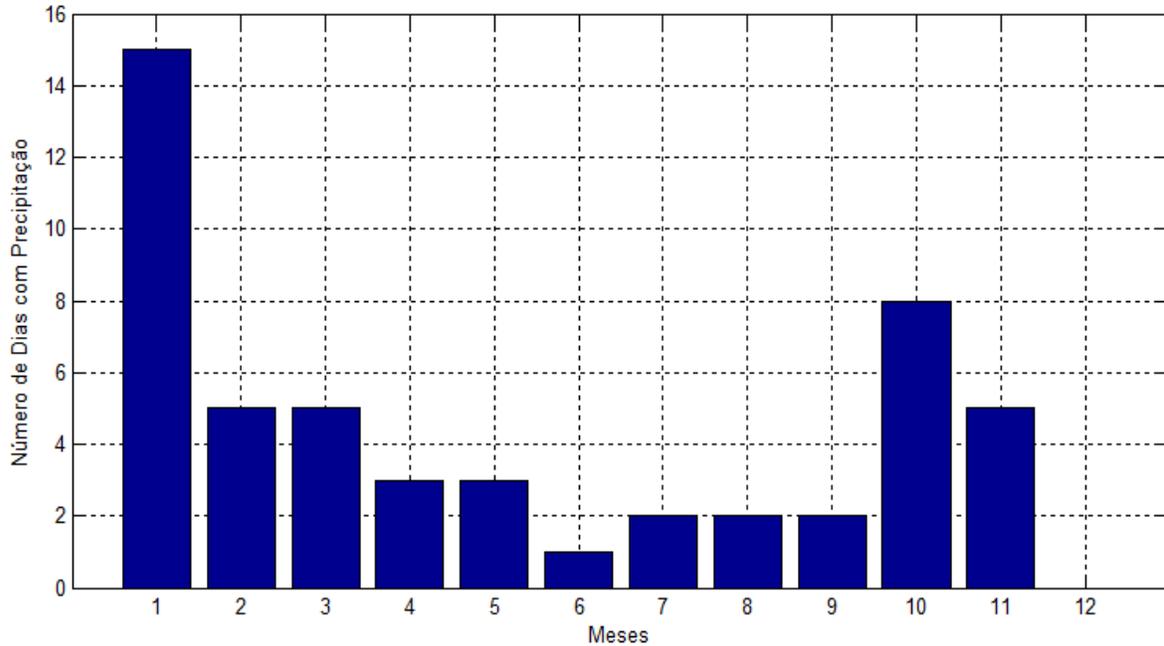


Grafico 25: número de dias com precipitação no ano 2009

Fonte: Elaborado pelo autor a partir das séries históricas de dados pluviométricos da ARA-SUL, trabalhadas no Matlab

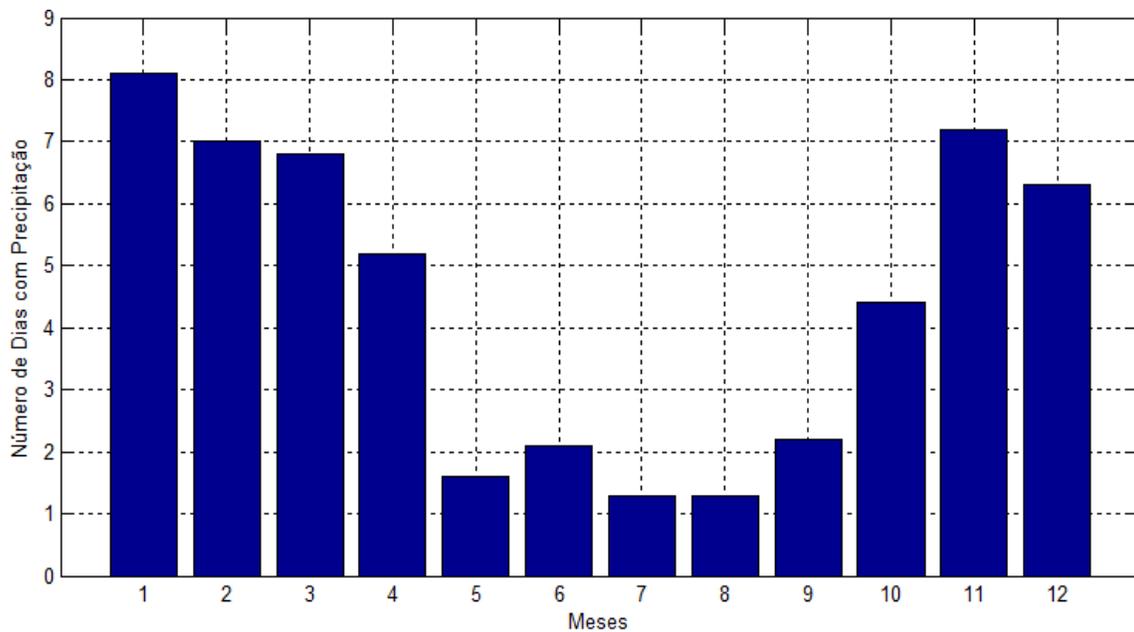


Grafico 26: Média de Dias com precipitação ano 2010

Fonte: Elaborado pelo autor a partir das séries históricas de dados pluviométricos da ARA-SUL, trabalhadas no Matlab

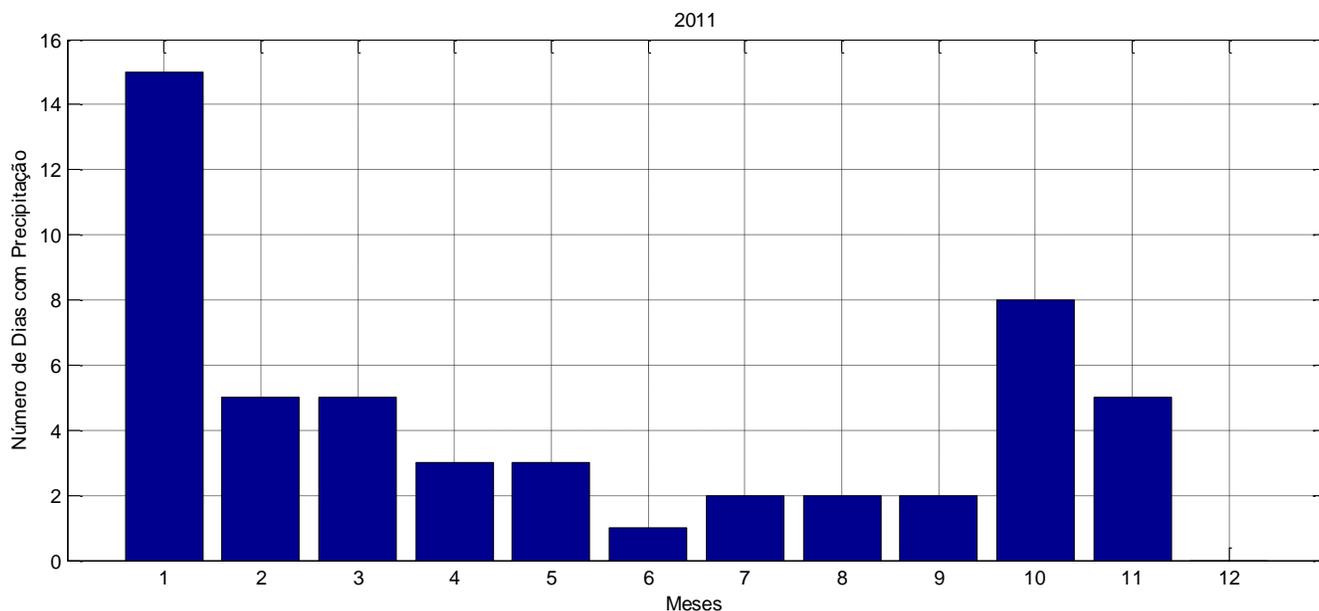


Gráfico 27: Média de Dias com precipitação no ano de 2011.

Fonte: Elaborado pelo autor a partir das séries históricas de dados pluviométricos da ARA-SUL, trabalhadas no Matlab

Os gráficos anteriores, quando examinados em confronto com os gráficos de total mensal acumulado, permitem ter uma noção da intensidade dos eventos chuvosos. Destaca-se a estação chuvosa do período 2008/2009, quando choveu em dezembro de 2008 um total de 240 mm^3 distribuídos em 10 dias de precipitação e, na sequência, o mês de janeiro do ano seguinte registrou um total de 420 mm^3 distribuídos em 15 dias de chuvas. No total, os dois meses registraram uma precipitação de 660 mm^3 , distribuídas em 25 dias, que se refletiu num ano catastrófico para o distrito de Boane, em função das cheias do baixo curso do Umbeluzi.

O mesmo padrão pode ser verificado na estação chuvosa de 2010/2011, o total de chuvas nos meses de dezembro de 2010 atingiu 250 mm^3 , distribuídos em seis dias, seguindo-se um total de precipitação de 420 mm^3 em janeiro, distribuídos em 15 dias chuvosos.

4.3. Análise da vazão do rio Umbeluzi

A análise da vazão do rio Umbeluzi foi feita a partir das séries históricas de vazão de duas estações hidrométricas administradas pela ARA-SUL.

A tabela (5) traz as coordenadas geográficas dessas estações hidrométricas, cujas localizações são estratégicas para a administração da Albufeira dos Pequenos Libombos, estando uma localizada em Goba, a montante da albufeira, e a segunda em Boane, a jusante, conforme pode ser observado na Tabela:5

Estação Hidrométrica		Coordenadas Geográficas			
Nome	Código	Latitude	Longitude	Altitude	Área (Km ²)
Goba -Montante	E-8	26.11' . 48''	32.06' .59''	63.0	3100
Boane- Jusante	E-10	26.03' . 00''	32.19' . 30''	3.0	5400

Tabela 5: Localização das Estações Hidrométricas

Fonte: Elaborado pelo autor a partir do trabalho de pesquisa de campo (2012)

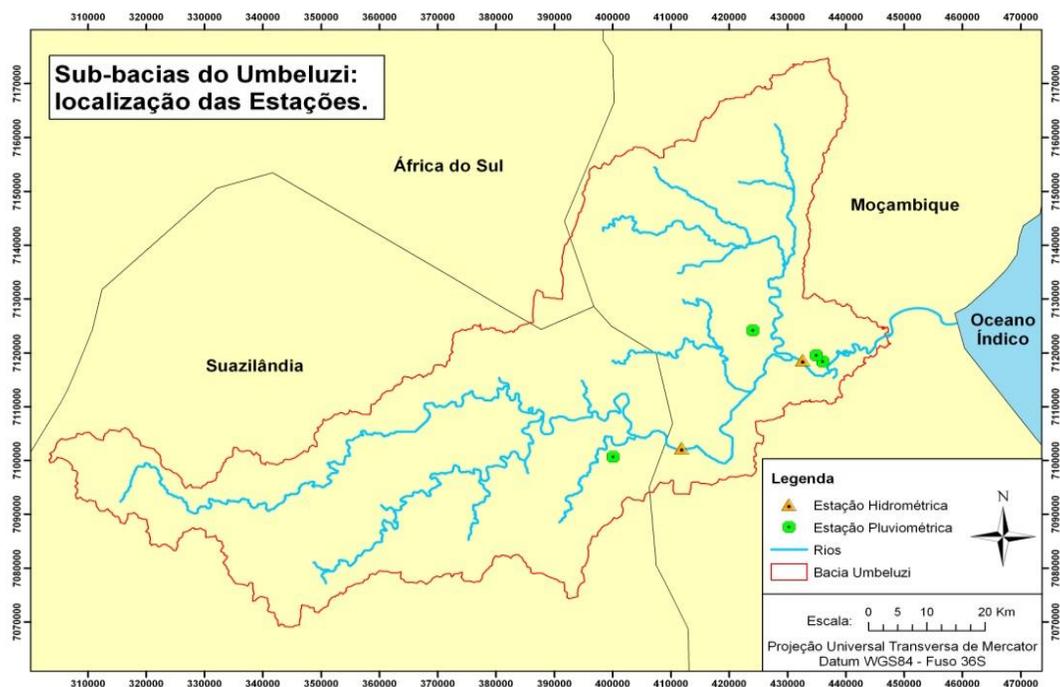


Figura 25: Localização das estações hidrométricas da ARA-SUL no rio Umbeluzi

Fonte: Dados extraídos do programa STRM (2012)

4.3.1. Análise estatística do escoamento dos caudais à montante da barragem

Uma das variáveis hidrológicas que permitem quantificar a água no tempo e espaço é o caudal; além disso, permite comparar quantitativamente vários cursos de água e rios.

Na bacia do rio Umbeluzi, as precipitações concentradas em alguns meses do ano é o fato gerador da ocorrência periódica de cheias, que associadas ao padrão de uso e ocupação dos solos exigem uma gestão mais eficiente da bacia e das comportas da barragem.

A barragem dos Pequenos Libombos tem um papel importante no amortecimento das cheias na planície de inundação que sucede a albufeira. Esta, por sua vez, tem, dentre outras finalidades, garantir o abastecimento de água para a cidade de Maputo, capital do país.

O início do funcionamento deste empreendimento, em 1987, determinou também o início da regularização dos caudais no rio Umbeluzi a jusante da albufeira, reduzindo deste modo os impactos negativos decorrentes dos períodos de chuvas intensas.

A análise dos dados de vazão através do software Matlab permitiu a geração de gráficos que possibilitam uma compreensão mais acurada da dinâmica hidrológica do baixo curso do rio Umbeluzi, à montante da barragem dos Pequenos Libombos.

Apresenta-se a seguir o gráfico (Gráfico 37) representando o caudal total do decênio de 2000/2010; seguindo-se os gráficos, representando, ano a ano, os caudais mensais do mesmo decênio (Gráficos de 37).

Escoamento de 2000 à 2010 da Montante

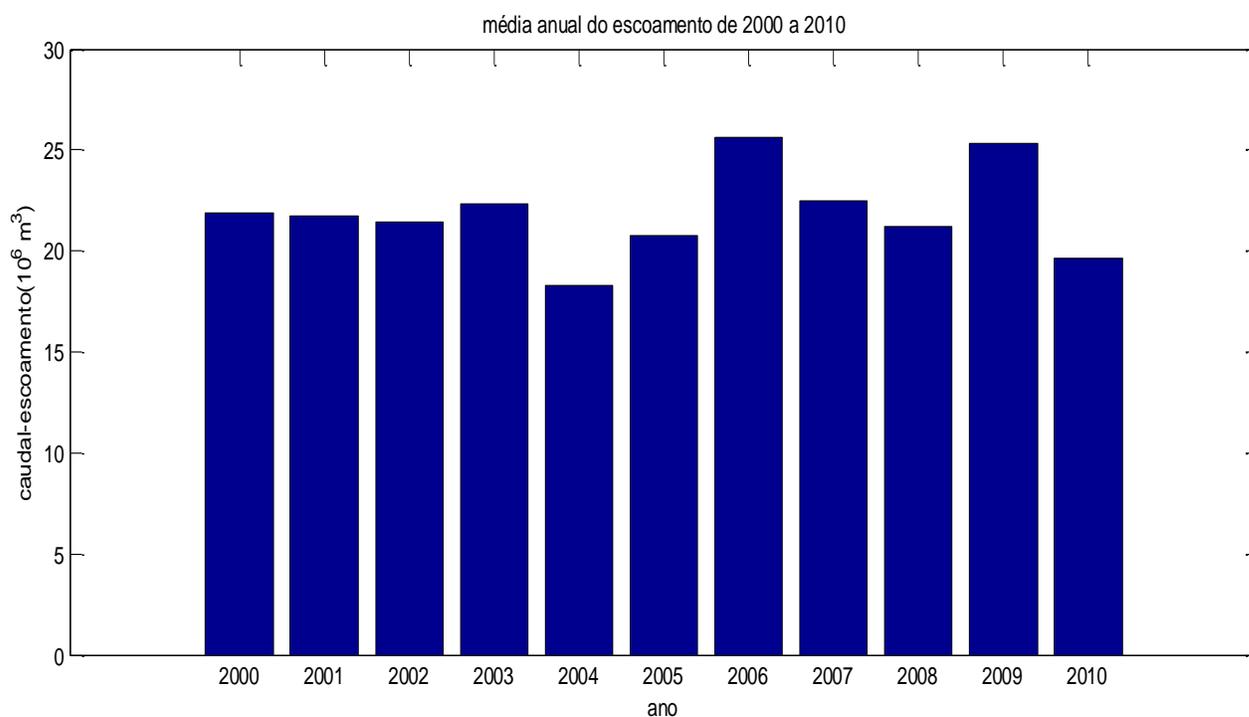


Gráfico. 28: Anual do Escoamento de 2000 à 2010 da Montante

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados coletados em pesquisa de campo , 2012.

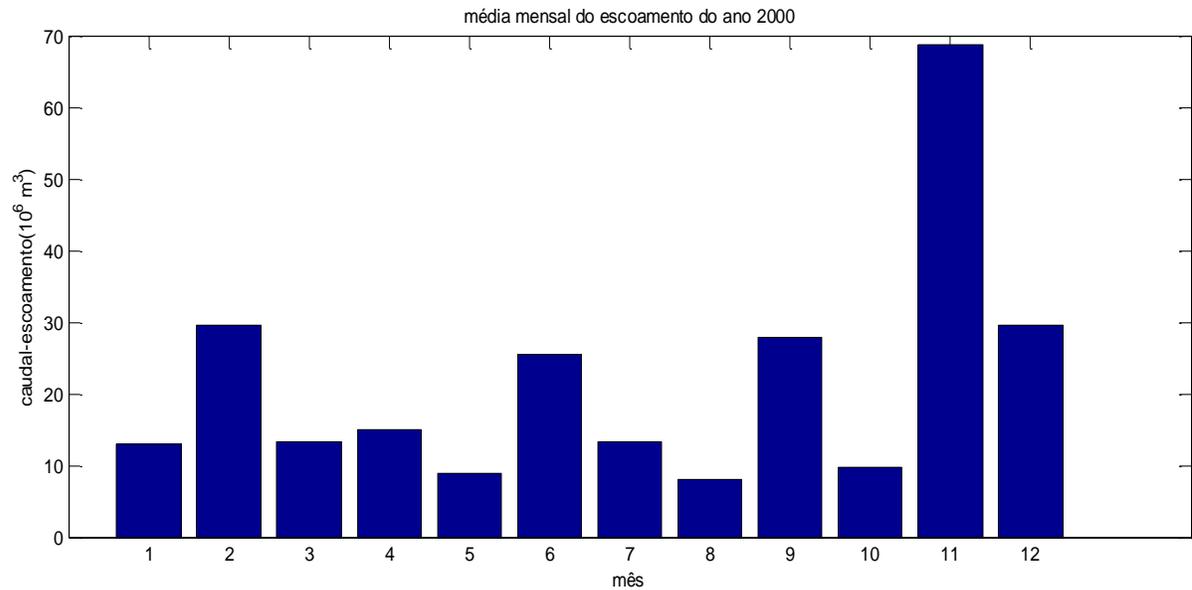


Grafico 29: Média mensal do escoamento da montante ano 2000

Fonte: Elaborado pelo autor a partir das séries históricas de dados pluviométricos da ARA-SUL, trabalhadas no Matlab

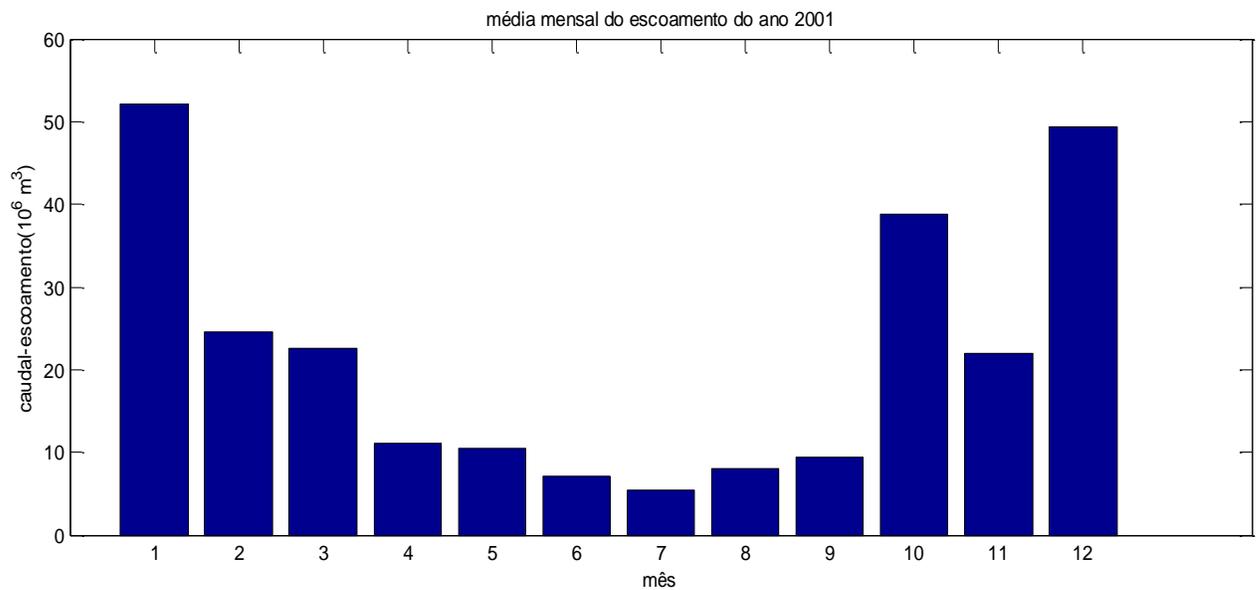


Grafico 30: Média mensal do escoamento da montante ano 2001

Fonte: Elaborado pelo autor a partir das séries históricas de dados pluviométricos da ARA-SUL, trabalhadas no Matlab

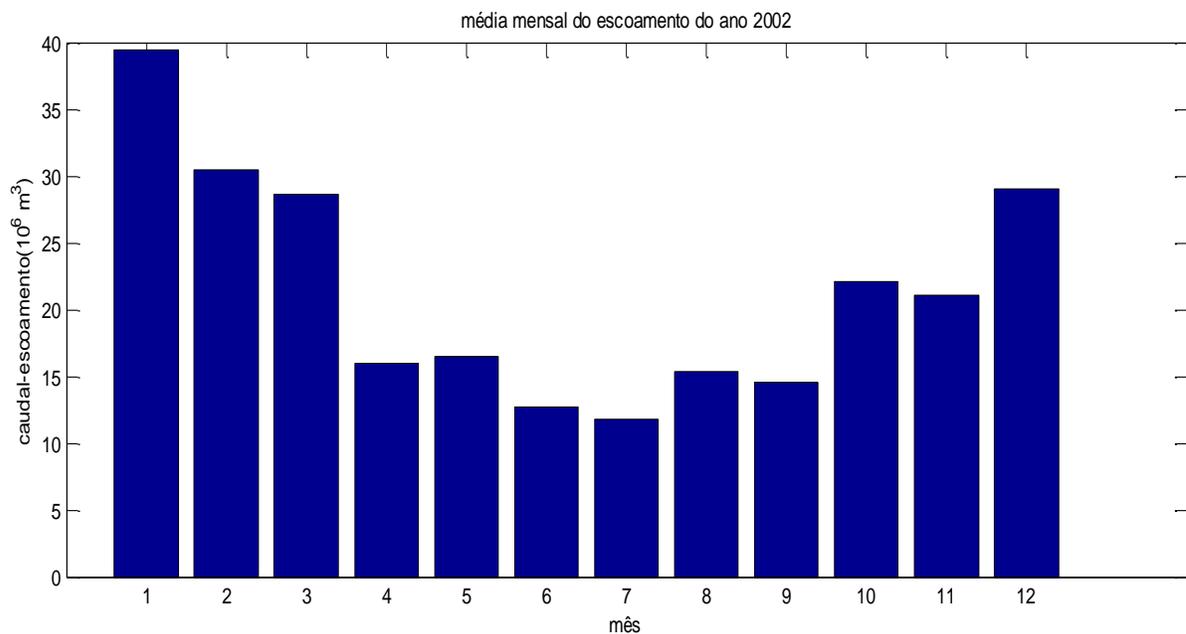


Gráfico 31: Média mensal do escoamento da montante ano 2002

Fonte: Elaborado pelo autor a partir das séries históricas de dados pluviométricos da ARA-SUL, trabalhadas no Matlab

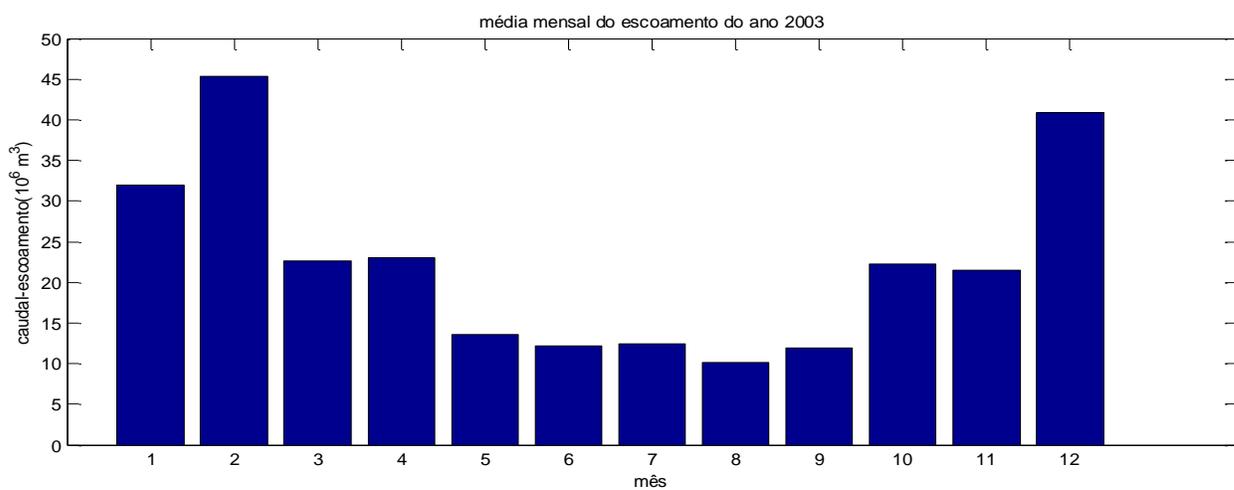


Gráfico 32: Média mensal do escoamento da montante ano 2003

Fonte: Elaborado pelo autor a partir das séries históricas de dados pluviométricos da ARA-SUL, trabalhadas no Matlab

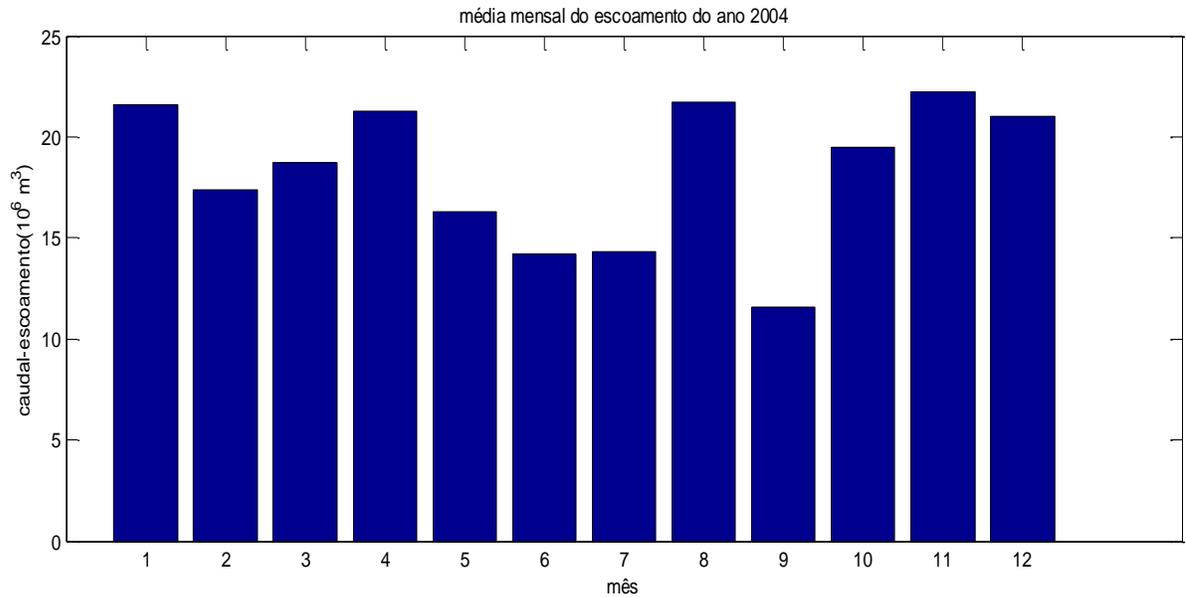


Grafico 33: Média mensal do escoamento da montante ano 2004

Fonte: Elaborado pelo autor a partir das séries históricas de dados pluviométricos da ARA-SUL, trabalhadas no Matlab

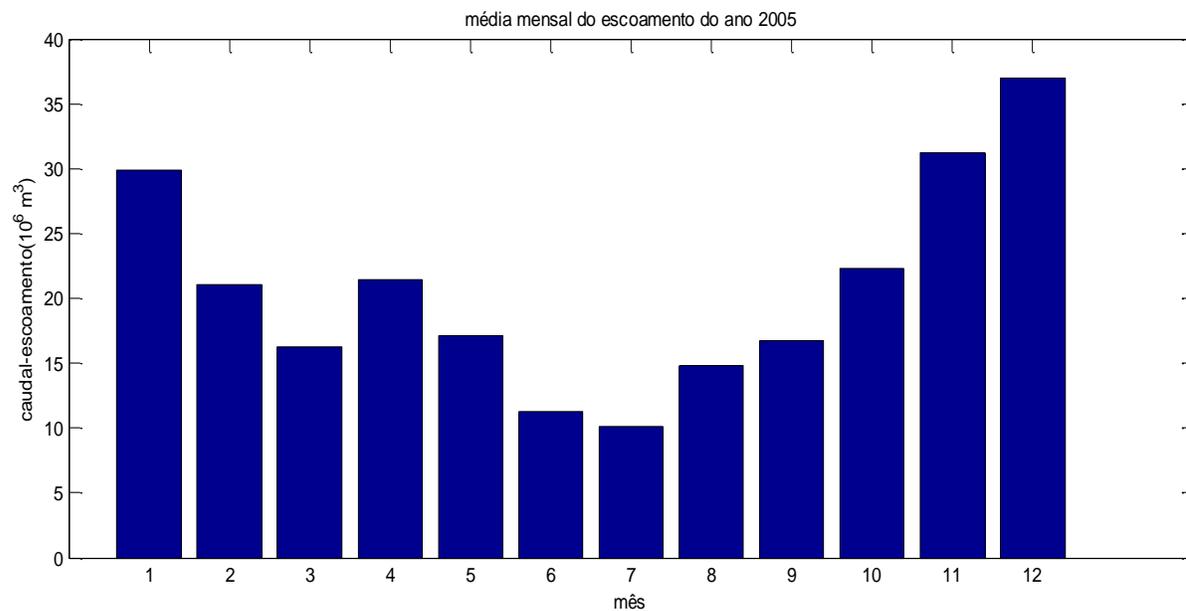


Grafico 34 Média mensal do escoamento da montante da bacia do rio Umbeluzi ano 2005

Fonte: Elaborado pelo autor a partir das séries históricas de dados pluviométricos da ARA-SUL, trabalhadas no Matlab

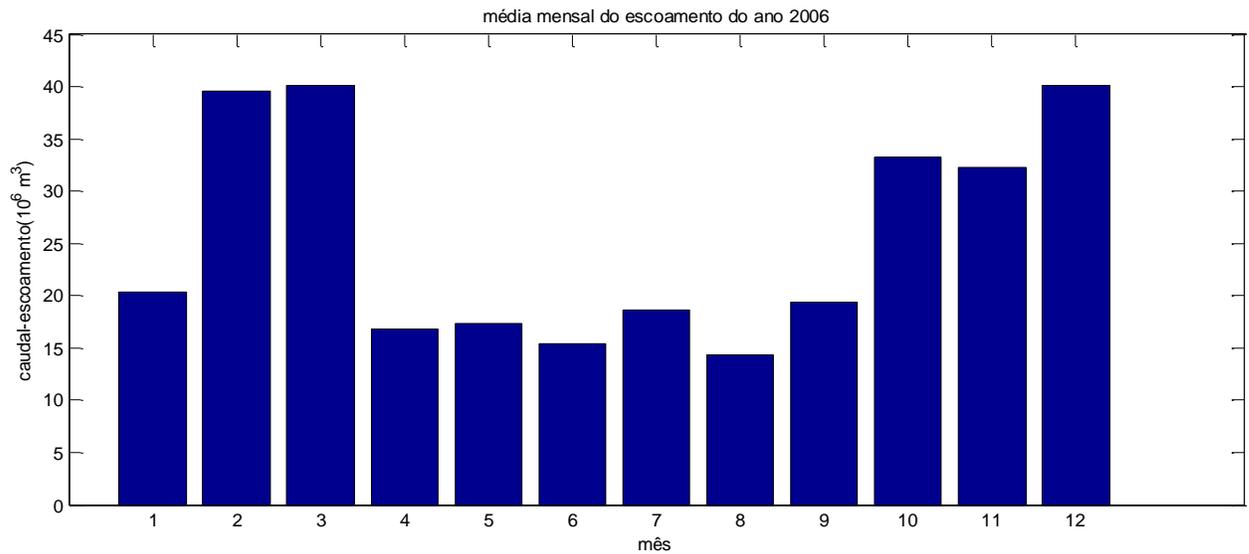


Grafico 35: Média mensal do escoamento da montante da bacia do rio Umbeluzi ano 2006

Fonte: Elaborado pelo autor a partir das séries históricas de dados pluviométricos da ARA-SUL, trabalhadas no Matlab

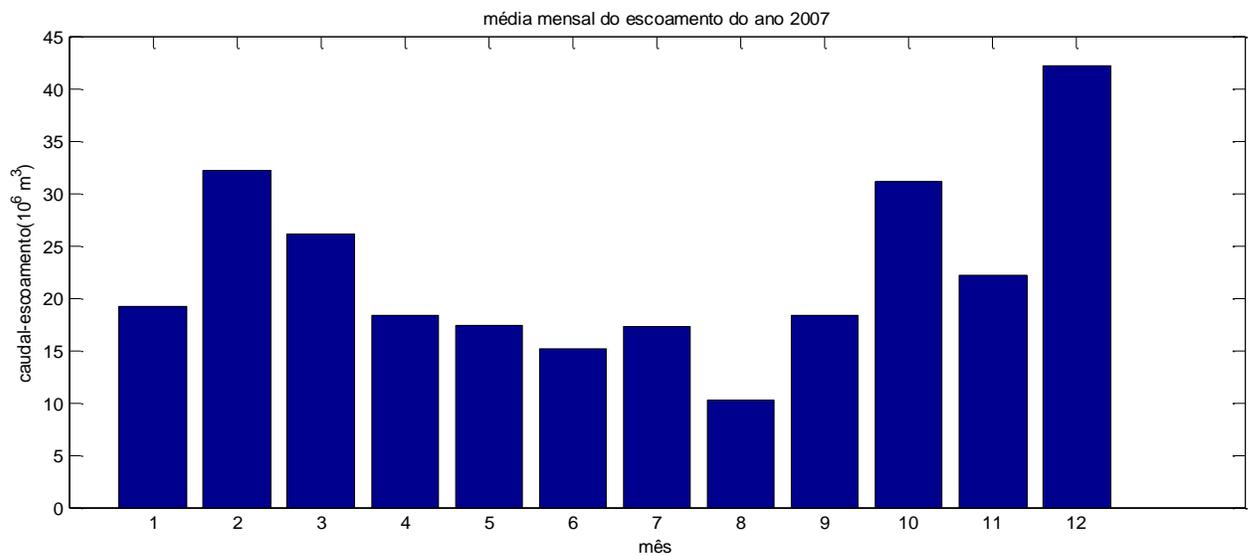


Grafico 36: Média mensal do escoamento da montante da bacia do rio Umbeluzi ano 2007

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados coletados em pesquisa de campo , 2012

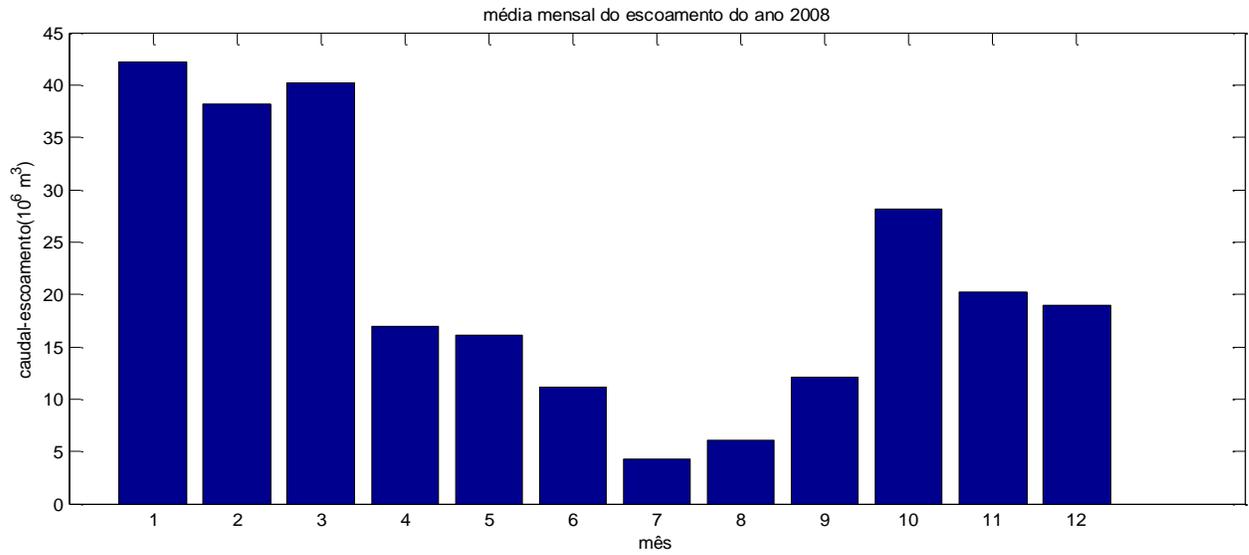
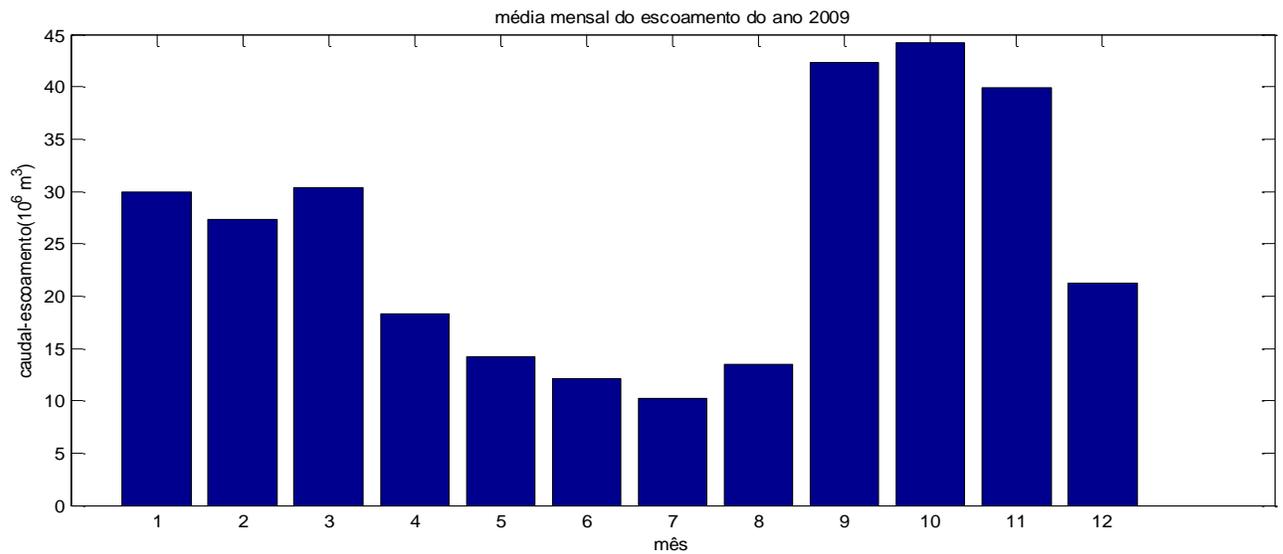


Grafico 37:

Fonte: Elaborado pelo autor a partir das séries históricas de dados pluviométricos da ARA-SUL, trabalhadas no Matlab



Fonte: Elaborado pelo autor a partir das séries históricas de dados pluviométricos da ARA-SUL, trabalhadas no Matlab

Grafico 38:

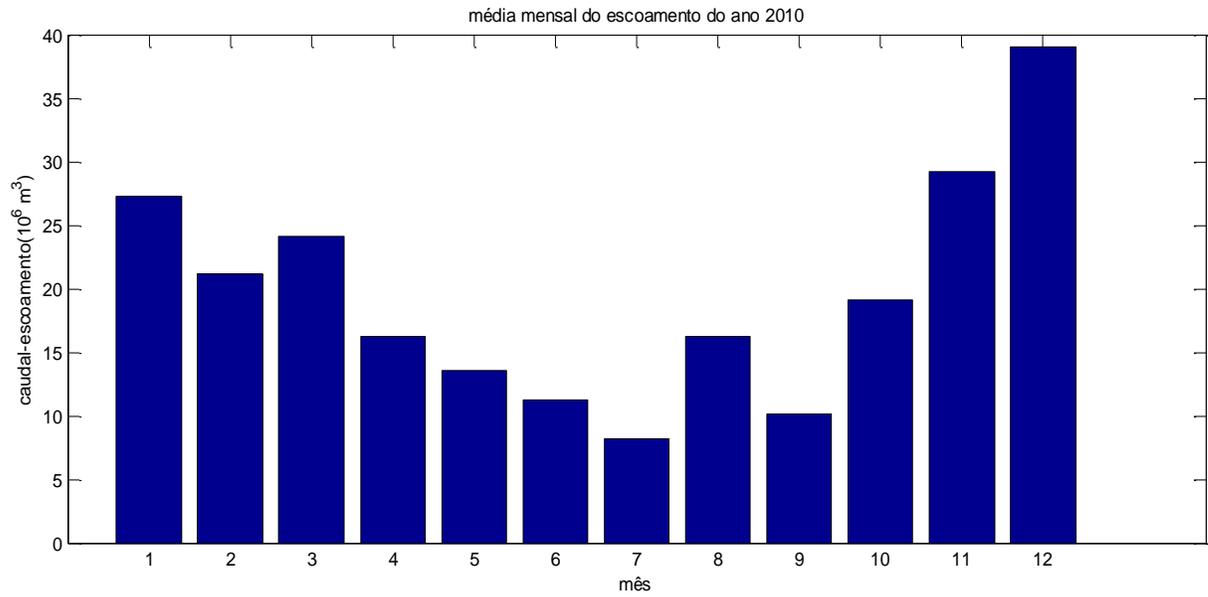


Grafico 38:

Fonte: Elaborado pelo autor a partir das séries históricas de dados pluviométricos da ARA-SUL, trabalhadas no Matlab

Analisando os caudais mensais à montante da barragem, no período de 2000 a 2010, verificou-se que os anos de 2000, 2001, 2008 e 2009 tiveram as maiores vazões registradas no decênio. tabela (5), mostra essas vazões, relacionando-as com a precipitação do mês e do mês anterior, presumindo-se o retardo da resposta dos fluxos subsuperficiais.

Tabela 5: dos anos/meses de maiores vazões do rio Umbeluzi à montante da barragem

ANO	MÊS	VAZÃO (10 ⁶)	PRECIPITAÇÃO NO MÊS ANTERIOR	PRECIPITAÇÃO NO MÊS
2000	Novembro	69 mm ³ /s	45 mm (out)	15 mm (nov)
2001	Dezembro	52 mm ³ /s	17 mm (nov)	20 mm (dez)
2003	Fevereiro	45 mm ³ /s	160 (jan)	50 (fev)
	Dezembro	42 mm ³ /s	35 (Nov)	18 (dez)
2008	Janeiro	43 mm ³ /s	23 mm (dez de 2007)	20 mm (jan)
	Fevereiro	48 mm ³ /s	20 mm (jan)	30 (fe)
2009	Setembro	43 mm ³ /s	20 mm (jan)	50 mm (fev)
	Outubro	44 mm ³ /s	50 mm (set)	45 mm (out)
	Novembro	41 mm ³ /s	45 mm (out)	125 mm (nov)

Fonte: Elaborado pelo autor 2012

Conforme pode-se observar, o mês de novembro de 2000 apresentou a maior vazão do decênio analisado, com $69.10^6 \text{ mm}^3/\text{s}$. Entretanto, ao analisarmos os dados de chuva, percebemos que esta vazão não reflete uma grande precipitação na área do baixo curso, pois no mês de outubro a precipitação total foi de 45 mm^3 , e em novembro a precipitação não ultrapassou 15 mm^3 . Observa-se, também, que estas chuvas não foram as maiores ocorrentes na área da bacia, onde se destacam os eventos chuvosos de janeiro de 2009 e janeiro de 2011. Em janeiro de 2009 registrou-se um total de aproximadamente 420 mm^3 em 15 dias de precipitação, entretanto, nos meses de janeiro e fevereiro desse mesmo ano, o caudal do rio foi de $30.10^6 \text{ mm}^3/\text{s}$ e $27.10^6 \text{ mm}^3/\text{s}$, respectivamente). Janeiro de 2011 registrou uma chuva de mesmo porte (um total de 420 mm^3 , também distribuídos em 15 dias de precipitação), mas não há dados disponíveis sobre a vazão para esse ano..

Verificando a tabela como um todo, os eventos destacados evidenciam que à montante da barragem não há uma correlação direta entre a precipitação e a vazão, levando a concluir que nesse trecho a vazão esteja condicionada pela precipitação no médio e alto curso da bacia, que se localizam Suazilândia e África do Sul.

4.3.1. Análise estatística do escoamento dos caudais à jusante da albufeira

A análise dos dados de vazão através do software Matlab permitiu a geração de gráficos que possibilitam uma compreensão mais acurada da dinâmica hidrológica do baixo curso do rio Umbeluzi, à jusante da albufeira dos Pequenos Libombos.

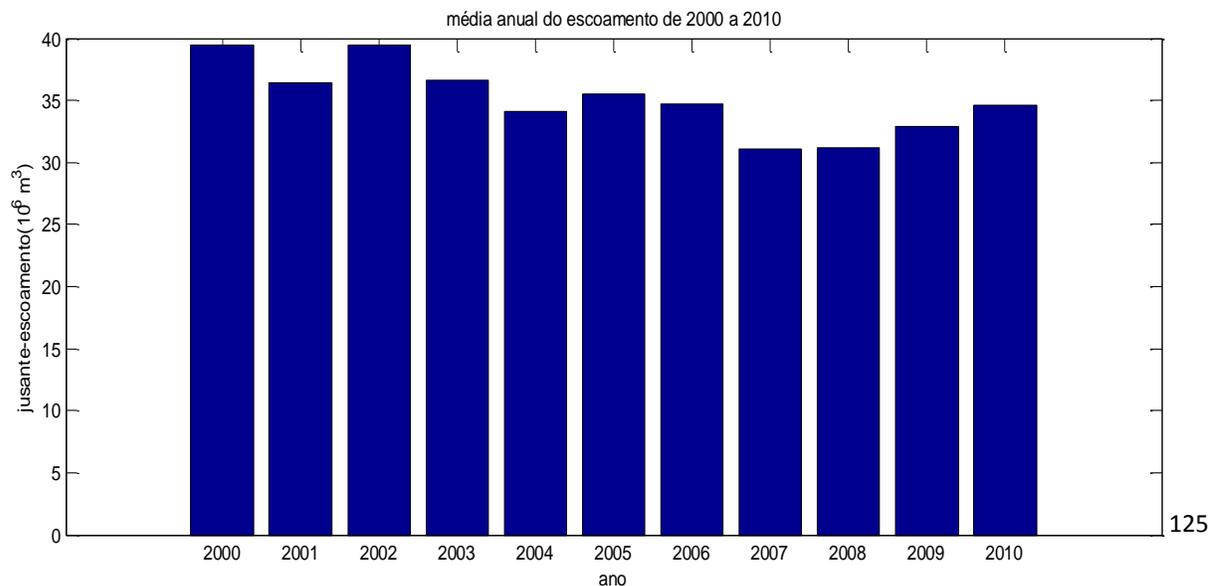


Grafico 39: Média Anual do Escoamento no período de 2000 à 2010 da estação de Boane, jusante da Bacia do Rio Umbeluzi.

Fonte: Elaborado pelo autor a partir das séries históricas de dados pluviométricos da ARA-SUL, trabalhadas no Matlab

O gráfico (39) representa a média anual do escoamento superficial no período de 2000 à 2010, da Bacia do rio Umbeluzi, registradas à jusante da albufeira. Observa-se nele que o comportamento ao longo dos dez anos é levemente variável, podendo-se concluir que a gestão das comportas regularize a vazão.

Os gráficos de **26 a 36** representam a média mensal, ano a ano, do período de 2000 a 2010, do escoamento do rio Umbeluzi à jusante da albufeira dos Pequenos Libombos.

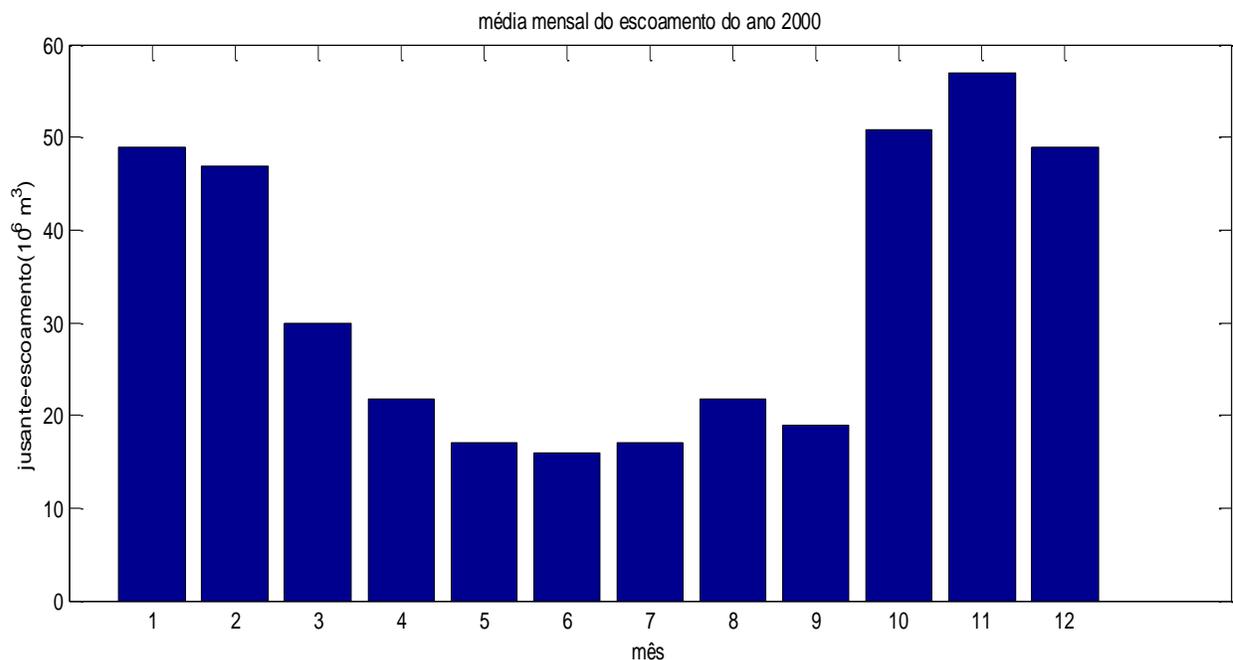


Grafico 40: Média mensal do Escoamento a Jusante da Bacia do Rio umbeluzi ano 2000

Fonte: Elaborado pelo autor a partir das séries históricas de dados pluviométricos da ARA-SUL, trabalhadas no Matlab

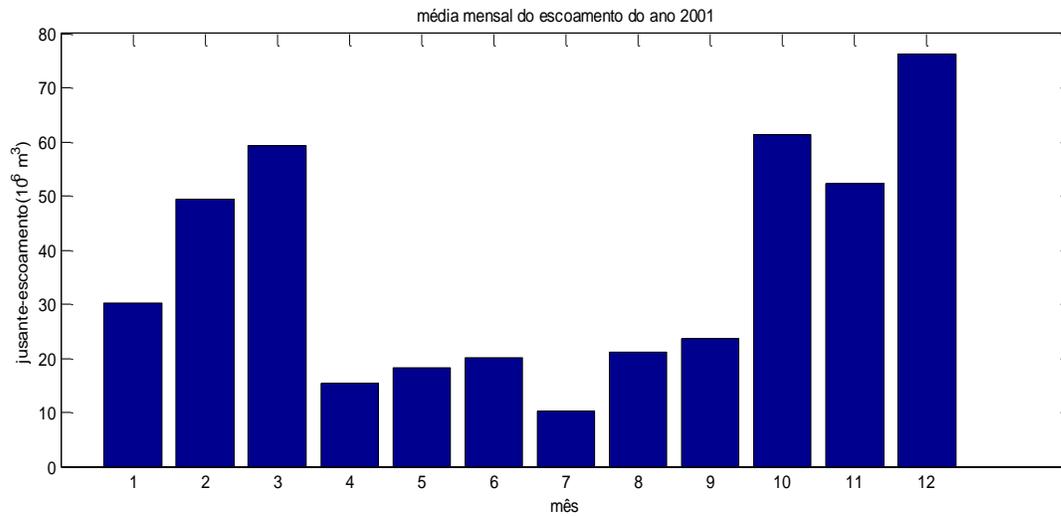


Grafico 41: Média mensal do Escoamento a Jusante da Bacia do Rio umbeluzi ano 2001

Fonte: Elaborado pelo autor a partir das séries históricas de dados pluviométricos da ARA-SUL, trabalhadas no Matlab

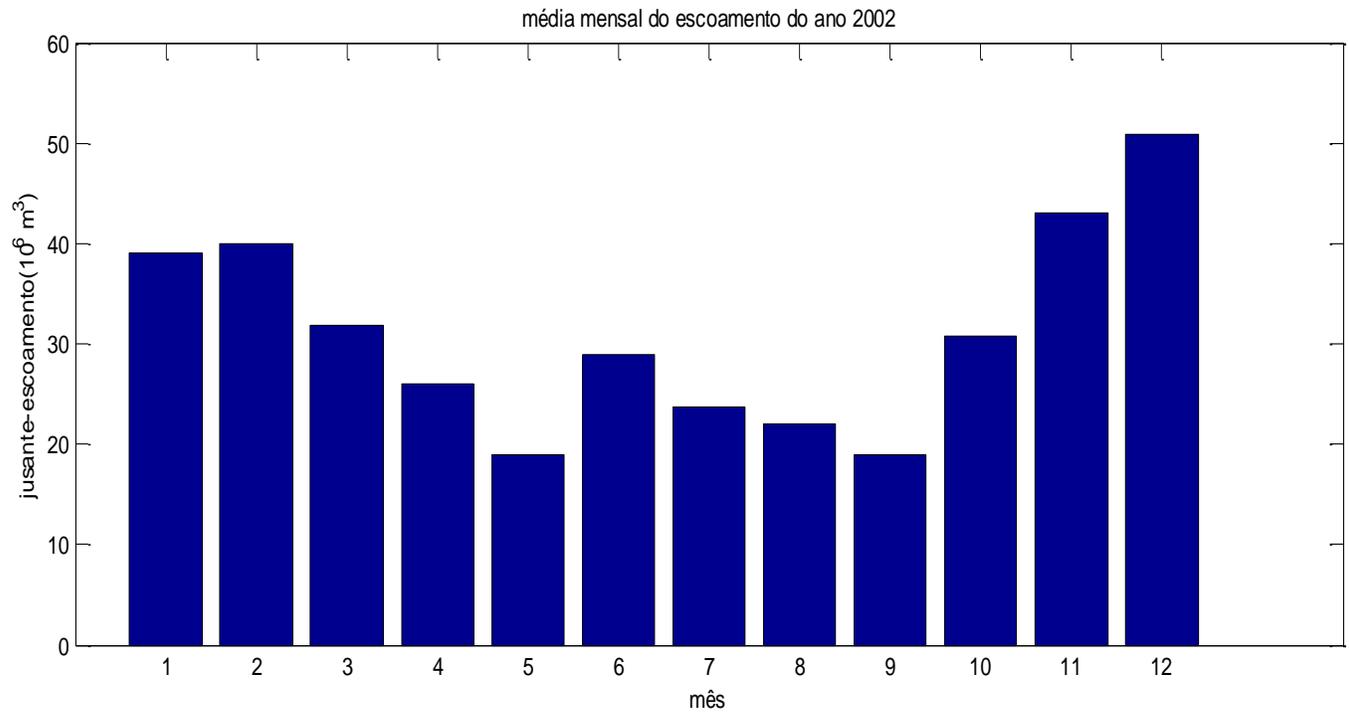


Grafico 42: Média mensal do Escoamento a Jusante da Bacia do Rio Umbeluzi ano 2002

Fonte: Elaborado pelo autor a partir das séries históricas de dados pluviométricos da ARA-SUL, trabalhadas no Matlab

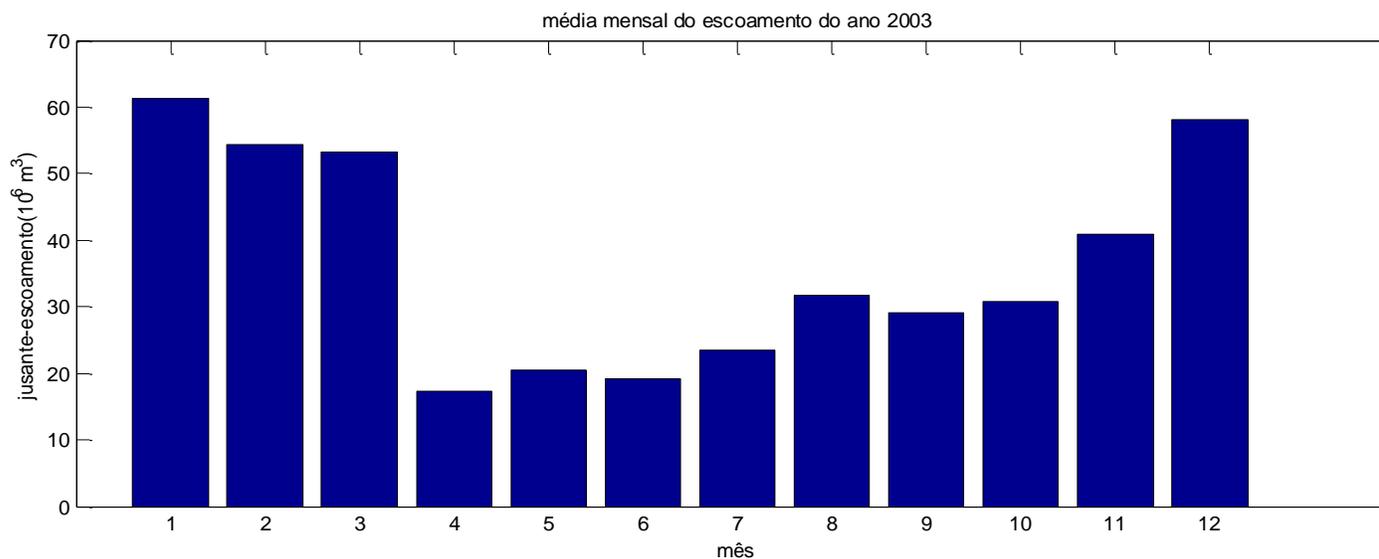


Grafico 43: Média mensal do Escoamento a Jusante da Bacia do Rio umbeluzi ano, 2003

Fonte: Elaborado pelo autor a partir das séries históricas de dados pluviométricos da ARA-SUL, trabalhadas no Matlab

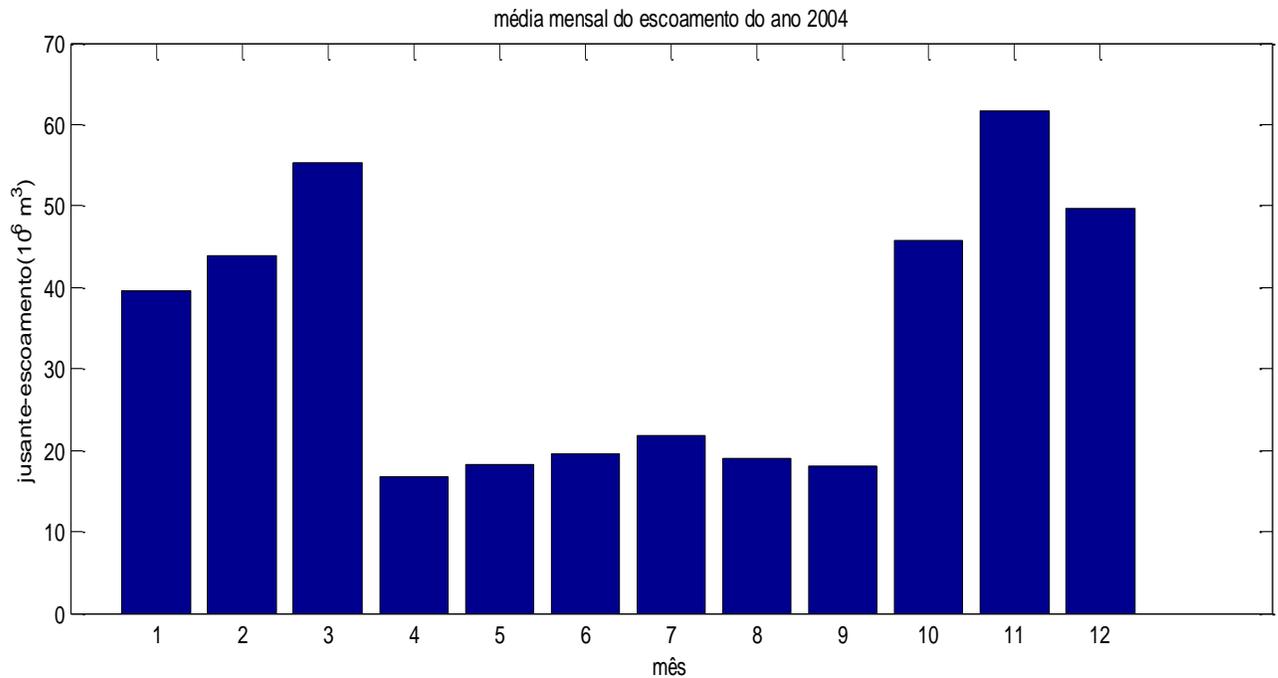


Gráfico 44: Média mensal do Escoamento a Jusante da Bacia do Rio umbeluzi ano 2004

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados coletados em pesquisa de campo , 2012

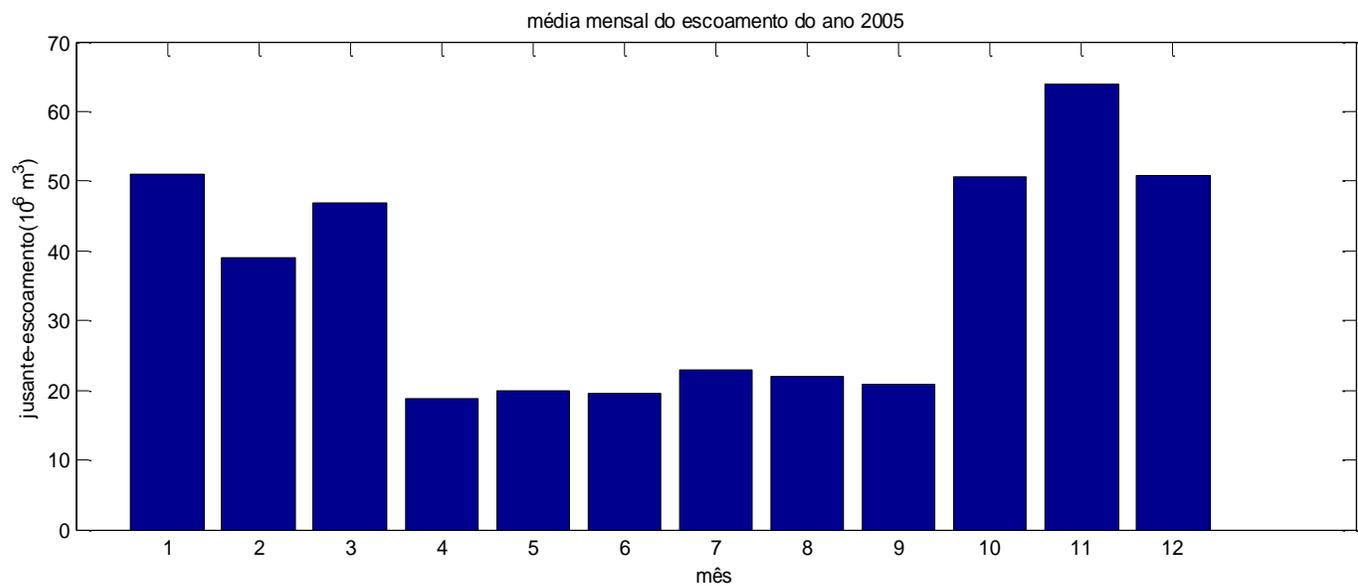


Gráfico 45: Média mensal do Escoamento a Jusante da Bacia do Rio umbeluzi ano 2005

Fonte: Elaborado pelo autor a partir das séries históricas de dados pluviométricos da ARA-SUL, trabalhadas no Matlab

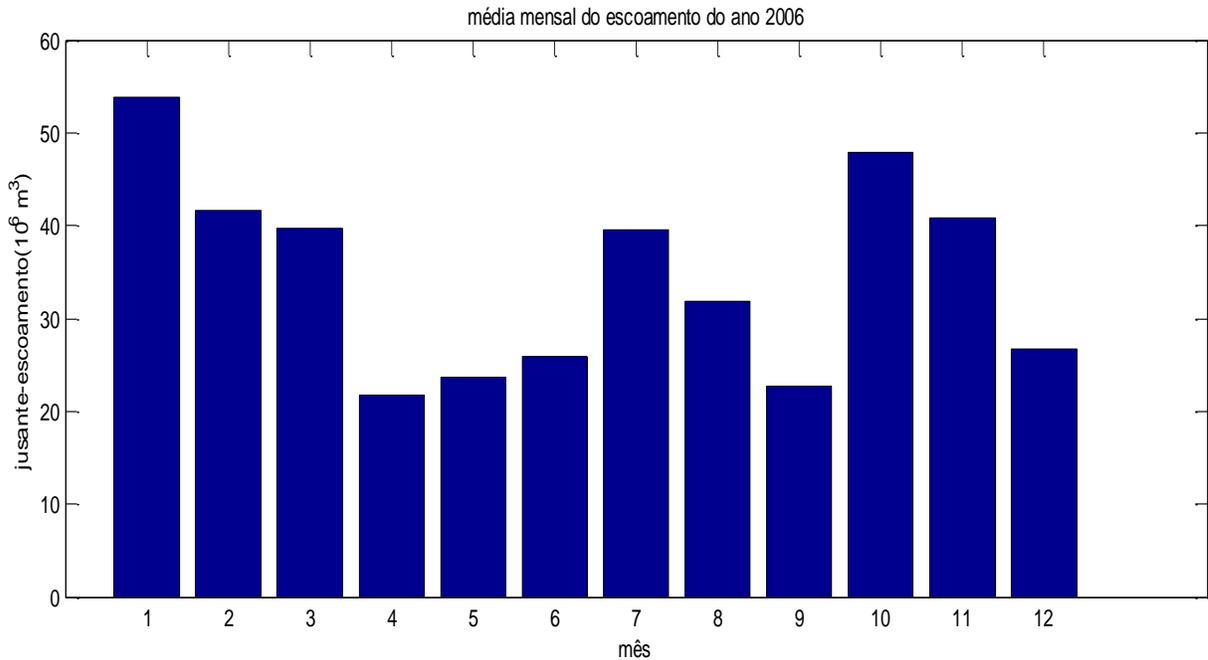


Gráfico 46: Média mensal do Escoamento a Jusante da Bacia do Rio umbeluzi ano 2006

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados coletados em pesquisa de campo , 2012

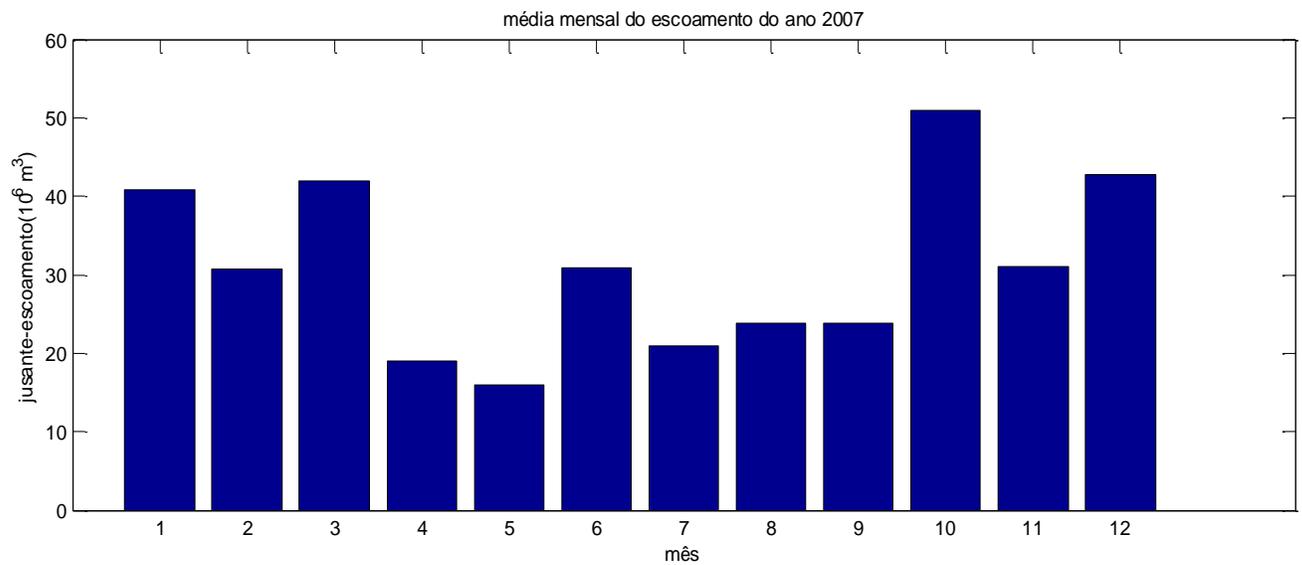


Gráfico 46: Média mensal do Escoamento a Jusante da Bacia do Rio umbeluzi ano 2007

Fonte: Elaborado pelo autor a partir das séries históricas de dados pluviométricos da ARA-SUL, trabalhadas no Matlab

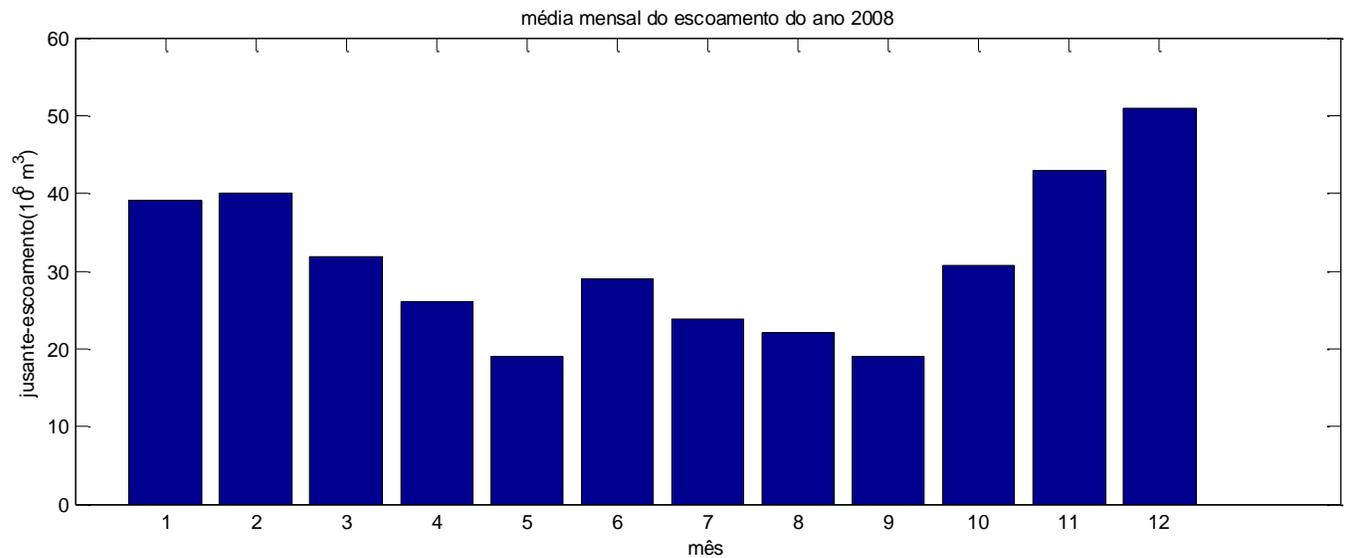


Grafico 47: Média mensal do Escoamento a Jusante da Bacia do Rio umbeluzi ano 2008

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados coletados em pesquisa de campo , 2012

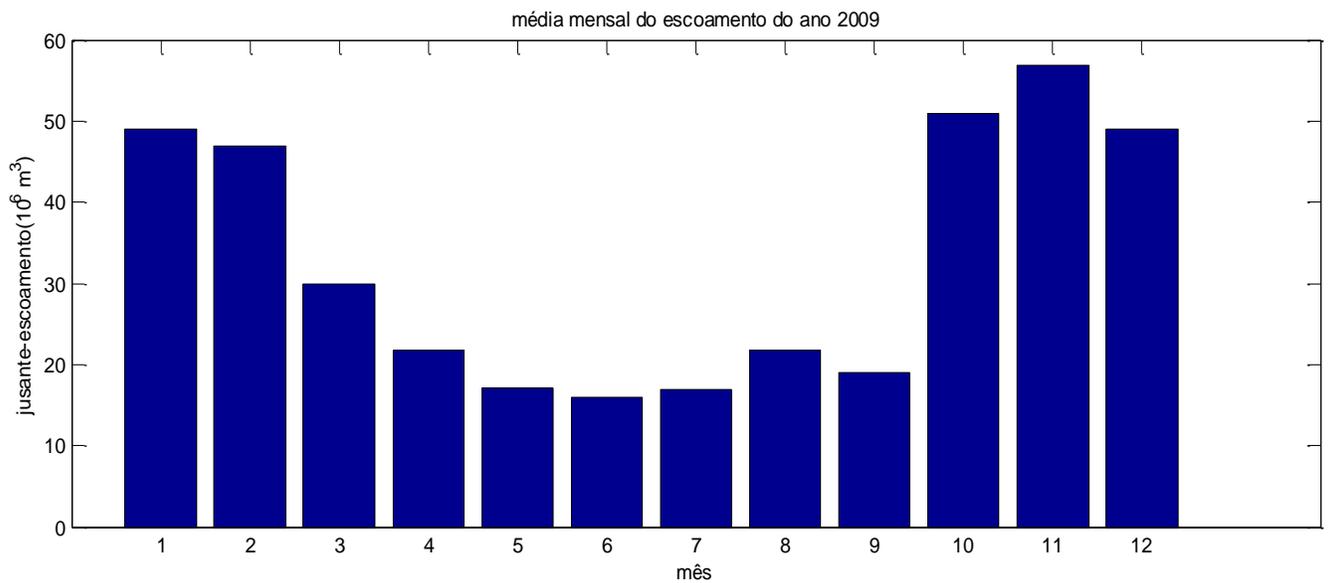


Grafico 48: Média mensal do Escoamento a Jusante da Bacia do Rio Umbeluzi ano 2009

Fonte: Elaborado pelo autor a partir das séries históricas de dados pluviométricos da ARA-SUL, trabalhadas no Matlab

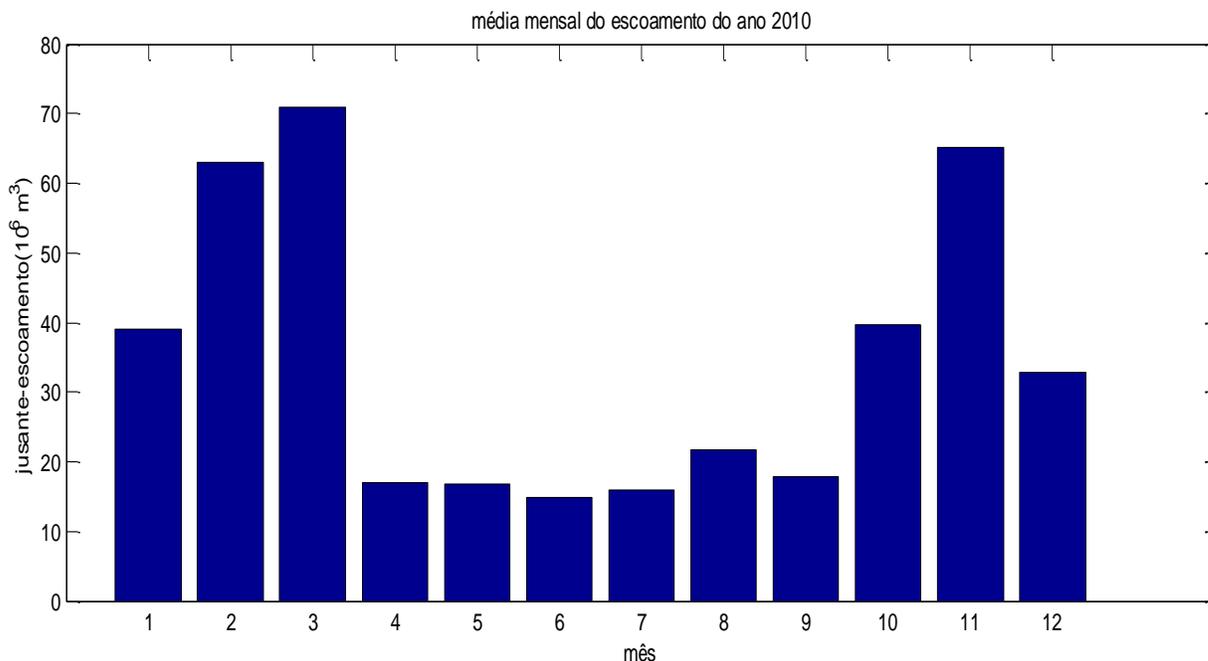


Gráfico 49: Média mensal do Escoamento a Jusante da Bacia do Rio Umbeluzi ano 2012

Fonte: Elaborado pelo autor a partir das séries históricas de dados pluviométricos da ARA-SUL, trabalhadas no Matlab.

A análise conjunta desses gráficos, demonstram claramente que a vazão tem estreita correspondência com a precipitação. Com os maiores caudais nos meses de chuva e os menores nos meses de seca, havendo necessidade gestão nas duas estações, para se evitar as inundações e a escassez de água durante o correr do ano.

A seguir, foi montada uma tabela com os valores máximos de vazão para cada ano do decênio 2000/2010, os quais foram relacionados com os valores de precipitação do mesmo mês e do mês anterior, presumindo-se o retardo da resposta dos fluxos subsuperficiais.

ANO	MÊS	VAZÃO (10⁶)	PRECIPITAÇÃO NO MÊS ANTERIOR	PRECIPITAÇÃO NO MÊS
2000	outubro	50 mm ³ /s	50 mm ³ /s	45 mm
	novembro	57 mm ³ /s	45 mm ³ /s	15 mm
2001	dezembro	77 mm ³ /s	18 mm ³ /s	20 mm
2002	dezembro	50 mm ³ /s	110 mm ³ /s	78 mm
2003	janeiro	60 mm ³ /s	78 mm ³ /s (dez 2002)	160 mm
2004	novembro	60 mm ³ /s	42 mm ³ /s	102 mm
2005	novembro	60 mm ³ /s	48 mm ³ /s	50 mm
2006	janeiro	54 mm ³ /s	210 mm ³ /s (dez 2005)	90 mm
2007	outubro	50 mm ³ /s	0 mm ³ /s	0 mm
2008	dezembro	50 mm ³ /s	100 mm ³ /s	240 mm
2009	outubro	50 mm ³ /s	50 mm ³ /s	49 mm
	novembro	57 mm ³ /s	49 mm ³ /s	140 mm
2010	fevereiro	65 mm ³ /s	30 mm ³ /s	47 mm
	março	70 mm ³ /s	47 mm ³ /s	130 mm
	novembro	67 mm ³ /s	48 mm ³ /s	100 mm

Tabela 7

Fonte: Elaborado pelo autor 212

A observação dessa Tabela mais uma vez não evidencia uma relação entre o total precipitado e a vazão. A explicação para essa discordância estaria no gerenciamento das comportas de saída da albufeira para o baixo curso do Umbeluzi.

Gerenciamento dessas comportas, aliás, é um desafio tanto de gestão como de política, uma vez que as autoridades governamentais é que decidem o seu manejo, e nem sempre a abertura da barragem é feita no momento oportuno, e com os avisos prévios necessários, ocasionando rotineiramente grandes e rápidas enchentes e prejuízos à população localizada na planície de inundação.

4.4. Análise do Mapa de Uso e Cobertura da Terra

A figura abaixo, apresenta o mapa de uso e cobertura da terra, que foi gerado a partir de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento (conforme explicado no item xx, Materiais e Métodos) sobre imagens Landsat do ano de 2009.

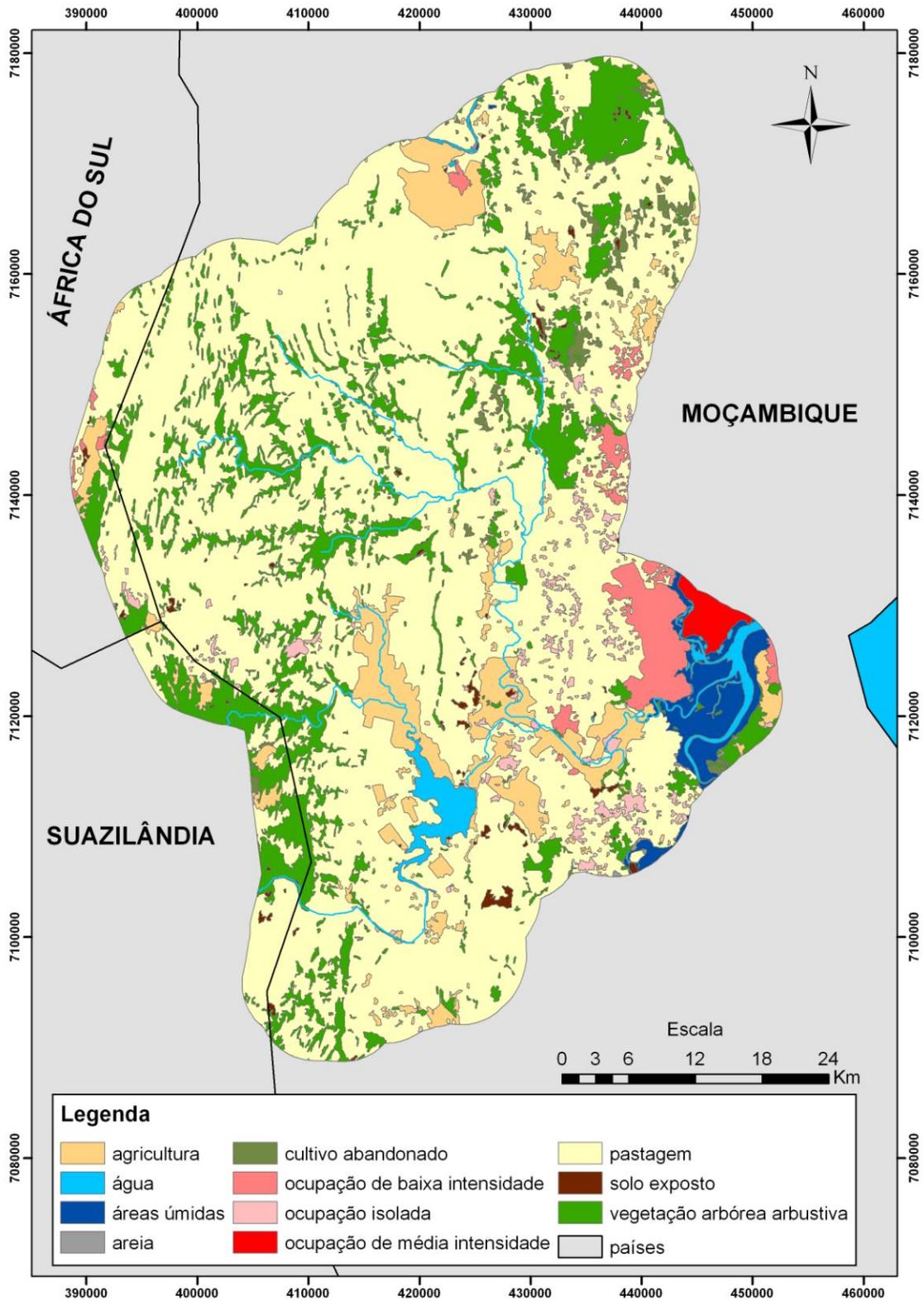
Analisando-se este mapa e os valores de área total para cada classe identificada (apresentados na Tabela (8)), percebe-se claramente que a classe “pastagem” apresenta a maior área de cobertura (67,96%). Deve-se ressaltar, entretanto, que essa classe mistura áreas de pasto efetivo (utilizada na atividade pecuária) com os campos de gramíneas que são naturais das savanas, uma vez que na região não há pastos cultivados, e toda área com cobertura natural de gramíneas é considerada pelo zoneamento feito pelo Ministério da Agricultura como área de pastagem.

A segunda classe de maior ocorrência é a de vegetação arbórea/arbustiva, com área de cobertura correspondendo à 14,89% da área de estudo. Essa vegetação remanescente faz parte das savanas, verificando-se que sua ocorrência está estreitamente relacionada à umidade dos solos, ocorrendo, em sua maioria, nas margens e proximidades dos canais fluviais e/ou drenagens intermitentes.

A agricultura ocupa 7,64% da área de estudo, sobretudo nas planícies ao redor da albufeira, nas margens do Umbeluzi e dos rios Impaputo e Movene, dois tributários do seu baixo curso. Observando-se que 1,14% da área estudada corresponde a áreas de cultivo abandonadas, ainda um reflexo da guerra civil que assolou o país na década de 80 e início de 90. Á jusante do Umbeluzi a atividade agrícola é substituída pelas manchas de ocupações urbanas de baixa intensidade, correspondendo à cidade de Boane, de e média intensidade, correspondendo às cidades de Matola e à região sul de Maputo.

No total, as áreas de uso urbano correspondem a 4,43%, somando-se as de baixa intensidade (2,45%), média intensidade (0,55%) e ocupações isoladas (1,46%). Evidenciando

que a área do baixo curso da bacia deveria estar relativamente à salvo dos efeitos do uso urbano sobre a qualidade da água.



Figura; 28: Mapa de cobertura e uso da terra para a bacia do rio Umbeluzi.

Fonte: Elaborado pelo autor ano 2012.

CLASSE	Representação	Área (m²)	Área(ha)	%
Agricultura		273401250,873	27340,1250873	7,64
Água		53372866,7055	5337,28667055	1,49
Áreas Úmidas		67294371,3482	6729,43713482	1,88
Areia		2335096,07407	233,509607407	0,07
Cultivo Abandonado		40634095,0339	4063,40950339	1,14
Ocupação Baixa intensidade		86536035,7198	8653,60357198	2,42
Ocupação isolada		52113465,0886	5211,34650886	1,46
Ocupação média intensidade		19652082,2193	1965,208221930	0,55
Pastagem		2431433655,49	243143,365549	67,96
Solo exposto		18328227,5264	1832,82275264	0,51
Vegetação arbórea /arbustiva		532823179,855	53282,3179855	14,89
Total				100%

Tabela: 8

Fonte: Elaborado pelo autor ano 2012

5. Conclusões e Recomendações

A proposta deste trabalho foi a de dar o passo inicial para a construção de uma base de dados geoambientais da bacia do rio Umbeluzi, que sirva de suporte para a gestão dos recursos hídricos dessa bacia, de grande importância estratégica para Maputo, capital de Moçambique.

Várias dificuldades foram superadas no desenvolvimento deste trabalho, ressaltando-se o aprendizado de geotecnologias que ainda são pouco empregadas nas instituições de gestão de recursos desse país, e cujo uso vem se tornando fundamental para o planejamento e gestão territorial e ambiental.

É importante observar a inexistência ou precariedade de estudos sobre os vários aspectos geoambientais (geologia, solos, vegetação, clima, geomorfologia etc.) da bacia do Umbeluzi. Os dados secundários coletados, em sua grande parte, são muito antigos, genéricos e carecem de mapas digitais ou qualquer tipo de base georreferenciada. Esta pesquisa procurou dar um passo inicial na criação de bases georreferenciadas, que, futuramente, podem engendrar o desenvolvimento de novos levantamentos e/ou atualização dos dados existentes.

Como resultados alcançados, destacam-se o georreferenciamento, a delimitação e a extração da área da bacia, bem como a geração de um mapa de uso e cobertura da terra do ano de 2009, obtido a partir de imagens Landsat 5, e analisadas por técnicas de sensoriamento e geoprocessamento. Como ponto inicial, esse mapa já se constitui em uma base para planejamento, contribuindo para o monitoramento da evolução espaço-temporal resultantes das transformações produtivas que vêm se acelerando no país.

Outra importante contribuição foi o tratamento numérico dado aos dados de precipitação e vazão coletados na área da bacia, no trecho do seu baixo curso, através do aprendizado e aplicação do modelo matemático – Matlab, cujos principais resultados possibilitaram uma análise que, ainda que de forma inicial, levaram a importantes conclusões sobre o regime hidrológico dessa bacia, conforme destacado abaixo:

- Os valores médios mensais da precipitação registrados no baixo curso da bacia do Rio Umbeluzi são característicos do clima tropical sub-úmido, ou seja, apresentam uma ciclicidade chuvas intensas e estiagens

prolongadas. Os valores mais altos ocorrem com maior frequência nos meses de janeiro e dezembro, embora também possam ocorrer precipitações elevadas em novembro e fevereiro.

- As precipitações baixas registram-se nos meses de maio a agosto. Entre 70 a 79% da precipitação anual média ocorre em período úmido;
- No que diz respeito aos valores anuais médios da precipitação, conclui-se que as precipitações médias anuais na bacia do rio Umbeluzi no seu baixo curso vão de 530mm^3 (valor mínimo) à 700mm^3 (valor máximo);
- A variabilidade da precipitação extrema é grande, ou seja os elementos meteorológicos têm um comportamento errático, pois, os coeficientes de variação de precipitação estão entre 50% e 100% para ocorrência das cheias, indicando que há outros fatores que condicionam a ocorrência de cheias, tais como a precipitação nos médio e alto cursos, e a gestão das comportas das barragens à montante (na Suazilândia) e na entrada e saída da albufeira dos Pequenos Libombos;
- Destacou-se na análise dos dados de precipitação, que as estações secas e chuvosas na área estudada não correspondem exatamente aquela determinada para todo o país, com a estação chuvosa prolongando-se até abril e a estação seca prolongando-se até outubro.
- O maior caudal do Umbeluzi à montante da barragem dos Pequenos Libombos ocorreu em novembro de 2000, quando a vazão total foi de $69.10^6 \text{mm}^3/\text{s}$, entretanto, as chuvas acumuladas nos meses de outubro (mês anterior) e novembro somaram 60 mm, volume muito inferior aos máximos de precipitação observados em janeiro de 2009 e janeiro de 2011 quando a chuva acumulada atingiu 420 mm em ambos os meses.
- Embora esta pesquisa não tenha encontrado uma correlação direta entre precipitação e vazão, sabe-se que as precipitações superiores a 140mm/dia são críticas, podendo contribuir para a ocorrência de cheias

no baixo curso da bacia do Rio Umbeluzi, em função da sua distribuição espacial;

- Inferiu-se, ainda, que a compreensão do comportamento hidrológico (precipitação, escoamento e manejo de barragens) no médio e alto curso do rio, sobretudo na Suazilândia, que detêm a maior área da bacia, são fundamentais para a compreensão da dinâmica de cheias no baixo curso e para uma gestão mais eficiente da albufeira dos Pequenos Libombos;

A análise da legislação ambiental referente à gestão de recursos hídricos existente em Moçambique permite concluir que, embora haja diversos instrumentos reguladores, inclusive de âmbito internacional, que seguem as diretrizes mundialmente aceitas, esses instrumentos ainda não se encontram plenamente difundidos e implementados.

Finalmente, como uma proposição final, este apresenta algumas recomendações que podem agir no sentido de melhorar o planejamento e a gestão da bacia do Umbeluzi, que são listadas a seguir:

- Recomposição da rede de estações pluviométricas do INAM e da rede de estações hidrométricas do DNA, com aumento da densidade dos postos de coleta, modernização dos equipamentos, com melhoria da resolução e automatização da saída de dados, dando maior confiabilidade e agilidade nas análises e contribuindo para uma melhoria na tomada de decisões;
- Usar métodos numéricos (como por exemplo o Matlab) para tratamento dos dados de precipitação e vazão, contribuindo para uma melhoria na previsão dos regimes de seca e cheia;
- Educar e sensibilizar as comunidades que vivem nas áreas vulneráveis às cheias sobre a importância do uso das informações meteorológicas (estado de tempo) para a redução dos desastres naturais;

- Realizar a atualização periódica das curvas de vazão/escoamento, através de medições sistemáticas de caudais nas estações hidrométricas;
- Implementar um gestão descentralizada e participativa dos recursos hídricos, com a atuação do poder público, dos usuários e das comunidades locais;
- Estreitar as relações diplomáticas com a Suazilândia objetivando uma integração efetiva na gestão da bacia do Umbeluzi, implementando planos de manejo e consolidando instrumentos de gestão racional da bacia que garantam para todos o direito ao uso da água com a qualidade e quantidade necessárias para a manutenção da vida, dos ecossistemas e da atividade produtiva.

6. Revisão Bibliográfica

1. AGUIAR, A. P. D. Modelagem de mudanças de Uso e Cobertura do Solo na Amazônia: Questões Gerais. In: Instituto de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos: INPE, 2002. Em: http://dpi.inpe.br/tutoriais/modelagem/cap4_modelos_LUC.pdf (Acesso em 20 de Março de 2012).
2. ALMEIDA e GUERRA, Conservação dos Solos Agrícolas. Lisboa: Colecção Novo Agricultor 1998.
3. BANDEIRA, Salomão, BOLNICK, Doreen e BARBOSA, Filomena. Flores Nativas do Sul de Mocambique. 1. Ed, SGL-Spestrum Graphics Limitada, Maputo-Moçambique. 2007.
4. BERTONI e LOMBARDI, Neto. Hidrografia e Solos Brasileiros. São Paulo: Editora Versos, 1990.
5. BERTONI, J. LOMBARDI NETO, F. Conservação do Solo. Piracicaba: Ceres, BIGARRELLA, Sardenha. J. Colectânea Solos tropicais. São Paulo: Malheiros, 2003. Brasil, 1984.
6. BRIASSOULIS, H. Analysis of Land Use Change: Theoretical and Modeling Approaches. Regional Research Institute, West Virginia University, 1999. Disponível em <http://www.rri.wvu.edu/webBook/Briassoulis/contents.htm>. (Acesso em 05 de Abril de 2012).
7. CHICONELA, Tomás, SANTOS Luís e CUGALA, Domingos. Plantas Aquáticas das zonas Centro e Sul de Moçambique-Relatório de Pesquisa. Maputo. 2002.

8. Collares, E. G. Avaliação de alterações em rede de drenagem de microbacias como subsídio ao zoneamento geoambiental de bacias hidrográficas: Aplicação na Bacia Hidrográfica do Rio Capivari-SP. 2000. 193 f. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, São Carlos-SP, 2000.
9. COSSA, Narcísia E. Distribuição e Possíveis Factores de Proliferação das Plantas Aquáticas Invasivas na bacia do Incomáti, Monografia Científica, Universidade Pedagógica - Faculdade de Ciências Naturais e Matemática. Maputo. 2008.
10. COSTA, Bernardino C. Erosão Fluvial. Portugal: Porto Editora, 1991.
11. CUNHA, & LINO. Gestão de água; Princípios fundamentais e sua aplicação em Portugal, ED. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa 1980.
12. DINIZ, J. A. F. Geografia da Agricultura. 2ª Edição São Paulo: Edifício DIFEL, Doutorado em Sensoriamento Remoto. INPE. São José dos Campos. 1992. CROSTA, A. P. Processamento digital de imagens de Sensoriamento Remoto. Campinas: UNICAMP; Dicionário Brasileiro Disponível em: <http://www.dicio.com.br/matagal/> Acesso em 2012. Editora da UFRGS, 1997.
13. FERNICOLA, N.A.G.G.; OLIVEIRA, S.S. (coords). Poluentes Orgânicos Persistentes: POPs. Salvador: CREA, 2008.
14. FERRÃO, Manuel. Apontamentos de Teledeteção-Fascículo II: Tratamento de Imagens Satélite. CENACARTA e Universidade Eduardo Mondlane-Faculdade de Letras-Departamento de Geografia. Maputo-Moçambique. 2004;
15. FRANCISCO, António Álvaro Desenvolvimento Comunitário em Moçambique Contribuição para a sua compreensão crítica. Maputo Moçambique, 2007.

Geoprocessamento à Mata do Zumbi. In: COBRAC 2000-Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, 2000, Florianópolis. Anais. 2000.

16. GLEICK, P. H. The world's water. 2000-2001. Report on Freshwater Resources. Island Press, 2000. 315p.
17. GUERRA & CUNHA. Geomorfologia; Uma atualização de bases e conceitos ED. Bertrand 7^o Edição. Rio de Janeiro –Brasil. 2007.
18. INAM Instituto Nacional de Meteorologia. 2006. Situação Ciclônica no período de 1998 a 2006. Maputo, Moçambique, 2006.
19. INGC-GTZ, “Módulo 3”, Manual da capacitação no âmbito da gestão de risco de calamidades (GRC), Maputo, INGC-GTZ, 2007.
20. Liu. W. H, Aplicações de Sensoriamento remoto, Cap. 06, Campo Grande, Ed. UNIDERP, 2006.
21. METEO J.M.R. Planejamento ambiental: Bases conceituais níveis e métodos: in:Desenvolvimento sustentável e planejamento bases teóricas e conceituais. Orgs. Cavalcanti P.B ET AL. Imprensas Universitárias Fortaleza-CE. 1997.
22. MICOA, Avaliação da vulnerabilidade as mudanças climáticas, MICOA, 2005, Consul. 23 Abr.2012, Disponível: www.convambientais.gov.mz/index.php.
23. MICOA, Initial National Communication of Mozambique under the United National Framework Convention of Climate Change, Ministério para a Coordenação Ambiental, 2003, Maputo.
24. MONEGATI, Silas. Fertilidade dos Solos. Campo Grande. Brasil: Editora Universal, 1991.

25. Novo. E. L. M, Sensoriamento Remoto Princípios e aplicações, Cap. 03, São Paulo, 3^a Ed, 2008.
26. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. , Mozambique floods 2001: Final report, Maputo, Nações Unidas, 2001..
27. PACHECO, A. P. Aplicação Multitemporal de Sensoriamento Remoto e
28. PINTO, S. A. F. Sensoriamento Remoto e Integração de dados aplicados no estudo da Erosão dos solos: Contribuição Metodológica. 1991.
29. PIRES, Carvalho de Botelho Produtividade de Solos Agrícolas. Portugal: Porto Editora, 2003.
30. Relatório da Administração Regional de água Sul. Maputo, Moçambique 2000.
31. Revista/ colectânea Estudos hidrológicos. Moçambique: Lourenço Marques, 1974.
32. ROCHA, S.P; CRUZ, C.M; RICHTER,M. Levantamento da Cobertura Vegetal Através de Produtos de Sensoriamento Remoto Nas APAS da Mantiqueira e Serrinha do Alamabra, Resende- RJ 2006.
33. RODOLFO, Angelina. Relatório Preliminar sobre a infestação por Eichhornia crassipes na bacia do rio Incomáti. Monografia Científica, Universidade Eduardo Mondlane- Faculdade de Ciências Biológicas. Maputo 2008.
34. ROGERS, P. P. et al. (Ed.) Water crisis: myth or reality? London: Fundación Marcelino Botín, Taylor & Francis, 2006. p.197-220.
35. ROSA, R. Introdução ao Sensoriamento Remoto. 5. Ed. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, Brasil, 2003.
36. SABINS, F. F. Remote sensing: principles and interpretation. 3rd. New York: W. F. Freeman and Company, 1999.

37. SILVA, D. A. Sistemas Sensores Orbitais. São José dos Campos: INPE-CTA,
38. SOARES FILHO, B. S. Análise das mudanças de Cobertura do Solo no Norte do Mato Grosso. Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Goiânia, 2005 Disponível em <http://www.itid.inpe.br/sbsr2005> Acesso em quatro de Abril 2012;
39. SOMLYODY, L; VA RIS, O. Freshwater under pressure. International Review for Environmental Strategies, v.6, n.2, p.181-204, 2006.
40. SOUZA, Galeti. Os Solos nas Encostas. Portugal: Porto Editora, 1984.
41. TUCCI, C. E. M. 1997. Hidrologia: ciência e aplicação. 2. Ed. Porto Alegre: ABRH/
42. WINNTER, Tony P.. Contaminação dos Hídrica nos regadios Industriais. Lisboa,1977.
43. WMO. The Dublin Statement and Report of the Conference. International Conference on Water and the Environment: Development Issues for the 21st Century.. Dublin, Ireland. 1992.
44. YASSUDA, E. R. Gestão de recursos hídricos: fundamentos e aspectos institucionais. 2010.