UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Instituto de Geociências

PEDRO HERCULANO ARRONE

ANÁLISE DAS UNIDADES GEOSSISTÊMICAS E SISTEMAS ANTRÓPICOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PÚNGUÈ (MOÇAMBIQUE) ENQUANTO INDICADORES DE GESTÃO AMBIENTAL

CAMPINAS
2023

PEDRO HERCULANO ARRONE

ANÁLISE DAS UNIDADES GEOSSISTÊMICAS E SISTEMAS ANTRÓPICOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PÚNGUÈ (MOÇAMBIQUE) ENQUANTO INDICADORES DE GESTÃO AMBIENTAL

TESE APRESENTADA AO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE DOUTOR EM GEOGRAFIA NA ÁREA DE ANÁLISE AMBIENTAL E DINÂMICA TERRITORIAL

ORIENTADOR: PROF. DR. RAUL REIS AMORIM

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO COMPLETA DA TESE PARA EFEITOS DE DEFESA DEFENDIDA PELO ALUNO PEDRO HERCULANO ARRONE E ORIENTADA PELO PROF. DR. RAUL REIS AMORIM

CAMPINAS
2023

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca do Instituto de Geociências
Marta dos Santos - CRB 8/5892

Ar69a

Arrone, Pedro Herculano, 1978-
Análise das unidades geossistêmicas e sistemas antrópicos na bacia hidrográfica do rio Púnguè (Moçambique) enquanto indicadores de gestão ambiental / Pedro Herculano Arrone. – Campinas, SP : [s.n.], 2023.

Orientador: Raul Reis Amorim.
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências.

1. Bacias hidrográficas. 2. Geosystem. 3. Habitat antrópico. 4. Gestão ambiental. I. Amorim, Raul Reis, 1981-. II. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Geociências. III. Título.

Informações Complementares

Título em outro idioma: Analysis of geosystemic unitis and anthropic systems in the Púnguè river hydrographic (Mozambique) basin as environmental management indicators
Palavras-chave em inglês:
Watersheds
Geosystem
Atropic habitat
Environmental management
Área de concentração: Análise Ambiental e Dinâmica Territorial
Titulação: Doutor em Geografia
Banca examinadora:
Raul Reis Amorim [Orientador]
Ednice de Oliveira Fontes Baitz
Lindon Fonseca Matias
Ubaldo Ginova Ombe Gemusse
Sirius Oliveira Sousa
Data de defesa: 14-04-2023
Programa de Pós-Graduação: Geografia

Identificação e informações acadêmicas do(a) aluno(a)
- ORCID do autor: https://orcid.org/0000-0002-5027-1197
- Currículo Lattes do autor: https://lattes.cnpq.br/4168651917553274

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

AUTOR: Pedro Herculano Arrone

ANÁLISE DAS UNIDADES GEOSSISTÊMICAS E SISTEMAS ANTRÓPICOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PÚNGUÈ (MOÇAMBIQUE) ENQUANTO INDICADORES DE GESTÃO AMBIENTAL

ANALYSIS OF GEOSYSTEMIC UNITIS AND ANTHROPIC SYSTEMS IN THE PÚNGUÈ RIVER HYDROGRAPHIC (MOZAMBIQUE) BASIN AS ENVIRONMENTAL MANAGEMENT INDICATORS

ORIENTADOR: PROF. DR. RAUL REIS AMORIM

Aprovada em: 14/04/2023

EXAMINADORES:

Prof. Dr. Raul Reis Amorim- Presidente

Prof. Dr. Ubaldo Ginova Ombe Gemusse

Profa. Dra. Ednice de Oliveira Fontes Baitz

Prof. Dr. Sirius Oliveira Souza

Prof. Dr. Lindon Fonseca Matias

A Ata de Defesa assinada pelos membros da Comissão Examinadora consta no processo de vida acadêmica do aluno.

Campinas, 14 de abril de 2023.

DEDICATÓRIA

Dedico esta tese aos meus pais Herculano Arrone e Madalena Elias (em memória).

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e pelas bênçãos!

Ao meu orientador Prof. Dr. Raul Reis Amorim (meu pai acadêmico) pela orientação incondicional e pontual ajuda durante o processo de elaboração da presente tese.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Brasil, pelo financiamento da bolsa de estudos, Código de Financiamento 001.

A todos Docentes do Programa de Pós-Graduação do Instituto de Geociências na UNICAMP e em particular ao Prof. Dr. Archimedes Perez Filho e ao Prof. Dr. Rafael Straforini, pelos excelentes ensinamentos durante a realização das disciplinas curriculares, cujos conteúdos ministrados contribuíram no processo da elaboração do presente trabalho.

A todos meus amigos que direta ou indiretamente contribuíram para elaboração da presente tese, nomeadamente Lucrêncio Sivestre Macaringue, Paulo Roberto e Adielson Botelho,

Aos meus colegas e amigos da Universidade Licungo, Extensão da Beira pelo encorajamento na continuação de estudos, em especial ao Lucas Simão Lucas e Osvaldo Rupias, pelo acolhimento quando da minha chegada no Brasil.

A todos meus amigos de nacionalidade brasileira e colegas do laboratório, com destaque a Ulisses Magdalena, Gabriel, Isa, Natacha, Maryelle, Nícolas, Vinicius, Aline, Rafael, Ana, Gui, Zeliane, Sandra Estroges, Kezia, Jéssica, Milena, Tiago, Paulo Rufino, entre outros, pelo carinho e amizade.

A todos que direta ou indiretamente contribuem na elaboração desta tese.

RESUMO

O processo de planejamento e gestão ambiental de bacias hidrográficas só pode ter resultados almejados com a existência de diagnósticos e prognósticos ambientais que sirvam de base para definição de políticas e formas de exploração sustentáveis dos recursos e condições naturais. Sobre a bacia hidrográfica do rio Púnguè, existem poucos conhecimentos sistematizados relativos às características biofísicas e socioeconômicas, com indicadores da fragilidade ou potencialidades ambientais na predisposição de ocorrência de eventos ambientais. Portanto, a presente tese, objetivou analisar os geossistemas e sistemas antrópicos da bacia hidrográfica do rio Púnguè quanto às suas caraterísticas, predisposição de ocorrência de eventos (erosão e inundações), a dinâmica dos usos e cobertura da terra e as condições de usos e gestão da bacia. Em termos metodológicos, privilegiou-se a análise sistêmica com enfoque nos fundamentos teóricos metodológicos assentes na teoria de sistemas, demandando revisão bibliográfica específica. O geoprocessamento constituiu uma das bases para realização de análises morfométrica, da fragilidade ambiental, da suscetibilidade a inundações, da delimitação e caracterização dos geossistemas e sistemas antrópicos e da dinâmica dos usos e cobertura da terra. A pesquisa também contou com realização de trabalho de campo. Os resultados da análise morfométrica e do modelo de HAND revelam que no geral, a bacia hidrográfica do rio Púnguè é de baixa suscetibilidade à ocorrência de inundações, entretanto, no baixo Púnguè, na província de Sofala, distritos de Nhamatanda, Buzi e Dondo, as áreas de planícies de inundação afiguram-se como de alta suscetibilidade. Quanto à fragilidade ambiental, os resultados revelam variação espacial das classes de fragilidade ambiental em função da variação espacial das variáveis ambientais consideradas na análise (índice de dissecação, solos e usos e cobertura da terra), mas se notabiliza a predominância da classe de fragilidade média (42,72% da área total da bacia), variando espacialmente com a classe de fragilidade ambiental fraca (40,94% da área total da bacia). Na bacia hidrográfica do rio Púnguè foram identificadas e delimitadas 25 unidades geossistêmicas, sendo que 4 se enquadram na unidade morfoestrutural cratônica, 10 na unidade morfoestrutural de cinturões móveis, 4 na unidade morfoestrutural de bacias e coberturas Fanerozóicas, 3 na unidade morfoestrutural de depósitos sedimentares terciários e 4 na unidade morfoestrutural de depósitos sedimentares quaternários. Na sequência, foram delimitados 7 sistemas antrópicos. Os usos e cobertura da terra revelam uma tendência de desflorestamento e os processos de gestão da bacia hidrográfica estão descentralizados até ao nível regional, sendo que os instrumentos de planejamento e gestão ambiental da bacia estão pouco claros sobre envolvimento de diferentes segmentos da sociedade, sobretudo os usuários diretos, portanto, carecendo da elaboração de uma estratégia de gestão integrada, descrevendo claramente as funções, atribuições, responsabilidades e mecanismos de participação de cada segmento da sociedade (comunidades, setor privado, instituições de pesquisa e universidades, etc.), incluindo a definição de fontes de financiamento dos comitês.

Palavras-chave: Bacia Hidrográfica; Geossistemas; Sistemas Antrópicos; Gestão Ambiental.

ABSTRACT

The process of planning and environmental management of watersheds can only have the desired results with the existence of environmental diagnostics and prognostics that serve as a basis for defining policies and forms of sustainable exploitation of natural resources and conditions. Regarding the Púnguè river basin, there is little systematized knowledge about the biophysical and socioeconomic characteristics, with indicators of environmental fragility or potentialities in the predisposition of an environmental event to occur. Therefore, the present thesis aimed to analyse the geosystems and anthropic systems of the Púnguè river basin regarding its characteristics, predisposition towards the occurrence of events (erosion and flooding), the dynamics of land use and cover and the conditions of use and management of the basin. In methodological terms, a systemic analysis was favoured with a focus on theoretical methodological foundations based on systems theory, demanding a specific bibliographic review. Geoprocessing was one of the bases for carrying out the morphometric analysis, the environmental fragility, the susceptibility to flooding, the delimitation and characterisation of geosystems and anthropic systems and the dynamics of land use and cover. The research also included fieldwork. The results of the morphometric analysis and the HAND model reveal that, in general, the Púnguè river basin has low susceptibility to the occurrence of floods. However, in the lower Púnguè, in Sofala province, in the districts of Nhamatanda, Buzi and Dondo, the flood plain areas appear to have high susceptibility. Regarding environmental fragility, the results reveal spatial variation of environmental fragility classes as a function of the spatial variation of environmental variables considered in the analysis (dissection index, soils and land use and land cover), but the predominance of the medium fragility class is remarkable (42.72% of the total basin area), spatially varying with the weak environmental fragility class (40.94% of the total basin area). In the Púnguè River basin 25 geosystemic units were identified and delimited, being that 4 fit in the cratonic morphostructural unit, 10 in the morphostructural unit of mobile belts, 4 in the morphostructural unit of Fanerozoic basins and covers, 3 in the morphostructural unit of tertiary sedimentary deposits and 4 in the morphostructural unit of quaternary sedimentary deposits. In sequence, 7 anthropic systems were delimited. The uses and land cover reveal a deforestation tendency, marked by a transition from forest to savannah and from savannah to exposed soil. The watershed management processes are decentralized up to the regional level. The basin's planning and environmental management instruments are unclear on the involvement of different segments of society, especially direct users, therefore lacking the elaboration of an integrated management strategy, which clearly describes the functions, attributions, responsibilities and participation mechanisms of each segment of society (communities, private sector, research institutions and universities, etc.), including the definition of funding sources for the committees.

Key-words: watersheds; Geosystems; Anthropic Systems; Environmental Management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Enquadramento Geográfico da bacia Hidrográfica do rio Púnguè 20
Figura 2 – Divisão administrativa em localidades ao longo da bacia hidrográfica do rio Púnguè 21
Figura 3– Matriz geográfica para determinação da Suscetibilidade às inundações 55
Figura 4– Mapa de tipos de clima na bacia hidrográfica do rio Púnguè 64
Figura 5 – Mapa das temperaturas médias anuais na bacia hidrográfica do rio Púnguè..... 66
Figura 6 – Mapa de médias de precipitação na Bacia Hidrográfica do Rio Púnguè 68
Figura 7 – Mapa de tipos de vegetação na bacia hidrográfica do rio Púnguè 72
Figura 8 –Tipos de solos na bacia hidrográfica do rio Púnguè 75
Figura 9 – Mapa de Unidades Geológicas da bacia hidrográfica do rio Púnguè..... 79
Figura 10 – Compartimentos geomorfológicos da bacia hidrográfica do rio Púnguè..... 80
Figura 11 – Vista parcial de colinas e serras em Manica 83
Figura 12 – Vista parcial de colinas no distrito de Gorongosa, Sofala 86
Figura 13 – Vista parcial do monte Xiluvo em Nhamatanda 87
Figura 14– Vista parcial da serra de Gorongosa..... 89
Figura 15 – Vista parcial do relevo cársico em Cheringoma, Sofala 91
Figura 16 – Vista parcial da planície de inundação no baixo Púnguè..... 92
Figura 17 – Vista parcial de cascatas na serra de Gorongosa..... 94
Figura 18– Perfil topográfico da sub-região oeste da Bacia hidrográfica do rio Púnguè..... 96
Figura 19 – Mapa Hipsométrico da bacia hidrográfica do rio Púnguè..... 97
Figura 20– Distribuição das classes de hipsometria da bacia do rio Púnguè 98
Figura 21 – Mapa Clinográfico na bacia hidrográfica do rio Púnguè 100
Figura 22 – Mapa de Rede de Drenagem da bacia hidrográfica do rio Púnguè..... 102
Figura 23– Mapa de Hierarquia de drenagem bacia hidrográfica do rio Púnguè..... 104
Figura 24 – Mapa de suscetibilidade às inundações da bacia hidrográfica do rio Púnguè (Moçambique) 107
Figura 25– Imagem ilustrativa de solo exposto com presença dispersa de vegetação 109
Figura 26 – Imagem ilustrativa de queimadas descontroladas..... 110
Figura 27 – Usos e cobertura de terra na bacia hidrográfica do rio Púnguè..... 111
Figura 28 – Campos de pousio nos campos de cultivo de cana de açúcar da fábrica *Tungatt Hullet* 112

Figura 29 – Imagem ilustrativa de agricultura de subsistência nalgumas áreas da bacia..... 113
Figura 30 – Imagem ilustrativa de assentamentos humanos no meio rural..... 114
Figura 31 – Transições de usos e cobertura de terra na bacia hidrográfica do rio Púnguè 115
Figura 32 – Transições de usos e cobertura da terra dos anos 1990 a 2000, 2000 a 2012 e 2012 a 2020 116
Figura 33– Mapas de fragilidade ambiental quanto ao IDR, declividade, solos e usos e cobertura da terra. 122
Figura 34 – Modelo representativo da topografia da bacia hidrográfica do rio Púnguè 123
Figura 35 – Mapa da fragilidade ambiental global..... 125
Figura 36 – Imagens ilustrativas do processo de colheita da cana de açúcar em Mafambisse ... 128
Figura 37 – Mapa de Geossistemas da bacia hidrográfica do rio Púnguè..... 133
Figura 38 – Sistemas antrópicos na bacia hidrográfica do rio Púnguè..... 155
Figura 39– Preparação dos solos com recurso a tratores no processo de cultivo de cana de açúcar 157
Figura 40 – Sistemas de irrigação implantados ao logo da bacia hidrográfica do rio Púnguè.... 159
Figura 41 – Queima da cana de açúcar no processo da colheita 160
Figura 42 – Imagem ilustrativa de parte da cidade da Beira 161
Figura 43 – Sistemas de transporte ao longo da bacia hidrográfica do rio Púnguè..... 163
Figura 44 – Vista parcial do parque industrial e logístico da Beira 164
Figura 45– Ilustração de focos de acumulação de água em áreas residências na Beira 165
Figura 46– Algumas atividades desenvolvidas na bacia que perigam a qualidade dos recursos hídricos. 184
Figura 47- Mapa de zoneamento ambiental na bacia hidrográfica do rio Púnguè 187

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fórmulas e indicadores de índices morfométricos 53
Tabela 2 – Correspondência de grupos de solos da bacia hidrográfica do rio Púnguè com a classificação da FAO e da Embrapa. 56
Tabela 3 – Parâmetros de água analisados nas amostras coletados nos campos agrícolas da açucareira de Mafambisse.....39
Tabela 4- Parâmetros de água analisados nas amostras extraídas na sub-região de extração de ouro, do distrito de Manica.....39
Tabela 5 – Tipos de cobertura de terra que ocorrem na bacia hidrográfica do rio Púnguè…….....52
Tabela 6 – Indicadores morfométricos da bacia hidrográfica do rio Púnguè..... 95
Tabela 7 – Dados estatísticos das transições de usos de e cobertura da terra entre 1990–2020.....97
Tabela 8 – Resultados da análise física, química e microbiológica da água corrente campos agrícolas da Tongaat Hulett. 128
Tabela 9 – Resultados de análise de água colectada na sub-região de Manica..... 129
Tabela 10 – Unidades Geossistêmicas da bacia hidrográfica do rio Púnguè 132
Tabela 11– Variação anual da área de produção e quantidade de cana de açúcar em Mafambisse 156
Tabela 12 – População por distrito ao longo da bacia hidrográfica do rio Púnguè. 162
Tabela 13 – Análise comparativa dos instrumentos de gestão nos diferentes sectores de atividades 176

Sumário

CAPÍTULO I – ASPECTOS INTRODUTÓRIOS 14
1.1 — Introdução 14
1.2 – Delimitações do tema e da área de estudo 18
1.3 – Justificativa da escolha do tema 22
1.4 – Problematização 24
1.5 – Hipótese 26
1.6- Objetivos da pesquisa 26
Objetivo geral 26
Objetivos específicos 26
CAPÍTULO II – EMBASAMENTO TEORICO 27
2.1 – Relações entre a Geografia e a Gestão ambiental 27
2.2 – Análise da paisagem 30
2.4 – Dinâmica da paisagem 33
2.5 – Bacias hidrográficas como sistema/geossistema e unidade de paisagem 36
2.6 – Análise morfométrica de bacias hidrográficas 40
2.7 – Análise da fragilidade ambiental 42
2.8 – Planejamento e gestão das bacias hidrográficas 45
CAPÍTULO III – METODOLOGIA 50
3.1 – Breve fundamento teórico metodológico 50
3.2 – Técnicas de operacionalização da metodologia 51
CAPÍTULO IV – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS 62
4.1 – Caracterização sistêmica da bacia hidrográfica do rio Púnguè 62
4.1.1 – Os elementos naturais constituintes da bacia hidrográfica do rio Púnguè 62

4.2 – Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Púnguè 93
4.3 – Dinâmica dos usos e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Púnguè..... 108
4.3.1 – Usos e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Púnguè no período de 1990 a 2020 108
4.3.2 – Análise das transições dos usos e ocupação de terra na bacia hidrográfica do rio Púnguè no período de 1990 a 2020 114
4.4 – Análise da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Púnguè..... 121
4.5 – Os Geossistemas da bacia Hidrográfica do rio Púnguè..... 131
4.6 – Sistemas antrópicos na bacia hidrográfica do rio Púnguè 154
4.7 – Análise da Gestão ambiental da bacia hidrográfica do rio Púnguè 169
4.7.1 – Propostas para Gestão Ambiental na bacia hidrográfica do rio Púnguè..... 186
5 – CONCLUSÕES 193
6 – REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 198

CAPÍTULO I – ASPECTOS INTRODUTÓRIOS

1.1 — Introdução

A paisagem como unidade espacial com particularidades geofísicas e socioeconômicas em interações recíprocas (VICENS, 2012), está sujeita a uma dinâmica, sendo que numa perspectiva de geossistema distingue-se da dinâmica em biostasia e a dinâmica em resistasia (BERTRAND, 1972), realçando-se neste caso particular, a dinâmica ligada a modificações de uso e ocupação de terra que pode ser sob alteração duma categoria para outra (floresta à pastagem) ou modificação dentro da mesma categoria (agricultura de subsistência à agricultura intensiva) (JANSEN e DI GREGÓRIO, 2002), podendo gerar impactos de ordem negativa quando as ocupações são desenvolvidas sem obedecer aos padrões de ordenamento territorial e uso de técnicas inadequadas (ZACHARIAS, 2010), demandando conhecimento das propriedades e funcionamento da paisagem, de modo a servir de base na definição de procedimentos que colaborem para gestão sustentável das condições e recursos naturais (AMORIM, REIS e FERREIRA, 2017).

A paisagem concebida como resultado das relações de interdependência entre formações e processos naturais e antropo-naturais, caracterizado por uma estrutura (forma e arranjo espacial), com um conteúdo dinâmico e evolutivo (AMORIM, REIS e FERREIRA, 2017), mas também é concebida na perspectiva perceptível (panorama) de um determinado espaço geográfico, envolvendo aspectos naturais e culturais (DANTAS *et. al*, 2015). Importa referenciar que a paisagem, para além de ser resultado das relações recíprocas entre os seus elementos através da troca da matéria e energia, também é resultado da apropriação das condições e recursos naturais contidos, pelas comunidades no âmbito da satisfação das suas necessidades, considerando o estágio de desenvolvimento tecnológico de cada comunidade.

O uso de terra pode ser percebida como diferentes formas de apropriação de espaços geográficos e aproveitamento das condições e recursos naturais para diversas atividades de ordem social e econômica, caracterizando-se pela modificação das características genuínas das propriedades da natureza (JANSEN e DI GREGÓRIO, 2002, SEABRA e CRUZ, 2013).

Segundo Seabra e Cruz (2013, p.412),

> A cobertura da terra é considerada a expressão das atividades humanas na superfície terrestre e está diretamente ligada ao uso da terra e seu manejo. Os estudos que

> correlacionam a caracterização da cobertura da terra e a análise de seus diferentes usos e manejos são importantes ferramentas para a compreensão da intensidade das mudanças e o tipo das mudanças em determinadas áreas.

A dinâmica das formas de uso e cobertura da terra numa bacia hidrográfica influência nos diferentes processos ecológicos que ocorrem nela e consequentemente nas transformações da paisagem. O uso da terra se concebe como manifestação ou representação das ações antrópicas na superfície terrestre, pelo que está diretamente vinculada aos processos de manejo e que, estudos conducentes à caracterização da cobertura da terra e a análise de seus diferentes usos e manejos são importantes ferramentas para a compreensão da intensidade das mudanças e o tipo das mudanças em determinadas áreas (SEABRA e CRUZ, 2013).

Em face da crescente ocupação e usos de terra ao longo das bacias hidrográficas, em particular na bacia hidrográfica do rio Púnguè em Moçambique, estudos em prol da identificação das particularidades da paisagem quanto a estrutura (a configuração dos elementos, envolvendo o tamanho e a forma das diferentes subunidades, arranjo espacial, como resultado das interações mútuas dos diferentes componentes físico naturais sob influência das ações antrópicas (LANG e BLASCCHKE, 2009) incluindo a identificação de indicadores de predisposição à ocorrência de eventos ambientais e dinâmica (mudanças nos usos e cobertura da terra), revestem-se de grande importância na medida em que podem fornecer dados que sirvam de suporte para processos de planejamento e gestão ambiental dos territórios envolvidos.

A pertinência de estudos da paisagem e consequente sistematização de conhecimentos associados, é defendida por Amorim, Reis e Ferreira (2017), ao sustentar que o conhecimento das particularidades da paisagem, reveste-se de grande importância, por constituir fonte de dados (quadro referencial a considerar nos programas de desenvolvimento, nas escalas locais, regionais e nacionais) e base para definição de metodologias que colaborem com o manejo adequado e sustentável dos recursos naturais, relevantes para as sociedades como um todo. Fazendo jus a questão da necessidade de manejo adequado e sustentável dos recursos naturais, importa referenciar que ao longo da bacia hidrográfica do rio Púnguè, vem se registrando gradual evolução de projetos de desenvolvimento socioeconómico e de atividades de subsistência das comunidades locais, justificando a necessidade de estudos das particularidades da paisagem para que sirvam de suporte aos processos de planejamento com a finalidade do alcance da sustentabilidade nas suas diferentes facetas.

Ainda na sequência da pertinência de estudos das particularidades da paisagem, Seabra e Cruz (2013) defendem que para além de disponibilizar dados como da estrutura e funcionamento da paisagem, das pressões exercidas pelas ações antrópicas, da evolução da cobertura e usos da terra, também constituem base para a compreensão das suas estruturas no passado e torna viável a determinação dos vetores e tendências das pressões sobre os espaços naturais.

No presente trabalho, o estudo da paisagem (geossistemas e sistemas antrópicos) envolve uma bacia hidrográfica, a de rio Púnguè, na região central de Moçambique. A noção de bacia hidrográfica envolve elementos geomorfológicos caracterizadas por um conjunto de superfícies vertentes onde a água precipitada é escoada em direção a áreas mais baixas e rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no seu exultório (MACIEL, 2018). O conceito de bacia hidrográfica, não é concebida apenas numa perspectiva físico geográfico, mas também, num contexto de constituir uma unidade de estudo, planejamento e gerenciamento (PIRES, SANTOS e DEL PRETTE, 2002), na medida em que a informação gerada deve conduzir à exploração e gestão sustentável das condições e recursos naturais, para o alcance da sustentabilidade natural, ecológica, social e econômica.

Para Paungartten, Bordalo e Lima (2016), as bacias hidrográficas, como sistemas e unidades naturais da paisagem, são áreas extremamente sensíveis a pequenas mudanças (naturais e antrópicas), sendo que a alteração paisagística afeta a sustentabilidade dos seus recursos hídricos (superficiais e subterrâneos). Portanto, o conhecimento destes sistemas através da caracterização de seus constituintes físicos e processos de funcionamento, associados às tipologias de uso e ocupação, configura-se como um atributo essencial na busca de soluções em processos de planejamento e gestão ambiental.

Numa perspectiva específica da bacia hidrográfica do rio Púnguè em Moçambique, raros são estudos sobre caraterização biofísica e socioeconômica, incluindo a identificação de indicadores ambientais de predisposição de ocorrência de eventos, as transformações face à dinâmica dos usos da terra, marcando a insuficiência de conhecimentos sistematizados (banco de dados) que possam sustentar os processos de planejamento e gestão ambiental.

A bacia hidrográfica do Púnguè em Moçambique constitui uma das principais bacias hidrográficas do país e drena águas para o rio principal denominado Púnguè e seus afluentes. Ela

abrange dois países (Zimbábue e Moçambique), sendo que 95,3% de área total situa-se no território moçambicano e apenas (4,7%) no território zimbabuano (ASDI, 2005).

A bacia hidrográfica do rio Púnguè é caracterizada por uma diversidade de usos da terra (ocupação por habitações, atividades agrícolas tanto de subsistência como mecanizadas, sistemas de captação de água, pastagem, mineração artesanal, exploração de madeira, etc.), supondo-se que estas ações podem estar a desenvolver influência significativa no que tange a dinâmica da paisagem, acelerando-se com a questão da variabilidade climática que vem se registando nos últimos tempos, caracterizada basicamente pela distribuição irregular e concentração das chuvas em períodos curtos durante o ano.

A presente tese centrou-se em analisar os geossistemas e sistemas antrópicos da bacia hidrográfica do rio Púnguè quanto às suas caraterísticas, predisposição de ocorrência de eventos (erosão e inundações), a dinâmica dos usos e cobertura da terra e as condições de usos e gestão da bacia.

Quanto a estrutura, o presente trabalho constitui-se em 4 capítulos. O primeiro capítulo apresenta os aspectos introdutórios, envolvendo a delimitação do tema quanto ao conteúdo, espaço e escala temporal, justificativa da escolha do tema, problematização, hipóteses e objetivos. O segundo capítulo desenvolve os fundamentos teóricos sobre a análise da paisagem, destacando-se a definição dos conceitos básicos, fundamentos teóricos da análise da paisagem/geossistemas incluindo a análise morfométrica, análise da fragilidade ambiental e suscetibilidade às inundações. No terceiro capítulo faz-se a descrição dos procedimentos metodológicos que constituíram a base para recolha e sistematização de dados no presente trabalho. No quarto capítulo procede-se a apresentação e análise dos resultados, envolvendo análise morfométrica da bacia, análise da suscetibilidade a inundações, análise da fragilidade ambiental, delimitação e caracterização dos geossistemas e sistemas antrópicos, análise da dinâmica dos usos e cobertura da terra e análise dos instrumentos de planejamento da bacia hidrográfica dório Púnguè. Para finalizar, apresentam-se as conclusões e referências bibliográficas.

1.2 – Delimitações do tema e da área de estudo

Qualquer pesquisa científica na perspectiva geográfica recai em um espaço e focaliza-se no contexto específico. Na presente tese, a pesquisa desenvolveu-se na bacia hidrográfica do rio Púnguè, localizada na região central de Moçambique. O estudo centrou-se no entendimento das características dos elementos físicos geográficos e socioeconômicas que compõem a bacia, como base para aferir as potencialidades e fragilidades ambientais. A bacia hidrográfica do rio Púnguè é analisada como um sistema, considerando as relações mútuas que se estabelecem entre os diferentes componentes físicos geográficos, mas também, sob a influência das ações antrópicas, remetendo a uma análise complementar da dinâmica temporal dos usos e cobertura da terra. Constituem conteúdo da tese: a análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio Púnguè, como base para entendimento do seu funcionamento, a análise da fragilidade ambiental, a análise da dinâmica espacial e temporal dos usos e cobertura da terra, a delimitação e análise das unidades geossistêmicas em compõem a bacia, análise dos sistemas antrópicos e dos instrumentos de gestão ambiental da bacia.

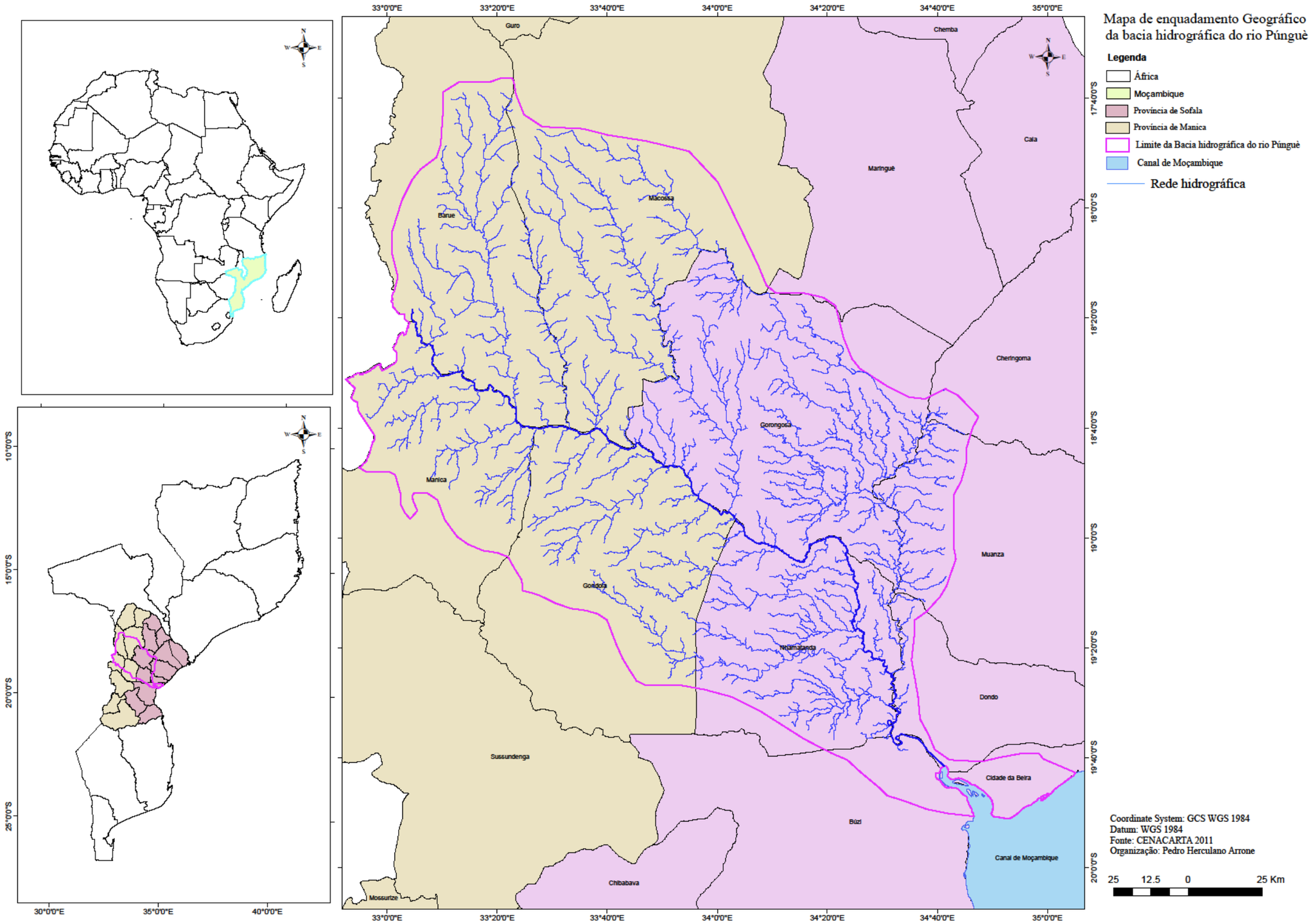
Partindo de princípio de que ao longo da bacia hidrográfica do rio Púnguè se desenvolvem diversas atividades socioeconômicas e que de certa maneira influenciam na sua estrutura e funcionamento, neste estudo, também se concebe a bacia como unidade de planejamento, na medida em que a análise direciona à produção de informações conducentes à exploração e gestão sustentável das condições e dos recursos naturais, ao descrever as potencialidades e fragilidades, o que permite a determinação das melhores formas de aproveitamento, com o mínimo impacto ambiental (PIRES, SANTOS e DEL PRETTE, 2002).

A análise de bacias hidrográficas considerando os diferentes componentes físicos e socioeconômicos é defendida por Pires, Santos e Del Prette (2002), ao enaltecer que para além de considerar questões espaciais e temporais, torna-se importante integrar aspectos biofísicos (geologia, relevo, solos, flora, fauna, etc.) e socioeconômicos, incluindo aspectos culturais e estéticos, na medida em que se configuram com elementos com indicadores para planificação e gestão ambiental. O mesmo assunto é fundamentado por Amorim (2012) ao deixar o entendimento de que a compreensão da dinâmica e evolução dos sistemas naturais e antrópicos carece de análise sistêmica de modo a fornecer indicadores de planejamento e gestão ambiental.

Quanto ao enquadramento geográfico, a bacia hidrográfica do rio Púnguè, integra dois países (Zimbábue e Moçambique), sendo que o rio principal (rio Púnguè) nasce em

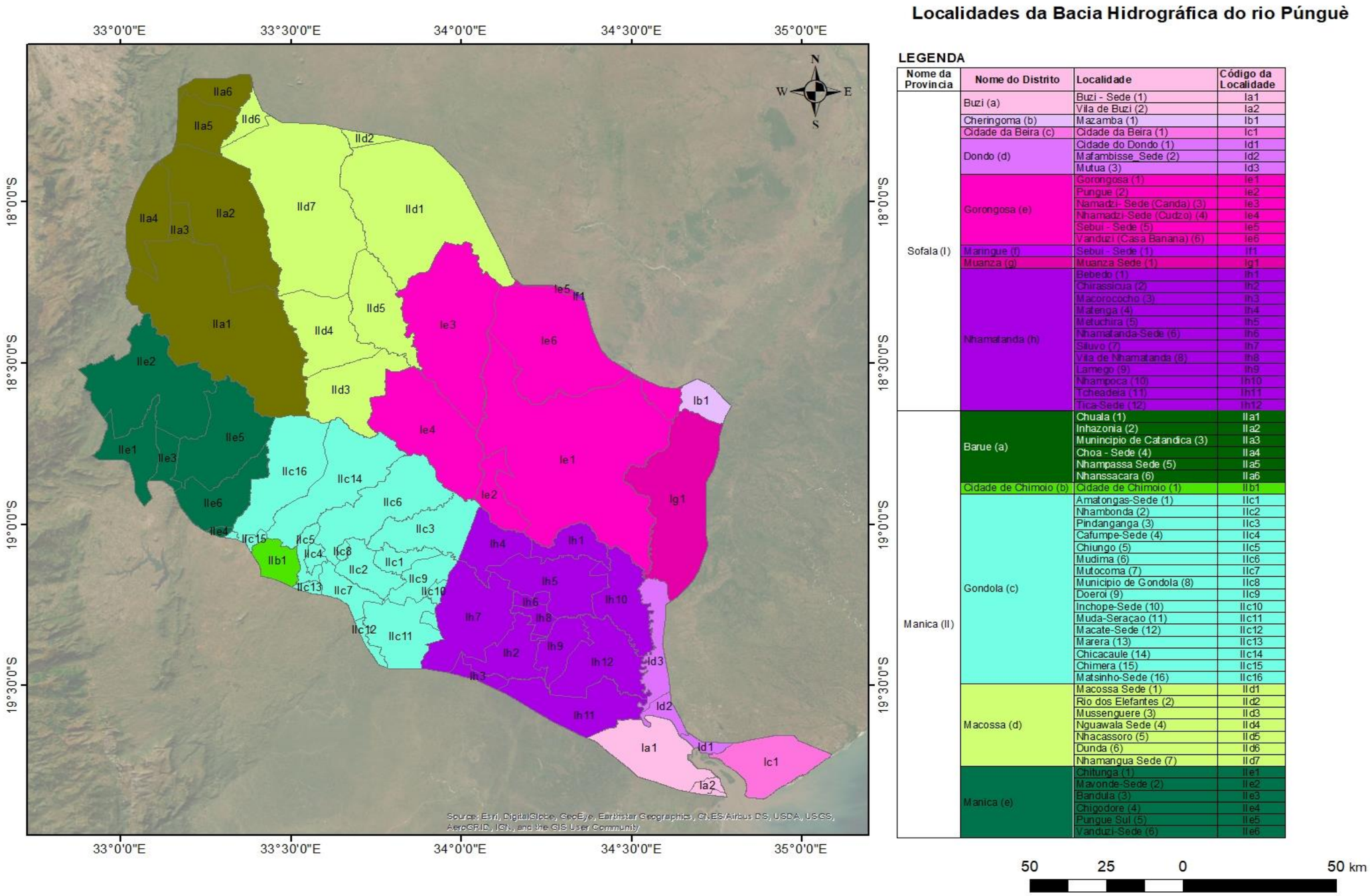
Zimbábue e atravessa a região central de Moçambique através das províncias de Manica e Sofala e desagua no por um estuário na Baía de Sofala, no Oceano Índico (Figura 1). As províncias (estados) estão subdivididas em distritos e por sua vez, os distritos estão subdivididos em postos administrativos e os postos administrativos subdivididos em localidades (vide figura 2). Embora a bacia hidrográfica do rio Púnguè envolva dois países, o estudo recaiu apenas no território Moçambicano com 95,3% do total da área da bacia.

Figura 1 – Enquadramento Geográfico da bacia Hidrográfica do rio Púnguè



Fonte: elaborado pelo autor a partir do banco de dados da CENACARTA.

Figura 2 – Divisão administrativa em localidades ao longo da bacia hidrográfica do rio Púnguè



Nome da Província	Nome do Distrito	Localidade	Código da Localidade
Sofala (I)	Buzi (a)	Buzi - Sede (1)	Ia1
		Vila de Buzi (2)	Ia2
	Cheringoma (b)	Mazamba (1)	Ib1
	Cidade da Beira (c)	Cidade da Beira (1)	Ic1
	Dondo (d)	Cidade do Dondo (1)	Id1
		Mafambisse_Sede (2)	Id2
		Mutua (3)	Id3
	Gorongosa (e)	Gorongosa (1)	Ie1
		Pungue (2)	Ie2
		Namadzi- Sede (Canda) (3)	Ie3
		Nhamadzi-Sede (Cudzo) (4)	Ie4
		Sebui - Sede (5)	Ie5
		Vanduzi (Casa Banana) (6)	Ie6
	Maringue (f)	Sebui - Sede (1)	If1
	Muanza (g)	Muanza Sede (1)	Ig1
	Nhamatanda (h)	Bebedo (1)	Ih1
		Chirassicua (2)	Ih2
		Macorococho (3)	Ih3
		Matenga (4)	Ih4
		Metuchira (5)	Ih5
		Nhamatanda-Sede (6)	Ih6
		Siluvo (7)	Ih7
		Vila de Nhamatanda (8)	Ih8
		Lamego (9)	Ih9
		Nhampoca (10)	Ih10
		Tcheadeia (11)	Ih11
		Tica-Sede (12)	Ih12
Manica (II)	Barue (a)	Chuala (1)	IIa1
		Inhazonia (2)	IIa2
		Munincipio de Catandica (3)	IIa3
		Choa - Sede (4)	IIa4
		Nhampassa Sede (5)	IIa5
		Nhanssacara (6)	IIa6
	Cidade de Chimoio (b)	Cidade de Chimoio (1)	IIb1
	Gondola (c)	Amatongas-Sede (1)	IIc1
		Nhambonda (2)	IIc2
		Pindanganga (3)	IIc3
		Cafumpe-Sede (4)	IIc4
		Chiungo (5)	IIc5
		Mudima (6)	IIc6
		Mutocoma (7)	IIc7
		Municipio de Gondola (8)	IIc8
		Doeroi (9)	IIc9
		Inchope-Sede (10)	IIc10
		Muda-Seraçao (11)	IIc11
		Macate-Sede (12)	IIc12
		Marera (13)	IIc13
		Chicacaule (14)	IIc14
		Chimera (15)	IIc15
		Matsinho-Sede (16)	IIc16
	Macossa (d)	Macossa Sede (1)	IId1
		Rio dos Elefantes (2)	IId2
		Mussenguere (3)	IId3
		Nguawala Sede (4)	IId4
		Nhacassoro (5)	IId5
		Dunda (6)	IId6
		Nhamangua Sede (7)	IId7
	Manica (e)	Chitunga (1)	IIe1
		Mavonde-Sede (2)	IIe2
		Bandula (3)	IIe3
		Chigodore (4)	IIe4
		Pungue Sul (5)	IIe5
		Vanduzi-Sede (6)	IIe6

Fonte: CENACARTA (2011). Organizado pelo autor.

1.3 – Justificativa da escolha do tema

Os conhecimentos das características biofísicas e socioeconômicas das bacias hidrográficas reveste-se de grande importância para o processo de planejamento e gestão ambiental. Por outro lado, os usos da terra em Moçambique, particularmente ao longo da bacia hidrográfica do rio Púnguè vem ganhando alguma intensificação ao longo dos últimos tempos e os impactos se manifestam em diferentes dimensões. Entretanto, pouco são os conhecimentos sistematizados existentes sobre a temática, dificultando o processo de definição de medidas de gestão ambiental da bacia hidrográfica do rio Púnguè.

Portanto, a escolha da temática em desenvolvimento na presente tese cinge-se no fato de existirem poucos estudos em Moçambique e em particular sobre a bacia hidrográfica do Púnguè e consequentemente existência de um banco de dados insuficiente sobre as características biofísicas e socioeconômicas que constituem a base para a definição das potencialidades e fragilidades, incluindo indicadores para planejamento e gestão ambiental, como sustentam Pires, Santos e Del Prette (2002) ao deixarem o entendimento de que a análise de determinado espaço geográfico quanto às suas características biofísicas e aferindo as suas potencialidades e fragilidades, permite a definição de melhores formas de usos, minimizando influências negativas no funcionamento dos componentes da bacia.

Com pesquisa da temática referenciada na presente tese objetivou-se gerar informações sistematizadas em prol das características biofísicas e socioeconómicas da bacia hidrográfica do rio Púnguè, como base para compreensão da sua estrutura e funcionamento, identificando potencialidades e fragilidades, incluindo indicadores que poderão servir de base para planejamento e gestão ambiental. O conhecimento das particularidades da estrutura e funcionalidade paisagística reveste-se de grande importância na avaliação qualitativa e quantitativa para o planejador, no que tange a implantação de projetos de desenvolvimento tais como de construção de estradas, a instalação de obras hidroelétricas, a avaliação do potencial turístico dos territórios etc (RODRIGUEZ, SILVA e CAVALCANTI, 2004).

A caracterização morfométrica que se desenvolve na presente tese por exemplo, apresenta indicadores quanto a predisposição à ocorrência de alguns eventos hidrológicos, para além da compatibilidade ou incompatibilidade de algumas atividades humanas ou certos modelos de usos de terra, contribuindo de certa maneira na composição de banco de dados para as

entidades responsáveis pelo planejamento e gestão ambiental ao nível da bacia hidrográfica do rio Púnguè (MACHADO e TORRES, 2013).

Na sequência, a análise das transformações nos usos e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Púnguè, para além de permitir o entendimento sobre as pressões econômicas atuais, poderá permitir a compreensão da sua evolução ao longo do tempo, constituindo informação importante para projeção de tendencias das pressões sobre os espaços naturais (SEABRA e CRUZ, 2013).

A sistematização de conhecimentos sobre a bacia hidrográfica do rio Púnguè, também constitui contribuição para acesso à informação aos diferentes seguimentos da sociedade e consequente aprendizagem sobre a necessidade de conhecer as propriedades do ambiente e usos adequados às suas características como defendem Philipphi, Romero e Bruna (2004) ao considerar que a construção de espaço podia ser acompanhado por um processo de aprendizado ambiental que permitisse a apropriação de técnicas sustentáveis nos diferentes usos de terra.

Na perspectiva educação formal, a produção de conhecimentos sistematizados das características biofísicas e socioeconômicas, incluindo as potencialidades e fragilidades ambientais na bacia hidrográfica do rio Púnguè constitui mais-valia para enriquecimento do acervo bibliográfico sobre aspectos locais, base para efetivação do currículo local nos diferentes níveis de ensino.

Em suma, os resultados da presente pesquisa poderão influenciar nos processos de gestão ambiental da bacia hidrográfica do rio Púnguè, através da diversidade de dados sobre as particularidades geofísicas e socioeconômicas, incluindo as questões relativas as particularidades da funcionalidade da bacia. Por outro lado, poderão influenciar nas políticas de gestão de bacias hidrográficas e nos processos de construção conhecimentos e práticas sobre a gestão de bacias hidrográficas nos diferentes segmentos da sociedade.

1.4 – Problematização

A bacia hidrográfica do rio Púnguè, como um sistema, possui características específicas e que definem predisposição a ocorrência de eventos e mudanças ambientais proporcionais às suas características. Por outro lado, o desenvolvimento de diferentes atividades humanas ao longo da bacia pode influenciar tanto em sua estrutura, quanto nas interações mútuas entre os diferentes elementos constituintes como defendem Amorim, Reis e Ferreira (2017) ao considerarem que o geossistemas sofrem mudanças no fluxo de matéria e energia face a intensificação dos processos de usos de terra através da agricultura, pastorícia, urbanização extração dos recursos, etc.

As mudanças desencadeadas no âmbito das atividades humanas ocorrem de diversas vertentes. Para Jansen e Di Gregório (2002) as modificações de uso e cobertura da terra ocorrem sob duas formas distintas nomeadamente: alteração duma categoria de cobertura para outra (floresta para pastagem) e a modificação dentro da mesma categoria (agricultura de subsistência para agricultura intensiva). A mudança de uma categoria de cobertura de terra para outra, significa não só alteração da paisagem, mas também das funções e dos processos que nela se desencadeiam. Mesmo reconhecendo que alguns usos e ocupação de terras como o processo de urbanização podem melhorar algumas condições e processos ambientais, não se descarta a realização de modificações das propriedades físicas, químicas e biológicas da bacia hidrográfica (AMORIM, REIS e FERREIRA, 2017).

As atividades humanas e as consequentes mudanças nos elementos que compõem a bacia, influência nas alterações do fluxo de matéria e energia como defendem o Machado e Torres (2013, p. 104) ao referir que,

> A retirada e/ou a substituição da cobertura vegetal ocasiona um desequilíbrio nesse sistema, resultando no maior e mais rápido escoamento superficial, na diminuição da infiltração das águas que sustentam os mananciais subterrâneos e ainda, como consequência, maior erosão do solo, com transporte dos sedimentos até os corpos hídricos, provocando significativas alterações ecológicas, assoreamento e a indesejável diminuição da capacidade de armazenamento dos mananciais.

As condições e recursos naturais que ocorrem ao longo da bacia hidrográfica do rio Púnguè, constituem a base de subsistência das comunidades que habitam sobre ela. Constituem atividades socioeconômicas de realce desenvolvidas ao longo da bacia hidrográfica do rio Púnguè a crescente urbanização caracterizada pela fraca observância dos padrões de ordenamento territorial, agricultura de subsistência e mecanizada como por exemplo as grandes áreas de

cultivo de cana de açúcar ocupadas pela açucareira de Mafambisse, a exploração significativa de recursos florestais em particular a madeira, lenha e produção de carvão vegetal, a mineração artesanal com recurso a tecnologias rudimentares, captação de água para abastecimento populacional e para fins de irrigação, a prática de pastagem de gado, entre outras ações antrópicas.

Importa referenciar que estas atividades são desenvolvidas num contexto em que se regista certa fragilidade nos processos de gestão e fiscalização na medida em que a responsabilidade gestão da bacia, é centralizada a um órgão estatal (ARA Centro). Embora a legislação preveja o envolvimento dos diferentes segmentos da sociedade para a gestão integrada das bacias hidrográficas, incluído a própria comunidade, ainda não foram criadas condições para existência e funcionamento, por exemplo, dos comitês de gestão de bacias hidrográficas. Por outro lado, a própria estratégia de gestão da bacia hidrográfica do rio Púnguè apresenta certas limitações não só na profundidade das informações biofísicas e das respectivas potencialidades e fragilidades, como também no âmbito da definição dos mecanismos de implementação da estratégia de participação dos diferentes atores da sociedade.

Portanto, face à existência de poucos conhecimentos sistematizados sobre as particularidades biofísicas e socioeconómicas, como base para definição de indicadores de planejamento e gestão ambiental da bacia hidrográfica do rio Púnguè, a problemática da presente pesquisa centrou-se caracterização biofísica e socioeconômicos, delimitação e caracterização de geossistemas e sistemas antrópicos, passando pela necessidade de avaliar as dinâmica espacial e temporal dos usos e cobertura da terra, identificando potencialidades e fragilidades como base para definição de indicadores para planejamento e gestão ambiental da bacia. Em jeito de pergunta pode se colocar nos seguintes moldes: quais as características biofísicas e socioeconômicas, incluindo indicadores ambientais que condicionam a variação espacial na predisposição da ocorrência de eventos ou processos ambientais e nos processos de planejamento e gestão dos recursos e/ou condições naturais na bacia hidrográfica do rio Púnguè?

1.5 – Hipótese

- ❖ A variação espacial das características biofísicas e socioeconômicas, incluindo a dinâmica dos usos e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Púnguè, pode estar a influenciar na variação espacial das potencialidades e fragilidades ambientais com enfoque na predisposição de ocorrência de eventos como inundações e processos erosivos, demandando processos de gestão ambiental direcionados às particularidades locais.

1.6- Objetivos da pesquisa

Objetivo geral

- ✓ Analisar os geossistemas e sistemas antrópicos da bacia hidrográfica do rio Púnguè, enquanto indicadores para planejamento e gestão ambiental.

Objetivos específicos

- ✓ Calcular a morfometria da bacia hidrográfica do rio Púnguè;
- ✓ Caracterizar as unidades geossistêmicas e sistemas antrópicos da bacia hidrográfica do rio Púnguè;
- ✓ Analisar a fragilidade ambiental e suscetibilidade à ocorrência de inundações na bacia hidrográfica do rio Púnguè;
- ✓ Descrever a dinâmica dos usos e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Púnguè no período entre 2000 a 2020;
- ✓ Analisar os instrumentos de gestão ambiental da bacia hidrográfica do rio Púnguè.

CAPÍTULO II – EMBASAMENTO TEORICO

2.1 – Relações entre a Geografia e a Gestão ambiental

A veia ambientalista nos estudos em Geografia remota desde o período do processo da consolidação da Geografia como ciência, embora, na fase inicial era numa perspectiva naturalista na medida em que a descrição na natureza desenvolvida era desprovida de aspectos relacionada com a ação humana ou sociedade. Era uma abordagem veiculada à necessidade de conhecer e controlar os elementos e processos naturais, sendo que era bastante influenciada pela corrente positivista vigente na outrora (MENDONÇA, 2005).

No processo da construção da Geografia como ciência, diversos cientistas se evidenciaram nos estudos com cunho ambiental, podendo destacar Humbolt (naturalista) através dos seus trabalhos de descrição das características naturais da fauna, flora, atmosfera, formações terrestres e aquáticas. Na sequência, pode se referenciar o Ritter nos seus trabalhos de descrição das várias organizações espaciais dos homens sobre os diferentes espaços, sendo que as duas linhas de conhecimento (caracterização do ambiente natural e descrição da organização espacial dos homens) projetaram a Geografia numa perspectiva da necessidade de compreensão dos lugares através da relação dos homens com a natureza. Pode-se destacar também os estudos de Ratzel onde nas suas descrições de espaços explicava o determinismo das condições ambientais sobre os homens (MENDONÇA, 2005).

Como pode se perceber no parágrafo anterior, a integração de questões ambientais na abordagem geográfica vem desde os primórdios da sua construção e consolidação como ciência na medida em que os autores referenciados procuravam compreender a ocorrência dos fatos e fenômenos geográficos, reconhecendo as diferenças tendo em conta as particularidades dos espaços, com enfoque as relações de influência das condições naturais ao homem (naturalista/positivismo) e por outro lado a influência do homem sobre o meio natural (antropocentrismo), o que evidencia o cunho ambiental nos seus estudos.

Os estudos em prol do determinismo das condições ambientais sobre os homens, na visão do Ratzel, remetem ao entendimento de que a preocupação nas pesquisas, estava centrada na identificação das propriedades ou características das condições físicos geográficos, para através destas características, explicar como elas influenciavam na vida humana.

Na sequência o La Blache desenvolveu trabalhos com ideais opostas as do Ratzel, ao introduzir a corrente possibilista, entretanto, dissociando ainda mais os elementos e processos físicos naturais dos humanos e sociais, deixando evidente que as condições e os recursos naturais serviam apenas de suporte para os grupos humanos (MENDONÇA, 2005).

Por sua vez, o Martone também desenvolveu e aprofundou a abordagem dos elementos naturais (concebida como Geografia Física) e ao mesmo tempo tida como Geografia imbuída pela temática ambiental na medida em que abordava o quadro natural do ambiente. O Martone subdividiu a Geografia em ramos como Geomorfologia, Climatologia, Biogeografia, Oceanografia e Hidrologia, o que evidencia que este geógrafo, ainda era norteado pelo positivismo, não estabelecendo relações de interdependência entre os diferentes elementos da paisagem (MENDONÇA, 2005).

A análise separada dos elementos da paisagem, norteada pelo pensamento positivista, começa a sofrer algumas mudanças com Penck e Chorley ao propor a abordagem da paisagem a partir de uma perspectiva dinâmica, isto é, introduzindo a noção de ciclicidade e dinamismo nos estudos geomorfológicos, para além dos estudos do Strahler que também deram um contributo significativo na análise interativa dos elementos e processos físicos geográficos, embora também desconsiderando o fator humano na modificação da paisagem (MENDONÇA, 2005).

Nos anos 50, com a nova Geografia revitalizada com o Neopositivismo, surge a abordagem alicerçada pela teoria dos sistemas e na sequência, pela proposta do Sotchava nos anos 60, introduz-se a noção de geossistemas como abordagem metodológica da Geografia física, para o tratamento do quadro ambiental da Geografia Física (MENDONÇA, 2005), embora ainda com marcas de positivismo na medida em que não considerava os elementos e processos humanos.

Para Sotchava (1977) a concepção do geossistema envolve a conexão da natureza com a sociedade. Portanto, embora os geossistemas tenham uma conotação de que são constituídos por elementos naturais, há um entendimento de que a ações humanas exercem influências sobre eles, influenciando nos processos ou fenômenos que ocorrem neles.

Para Christofoletti (1999), os geossistemas afiguram-se como entidades representativas de sistemas ambientais e defende que são constituídos por elementos físicos e biológicos, mas com interferência da sociedade, sendo que são analisados numa perspectiva geográfica.

A análise geográfica dos sistemas ambientais é também defendida por Mendonça (2005, p. 32) ao sustentar que “o que se compreende hoje como meio ambiente, faz parte da origem da Geografia e isso lhe confere o mérito de ter sido a primeira das ciências a tratar do meio ambiente de forma mais integralizante”.

Para Christofoletti (1999), o ambiente envolve relação intrínseca entre os elementos biofísicos e socioeconômicos, pelo que, as condições biofísicas influenciam na distribuição geográficas das atividades sociais e econômicas e por sua vez, as condições biofísicas sofrem transformações na sua estrutura e funcionamento, não só como resultado da sua própria dinâmica, como também devido à influência da sociedade.

Ross (2019) defende que a Geografia com um todo, reveste-se de grandes potencialidades e importância no processo de inventariação e análise do ambiente, enfatizando as diferentes escalas de análise, as parciais, globais, as sínteses e generalizações, tanto em espaços naturais como humanizados. A título de exemplo, o autor em referência, defende que a negação ao conhecimento e da importância das particularidades geomorfológicas na análise da ocupação e usos de terra, seria rejeitar a própria Geografia.

A Geografia se distingue por direcionar a produção de conhecimentos sobre elementos biofísicos e socioeconômicos numa perspectiva de organização espacial, enfatizando a estrutura, funcionamento e a sua dinâmica, para além de ter em conta o carácter sistêmicos dos diferentes elementos (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Portanto, pode se perceber e concluir que a Geografia agrega uma particularidade ímpar nos estudos do ambiente ao privilegiar o estudo dos padrões de distribuição dos elementos, fenômenos biofísicos e humanos pela superfície terrestre, as causas e as leis da distribuição, as regularidades, particularidades, interações recíprocas entre os elementos, fenômenos naturais e humanos.

A Geografia, para explicar a origem dos fenômenos (de natureza geográfica), sua distribuição e prever a sua evolução, serve-se de um acervo de conceitos que representam diferentes fenômenos. Utiliza uma certa linguagem que representa os fatores e processos naturais e humanos. Desenvolve teorias que geralmente explicam fenômenos complexos. Utiliza modelos para explicar e representar fenômenos complexos, pelo que, na subunidade que se segue, desenvolvem-se alguns conceitos e teorias em prol da temática em análise na presente tese.

2.2 – Análise da paisagem

A noção sobre a paisagem vem desde a antiguidade, associando-se nessa altura sobretudo a aspectos estéticos ligadas a artes, pintura, jardinagem etc. Entretanto, paisagem como objeto de análise em observações geográficas, tem os seus primórdios da Alemanha, no século XVIII, através do Humboldt, ao desenvolver processos de observação da vegetação como indicador para caracterizar determinado espaço e estabelecer diferenças paisagísticas da vegetação, para aplicar o método ao mesmo tempo explicativo e comparativo. Humboldt, nessa altura, concebeu a paisagem como caráter total duma região da terra, evidenciando deste modo a combinação de diversos elementos para formação da paisagem. Na sequência, nos finais do século XIX, Ratzel acrescentou o valor da análise da paisagem na sua concepção das relações casuais existentes na natureza (MAXIMIANO, 2004, LANG e BLASCCHKE, 2009).

O interesse pelos estudos no contexto da paisagem foi se alastrando e evoluindo, abrangendo outros elementos, podendo destacar o Dokoutchaev na Rússia que definiu o complexo natural territorial, afigurando-se também como forma de identificar a estrutura da natureza. Importa referenciar que a linha que privilegiava a vegetação como parâmetro de análise da paisagem, mais tarde, resultou nas concepções da ecologia de paisagem e Geoecologia de Troll (MAXIMIANO, 2004).

O conceito de paisagem possui diversas interpretações conforme a finalidade e área de atuação de quem a analisa. A paisagem recebe variadas denominações em função da origem dos elementos que o compõem, podendo ser natural, cultural, antropo-natural e social. Na presente pesquisa, ela é concebida e analisada como resultado da combinação dos elementos biofísicos e socioeconômicos, para além de considerar a sua dinâmica.

Diversos autores realçam o caráter sistêmico e dinâmica dos componentes da paisagem, destacando os três grandes subgrupos, nomeadamente elementos físicos, biológicos e socioeconômicos, mas indissociáveis entre si, sendo que a interação e dinâmica, resulta da influência das forças endógenas e exógenas, incluindo ações de natureza antrópica (MAXIMIANO, 2004, RODRIGUEZ, SILVA e CAVALCANTI, 2004, BERTRAND, 1972).

A noção da paisagem não se limita apenas fisionomia ou feições, envolve também a funcionalidade. Parte-se do princípio de que a fisionomia ou feição resulta da existência da matéria e essa matéria tem origem em diversos processos desencadeados pelas forças energéticas dos diferentes elementos e atributos. A paisagem tem estrutura (forma e arranjo espacial),

conferindo a certo panorama de determinado espaço geográfico, sendo que essa forma e arranjo espacial resultam da combinação dos diferentes elementos que variam no espaço e no tempo, pelo que o conteúdo da paisagem é dinâmico e evolutivo. A paisagem se evidencia pela aparência visual, a fisionomia ou forma, mas é necessário ter o entendimento dela como um todo, levando em conta todos os elementos integrantes e as relações mútuas que se estabelecem entre eles, pois, é através destes elementos e processos de troca de matéria e energia que se estabelece a feição e a diferenciação temporal e espacial (LANG e BLASCHKE, 2009, RODRIGUEZ, SILVA e CAVALCANTI, 2004).

Quanto a estrutura da paisagem, refere-se à configuração específica dos elementos da paisagem, quanto ao tamanho e a forma, tipo e distribuição quantitativa, incluindo o seu arranjo no espaço. A estrutura da paisagem tem seu fundamento de origem na compartimentação e combinações específicas da própria paisagem, caracterizada por uma variação espacial das variáveis, das diferentes feições ou formas, que se vislumbram em diferentes unidades de paisagens (LANG e BLASCHKE, 2009).

Na estrutura da paisagem existe a horizontal e a vertical. Beroutchachvili e Radvanyi (1978) estabelecem a estrutura vertical da paisagem, definindo quatro níveis básicos de cima para baixo, nomeadamente: o nível aéreo (atmosfera), a vegetação, o solo e a rocha mãe, tendo em conta a interligação entre eles através de processos operacionais (transferência de matéria e energia). Os autores acima referenciados, chamam a estes níveis verticais da paisagem, de geohorizontes.

Portanto, a estrutura vertical da paisagem envolve os elementos da paisagem e seus atributos, interligados entre si em forma de sobreposição em espécie de camadas, havendo transferência de matéria e energia na forma vertical, sendo que os processos químicos e mecânicos na estrutura vertical da paisagem são influenciados principalmente pela energia solar e pela força de gravidade e por outro lado, envolve a própria organização em unidades relativamente homogêneas (LANG e BLASCHKE, 2009, BEROUTCHACHVILI E RADVANYI, 1978).

Portanto, a estrutura horizontal da paisagem se define mais pela fisionomia, caracterizada por certa homogeneidade, mas também por certa heterogeneidade, caracterizada por manchas, que constituem superfícies delimitadas embora não literalmente, entretanto com

aparência distinta a áreas adjacentes, mas apresentando limites difusos (LANG e BLASCHKE, 2009).

A maneira como está estruturada a paisagem pode influenciar nos processos da troca de matéria e energia, afetando o seu funcionamento e a funções que desempenha. As funções da paisagem se associam as interações mútuas, através da troca de matéria e energia entre os diferentes elementos que compõem a paisagem. A paisagem desempenha determinadas funções que estão associadas a processos naturais elementares, sendo que as características funcionais se agregam em: funções ecológicas (habitat, proteção, regulagem e recuperação) e por outro lado, tem funções de ordem socioeconômica nomeadamente: função de informação, função de moradia, função de lazer e função de produção (LANG e BLASCHKE, 2009).

As relações e processos que ocorrem entre os diferentes elementos para dar origem a determinada paisagem e que determinam a sua dinâmica, envolvem relações orgânico-mineral, relações de calor e umidade, processos pedogenéticos, processos biogenéticos, processos de erosão, escoamento, denudação acumulação, e deslizamentos etc., determinando a estrutura e funcionamento da paisagem (RODRIGUEZ, SILVA e CAVALCANTI, 2004).

O funcionamento da paisagem determina-se pelo cumprimento das funções e ações, nos processos de transmissão de matéria, energia e informação no âmbito de interação dos diferentes elementos que compõem o sistema, constituindo a base para conservação e estabilidade dos sistemas. O resultado do funcionamento da paisagem como sistema manifesta-se pelo aparecimento de novas substâncias sintetizadas, elementos e componentes que se reproduzem permanentemente, portanto, o funcionamento da paisagem é caracterizado pelos processos físicos e biológicos (RODRIGUEZ, SILVA e CAVALCANTI, 2004).

No âmbito da função de produção dos componentes e fatores do geossistema Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2004), sustentam que se pode distinguir as funções de diferentes componentes nomeadamente: função do componente lito geomorfológico (garantir a matéria prima no sistema, redistribuição da matéria, energia e informação e defesa em relação a processos destrutivos); função do componente hidro climatológico (armazenamento e auto purificação da água); função do componente pedo biótico (garantir os processos de decomposição da matéria e de formação de meios, a resistência nos processos destrutivos do solo, a reprodução, regeneração, auto renovação e manutenção de espécies e populações, a regulação das mesmas e a conservação

do fundo genético) e a função de válvula de interação (manutenção do sistema corrente como medida para garantir o auto regulamento).

Portanto, as funções da paisagem resultam das interações que se desencadeiam entre os diferentes elementos e respectivos atributos, através da troca e transferência de matéria e energia que garantem a ocorrência de processos, determinado a dinâmica dos elementos e consequentemente da própria paisagem.

2.4 – Dinâmica da paisagem

A paisagem não permanece com características estáticas, ela sofre transformações ao longo do tempo, podendo de registar adições ou subtrações de elementos que o compõem (ROSS, 2009), sendo que essas mudanças podem resultar dos processos da própria natureza ou sob influência das ações humanas.

A paisagem como unidade espacial com particularidades geofísicas, com influências de ordem antrópica, considerando interações recíprocas entre os elementos (VICENS, 2012), está sujeita a uma dinâmica espacial e temporal, sendo que numa perspectiva de geossistema distingue-se a dinâmica em biostasia e a dinâmica em resistasia (BERTRAND, 1972).

As mudanças da paisagem ao longo do tempo, se associam a duas fontes energéticas, a externa (energia solar que se responsabiliza em influenciar os processos que desencadeiam a esculturação) e a interna (que deriva da pressão e calor do núcleo e manto, se responsabilizando pela fisionomia de caráter estrutural) (ROSS, 2019).

Para Christofoletti (1999) as fontes fornecedoras de matéria e energia e consequentemente responsáveis pela dinâmica do sistema, em geossistemas, destacam-se a topografia, a vegetação, a água e os solos, mas não o clima, pois, embora sendo um elemento controlador dos processos e da dinâmica do geossistema, mas não constitui intrínseco e integrante da visualização da organização espacial. De modo semelhante, o componente representado pela geodinâmica e estrutura geológica, também surge como condicionante na organização do geossistema, em virtude de potenciar as características topográficas e dos solos.

Na sequência, Amorim, Reis e Ferreira (2017, p. 91) defendem que,

> A alteração na estrutura, dinâmica, funcionalidade e organização dos geossistemas está diretamente influenciada por mudanças nos fluxos externos de energia que geram, como resultado, transformações de causas endógenas que aparecem em diferentes níveis de

> diferenciação do ambiente natural, no processo das manifestações dinâmicas do próprio geossistema.

A título de exemplo, a variação e as modificações na precipitação influenciam na quantidade da água com consequente alteração na intensidade, frequência e regime fluvial, refletindo-se em mudanças dos canais e na rede fluvial, pois, em função das mudanças na precipitação efetiva ou no nível de base regional, há atividades nos processos de erosão, suprimento de sedimentos e deposição nos subsistemas das vertentes, do canal tributário e do canal principal, em rede de retroalimentações repercutindo na morfologia do canal. Na sequência, a construção de represas ou barragens para diversos fins, resulta em mudanças na distribuição espacial e temporal dos fluxos fluviais, o que também repercute na evaporação e na infiltração de áreas próximas ao leito dos rios e na biota circunvizinha (CHIRSTOFOLETTI, 1999).

Importa destacar que as mudanças na quantidade e na regularidade na precipitação também afetam no processo de crescimento de formações vegetais, para além das características da vegetação, portanto, não só contribui na alteração dos processos de troca de matéria e energia pelas entradas e saídas no sistema, mas também na aparência visual da paisagem (fisionomia).

As mudanças da paisagem se caracterizam pelo caráter periódico e reversibilidade, através de processos de autorregulação. Para além de ser periódicas (trocas rígidas em prazos de tempo similares), as mudanças também podem ser cíclicas (retorno ao estágio inicial em intervalos de tempo) e rítmicas (mudanças cronológicas) (RODRIGUEZ, SILVA e CAVALCANTI, 2004).

Importa destacar que a análise da dinâmica da paisagem é feita em diferentes grandezas temporal-espaciais, desde as grandezas superiores até as inferiores, dentre os quais interessa mais para a presente abordagem, o geossistema.

Para Rodriguez e Silva (2013, p. 55):

> Geossistema constitui um sistema, ou seja, uma organização, temporal e espacial, complexa e aberta, formada pela interação entre os componentes ou elementos físicos que, em diferentes formas e intensidades, podem ser modificados ou transformados pelas atividades humanas.

A dinâmica de sistemas na perspectiva natural, mas com influência antrópica, também é defendida pelo Sotchava (1977) aos sustentar que os geossistemas são dinâmicos, flexíveis, abertos e hierarquicamente organizados, com estágios de evolução temporal, numa mobilidade cada vez maior sob influência do Homem.

Os geossistemas constituem a base para implantação dos sistemas antrópicos, sendo que estes modificam os fluxos da matéria e energia nos geossistemas, podendo alterar o equilíbrio dinâmico e influenciar na produção de novos padrões de paisagem (DIAS e PEREZ FILHO, 2017).

A bacia hidrográfica (objeto de análise no presente trabalho), como um sistema (geossistema) é dinâmica sob ponto de vista natural, entretanto, os processos antrópicos podem influenciar nos processos das transformações naturais, conforme fundamentam Amorim, Reis e Ferreira (2017) ao apontar a expansão urbana, atividades agropastoris e extrativismo, como responsáveis das modificações de fluxo de matéria e energia.

As modificações que ocorrem na paisagem são resultado da combinação de uma diversidade de fatores, tanto de ordem natural, como de ordem antrópica. A agricultura, por exemplo, não só promove a degradação da vegetação que tem a função protetora dos solos e que com a sua retirada, facilita aos processos de desgaste e transporte de matéria (sedimentos), como também desagrega o solo durante o revolvimento do solo para fins de sementeira, deixando numa situação de fragilidade para remoção e transporte de sedimentos. Por sua vez, o processo de urbanização, por exemplo, favorece aos processos intensos de escoamento superficial da água precipitada, na medida em que nesses lugares geralmente os solos são compactados devido a uma diversidade dos fatores antrópicos, para além de a maior parte da área urbana se encontra cimentada ou asfaltada. O incremento dos processos de escoamento superficial pode resultar em incremento de processos erosivos.

As modificações que ocorrem numa determinada paisagem através de ações de ordem antrópica, podem resultar na homogeneização da paisagem com a implantação do mesmo tipo e grau de utilização e por outro lado pode resultar na heterogeneização da paisagem como resultado da implantação de diversos tipos e graus de utilização (RODRIGUEZ, SILVA e CAVALCANTI, 2004). Para casos de países em desenvolvimento como Moçambique, o processo de modificação de paisagem, como resultado das ações antrópicas, tem gerado a heterogeneização da paisagem, determinada por uma diversidade dos tipos e graus de utilização, sobretudo em áreas relativamente grandes como é caso da bacia hidrográfica do Púnguè, na região central de Moçambique.

A difusão dos impactos antrópicos sobre sistemas naturais ocorre através de fluxos ou geofluxos (horizontais e verticais) energéticos e materiais. Entretanto, em sistemas em que

dominam fluxos horizontais, verifica-se significativa difusão territorial dos impactos (naturais e antrópicos), desempenhando um papel importante na interpretação dos processos de formação, desenvolvimento e dissipação das relações paisagísticas e da estrutura lateral e vetorial dos geossistemas (RODRIGUEZ, SILVA e CAVALCANTI, 2004).

2.5 – Bacias hidrográficas como sistema/geossistema e unidade de paisagem

O sistema entende-se como um conjunto complexo de elementos e seus atributos (qualidades dos elementos), com fluxo de matéria e energia, estabelecendo relações recíprocas que determinam a certa organização e conduzindo a uma determinada finalidade (CHRISTOFOLETTI, 1980; MORIN, 1977).

Christofoletti (1980) adverte que em sistema é necessário ter em conta a matéria (material a ser mobilizado), a energia (potencial e cinética) e a estrutura (arranjo dos componentes), sendo que na estrutura devem-se considerar algumas características como tamanho (determinado pelo número de variáveis), correlação (simples e canônica) e casualidade (independente e dependente).

A noção de sistema também é discutida pelo Bertalanffy (1973) que também comunga a ideia de existência de diversos elementos em interações mútuas e com certa organização, pois na sua abordagem afirma que o sistema é constituído por partes com relações mútuas, com entrada (funcionamento do sistema) e saída (conversão de entradas em saídas), com uma certa organização que ganha entropia com o funcionamento do sistema, mas com uma certa resistência a alterações (homeostase).

Morin (1977) sustenta que a organização é a disposição de relações entre componentes ou indivíduos, que produz uma unidade complexa ou sistema, dotada de qualidades desconhecidas ao nível dos componentes ou indivíduos. A organização liga de modo interrelacional, elementos ou acontecimentos ou indivíduos diversos que, a partir daí, se tornam os componentes do todo.

Os sistemas caracterizam-se pelo propósito (finalidade única e que não pode ser satisfeita por parte isolada) e o caráter da totalidade/global (pelo caráter da interdependência, qualquer alteração sobre uma das partes, o efeito pode ser total) (MORIN, 1977; BERTALANFFY 1973).

A partir das ideias dos autores acima citados percebe-se que sistema envolve uma diversidade de elementos, com propriedades e qualidades específicas, entretanto, interconectados e interdependentes, formando um todo através duma certa organização determinada pelas interconexões de mutualidade.

A existência do todo é determinada pela interconexão interdependente das partes e por outro lado, as particularidades das partes podem ser resultado da influência do processo da troca da matéria e energia entre as partes que compõem o todo.

Importa salientar que a noção de sistema na presente abordagem se enquadra na perspectiva da teoria geral de sistemas, que na visão de Bertalanffy (1973) valoriza a questão interdisciplinar e caráter integradora, buscando princípios, modelos e leis gerais aplicáveis a todos os tipos de sistemas, constituindo uma das consequências da existência de propriedades gerais em sistemas, o aparecimento de semelhanças estruturais ou isomorfismos em diferentes campos.

Portanto, o termo sistema pode ser entendido como uma denominação geral, existindo uma diversidade de sistemas com particularidades em termos das características dos seus elementos, atributos e fluxos de matéria e energia, pelo que, em prol da noção da teoria geral de sistemas não é de aplicação uniforme ou homogênea em todas as circunstâncias, obedecendo algumas particularidades em termos de variáveis dos modelos sistêmicos a aplicar para análise.

Bertalanffy (1973) nos remete a percepção a existência de sistemas físicos (materiais) e sistemas abstratos (imateriais), na ocorrência de sistemas abertos (suscetíveis a influências recíprocas com o entorno) e sistemas fechados (sem interação com o entorno).

Na mesma perspectiva de classificação de sistemas, Christofoletti (1980) apresenta dois critérios de distinção de sistemas, critério funcional e o da complexidade estrutural. No critério funcional, o Christofoletti subdivide em sistemas isolados (não recebem e nem perdem matéria e energia) e sistemas não isolados (trocam matéria e energia) e que por sua vez se subdividem em fechados (recebem e perdem energia, mas não a matéria) e sistemas abertos (troca de matéria e energia).

Christofoletti (1980) refere que considerando o critério da complexidade estrutural distinguem-se em 11 tipos, sendo que no contexto geomorfológico (que por sinal se adequa à abordagem do presente trabalho) consideram-se os 4 primeiros nomeadamente: os sistemas morfológicos (consideram apenas propriedades físicas do fenômeno, podendo trabalhar sobre

diversas variáveis como comprimento, altura, largura, declividade, granulometria, densidade, etc., respeitando a correlação), sistemas em sequência (com uma sequência/cadeia de subsistema, tendo em conta a contiguidade e a existência de um regulador em cada subsistema, sendo o foco de análise é a relação entre entradas e saídas), sistema de processos resposta que resultam da combinação de sistema morfológico (indica a forma, a resposta de determinado estímulo) e sistema de sequência (indica processo) com ênfase para identificação da relação processos e formas que dele resultam, sendo que os processos definem a forma e vice versa através da retroalimentação (direta, em circuito, negativa e positiva), e sistemas controlados (com atuação humana sobre os sistemas processos resposta).

Tomando em consideração a noção de sistema acima descrita, a bacia hidrográfica, enquadra-se nesta perspectiva de sistema na medida em que envolve uma diversidade de elementos interligados duma forma interdependente entre si, que ocorre através do fluxo de matéria e energia, originado determinada organização. A bacia hidrográfica constitui um sistema à semelhança da noção da paisagem, pois, envolve uma diversidade de elementos (rochas, solos, vertentes, etc.) que desenvolvem relações recíprocas através da troca de matéria e energia, acionada pelas forças externas (exemplo: precipitação) e internas (exemplo: soerguimento de bloco de rochas). Com a interação das forças exercidas pelos diferentes elementos da bacia hidrográfica ou da paisagem, surgem transformações contínuas em diferentes contextos com base na intensidade dos processos de troca de matéria e energia.

Para fundamentar a visão de bacia hidrográfica como sistema, Christofoletti (1999, p. 51) defende que,

> A bacia hidrográfica corresponde a área drenada por um rio ou um conjunto de rios e que com esta definição, levando em conta a ordenação hierárquica, podemos distinguir as bacias de primeira ordem (somente com um rio) as de segunda ordem, as de terceira ordem e assim sucessivamente.

Portanto, para além da rede de drenagem que por si só já constitui um sistema ou subsistema, a bacia hidrográfica envolve também as vertentes, sendo que esta vertente a sua existência é determinada pela existência de rochas e solos e sobre eles, se ocorrem formas de vida que interferem nos processos de fluxos de matéria e energia. As particularidades das propriedades físicas e químicas dos solos, por exemplo, influenciam na variação espacial do processo de infiltração da água que entra na bacia através da precipitação, sendo estas particularidades das

propriedades dos solos pode ser associada às particularidades do grau de inclinação das vertentes, influenciando na variação espacial dos processos de escoamento superficial.

Christofoletti (1999) defende que os diferentes componentes biofísicos os solos, a litologia, as feições morfológicas e cobertura vegetal, formam a bacia hidrográfica enquanto a precipitação, os ventos, a evapotranspiração, entre outros são responsáveis pela entrada e saída de matéria e energia no sistema bacia. Numa bacia hidrográfica, as vertentes, os canais fluviais, os processos morfogênicos e fluviais, desencadeiam relações de interdependência, resultando em uma paisagem.

Sob ponto de vista de bacia hidrográfica como geossistema, importa referenciar que, este, é também tido como sistema ambiental físico, representando a organização espacial resultante da interação dos elementos físicos da natureza (clima, topografia, rochas, águas, vegetação, animais, solos), possuindo expressão espacial na superfície terrestre e representando a organização (sistema) composta por elementos, cujo funcionamento é garantido através de fluxo de matéria e energia, dominante numa interação areal (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Para Sotchava (1977) a concepção do geossistema envolve a conexão da natureza com a sociedade, pois, embora o geossistema tenha a conotação do natural, mas, todos os fatores econômicos e sociais influenciam sua estrutura e particularidades espaciais que são tomados em consideração na análise. A necessidade de considerar a influência antrópica em geossistemas, também é defendida pelo Ross (2009) ao sustentar que embora os fenômenos em geossistemas tenham a base natural, não pode ser desconsiderada a influência dos fatores de ordem econômica e social nas diferentes conexões que se desencadeiam nos geossistemas.

Na sequência, Rodriguez e Silva (2019 p. 41) defendem que,

> O geossistema define-se como um espaço terrestre de todas as dimensões, onde os componentes individuais da natureza se encontram em uma relação sistêmica uns com os outros, com uma integridade determinada, interatuam com a esfera cósmica e com a sociedade humana.

Portanto, na abordagem dos diferentes autores, nota-se um entendimento de que o Geossistema resulta da combinação das particularidades dos elementos biofísicos, sob influência dos processos humanos.

A ideia de que os geossistemas como unidades naturais sob influência das ações antrópicas e que se manifesta em diferentes escalas é defendida por diferentes autores como (BERTRAND, 1972, SOCHAVA, 1971). Realçar que Bertrand (1972), na classificação de

grandezas temporal-espaciais de unidades de paisagens, considera que os geossistemas enquadram-se nas unidades temporal-espaciais inferiores. Na sequência, Bertrand (1972) estabelece intervalo de dimensões em que se enquadram os geossistemas, considerando dimensões espaciais que variam ente 100 a 10.000 km^2, escala está em que se regista maior parte de interferências entre elementos da paisagem.

Portanto, a bacia hidrográfica constitui um exemplo prático de um geossistema, não só pela sua composição físico natural e das relações de interdependência entre os elementos, incluindo a interferência das ações antrópicas, mas também pelo seu enquadramento em reação aos critérios de classificação de unidades de paisagens usados por diferentes autores. As bacias hidrográficas, sendo constituídas por geossistemas e influenciadas pelas ações antrópicas, afiguram-se como unidades de gestão, demandando análises das suas características de modo a determinar a fragilidade ambiental.

2.6 – Análise morfométrica de bacias hidrográficas

As características físicas de uma bacia hidrográfica constituem elementos importantes para o processo de planejamento e gestão de possíveis eventos hidrológicos como é o caso das enchentes e inundações, na medida em que fornecem informações com indicadores que revelam comportamento da água na bacia hidrográfica após um evento de precipitação (PESKE, 2012).

Vilela e Matos (1975) defendem que o conhecimento das características físico-geográficas de uma bacia hidrográfica, como é o caso dos dados morfométricos, reveste-se de grande importância na análise dos fenômenos hidrológicos na medida em que tem relação com o regime hídrico, sustentando que as formas geométricas constituem fator importante, por exemplo, na determinação do tempo de concentração e de saída da água após a precipitação.

As características morfométricas, padrões de drenagem e de relevo tem ligação com alguns processos que ocorrem no terreno, como a infiltração e deflúvio das águas pluviais, na qual os padrões de drenagem exercem influência sobre os processos hidrológicos e nas ações desencadeadas pelas águas escoadas, como é o caso da proporção que pode ser desencadeado o processo erosivo (PISSARA *et al*, 2004). Portanto, apreciando as informações supracitadas sobre possíveis aplicações dos dados morfométricos duma bacia hidrográfica, assume-se que fornecem indicadores indispensáveis para análise do funcionamento da bacia sob influência dos processos e

eventos hidrológicos, incluindo a sua dinâmica na condição de sistema aberto, favorecendo uma planificação e gestão ambiental.

O conhecimento das potencialidades e fragilidades das condições físicos geográficos, pode ser analisado através duma diversidade de variáveis morfométricas, sendo que, a escolha de determinadas variáveis para um estudo, pode depender dos objetivos a alcançar com a pesquisa.

As características morfométricas podem ser agrupadas em função da natureza dos indicadores, como sugerem Pissara *et al* (2004) ao considerar dois grupos, nomeadamente: características de padrões de drenagem (densidade de drenagem, frequência dos rios, razão de textura extensão do percurso superficial e coeficiente de manutenção) e característica de relevo (amplitude altimétrica, razão de relevo, índice de rugosidade, coeficiente de rugosidade e declividade média de encosta). Na sequência, Tonello (2005), considera grupos a saber: características geométricas (área total, perímetro total, coeficiente de compacidade, fator forma, índice de circularidade e padrão de drenagem), características do relevo (orientação, declividade, altitude) e características da rede de drenagem (comprimento do curso de água principal, comprimento total dos cursos de água, densidade de drenagem e ordem dos cursos de água), sendo que no presente artigo assumiu-se este agrupamento.

Após a definição das características da bacia analisadas, para cada variável morfométrica da bacia hidrográfica pode ser quantificado o indicador mediante determinado procedimento e aplicação de fórmula específica estabelecendo-se intervalos ou níveis de índices/magnitudes de ocorrência dos eventos/fenômenos ou processos. Embora cada variável morfométrica gere indicador para determinado comportamento do evento/fenômeno ou processo hidrológicos sobre a bacia hidrográfica, é preciso tomar em consideração que a bacia é um sistema e que os elementos constituintes estabelecem relações reciprocas através da troca de matéria e energia, pelo que, há complementaridade dos efeitos de cada característica morfométrica (VILELA e MATOS, 1975).

Por outro lado, uma variável morfométrica, para além da questão de complementaridade, pode influenciar em simultâneo mais de um processo dentro do sistema bacia hidrográfica. A densidade da drenagem por exemplo, constitui um indicador da duração do escoamento e concentração da água precipitada ao nível da bacia (VILELA e MATOS, 1975), entretanto a duração do escoamento e concentração da água na bacia depende da velocidade que está diretamente relacionada com a razão do relevo como defendem Ross e Pfeifer (1999, p. 146)

ao afirmar que “quanto maior a razão de relevo, maior será a quantidade de água a escoar superficialmente e, consequentemente, maior será a velocidade da água no sentido do maior comprimento da bacia”.

Por outro lado, o índice de sinuosidade que constitui a relação entre o comprimento do rio principal e o comprimento de um talvegue, afigura-se como fator controlador da velocidade de escoamento pelo que influencia no tempo de permanência ou de saída da água precipitada na bacia hidrográfica (VILELLA e MATOS, 1975), associando-se a influência da razão do relevo no mesmo processo.

Na sequência, o fator forma constitui um indicador importante para determinação da ocorrência de enchentes como faz referência Vilella e Matos (1975) ao afirmar que quanto mais baixo o fator forma, menos sujeita será a enchentes a bacia hidrográfica. No entanto, a ocorrência de enchentes pode estar associada a duração do escoamento, ao tempo de concentração da água precipitada na bacia e na velocidade da água escoada.

Outra complementaridade na atuação dos fatores se verifica com a forma e coeficiente de compacidade, onde a variação da irregularidade da forma da bacia relaciona-se o comportamento do coeficiente de compacidade, pois, quanto mais for irregular, maior será o coeficiente de compacidade com valor superior a 1, sendo que um coeficiente mínimo se associa a uma bacia hidrográfica de forma circular. Portanto, a suscetibilidade à ocorrência de enchentes mais acentuadas associa-se ao coeficiente de compacidade mais próximo a uma unidade (TONELLO, 2005).

2.7 – Análise da fragilidade ambiental

Fragilidade ambiental refere-se à suscetibilidade de unidades de paisagens em sofrer alterações face à troca de matéria e energia entre os elementos da passagem, incluindo sob influência das ações antrópicas. Fragilidade ambiental se baseia nas particularidades das condições ou características naturais que determinam o grau da exposição das unidades de paisagem a mudanças face aos processos de troca de matéria e energia. É caracterizada por definir ou estabelecer as características de unidades de paisagem que favorecem ou não a modificações perante a dinâmica da troca da matéria e energia entre os elementos da paisagem. O termo fragilidade ambiental assenta-se numa linha de estudos que define escalas de

suscetibilidade de unidades de paisagens, podendo ser modificadas ou não pelas ações antrópicas (ROSS, 1994, CHRISTOFOLETTI, 1999).

O termo fragilidade ambiental, parece transparecer que o foco de análise esteja centrado na identificação das limitações patentes em unidades de paisagens. No entanto, a análise da fragilidade ambiental integra não só a identificação das limitações, mas também a identificação de potencialidades das unidades de paisagens na medida em que se estabelecem escalas de fragilidade que variam de muito fraca a muito forte, definindo unidades de paisagens estáveis e instáveis. Os mapas como produtos da análise da fragilidade ambiental, definem subunidades de paisagens com potencialidades e outras com certas limitações no que tange a ocorrência de modificações (ROSS, 1994).

Portanto, a fragilidade ambiental seria a escala da chance ou probabilidade das unidades de paisagens estarem sujeitas à exposição para mudanças ou ocorrência de determinado fenômeno/processo face aos processos de troca de matéria e energia entre os elementos da paisagem e esse grau de exposição é definido em função das características que a paisagem apresenta.

Ross (1994) faz referência a fragilidade natural (considera atributos como declividade, particularidades os solos etc.) e a fragilidade emergente (associado aos níveis de proteção dos diferentes tipis de uso e cobertura de terra em relação as unidades de paisagem).

A análise da fragilidade ambiental ou suscetibilidade pode ser em diferentes contextos, em função do fenômeno ou processo que se pretende analisar. A fragilidade das unidades de paisagem, podem ser analisadas em relação aos processos erosivos, mas também, em relação a fenômenos como inundações, enchentes, entre outros.

Na análise da fragilidade ambiental são usados diversos modelos metodológicos como os casos da metodologia proposta por Crepani *et al* (2001) e a proposta metodológica de Ross (1994). Em ambas propostas metodológicas, importa referenciar que se baseiam na funcionalidade das relações de interdependência entre os elementos da paisagem, não obstante a necessidade de análise prévia por variável, seguida duma análise integradora, baseada na concepção de unidades eco dinâmicas de Tricart (1997) e com bases de abordagem aliadas à teoria de sistemas (CREPANI *et al*, 2001 e ROSS, 1994).

Na metodologia proposta por Crepani *et al* (2001) se definem escalas de fragilidade ambiental que compreendem os graus de maior estabilidade (com valores próximos a 1),

estabilidade intermédia (com valores próximos a 2) e vulnerável (com valores próximos a 3), considerando os temas da geologia, geomorfologia, solos, vegetação e clima, analisados individualmente mas no final calcula-se a média aritmética através da equação empírica que consiste em somatório dos valores obtidos na análise individual as variáveis e dividido por 5 que é corresponde ao número das variáveis analisadas.

Na sequência, Ross (1994) desenvolveu e sistematizou escalas de fragilidade que variam de muito fraca a muito forte, representados pelos seguintes códigos: muito fraca (1), fraca (2), média (3), forte (4) e muito forte (5), considerando os temas declividade, curvatura das vertentes, solos, precipitação e cobertura e uso de terra, analisado de forma individual e no final uma análise global através da sobreposição das diferentes variáveis.

Para cada variável temática, Ross, define intervalos ou escalas de fragilidade nomeadamente: na declividade considera até 6% (muito fraca), de 6 a 12% (fraca), de 12 a 20% (media), de 20 a 30% (forte) e acima de 30% (muito forte); curvatura das vertentes com as seguintes classes: de -1,70 a -0,13 (fragilidade forte ou alta); vertentes côncavas, para os intervalos de 0,09 a 1,8 (fragilidade muito forte ou muito alta) e vertentes retilíneas para os intervalos de -0,13 a 0,09 (fragilidade média); na variável solos agrupa tipos de solo também tendo em consideração as 5 escalas de fragilidade; na variável precipitação considera o comportamento da precipitação ao longo do ano, definindo intervalos de fragilidade e na variável uso e cobertura de terra também define escalas de fragilidade em função dos tipos de vegetação, incluindo os as formas ou tipos usos de terra.

Ross (2019) faz referência a uma diversidade de indicadores ambientais que determinam o nível de fragilidade, mas destaca a intensidade de dissecação do relevo como um dos primeiros indicadores importantes para definir a fragilidade ambiental. A dissecação do relevo resulta da combinação da densidade do relevo com o grau de entalhamento.

A natureza dos solos constitui um fator importante a considerar na análise da fragilidade ambiental, particularmente a processos erosivos, como defende Resende *et al* (2002) ao afirmar que o fluxo e a retenção da água no solo dependem da profundidade, textura, estrutura, porosidade e pedoforma, as quais se podem integrar das mais variadas maneiras.

Importa referenciar que as particularidades pedológicas, quando combinadas com as características geomorfológicas oferecem resultados significativos para análise da suscetibilidade. Por exemplo, em bacias hidrográficas com dominância de Latossolos e Neossolos Quartzarênicos,

associados a relevo plano e suave ondulado, a drenagem é pouco expressiva, o que significa menos processos erosivos, entretanto, nas bordas desses domínios a dissecação é severa (RESENDE *et al.*, 2002).

A vegetação também constitui um dos indicadores da fragilidade a processos erosivos ao nível duma bacia hidrográfica, pois, desempenha múltiplas funções em relação a água precipitada em forma de chuva. A interceptação exercida pelas folhas, incluindo o manto formado pelas folhas espalhadas à superfície do solo, amortecendo as gotas de água de modo que não alcancem o solo com maior intensidade e consequente redução do impacto erosivo. Pode-se destacar também a influência da vegetação no processo da infiltração, a função protetora dos sedimentos a através das raízes, entre outras.

2.8 – Planejamento e gestão das bacias hidrográficas

Para o alcance da sustentabilidade ambiental nos processos de ocupação e usos de terra, o planejamento se afigura como um dos requisitos básicos. Um planejamento que toma como base as particularidades geofísicas, biológicas, econômicas e socioculturais, acarretando a existência de um banco de dados em atualização contínua.

O planejamento ambiental é concebido como uma atividade de projeção de política e ações, baseadas em uma base técnico científica, legal e participativa, visando orientar, controlar os processos de exploração dos recursos e condições naturais por forma a evitar possíveis distúrbios nos elementos biofísicos e processos socioeconômicos (CHRISTOFOLETTI, 1999, RODRIGUEZ e SILVA, 2013).

Numa perspectiva específica de planejamento de paisagem, Rodriguez e Silva (2013) define como um conjunto de métodos e procedimentos para estabelecer organização espacial dos processos de ocupação e usos de terra.

Importa referenciar que a organização espacial dos processos de ocupação e usos de terra, só pode ser efetivada se existir um zoneamento ambiental, descriminando as potencialidades e limitações, pois, estas informações permitem a adequação das atividades em função das particularidades geofísicas e biológicas.

O planejamento ambiental assume-se em diferentes escalas espaciais, local, regional e nacional, bem como na perspectiva setorial em função dos diferentes ramos das atividades que envolvem usos diretos ou indiretos da terra (CHRISTOFOLETTI, 1999).

O planejamento ambiental se afigura como um instrumento primordial para tomada de decisões em todos em todas as facetas no âmbito do processo de ocupação e usos da terra que presem nos ditames da sustentabilidade nos seus diferentes níveis. O planejamento ambiental só é possível quando há disponibilidade de dados coletados em diagnósticos ambientais, com a existência de instrumentos e modelos de análise, incluindo a capacidade técnica por parte das instituições afins.

Ross (2019) defende que para se abandonar o hábito de degradar o ambiente e depois pensar em desenvolver medidas de correção, torna-se importante produzir diagnósticos ambientais para servir de base para elaboração de prognósticos como base para definir medidas de prevenção e consequente alcance da sustentabilidade ambiental desejada.

O processo de gestão das condições e recursos naturais, não só depende do conhecimento das particularidades da paisagem e da disponibilidade dos dados, mas também da capacidade técnica para manipulação, intepretação e aplicação desses dados, na perspectiva de alcance da sustentabilidade nos diferentes usos das condições e recursos ambientais como defende Christofoletti (1999, p. 169) ao sustentar que,

> O sistema de suporte às decisões surge como sendo composto por três subsistemas: o sistema de banco de dados contendo os dados e informações que descrevem os vários aspetos relacionados com o planejamento, e um sistema para manejo de banco de dados; o conjunto de modelos de aplicação que simula o comportamento e as caraterísticas dos diferentes componentes no processo de planejamento e o sistema de analise que contém vários instrumentos para estruturação dos processos de análise e interpretação e visualização dos resultados.

O planejamento e gestão ambiental podem ocorrer de três formas básicas nomeadamente: perspectiva político administrativo (procedimentos administrativos e de tomada de decisão), perspectiva técnica (produção de procedimentos e informações para tomada de decisão) e perspectiva científica (geração do conhecimento sobre as propriedades do ambiente e monitoramento) (SERRANO 1991 citado por RODRIGUEZ e SILVA, 2013).

Observada a subdivisão e classificação acima descrita, remete ao entendimento da possibilidade de ações isoladas nos três estratos de planejamento referenciados. Em contrapartida, urge a necessidade relações de interdependência nos três seguimentos na medida em que se

complementam, pois, a produção de conhecimento carece duma capacidade técnica e vice-versa e por seu turno, a esfera política administrativa precisa dos conhecimentos e da capacidade técnica e estes, das perspectivas políticas de desenvolvimento.

Existem diversas perspectivas de planejamento ambiental como são os casos das perspectivas biológicas e ecológica. Entretanto, no contexto espacial, o planejamento precisa se embasar também na análise geográfica, pois enfatiza as organizações espaciais da paisagem, explicando os fatores da diferenciação espacial da dos elementos e dos processos que ocorrem em sistemas ambientais.

O processo de produção de diagnósticos, de análise de informações e geração de produtos finais que definem potencialidades e limitações para fins de ocupação e usos de terra ou exploração das paisagens, carece de entrosamento de perspectivas de diferentes perspectivas de análises, dada a complexidade dos sistemas biofísicos e socioeconômicos, justificando a análise sistêmica, respeitando a escala de grandeza espacial dos projetos de desenvolvimento e definindo indicadores de sustentabilidade ambiental, passando pela necessidade de envolvimento de procedimentos de mensuração e quantificação das características e processos ambientais (CHRISTOFOLETTI, 1999).

A sustentabilidade ambiental resume-se na necessidade de equilíbrio entre os processos de ordem natural e socioeconômica. A sustentabilidade ambiental e ecológica constitui pressupostos básicos para o alcance de outras facetas de sustentabilidade, a econômica, a social, a cultural, a política etc.

Os processos de gestão ambiental ou da paisagem, com consequente alcance a sustentabilidade nos diferentes níveis, se efetivam com o ordenamento ambiental (distribuição de atividades socioeconômicas respeitando as particularidades ambientais, incluindo a funcionalidade), acarretando disponibilidade de recursos, capacidade técnica e vontade política.

Importa que no processo de planejamento para usos de terra tem que ter em consideração as potencialidades e limitações nas diferentes possibilidades de usos, nos fatores que limitam ou favorecem os usos, os potenciais processos que podem desencadear mudanças ambientais negativas, o estado do ambiente, a predisposição dos diferentes elementos em sofrer mudanças, a forma como estão organizados e funcionam os diferentes elementos e as convivências dos grupos sociais com o ambiente (RODRIGUEZ E SILVA, 2013).

O planejamento ambiental deve obedecer aos seguintes princípios: princípio de projeção integrada e otimização (satisfação das necessidades sem impactos negativos significativos), princípio de integração e diferenciação espacial (adequação das atividades econômicas às propriedades do ambiente), princípio de prevenção (medidas preventivas de geração de impactos em cada atividade), princípio de funcionalidade e dinâmica (sistemas ambientais em constante adaptação a pressões e fatores externos), princípio de capacidade institucional para a gestão e princípio de validade e participação no projeto (RODRIGUEZ e SILVA, 2013).

O planejamento ambiental também deve ter em consideração os seguintes aspectos: identificação dos valores sociais (desejos e motivações), as metas, os objetivos, indicadores, políticas, planos e projetos de execução (RODRIGUEZ e SILVA, 2013).

No processo de planejamento ambiental é importante proceder a avaliação dos recursos e serviços ambientais (quantificação do capital natural) que envolve as seguintes categorias: valor biológico (perfeição adaptativa na qualidade e quantidade da vida), valor intrínseco (capacidade para determinado uso e qualidade potencial), valor cultural (valor atribuído pelo grupo social), valor econômico (soma dos diferentes valores que a sociedade expressa: valor do uso + valor de uso direto ou real + valor de uso indireto ou funcionais + valor da opção de uso + valor de existência) (RODRIGUEZ e SILVA, 2013).

O sistema ambiental tem o seu valor de acordo com os seguintes aspectos: como sistemas de recursos (recursos naturais ou ambientais tangíveis), como fundo genético, como espaço físico para realização de diversas atividades sociais e econômicas, como reguladores de todas as funções ecológicas e ambientais, como habitat e como uma fonte para o desenvolvimento cultural (RODRIGUEZ e SILVA, 2013).

O planejamento ambiental exige processos de participação dos diferentes seguimentos da sociedade na medida em que o processo de efetivação também envolve diferentes estratos sociais. Participação essa que deve ser concebida de acordo as capacidades de cada segmento da sociedade.

O planejamento e gestão ambiental envolvem os seguintes níveis de participação: o conhecimento (informação a população sobre as características do trabalho, comunicação que é o diálogo e confronto do conhecimento científico e saberes populares, e a educação), negociação

(consulta à população, adequação que é a troca de opiniões, contestação e acordo) e a decisão de gestão (participação nas decisões e a cogestão) (RODRIGUEZ e SILVA, 2013).

CAPÍTULO III – METODOLOGIA

3.1 – Breve fundamento teórico metodológico

O processo de análise da paisagem obedece a procedimentos metodológicos específicos, podendo destacar o esquema metodológico proposto Mateo (1998) *apud* Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2004), destacando: (1) estudo da organização da paisagem, (2) avaliação do potencial das paisagens, (3) análise da planificação e proteção da paisagem e (4) e zoneamento direcionada à otimização das paisagens.

Para Christofoletti (1999) a análise complementar ou combinada entre abordagem ecológica (características das comunidades biológicas e seu habitat) e abordagem geográfica (organização dos elementos físicos e biogeográficos no contexto espacial) permite a compreensão das potencialidades e fragilidades, gerando indicadores norteadores para usos sustentáveis.

A análise espacial não só evidencia a organização espacial, como também procura esclarecer as particularidades ou diferenças da ocorrência de certos processos ou fenômenos em função das particularidades geográficas. As particularidades geográficas podem influenciar na diferenciação das funcionalidades dentro do geossistema, pelo que a análise combinada (ecológica e geográfica) oferece resultados mais complexos e completos para perspectiva ambiental.

Duma forma geral, a pesquisa obedeceu a 4 etapas propostas pelo Libault (1971) *apud* Ross (2009) que se resumem em:

- ✓ Compilatório (levantamento, seleção e compilação das informações sobre as características e dinâmica do meio físico como geologia, geomorfologia, pedologia, climatologia e hidrologia; do meio biótico para além do meio socioeconômico como uso e ocupação de terra, demografia, atividades econômicas, condições de vida, aspectos socioculturais e jurídicos instrucionais). Estes dados serão obtidos a partir da consulta a referências bibliográficas que abordam a temática, consulta a cartas temáticas, recurso a imagens satélites e fotografias aéreas, para além de levantamentos de dados no campo.
- ✓ Correlatório: correlação das informações com recurso a programas do SIG e interpretação/análise sistêmica dos dados.

- ✓ Semântico/interpretativo: interpretação geral e conclusiva com base nas correlações obtidas em programas do SIG, evidenciando o quadro ambiental e socioeconômico do território.
- ✓ Normativo: sistematização de dados em tabelas, gráficos e mapas, para além da generalização dos dados da área em estudo.

Christofoletti (2001) *apud* Amorim, Reis e Ferreira (2017, p. 93) afirma que a análise das unidades da paisagem pode fazer-se a partir do estudo do relevo, pois este componente natural surge como elemento onde se integra o clima, vegetação, águas e solos, no contexto dos geossistemas, o objeto de estudo da Geografia Física.

Nesta abordagem considera-se a paisagem da bacia hidrográfica como um sistema em sequência, pelo que a primeira tarefa passa necessariamente por distinguir os diferentes subsistemas **(**CHRISTOFOLETTI, 1979) da paisagem da bacia hidrográfica do rio Púnguè, na medida em que é através dos quais (subsistemas) que se processa o fluxo de matéria e energia, originando a dinâmica da paisagem.

Os diferentes elementos biofísicos e socioeconómicos caracterizados na bacia hidrográfica do rio Púnguè resumem-se em aspectos geológicos, geomorfológicos, climáticos, pedológicos, drenagem e usos e cobertura da terra, incluindo a elaboração de mapas temáticos com recurso a base de dados da Bolfe *et. el.* (2011), Cenacarta (2011), Gtk (2006) e imagens satélites.

3.2 – Técnicas de operacionalização da metodologia

Para obtenção da base teórica em prol da análise da dinâmica dos usos e ocupação e transformações da paisagem serão identificadas diversas referências bibliográficas que abordam a temática, com maior realce as abordagens dos seguintes autores: Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2004); Rodriguez e Silva (2013) e Christofoletti (1979) com intuito de buscar subsídios sobre análise de sistemas. Por outro lado, efetuou-se a consulta de documentos normativos como lei de águas, lei de florestas, lei de terras, estratégia nacional de gestão de bacias hidrográficas, plano de gestão da bacia hidrográfica do rio Púnguè em Moçambique, de modo aferir os aspectos de gestão de bacias hidrográficos inculcados e posterior verificação dos níveis de execução.

Foram elaborados mapas temáticos relativos aos aspetos físicos (geológicos, geomorfológicos, pedológicos, climáticos) e sobre usos e cobertura de terra da bacia hidrográfica do Púnguè cuja base de dados é de instituições de pesquisa afins, particularmente a Centro Nacional de Cartografia e Teledetecção (CENACARTA), uma instituição pública subordinada ao ministério da Terra, Ambiente e Desenvolvimento, cuja a especialização é o tratamento de informação geográfica em todo território moçambicano, a Administração Regional Aguas da região centro de Moçambique (ARA-CENTRO) que é uma instituição pública responsável pela gestão das bacias hidrográficas da região centro de Moçambique, onde se enquadra a bacia hidrográfica do rio Púnguè, a Direção nacional de Florestas e Fauna Bravia (Instituição responsável pelo inventário florestal) e a direção nacional de Geologia e minas (inventario geológico). Através destas bases de dados, com recurso a sistemas de informação geográfica, foi efetuado o pré-processamento, consistindo na definição da projeção e recorte da área de estudo (bacia hidrográfica do rio Púnguè). Importa destacar que a escala dos mapas das bases de dados usados é de escala de 1:250000.

Para análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio Púnguè, o geoprocessamento de imagens STRM de 30 metros, serviu de base não só para gerar mapas de altimetrias, de declividade (reclassificado de acordo as classes definidas pelo EMBRAPA) e de drenagem, mas também para obtenção de indicadores areais da bacia tais como área da bacia, comprimento da rede de drenagem, perímetro da bacia, maior comprimento da bacia, etc. e que são aplicados nas fórmulas de cálculo de índices morfométricos. Numa primeira fase as imagens STRM foram corrigidas no Qgis com recurso a ferramenta *fill*, permitido a remoção das depressões (células ou pontos inferiores a todas as áreas adjacentes), pois, estes erros têm dificultado a análise da direção e acumulação de fluxo na medida em que constituem pontos em que a água não corre para nenhuma direção. Na sequência, procedeu-se a análise da direção do fluxo com recurso a ferramenta *r.watershed* e a acumulação de fluxo através da abordagem Determinística do tipo *Deterministic 8* (D8), para além da delimitação microbacias, também com recurso a ferramenta fill no Qgis. Os índices morfométricos da bacia hidrográfica do rio Púnguè foram obtidos mediante aplicação das fórmulas descritas na tabela 1.

Tabela 1 – Fórmulas e indicadores de índices morfométricos

Característica morfométrica	**Descrição**	**Fórmula**	**Observação/parâmetro**
Densidade de drenagem	Relação ente o somatório do comprimento de todos os canais e a área da bacia hidrográfica	Dd= $\frac{\sum L}{A}$ ΣL - Soma do comprimento de todos os canais que formam a bacia A - Área da bacia Bd- Densidade da drenagem	Bacias com drenagem pobre: Dd < 0,5 km/km^2 Bacias com drenagem regular: 0,5 ≤ Dd < 1,5 km/km^2 Bacias com drenagem boa:1,5 ≤ Dd < 2,5 km/km^2 Bacias com drenagem muito boa: 2,5 ≤ Dd < 3,5 km/km^2 Bacias excepcionalmente bem drenadas → Dd ≥ 3,5 km/km^2
Coeficiente de manutenção	Constitui o inverso da densidade de drenagem, indicando que à medida que vai aumentando a dissecação do relevo, vai diminuindo a área disponível para o entalhamento de novos canais	Cm= $\frac{1}{Dd}$*1000 Cm: coeficiente de drenagem Dd: densidade de drenagem	O coeficiente de manutenção indica a área média que permanece isenta de entalhes ou para determinar a área mínima necessária para a manutenção de 1 m de canal de escoamento permanente.
Índice de sinuosidade	Relação entre o comprimento do canal principal e a distância vectorial do canal principal	$Is = (\frac{Lc}{Lv})$ Lc - Comprimento do canal Principal LT - Comprimento vectorial do canal principal	Is < 20% - canal muito reto; 20% ≤ Is ≤ 30% - canal reto; 30% ≤ Is ≤ 40% - canal divagante; 40% ≤ Is ≤ 50% - canal sinuoso; Is ≥ 50% - canal muito sinuoso; Fator controlador da velocidade de escoamento pelo que influencia no tempo de permanência ou de saída da água precipitada na bacia hidrográfica. Canais que apresentam índices de sinuosidade superior ou igual a 1.5 são considerados meândricos.
Índice de circularidade	Relação entre o perímetro e a área de uma bacia hidrográfica	$Ic = \frac{A}{Ac}$ A - Área da bacia Ac - Perímetro da bacia kc- índice de circularidade	O índice de circularidade tende para a unidade à medida que a bacia se aproxima da forma circular e diminui à medida que a forma se torna alongada Valores maiores que 0,51 equivalem a bacia com tendência a forma circular, portanto, favorece a inundações e valores menores que 0,51 revelam bacia com forma alongada, portanto, favorecendo a maior escoamento superficial Quanto mais próximo de 1,0 for o valor de Ic, mais próxima da forma circular será a bacia
Coeficiente de compacidade (KC)	Relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo da área igual a bacia	$kc = 0.28 * (\frac{P}{\sqrt{A}})$ P - Perímetro da bacia A - Área da bacia Kc- Coeficiente de compacidade	1,00 – 1,25 bacia com alta propensão a grandes enchentes 1,25 – 1,50 bacia com tendência mediana a grandes enchentes > 1,50 bacia com tendência a conservação, não sujeita a Enchentes Quanto mais irregular for a bacia, maior será o coeficiente de compacidade.
Fator de forma da bacia (F)	O fator de forma (F) relaciona a forma da bacia com um retângulo, correlacionando a razão entre a largura média e o comprimento axial da bacia da foz até o ponto mais distante do espigão.do espigão.	$F = (\frac{A}{L^2})$ F = Fator de forma L - comprimento axial da bacia em km A - Área da bacia	1,00 – 0,75 bacia com tendência a grandes enchentes 0,75 – 0,50 bacia com tendência mediana a enchentes < 0,50 bacia com tendência a conservação, não sujeita a enchentes
Razão de Elongação	Relação entre o diâmetro do círculo de área igual à área da bacia e o comprimento do eixo da bacia	$kc = 1{,}128 * (\frac{A0{,}5}{Lax})$	Há semelhança do fator forma, a razão de elongação também constitui indicador de susceptibilidade a enchentes, pelo que quanto maior for o valor de Re, mais próximo ao círculo a forma da bacia, maior será a probabilidade de enchente.
Índice de rugosidade	Produto da amplitude altimétrica e a densidade da drenagem	Ir = H*Dd Ir: índice de rugosidade H: amplitude altimétrica Dd: densidade de drenagem	Quanto maior for esse índice, maior será o risco de degradação da bacia quando as vertentes são íngremes e longas
Razão relevo	Relação entre a amplitude altimétrica e o comprimento axial da bacia	Rr= $\frac{\Delta a}{Lh}$ Rr- Razão relevo Δa - Amplitude topográfica máxima Lh - Comprimento da bacia	Razão de relevo baixa = 0,0 a 0,10; Razão de relevo média = 0,11 a 0,30; e Razão de relevo alta = 0,31 a 0,6 Quanto maiores os valores mais acidentados será o relevo na região e maior será a declividade geral da bacia, portanto maior será a velocidade do escoamento da água em relação ao maior comprimento do canal
Amplitude altimétrica	Diferença altimétrica entre o ponto mais alto e o ponto mais baixo na foz do rio	Hm = Hmax - Hmin Hm: Amplitude altimétrica Hmax: Altitude máxima Hmin: Altitude mínima	Corresponde a relação das variações topográficas da bacia, sendo obtida a partir da diferença entre a altitude da foz (cota mais baixa) e as mais altas (Quanto menor for a diferença, significa que a bacia é plana e vice-versa)

Fonte: VILELLA e MATOS (1975), CHRISTOFOLETTI (1974, 1987), SILVA e MELLO (2003) citados por SIQUEIRA *et al*, 2012; SCHUMM (1956) citado por PINHEIRO e BENINI (2019); TONELLO (2005), ROSS (2007); ROSS e PFEIFER (1999).

Na análise da suscetibilidade à ocorrência de inundações, para além dos indicadores obtidos através de cálculos, precedeu-se a aplicação do modelo HAND (mede a diferença altimétrica entre qualquer ponto da grade do MDE e o respectivo ponto de escoamento na drenagem mais próxima, considerando a trajetória superficial de fluxo que liga topologicamente os pontos da superfície com a rede de drenagem) para classificação e zoneamento da susceptibilidade a inundações (classes alta, média e baixa) e integração das classificações de susceptibilidade definidas nas duas etapas anteriores, gerando as classes de susceptibilidade globais, definido as classes alta, média e baixa (ROSS, 1994).

Bittar *et al* (2014) cita os trabalhos de Oliveira (2010), Souza (2004), Oliveira, Guasselli e Saldanha (2010), Bajabaa, Masoud e Al-Amri (2013) para fundamentar a aplicação de índices morfométricos para analisar a suscetibilidade a inundações em sub-bacias hidrográficas. Cada índice morfométrico será padronizado, permitindo assim a determinação de classes de suscetibilidade às inundações as sub-bacias foram delimitadas com o plugin Arc Hydro do Arc GIS.

Cada um dos índices morfométricos foram padronizados em uma escala de 1 a 5 com base nas orientações de Bajabaa, Masoud e Al-Amri (2013). Para a análise de variação topográfica e áreas de acumulação de água no decorrer das bacias hidrográfica, foram utilizados modelos digitais de terreno (MDT). De posse do MDT, ele foi processado no software *Model Hand*, gerando a direção do fluxo acumulado e o fluxo acumulado, produtos intermediários para a criação do modelo (BITAR *et al.*, 2014).

O modelo HAND é capaz de indicar onde uma cheia pode ocorrer, caso tenha água em excesso na superfície, indicando as áreas suscetíveis a inundações através dos desníveis topográficos e a proximidade com os rios, auxiliando, principalmente, na ausência de dados hidrológico detalhados para a gestão (SPECKHANN *et al*., 2018; TENG *et al*., 2017).

Após a geração do modelo *HAND*, os dados obtidos com inventário dos episódios de inundações foram fundamentais, pois a altura máxima da inundação de maior magnitude na área será adotada como parâmetro na classificação do modelo em classes de suscetibilidade. A partir desta cota são determinadas às altitudes acima do nível da drenagem aos quais serão atribuídos às classes de suscetibilidade.

Para definir as classes de suscetibilidade às inundações, o indicador-síntese obtido com a Análise morfométrica das sub-bacias hidrográficas e a hierarquização do modelo Hand

foram classificadas em três (3) classes: baixa (1), média (2) e alta (3) suscetibilidade às inundações, aplicando o método da matriz geográfica conforme a figura 3.

Figura 3– Matriz geográfica para determinação da Suscetibilidade às inundações

Modelo *Hand*	Análise Morfométrica		
	Baixa	Médio	Alta
Baixa	2	3	4
Médio	3	4	5
Alta	4	5	6

Para análise da fragilidade ambiental considerou-se como variáveis o índice de dissecação, classes de declividade, tipos de solos e tipos usos e cobertura da terra, baseando-se nas classes de fragilidade ambiental definidas por Ross (1994), nomeadamente (1) muito fraca, 2 (fraca), (3) média, (4) forte e (5) muito forte, sendo o sentido inverso da sequência para os usos e cobertura da terra na medida em que categoriza o grau de proteção relacionado. Numa primeira fase, procedeu-se análise variável por variável e posteriormente procedeu-se a sobreposição de todas as variáveis para obtenção da fragilidade ambiental global. Os dados de solos foram harmonizados consoante a nomenclatura, convertendo da FAO para a da Embrapa (vide tabela 2) possibilitando atribuir os pesos devidos

Tabela 2 – Correspondência de grupos de solos da bacia hidrográfica do rio Púnguè com a classificação da FAO e da Embrapa.

Grupo de solos da bacia de Púnguè	**Classificação da FAO**	**Classificação da Embrapa**
Solos de aluviões argilosos	*Mollic Fluvisol*	Neossolos Flúvicos
Solos basálticos vermelhos	*Ferric Lixisols*	Latossolos e Argissolos
Solos de coluviões argilosos de mananga	*Mollic Solonchaks*	Gleissolos Sálicos
Solos de mananga com cobertura arenosa	*Stagnic ou Hapl*	Gleissolos
Solos argilosos vermelhos óxicos	*Rhodic Ferralsols*	Latossolos
Solos de aluviões estratificados de textura grossa	*Eutric fluvisol*	Neossolos Flúvicos
Solos de post mananga com textura média	*Haplic Lixisols*	Argissolos
Solos de sedimentos marinhos estuarinos	*Salic Fluvisols*	Neossolos Flúvicos
Solos derivados a grés vermelho	*Ferralic Arenos*	Latossolos Neossolos Quartzarênicos
Solos argilosos derivados a rochas calcarias	*Chromic Luvisol*	Chernossolos e Luvissolos
Solos arenosos não especificados	*Arenosols*	Neossolos Quartzarênicos
Solos arenosos castanhos, dendríticos	*Ferralic Arenos*	Latossolos Neossolos Quartzarênicos
Solos arenosos avermelhados	*Ferralic Arenos*	Latossolos Neossolos Quartzarênicos
Solos arenosos amarelados	*Ferralic Arenos*	Latossolos Neossolos Quartzarênicos
Solos vermelhos de textura média	*Ferric Lixisols*	Latossolos Argissolos
Solos vermelhos de textura média dedríticos	*Haplic Acrisols*	Argissolos
Solos argilosos vermelhos	*Ferric Lixisols*	Latossolos Argissolos
Solos castanhos de textura arenosa	*Haplic Acrisols*	Argissolos
Solos arenosos castanhos-acinzetados	*Cambic arenosol*	Cambissolos Neossolos Quartzarênicos
Solos pouco profundos sobre rocha calcaria	*Calcaric Cambis*	Cambissolos
Solos de textura média derivadas a rochas sedimentares	*Eutric Cambisol*	Cambissolos
Solos de post mananga com textura grossa	*Haplic Lixisols*	Argissolos
Solos vermelhos de textura média óxidos	*Rhodic Ferralso*	Latossolos
Solos líticos	*Eutric Leptosol*	Neossolos Litólicos
Solos arenosos castanhos	*Albic e Cambic*	Cambissolos

O mapeamento de índice de dissecação do relevo da bacia hidrográfica do rio Púnguè obedeceu 4 etapas principais, nomeadamente: (1) Preparação do MDE, (2) cálculo e mapeamento

da dimensão interfluvial média, (3) cálculo e mapeamento do grau de entalhamento dos vales e (4) mapeamento do índice de dissecação do relevo (GUIMARÃES *et al*, 2017).

Na primeira fase, após a aquisição do MDE, procedeu-se o recorte bacia hidrográfica do rio Púnguè, com *buffer* de 2 km (margem de segurança). Na sequência, procedeu-se a correção do MDE no *Qgis* com recurso a ferramenta *fill*, permitido a remoção das depressões (células ou pontos inferiores a todas áreas adjacentes), pois, estes erros têm dificultado a análise da direção e acumulação de fluxo na medida em que constituem pontos em que a água não corre para nenhuma direção.

Em relação ao cálculo e mapeamento da dimensão interfluvial médio, iniciou-se pela identificação dos picos, incluindo os respectivos valores altimétricos, através da inversão de MDE, multiplicando-o por -1, tendo como resultado um novo *raster* onde os picos foram transformados em depressões. Na seguida, a partir do MDE invertido, mapeou-se a direção do fluxo com recurso a função *SINK*, cujo resultado foi uma camada em formato *raster*, sendo que cada pixel corresponde a um pico, e em seguida foi convertido para formato vetorial tipo ponto e posteriormente atribuiu-se aos picos as cotas altimétricas contidas no MDE com recurso da função *add surface information* e na sequência, converteu-se novamente este para o formato *raster* utilizando os valores das cotas altimétricas (GUIMARÃES *et al*, 2017).

Na sequência, com recurso à função *basin*, aplicando a direção de fluxo gerado na subfase anterior, converteu-se para formato vectorial do tipo polígono. Em seguida, através da função *zonal statistcs*, atribui-se os valores altimétricos aos picos de polígonos das superfícies de referência, culminando com a realização de álgebra com recurso a função *SupPic – MDEori*, cujo resultado foi uma camada matricial onde cada pixel tem o valor igual ao desnível entre a cota altimétrica do pixel e a cota altimétrica do pico situado na mesma região de elevação. Importa referenciar que *SupPic* é o *raster* da superfície de referência com os valores altimétricos dos picos de cada região altimétrica e *MDEori* é o MDE original com as depressões espúrias preenchidas (GUIMARÃES *et al*, 2017).

Quanto ao processo de mapeamento da dimensão interfluvial médio (calculado a partir da distância euclidiana média entre seus divisores de água), iniciou-se com a delimitação das bacias. Para a delimitação das bacias, inicialmente, aplicou-se a função de mapeamento de direção de fluxo sobre o MDE original e em seguida utilizou-se a função de acumulação de fluxo sobre o *raster* de direção de fluxo, onde cada pixel recebeu o valor igual ao número de células a

montante que direciona o fluxo para ele e os pixels são usados para definir os limites das bacias. Em seguida, foi determinado o valor limiar (dado pelo número de pixels) e que define a área mínima de drenagem considerada como uma bacia, utilizando a função *conditional.* Na sequência foram determinados as micro bacias com recurso à função *whatershe,* aplicando como entrada os *rasters* da direção de fluxo e o gerado pela função *conditional.* (GUIMARÃES et al, 2017).

Em seguida, o raster de limite das microbacias foi convertido para o formato de polígono e outro em linha. Posteriormente aplicou-se a função distância euclidiana à camada de limite das bacias do tipo linha, gerando uma camada matricial onde cada célula tem o valor igual à distância euclidiana da célula para a linha mais próxima, que nesse caso representa o interflúvio da bacia na qual a célula está inserida. Para encontrar os pontos de maiores distâncias em relação aos interflúvios, que representam o raio da bacia, inverteu-se o *raster* de distância euclidiana multiplicando-o por -1, onde os pixels de maior valor são transformados nos *pixels* de menor valor que configuram depressões no centro de cada micro bacia.

Depois, aplicou-se à camada resultante desta operação a função de direção de fluxo e então a função *sink*, gerando uma camada matricial destacando as depressões. Na sequência, converteu-se esta camada para o formato vetorial do tipo ponto. Os pontos gerados representam a posição do centro das microbacias, mas, não possuem os valores das distâncias euclidianas em relação às linhas interfluviais (raio), pelo que, para adicionar referidos valores a estes pontos utilizou-se a função *add surfasse information.*

Assumindo-se que a dimensão interfluvial média necessária para o cálculo do índice de dissecação é igual ao diâmetro interfluvial médio, para a obtenção dos diâmetros médios multiplicou-se por 2 o campo que contém os valores dos raios. Em seguida procedeu-se o cálculo do valor médio de todas as medidas de diâmetro para cada bacia, com recurso à função *zonal statistics,* tendo como resultado uma camada em formato *raster* contendo as bacias delimitadas e com os valores de dimensão interfluvial média *(*GUIMARÃE*S et al,* 2017*).*

Para o mapeamento do índice de dissecação do relevo, procedeu-se a reclassificação dos *rasters* do grau de entalhamento dos vales e da dimensão interfluvial médio, obedecendo a proposta do Ross (1994). Portanto, o *raster* do grau de entalhamento dos vales foi reclassificado nas seguintes classes: 0 a 20 m (10); 20 a 40 m (20); 40 a 80 m (30); 80 a 160 m (40) e > que 160 (50). O *raster* da dimensão interfluvial médio foi reclassificado nas seguintes classes: 0 a 250 m (5); 250 a 750 m (4); 750 a 1.750 m (3); 1.750 a 3.750 m (2); > que 3.750 (1).

Após a reclassificação, procedeu-se o somatório do grau do entalhamento dos vales e da dimensão interfluvial médio, tendo como resultado uma camada matricial onde cada pixel possui um valor de dissecação que varia de 10 a 55 e posteriormente agrupados em 5 classes: dissecação muito alta (15, 25, 35, 45, 55,54, 53, 52 e 51), dissecação alta (14, 24, 34, 44, 43, 42 e 41), dissecação moderada (13, 23, 33,32 e 31), dissecação baixa (12, 22 e 21) e dissecação muito baixa (11) (GUIMARÃES *et al*, 2017, ROSS, 1994).

Em relação a identificação e delimitação de unidades geossistêmicas tomou-se como base inicial as unidades morfoestruturais, associando às características geomorfológicas, climáticas e tipos de cobertura da terra, tendo sido delimitadas 25 unidades geossistêmicas com recurso ao ambiente ArcGIS 10.8. A delimitação dos sistemas antrópicos tomou-se em consideração as características dos usos da terra associadas às condições e recursos naturais, tendo sido delimitados 7 sistemas antrópicos.

Quanto a análise da dinâmica dos usos e cobertura da terra, recorreu-se ao geoprocessamento (análise de imagens satélites) e trabalho de campo. O processo de análise de imagens satélites para gerar mapas da dinâmica dos usos e cobertura da terra, obedeceu a quatro etapas principais nomeadamente: acesso e seleção das imagens, coleta das amostras, classificação das imagens e análise das transições de usos e cobertura da terra. Na perspectiva temporal foram considerados 30 anos, com intervalos de 10 anos, sendo que se tomou como referência os anos de 1990, 2000, 2012 e 2020. Entretanto, no ano 2010 não foi possível encontrar imagens satélites sem nuvens e que possibilitassem a sua classificação, pelo que se optou pelas imagens do ano mais próximo (2012) e que tinham condições de serem classificadas e gerar mapas.

Os dados de uso e cobertura de terra foram obtidos por meio da classificação de imagens ETM+/Landsat 7 e 8, na Plataforma *Google Earth Engine* (GEE), utilizando redutores de mediana e seguindo todos os passos de processamento digital de imagens desde a seleção das imagens, remoção de nuvens até a geração de matrizes para avaliação da acurácia do mapeamento. As amostras coletadas foram divididas em 70% para treinamento e 30% para validação. Não obstante, os dados de uso e cobertura da terra de 2020, para a sua validação contou com dados colhidos em trabalho de campo realizado em maio de 2022.

A Acurácia Global foi de 97% e índice Kappa 0.96 e as classes definidas foram: água, floresta, savana, urbano, solo exposto/campo limpo, vegetação inundada e agricultura. A análise das transições dos usos e cobertura da terra foi efetuada com recurso ao QGIS, através do plugin

semi-automatic classification, processando de dois em dois períodos (1990 a 2000, 2000 a 2012 e 2012 a 2020).

Para análise dos processos de gestão ambiental, foram considerados, dados dos usos e cobertura da terra, dos sistemas antrópicos, da análise da fragilidade ambiental, da análise da suscetibilidade a inundações, para além da análise dos instrumentos de gestão de bacias hidrográficas em Moçambique de modo a aferir a sua aplicabilidade.

Ainda no âmbito da análise da gestão ambiental da Bacia do rio Púnguè, associado aos usos de terra, foram feitas análises físicas, organolépticas, química e microbiológica cujos indicadores e metodologias usadas estão referenciados nas tabelas 3 e 4.

Tabela 3 – Parâmetros de água analisados nas amostras coletados nos campos agrícolas da açucareira de Mafambisse

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E ORGANOLÉPTICAS		
Parâmetro	**Método usado**	**Limite máximo admitido**
Cor	Visão	Incolor
Cheiro	Olfato	Inodor
Deposito	Visão	Ausente
Turvação (NTU)	Turbidímerto	5
pH	PH- Metro	6,5 - 8,5
Condutividade (µS/cm)	Condutivímetro	20 - 2000 µS/cm
ANÁLISE QUÍMICA		
Cloretos (mg/L de Cl)	Titulação com AgNO3	250
Análise microbiológica		
Coliformes fecais (NPM/100ml)	Tubos múltiplos	10

Fonte: elaborado pelo autor a partir dos resultados do laboratório CHAEM.

Tabela 4- Parâmetros de água analisados nas amostras extraídas na sub-região de extração de ouro, do distrito de Manica

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E ORGANOLÉPTICAS		
Parâmetro	**Método usado**	**Limite máximo admitido**
Cheiro	Olfato	Inodor
Turvação (NTU)	Turbidímerto	5
pH	PH – Metro	6,5 - 8,5
ANÁLISE QUÍMICA		
Cloretos (mg/L de Cl)	Titulação com AgNO3	250
Análise microbiológica		
Coliformes fecais (NPM/100ml)	Tubos múltiplos	10

Fonte: elaborado pelo autor a partir dos resultados do laboratório CHAEM.

As análises foram feitas na CHAEM (Centro de Higiene Ambiental e Exames Médicos – Análises Clínicas), uma instituição do governo moçambicano. As amostras foram coletadas em 4 pontos distintos, sendo que duas amostras foram coletadas dentro dos campos do cultivo da cana de açúcar em Mafambisse, nos canais de desvio para rega e outras duas amostras foram coletadas no distrito de Manica, na sub-região de extração artesanal e semi-industrial de ouro. Em cada ponto, eram coletadas 2 garrafas de 1,5 litros e conservados num recipiente fechado com gelo.

As amostras coletadas em Manica, foram conservadas em geladeira durante 12 horas e no dia seguinte foram transportadas para o laboratório, em um recipiente com gelo, portanto, estas amostras levaram cerca de 24 horas para serem canalizadas ao laboratório. As amostras coletadas nos campos de açucareira foram canalizadas imediatamente para o laboratório num máximo de 1 hora de tempo. O objetivo principal das análises resumia-se em aferir a influência dessas atividades na qualidade da água do rio**.**

CAPÍTULO IV – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 – Caracterização sistêmica da bacia hidrográfica do rio Púnguè

4.1.1 – Os elementos naturais constituintes da bacia hidrográfica do rio Púnguè

Para compreender os processos que envolvem a dinâmica das unidades geossistêmicas que constituem essa bacia hidrográfica bastante é complexa. Portanto, no presente subcapítulo faz-se a caracterização dos elementos que constituem dos diferentes geossistemas que compõem a bacia hidrográfica do rio Púnguè.

Considerando a extensão da bacia hidrográfica do rio Púnguè e a escala espacial adotada (escala média), definiu-se como elementos dos Geossistemas:

- Clima (temperatura e pluviosidade);
- Vegetação (Tipo de vegetação e variação de fitofisionomias);
- Solos (classes de solos predominantes);
- Geologia (litologia e processos morfoestruturais responsáveis com controle estrutural);
- Relevo (formas de relevo predominantes e processos associados à sua evolução).

4.1.1.1 – Clima

A bacia hidrográfica do rio Púnguè enquadra-se geograficamente na região central de Moçambique. O centro de Moçambique, embora esteja diretamente no caminho dos ventos alísios do Sudeste, está perto dos limites do sul alcançados pelas monções do nordeste no verão. Os principais determinantes do clima nesta região são, portanto, os sistemas zonais de vento de ambos os hemisférios sul e norte. É de estacar as massas de ar soprando dos centros tropicais semipermanentes de alta pressão do sul da Índia. O sistema de monções é um fluxo de ar alternado em microescala soprando direções opostas no verão e no inverno. Durante o inverno, partes dos ventos que emergem do continente asiático atravessam o noroeste do Oceano Índico para a costa leste da África e passa ao sul do equador para Moçambique e Madagascar, onde contribuem para processos de precipitação ou secagem, dependendo de sua trajetória (TINLEY, 1977).

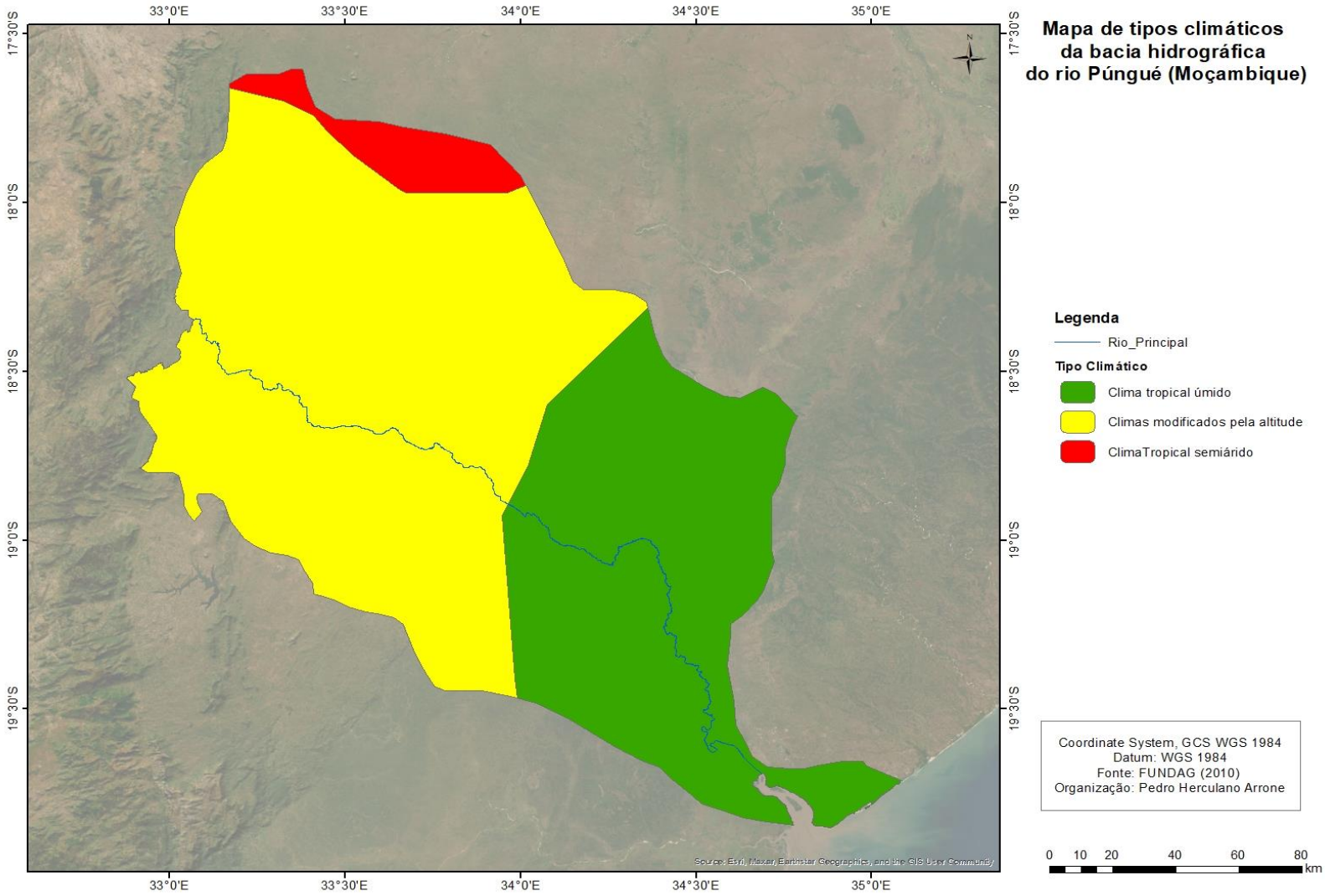
No meio do verão, os ciclones tropicais (furacões) se movem de leste a oeste e são principalmente interceptados por Madagascar. À medida que o furacão segue em direção ao sul,

principalmente ao longo da costa oeste de Madagascar ou no meio do canal, as condições de seca ocorrem em Moçambique. Inversamente, uma rota de furacão que se aproxima ou atravessa a costa de Moçambique causa inundações. Constituem exemplos de ciclones nos últimos tempos ao nível da região, o ciclone Idai, ocorrido em março de 2019, com ventos acima de 205 km/h e ciclone Kenneth, ocorrido em abril de 2019, com ventos na ordem de 230 km/h e que em rajadas atingiam 305 km/h, causando perdas de vidas humanas e imensuráveis danos de ordem socioeconómica (UNICEF).

Outros sistemas de ventos de superfície que ocorrem na área em estudos são decorrentes das rotações diurnas de ar do mar e circulações de brisa terrestre entre a Grande Escarpa Oriental e o Canal de Moçambique, que estão provavelmente ligados a um fluxo centrípeto semelhante nas encostas ocidentais de Madagascar. A componente noturna da brisa terrestre catabática é fortemente desenvolvida ao longo do ano sempre que houver céu limpo. A brisa do mar / ou componente anabático, é devido ao aprofundamento do vento alísio em direção ao solo, acima do fluxo de drenagem de ar frio, nas manhãs, à medida que a superfície da terra se aquece (TINLEY, 1977).

O clima da Bacia Hidrográfica do rio Púnguè é predominantemente tropical, com uma estação seca no inverno e uma estação chuvosa no verão, variando em subtipos de acordo com as diversas condições físicas naturais. Ocorrem três tipos de clima nomeadamente: o clima tropical úmido, o clima tropical típico (modificado pela altitude) e o clima tropical semiárido (vide figura 4).

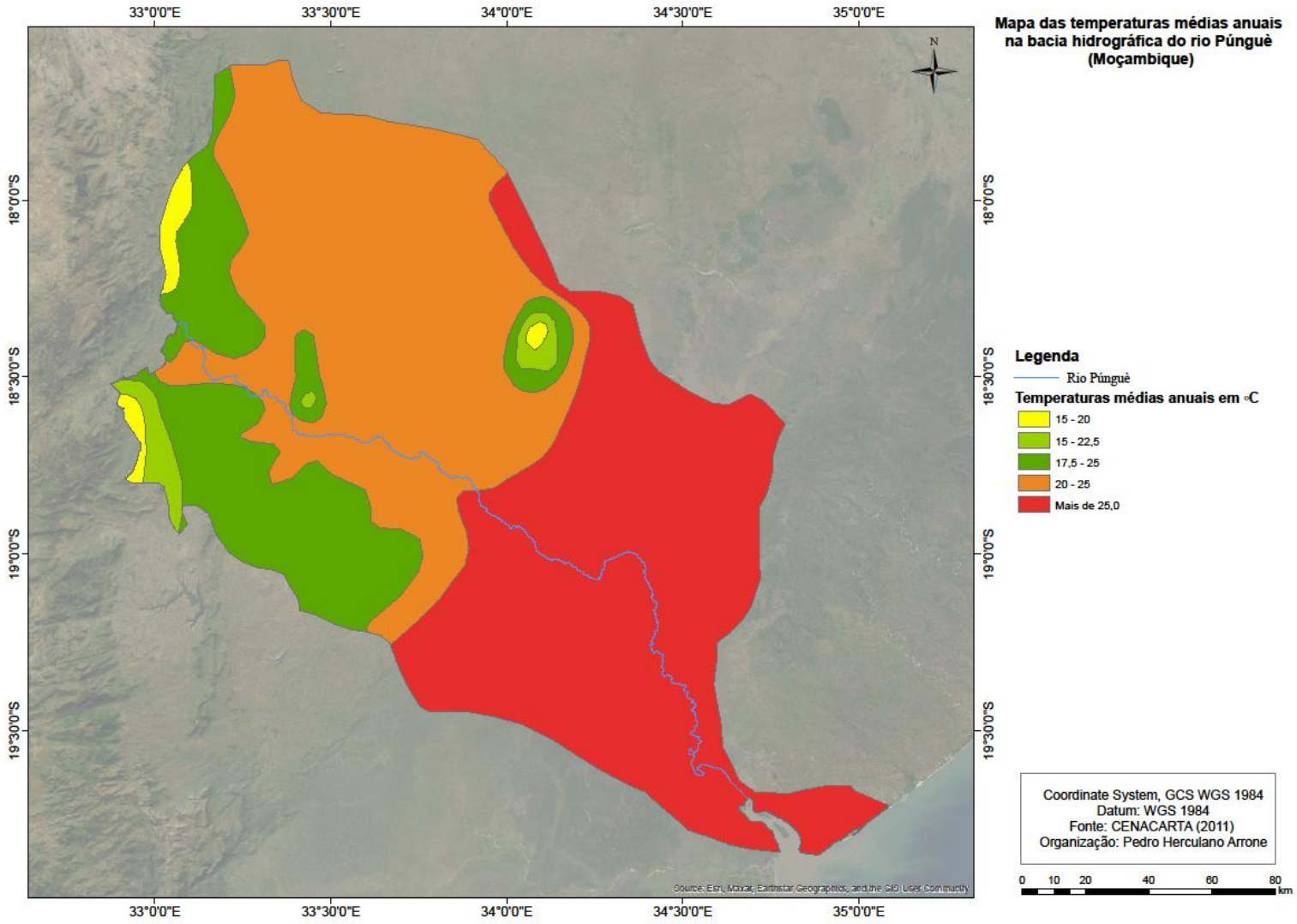
Figura 4– Mapa de tipos de clima na bacia hidrográfica do rio Púnguè



Fonte: FUNDAG clima (2010). Organizado pelo autor.

As temperaturas médias mais elevada (acima de 25ºC) na bacia hidrográfica do rio Púnguè coincidem com a sub-região com clima tropical úmido, junto a costa do Oceano Índico e se expandindo por quase toda província de Sofala como ilustra a figura 5. Na sub-região com clima tropical semiárido as temperaturas médias anuais variam entre 20 e 25ºC, temperaturas essas que envolvem algumas áreas com clima tropical típico, particularmente na Província de Manica. As sub-regiões mais elevadas junto a fronteira com Zimbábue e na sub-região da Serra de Gorongosa, cujo clima é modificado pela altitude, as temperaturas médias anuais registam variação espacial na ordem de 15 a 25ºC.

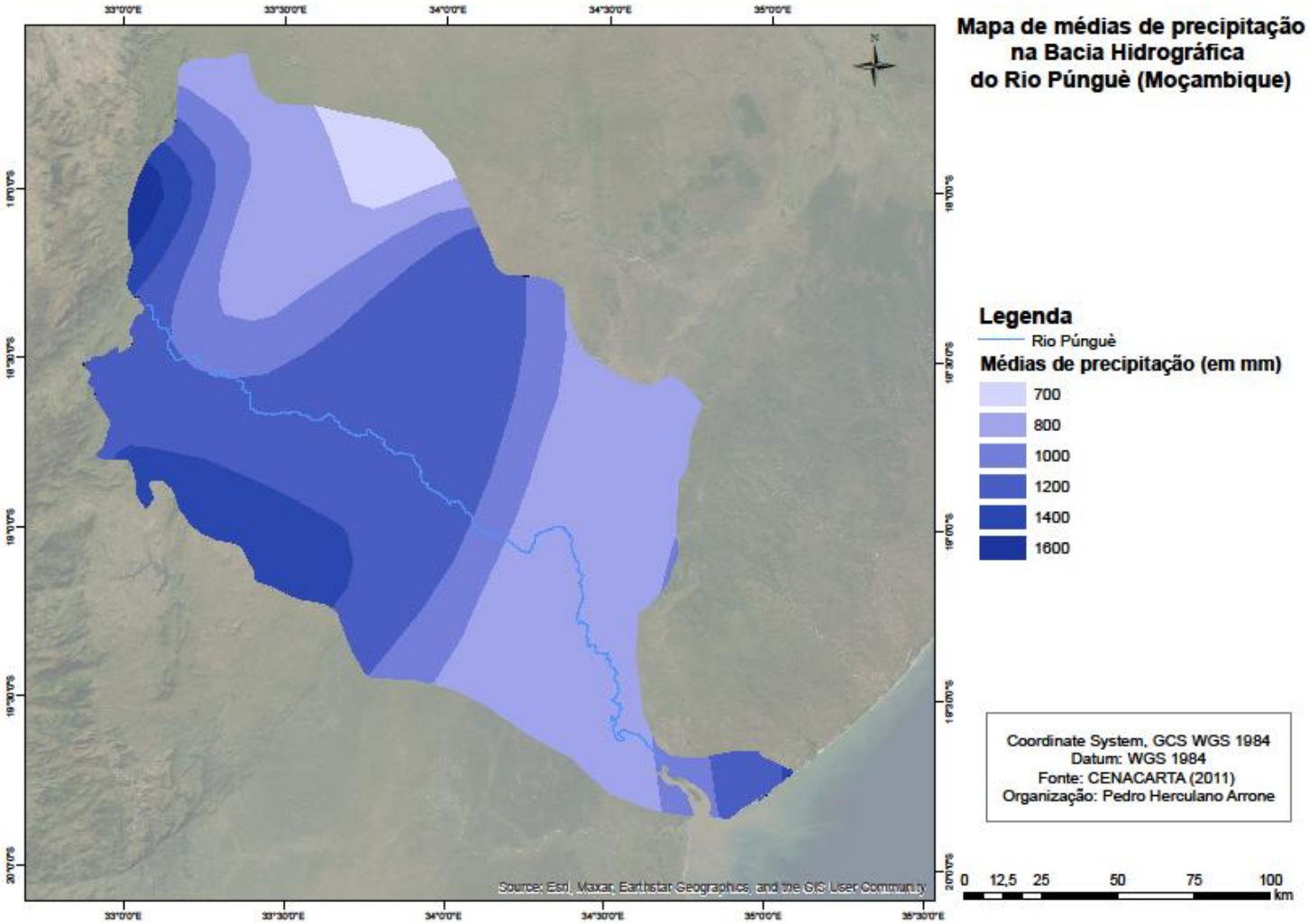
Figura 5 – Mapa das temperaturas médias anuais na bacia hidrográfica do rio Púnguè



Fonte: CENACARTA clima (2011). Organizado pelo autor.

A precipitação varia de acordo com as estações do ano. Em geral, os padrões de precipitação mostram um gradiente do mar para o interior, variando com a altitude, sendo que a precipitação média anual para toda a bacia é de 1.114 mm, conforme a Figura 6.

Figura 6 – Mapa de médias de precipitação na Bacia Hidrográfica do Rio Púnguè



Fonte: CENACARTA clima. Organizado pelo autor.

O clima tropical semiárido (a noroeste da bacia) é marcada por uma estação seca e fria (de abril a setembro) e outra quente e relativamente chuvosa. A continentalidade (afastamento em relação ao mar) constitui um dos fatores determinantes deste tipo climático como defende Muchangos (1999) ao afirmar devido a influência da corrente Moçambique-Agulhas, em algumas regiões de Moçambique, verifica-se uma certa disposição meridional das isoietas possuindo as regiões mais afastadas do litoral, com climas secos e semiáridos, sendo que na estação seca, os totais mensais pluviosidade baixam consideravelmente durante 3 a 5 meses, alguns deles, sem qualquer queda pluviométrica. A precipitação é marcadamente sazonal, com uma concentração durante a estação quente de novembro a abril, sendo que as médias anuais variam de 700 a 800 mm conforme ilustra a figura 13 no canto superior do extremo noroeste da bacia hidrográfica do rio Púnguè, coincidindo com a caracterização pluviométrica do Muchangos (1999) que caracteriza a sub-região como sendo de aridez elevada, com valores médios anuais de pluviosidade de 600 a 800 mm.

O clima tropical úmido se associa ao baixo Púnguè, junto à faixa costeira do oceano índico e quase todo o interior da província de Sofala, dentro da bacia hidrográfica. Este tipo de clima resulta da influência combinada dos ventos úmidos do canal quente de Moçambique e da movimentação da zona de convergência intertropical. As temperaturas médias anuais situam-se entre 24 e 25ºc e com uma pluviosidade média entre 1000 e 1600 mm, sendo que a estação quente e chuvosa é mais longa que a fria e seca (MUCHANGOS, 1999).

As sub-regiões do médio e alto Púnguè são dominadas por um clima tropical típico, também com duas estações durante o ano (quente e chuvosa e fria e seca), caracterizando-se como sendo área de clima tropical de transição, como defende o Muchangos (1999 p. 36) ao afirmar que “grande parte das províncias de Manica e Sofala possui um clima com características tropicais de transição entre a região de influência de massas de ar subequatoriais provenientes do norte e as massas do ar polar marítimo do sul do continente Africano”. Neste tipo de clima, a estação seca e fria é relativamente longa em relação a estação quente e chuvosa, apresentando temperaturas elevadas durante o ano. Entretanto, devido às diferenças altimétricas, sobretudo na sub-região da serra de Gorongosa e a sub-região serrana junto à fronteira com Zimbábue, regista-se o clima modificado pela altitude, onde as somas pluviométricas anuais alcançam entre 1800 e 2000 mm e a temperatura média anual inferior a 18 ºC (MUCHANGOS, 1999 e TINLEY, 1977).

4.1.1.2 – Vegetação

A localização de Moçambique na região florística sudano-Zambezíaca, condiciona, em conjugação com as condições climáticas o desenvolvimento de infinitas variedades de associações vegetais hidrófilas, mesófilas e xerófilas de floresta e de savana arbóreas e arbustivas, sendo que a distribuição e variação espacial, composição, densidade e variedades de espécies, estão associadas a uma diversidade de fatores como a latitude, a alternância entre as terras altas e as depressões, a continentalidade, a natureza pedológica, as condições de água, do solo e o grau de intervenção humana (MUCHANGOS, 1999).

Na bacia hidrográfica do rio Púnguè na região central de Moçambique, ocorrem com maior predominância as formações vegetais arbustivas e florestas abertas. Em muitas áreas a vegetação arbórea adensa-se e toma o aspecto de uma floresta baixa com plantas de altura até 10 m, sendo por vezes de difícil penetração. De uma maneira geral a savana é uma formação baixa, por vezes degradada, com plantas espinhosas e outras de folha caduca. A savana pode apresentar assim aspectos que se lhe confunde com a floresta ou de formações herbáceas e ainda uma variedade de formas de transição (MUCHANGOS, 1999).

Em Manica, parte integrante da bacia hidrográfica do rio Púnguè, a floresta sempre verde ocorre em áreas montanhosas de Espungabera, Chimanimani, Vengo, Vumba, Tsetserra, Mavita, Garuzo, Zuira, Penhalonga e Choa (MUCHANGOS, 1999).

Nos planaltos de Chimoio e de Mussorize, sobretudo em Espungabera, Mabongo, Marongo, Sitatonga e Amatongas, onde a pluviosidade é da ordem dos 1.200 mm desenvolve-se a floresta semi-decídua ou semicaducifólia em que as árvores dominantes atingem cerca de 20 m de altura. As espécies mais comuns e mais utilizadas como madeira são dos gêneros *Erythropleum, Suaveolens, Khaya e a Newtonia*. Alguns gêneros de plantas herbáceas tais como *Setaria, Panicum e Aframomum*, complementam o estrato arbóreo (MUCHANGOS 1999).

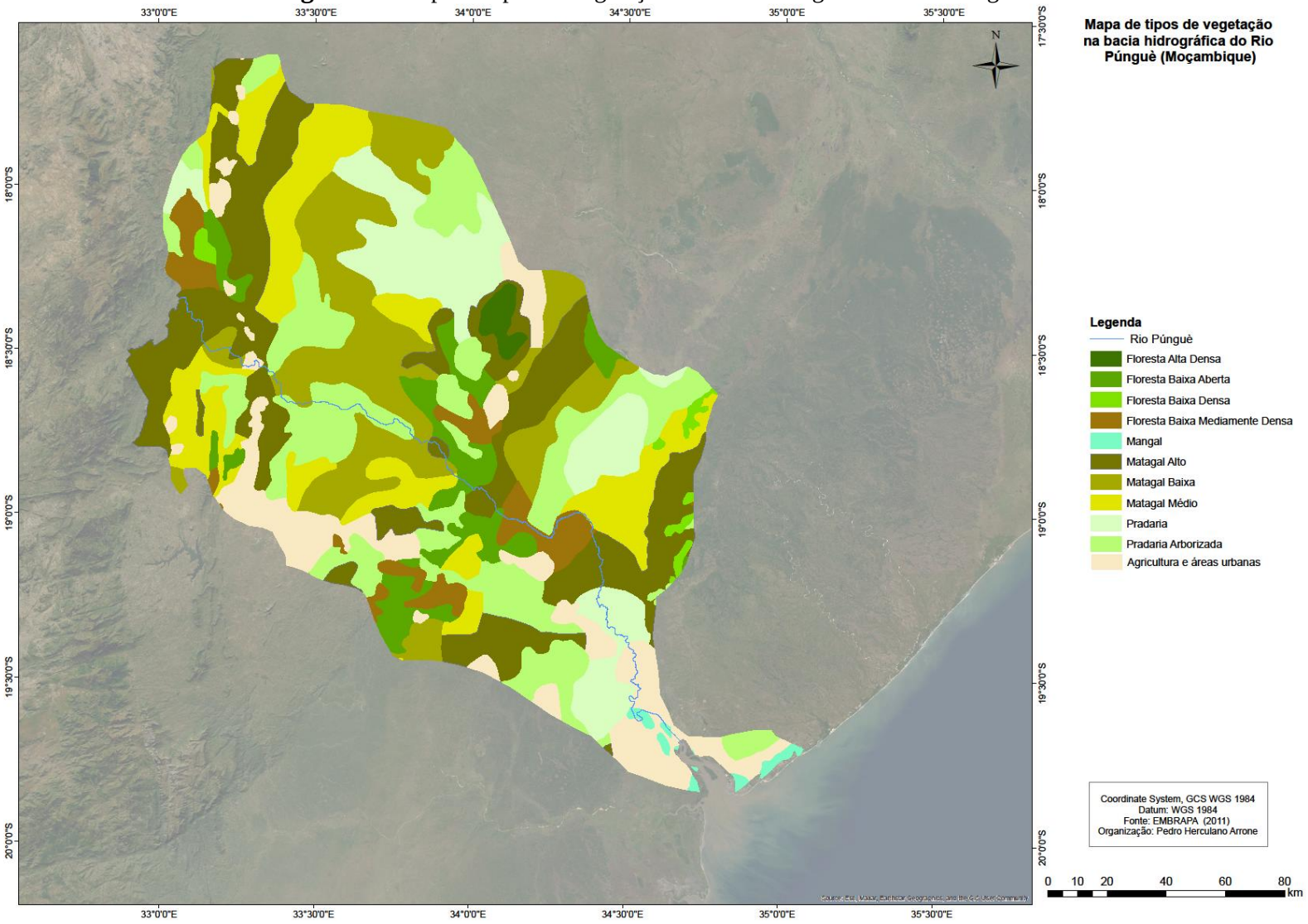
A floresta de folha caduca ocorre na sub-região planáltica de Cheringoma, em terrenos calcários terciários, sendo que as espécies arbóreas mais comuns são a adansónia digitada, S*terculia appendiculata, Cordyla africana e Combretum spp* (MUCHANGOS, 1999). Durante a época chuvosa, vastas áreas à volta do lago Urema e das planícies de inundação estão inundadas dando origem a pastagens flutuantes e a nenúfares brancos. Este crescimento viçoso e verdejante contrasta com a camada murcha de erva castanha comum na época seca.

Na região este da bacia hidrográfica do rio Púnguè, é notória a ocorrência de gramíneas e da vegetação inundada, esta última nas partes mais baixas e próximas aos rios. Na direção da costa, na planície de inundação, ocorrem comunidades de mangal nas ilhas inter-ribeirinhas e nos terrenos lamacentos do estuário do Púnguè.

As formações vegetais que ocorrem na bacia hidrográfica do rio Púnguè estão associadas a uma diversidade de recursos florestais madeireiros e não madeireiros, sendo que os madeireiros destaca-se a ocorrência de *Pterocarpus angolenses* (Umbila), *Afzelia quazensis* (Chanfuta), *Aniba rosaedora* (Pau-rosa), *Androstachys johnsonii* (Mecrusse), *Brachystegia spiciformis* (Messassa), *Millettia stuhlmanni* (Panga-panga) e *Dalbergia melanoxylon* (Paupreto) e os produtos florestais não madeireiros utilizados para alimentação (frutos silvestres), plantas herbáceas, lenhosas utilizadas como fonte de medicamento tradicional e o capim para a cobertura das casas e outras utilidades na construção.

Os tipos de cobertura de terra na bacia hidrográfica do rio Púnguè, se resume em 4 tipos principais, nomeadamente: floresta, matagal, pradaria e mangal (vide a figura 7 e a caracterização na tabela 5).

Figura 7 – Mapa de tipos de vegetação na bacia hidrográfica do rio Púnguè



Fonte: Bolfe *et al.* (2011) / Organizado pelo autor

Tabela 5 – Tipos de cobertura de terra que ocorrem na bacia hidrográfica do rio Púnguè

Tipo de cobertura da terra	Características
Floresta alta	A floresta alta é composta por três estratos, sendo, o estrato dominante composto por árvores com alturas superiores a 18 m, o estrato codominante composto por árvores com alturas entre 12–15m, e o estrato baixo (sob piso) com árvores com alturas entre 4–7 m. A floresta alta divide-se em floresta alta densa, floresta alta de densidade média e floresta alta aberta. Ao longo da bacia hidrográfica do rio Púnguè, neste tipo de cobertura da terra predominam a *Uapaca sp., Hirtella zanzibarica e Brachystegia spiciformis.*
Floresta baixa	Este tipo de cobertura da terra é caracterizado por apresentar um estrato superior com altura média de 13 m (entre 12-15 m), e presença de um estrato herbáceo e somente dois estratos arbóreos diferenciados, o mais alto com 12–15 m, e o mais baixo com 5–10 m. A floresta baixa também apresenta três subtipos (floresta baixa densa, floresta baixa medianamente densa e floresta baixa aberta).
Matagal	O matagal envolve o mosaico de formações vegetais baixas, predominantes arbustivas ou semi-arbóreas, e cuja origem pode natural (sob certas condições climáticas e edáficas) ou antropogênico (degradação como resultado das queimadas, sobre exploração ou sobre pastoreio das florestas altas e baixas). O matagal é dividido em 3 classes, sendo matagal alto, médio e baixo.
Pradaria	A pradaria tem como principal característica, a dominância do estrato de gramíneas com presença herbáceas no seu inferior. Elas podem ser arborizadas (predominância de gramíneas com árvores dispersas, e uma cobertura de árvores e/ou arbusto a rondar os 20%) ou não arborizada (predomínio de estrato herbáceo-gramíneo, podendo ser encontradas árvores e/ou arbustos dispersos).
Mangal	Os mangais configuram-se como associações homogéneas das espécies *Rhizophora mucronata, Avicennia* marina, *Sonneratia alba* etc., desenvolvendo-se na faixa costeira, sobretudo na sub-região estuarina.

Fonte: FNDS. Relatório do Mapa de Cobertura Florestal de Moçambique 2016, 2019.

4.1.1.3 – Fauna

Por mais que a fauna não foi utilizada na delimitação dos geossistemas, é importante que a diversidade faunística seja destacada, pois a mobilidade da fauna é responsável por dispersar a vegetação no território. No geral, a República de Moçambique possui significativa diversidade de espécies de fauna, cuja distribuição geográfica é influenciada por uma variedade de fatores com destaque os latitudinais, altitudinais, climáticos e biológicos (MUCHANGOS, 1999).

A elevada diversidade da fauna ao nível da bacia hidrográfica do rio Púnguè, ocorre no vale tectónico do Urema-Zangue e nas regiões de savana com estrato herbáceo abundante, coincidindo com a área de conservação permanente (Parque Nacional de Gorongosa). Nesta sub-região da bacia concentram-se numerosos mamíferos existentes em Moçambique, dentre os quais os grandes herbívoros como a zebra o búfalo, a girafa, a impala e o rinoceronte. Nas planícies e vales são comuns várias espécies de antílopes, dos quais se destacam o lande, que é maior antílope africano,

o chengane (menor antílope moçambicano), o chango e o cabrito do mato. São também comuns nesta sub-região, nas planícies e vales, várias espécies de pequenos e grandes carnívoros, dos quais se salientam o leão, o leopardo, chacal, gato selvagem e a chita e as áreas de fraca cobertura vegetal, vive o pangolim que se alimenta de insetos, sobretudo formigas (MUCHANGOS, 1999).

No rio Púnguè e nos seus afluentes, incluindo em lagoas, a Tilápia mossambica é a espécie de peixe mais típica. Entretanto, ocorrem diversos outros tipos de peixe com denominações locais em Sofala como são os casos de peixe mussopo, peixe mambuta, peixe mutchene, peixe ngamba, peixe conocono e peixe tsimo, para além da ocorrência de camarão e lagosta da água doce.

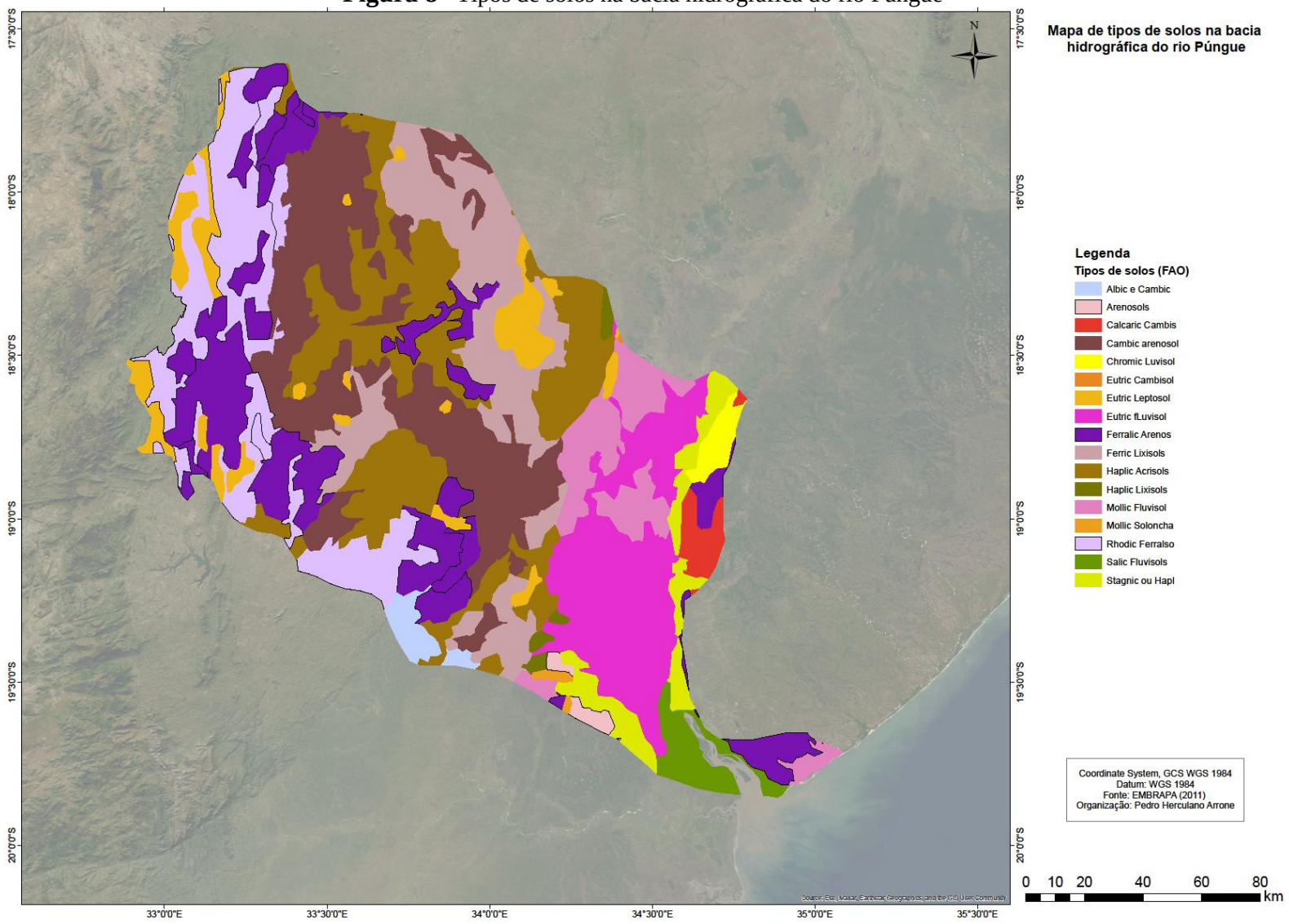
Dos répteis que ocorrem na bacia hidrográfica do rio Púnguè, destacam-se os cágados, várias espécies de cobras, osgas, lagartos, camaleões, que habitam em geral nas áreas florestais, mas também ocorrem nas montanhas e outros ainda são anfíbios como os crocodilos, tartarugas e algumas espécies de lagartos. Entre os repetis merecem especial menção o crocodilo, o maior réptil anfíbio da água doce (MUCHANGOS, 1999).

As aves habitam as florestas e savanas ao logo da bacia hidrográfica do rio Púnguè, nas regiões costeiras, nas planícies, nos planaltos, nos vales e nas montanhas. Os mais comuns são a avestruz, o albatroz, a gaivota, os corvos, as garças, a cegonha, o flamingo, a perdiz, a codorniz, a galinhola, a águia, o abutre, a rola, o pombo verde, a andorinha, o beija-flor e o peito-celeste (MUCHANGOS, 1999).

4.1.1.4 – Solos

Os solos também não foram considerados na delimitação dos geossistemas, mas é fundamental entender as características da cobertura pedológica da área em estudo, pois nos permite compreender processos de evolução da paisagem, a exemplo da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica. A distribuição espacial dos diferentes tipos de solos que ocorrem na bacia hidrográfica do rio Púnguè está relacionada a determinados fatores como as características geológicas (rocha mãe), particularidades geomorfológicas e microclimáticas, pois, estes fatores também variam espacialmente ao nível da bacia, conforme a Figura 8.

Figura 8 –Tipos de solos na bacia hidrográfica do rio Púnguè



Fonte: Bolfe *et al.* (2011) - organizado pelo autor.

Na bacia hidrográfica do rio Púnguè, a variação espacial das características geológicas, combinada com a variação espacial das condições climáticas e geomorfológicas, resultou numa variação espacial dos tipos de solos, onde se distinguem ao longo da bacia as seguintes classes de solos, definidas pelo mapeamento coordenado por Bolfe *et al.* (2011) adotando a classificação da FAO:

- *Albic e Cambic* – solos arenosos e castanhos, profundos, decorrentes da alteração de rochas do Pré-Cambriano;
- *Arenosols* – são materiais de origem arenosa com pouca diferenciação pedogenética. Foram grandes depósitos de materiais arenosos muito profundos, formados por depósitos arenosos, possivelmente de origem eólica;
- *Calcaric Cambis* – solos pouco profundos sobre rocha calcária, com textura Franco-argilo-arenoso castanho e profundidade moderada. A sua drenagem que varia de imperfeita a boa;
- *Cambic Arenosol* – solos arenosos castanhos-acinzentados e de drenagem pouco excessiva. São solos profundos decorrentes da alteração de rochas do Pré-Cambriano;
- *Chromic Luvisol* – solos argilosos vermelhos, moderadamente profundos, derivados a rochas calcárias e apresentam boa drenagem;
- *Eutric Cambisol* – Solos de textura média, Franco-argilo-arenoso castanho, com profundidade moderada, derivados de rochas sedimentares, apresentando boa drenagem;
- *Eutric Fluvisol* – solos formados por aluviões estratificados de textura grossa, com drenagem que varia de imperfeita a má, formadas por depósitos aluvionares quaternários;
- *Eutric Leptosol* – solos líticos, com horizonte superficial arável, que apresenta textura Franco-arenoso, castanho, solos pouco profundos, ocorrendo geralmente em regiões declivosas das montanhas e com drenagem excessiva;
- *Ferralic Arenos* – são solos que apresentam caraterísticas diferentes a depender da feição do relevo em que ocorre a sua gênese. Nas encostas inferiores dos interflúvios, esses solos apresentam textura arenosa castanho avermelhado, e formam solos profundos. Em Colinas baixas, formadas por rochas calcárias, esse solo apresenta textura predominantemente formada por Areia grossa, castanho-avermelhado-escura, e formam perfis profundos. E, as planícies essa classe de solo forma-se com a textura

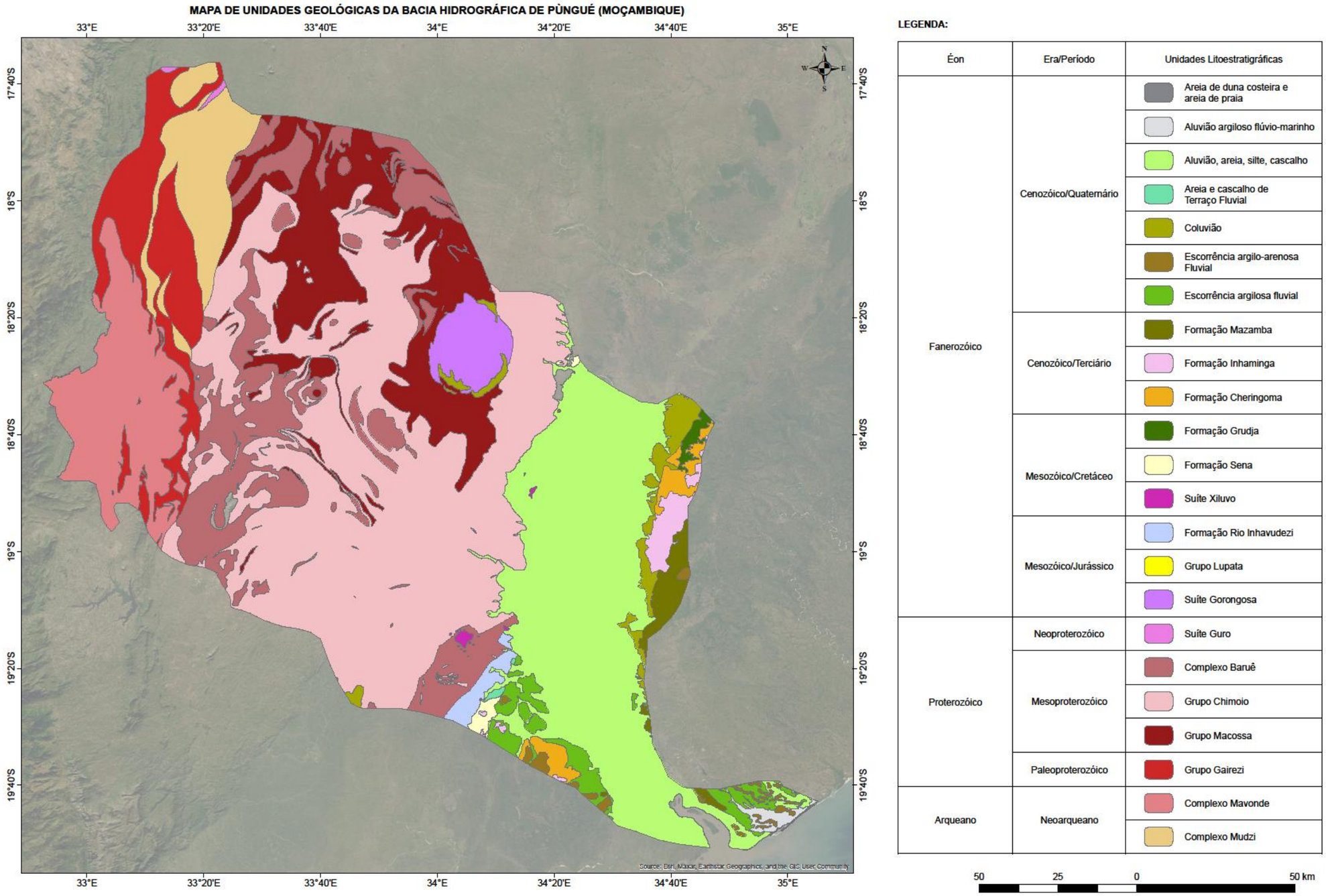
predominantemente franco-argilo arenosa castanho amarelado, formados por materiais de origem coluvial;

- *Ferric Lexisols* – solos vermelhos de textura média, franco-argilo-arenosos, castanho amarelado, decorrentes da alteração de rochas do Pré-Cambriano em ambiente úmido, permitindo a formação de perfis profundos com boa drenagem;
- *Haplic Acrisols* – solos castanhos de textura arenosa, franco-argilo-arenoso castanho, decorrentes da alteração de rochas do Pré-Cambriano em ambiente úmido, permitindo a formação de perfis profundos com drenagem moderada;
- *Haplic Lixisols* – solos de textura média, franco-argilo-arenoso, castanho avermelhado, moderadamente profundo e com boa drenagem. São formados por depósitos de mananga;
- *Molic Fluvisol* – solos formados por aluviões argilosos, típicos de fundos de vale, apresentam textura argiloso castanho, acinzentado escuro, formando perfis profundos com drenagem que varia de moderada a má, decorrente do processo de hidromorfismo;
- *Mollic Soloncha* – são solos formados por coluviões argilosos de mananga (pedissedimento de clima de savana, com longa estação seca, desenvolvida por cima de granulometria grosseira e muito siliciosa (DIJKSHOORN, 1993)), com textura argilosa, castanho acinzentado escuro, solos profundos, típicos de depressões circulares no sopé de encostas. São solos profundos com drenagem que varia de moderada a má, decorrente do processo de hidromorfismo;
- *Rhodic Ferralso* – solos argilosos vermelhos óxicos, castanho, avermelhado escuro, solos profundos, com boa drenagem;
- *Salic Fluvisols* – solos sedimentares marinhos estuarinos, associados à planície marinha. Apresentam deficiência de drenagem que varia de má a muito má, mesmo apresentando perfis profundos. Pode ocorrer processos de podzolização, formando horizontes cimentados.
- *Stagnic ou Halp* – solos de mananga com cobertura arenosa, com granulometria variável, e drenagem imperfeita associadas a fundos de vales.

4.1.1.5 – Geologia e Relevo

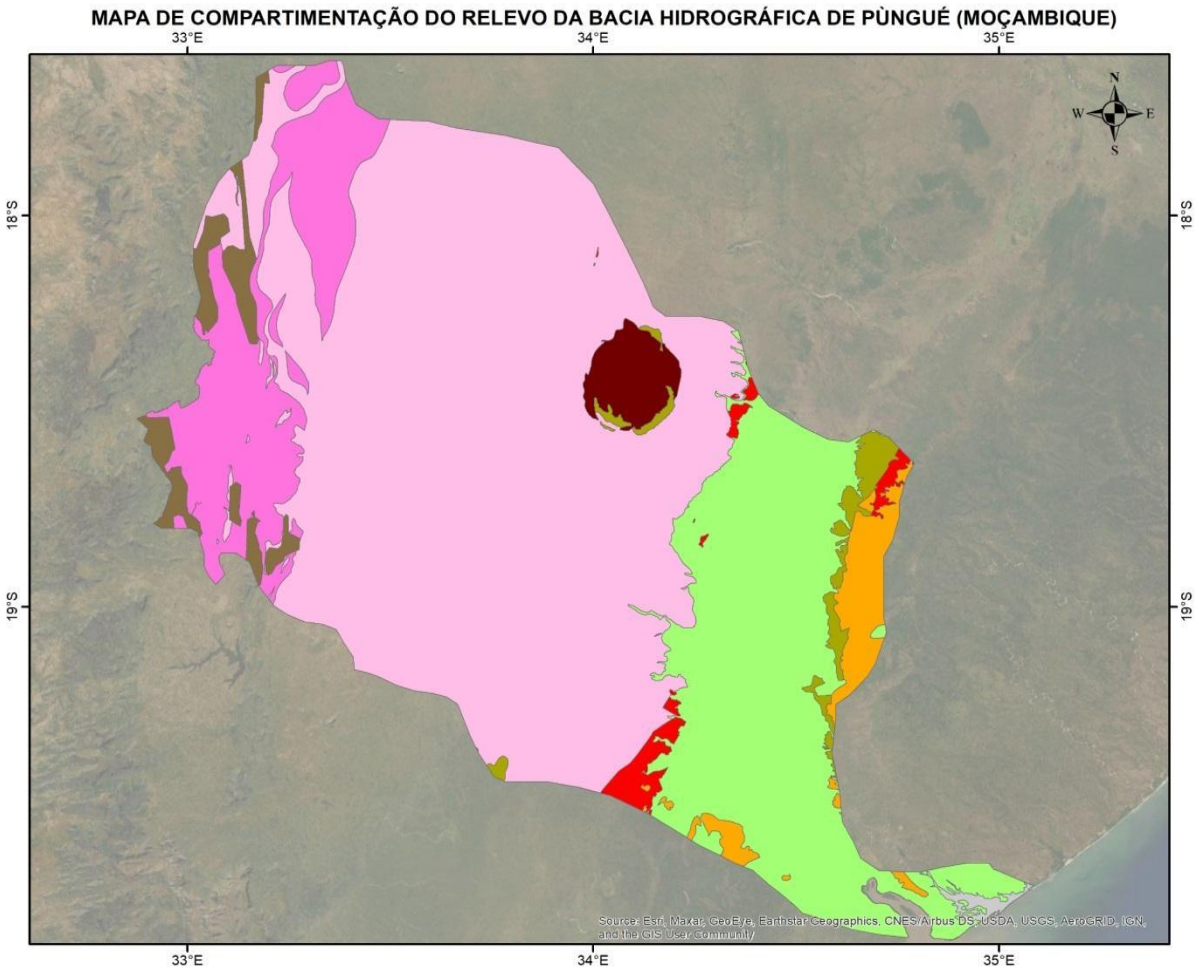
Na bacia hidrográfica do rio Púnguè é formada uma variedade litológica decorrentes dos processos morfogenéticos responsáveis pela formação e alteração das rochas. Optou-se por discutir as características geológicas e geomorfológicas tendo como ordem as unidades Morfoestruturais. Na área em estudo, a litologia pode ser agrupada em quatro (04) unidades morfoestruturais: Crátons Neoarqueanos (rochas formadas no Neoarqueano), Cinturões Moveis Neoproterozóicos (formadas ao longo do Proterozóico), Bacias e Coberturas Fanerozóicas (datadas do Mesozóico) e Depósitos Sedimentares do Terciário e Quaternário, e apresentando as formas de relevo associadas, conforme pode-se identificar na Figura 9 e na Figura 10.

Figura 9 – Mapa de Unidades Geológicas da bacia hidrográfica do rio Púnguè



Fonte: GTK (2006) /Organizado pelo autor

Figura 10 – Compartimentos geomorfológicos da bacia hidrográfica do rio Púnguè



LEGENDA:

Domínios morfoestruturais	Processos predominantes	Formas de relevo predominantes					
		Formas de Acumulação Fluvial	Formas de Acumulação Fluviomarinha	Rampas de Colúvio	Tabuleiros	Colinas e Morros Isolados	Serras
Depósitos Sedimentares Quaternários	Formas resultantes do processo de acumulação						
Depósitos Sedimentares Terciários	Formas resultantes do processo de dissecação						
Bacias e Coberturas Fanerozóicas	Formas resultantes de arqueamento (Estrutura Dômica)						
	Formas resultantes do processo de dissecação						
Cinturões Móveis Neoproterozóicos							
Crátons Neoarqueanos							

40 20 0 40 km

Fonte: GTK (2006). Organizado pelo autor.

4.1.1.5.1 – Crátons Neoarqueanos

Os Crátons Neoarqueanos na bacia hidrográfica do rio Púnguè estão representados por complexos de Mavonde e de Mudzi. O complexo de Mavonde enquadra-se geograficamente junto à fronteira de Moçambique com Zimbábue numa faixa de aproximadamente de 200 km, situando-se entre as cidades de Manica e Chimoio. Por sua vez, o complexo de Mavonde envolve formações de Manica, Macequece e Vengo (Figura 9).

A litologias do complexo de Mavonde compreende o gabro, o granito porfirítico e granodiorito, os ortognaisses máficos a intermediários, o Granito massivo, o Granodiorito tonalítico, o Granito; o Gnaisse TTG e Gnaisse TTG bandados. O stocks quartzo-diorito-tonalito-granodiorito de Penhalonga, datados em 2741, mais ou menos 3Ma constituem a intrusão mais antiga no cinturão das rochas verdes (GTK, 2006).

Em relação a eventos geológicos e idades associadas, o magmatismo tonalítico com a idade de >3000 Ma a norte do cinturão de rochas verdes Odzi-Mutari-Manica, o magmatismo tonalítico corresponde aproximadamente 2900 Ma a sul do cinturão de rochas verdes Odzi-Mutari-Manica e o magmatismo granítico a granodiorítico com uma idade entre 2700-2500 Ma (GTK, 2006).

O grupo de Manica é caracterizado predominantemente por intrusões básicas, formando uma sequência basal, Vulcano-sedimentar e uma superior dominada por sedimentos (MUCHANGOS 1999, GTK, 2006). Este grupo, envolve formações do soco cristalino granitoide e formações de cinturões, com rochas datadas a > 2500 Ma. Por sua vez, este grupo integra as formações Vengo e Macequece.

A formação de Macequece é predominantemente constituída por metavulcânicas ultramáficas e máficas, apresentando elementos derivados retrogressivos e metassomáticos, como serpentinitos e talco±clorita±tremolita±xistos, com intercalações de formações ferríferas bandadas, *metacherts* e conglomerados polimícticois, cobertas por rochas meta vulcânicas andesíticas a radioativas de origem predominantemente piroclástica (GTK, 2006)

A geoquímica das rochas meta vulcânicas de Macequece mostra um amplo leque de composições com tufos a cristal mais ácidos no campo dos riolitos, os feldspatos pórfiros no campo de riodacitos a dacitos e as vulcânicas máficas e intermediárias no campo dos andesitos e basaltos sub-alcalinos, (GTK, 2006). De base para o topo registam-se: serpentinito e meta-

komatiito (A3MMsc), talco-clorita-xistos (A3MMtc), rocha metavulcânica máfica e ultramáfica (A3MMro), meta basalto e xisto máfico (A3MMba), rocha metavulcânica máfica a intermediária (A3MMtu), brecha (A3MMbr), rocha ferrífera bandada (A3MMtcf), *metachert* (A3MMch), formação ferrífera bandada (A3MMbaf), quartzo-sericita-xisto (A3MMqss), cristal (A3MMff), metagré lítico rico em ferro (A3MMss), tufo félsico a cristal (A3MMff), quartzo feldspato pórfiro (A3MMqp), brecha tufo (A3MMtb), conglomerado vulcânico (A3MMvc), rocha vulcânica intermediária (A3MMiv), aglomerado (A3MMag) e rochas metavulcânicas félsicas (A3MMfv), (GTK, 2006).

A formação de Vengo compreende uma faixa de meta-conglomerados, integrando seixos de granitoides arqueanos subjacentes à sericita-clorita xistos e filitos, para além xistos negros e algumas representações de mármore. As litologias maiores compreendem conglomerados basais, grafita-filitos e sericita-quartizito lítico ferruginoso. Da base para o topo, observam-se conglomerados vulcânicos (A3MVo), conglomerado polimítico (A3MVclo), quartzito (A3MVqz), metagrauvaca (A3MVgy), filito e grafita-xisto (A3MVps), rocha ferrífera bandada (A3MVfe), metachert (A3MVch), mármore (A3MVma), quartzo-sericita xisto (A3MVqs) meta-arcóseo e quartzito arcóseo (A3MVar) e micaxisto (A3MVmc). As rochas da formação de Vengo, possuem uma idade entre 2613 e 2601 Ma (GTK, 2006).

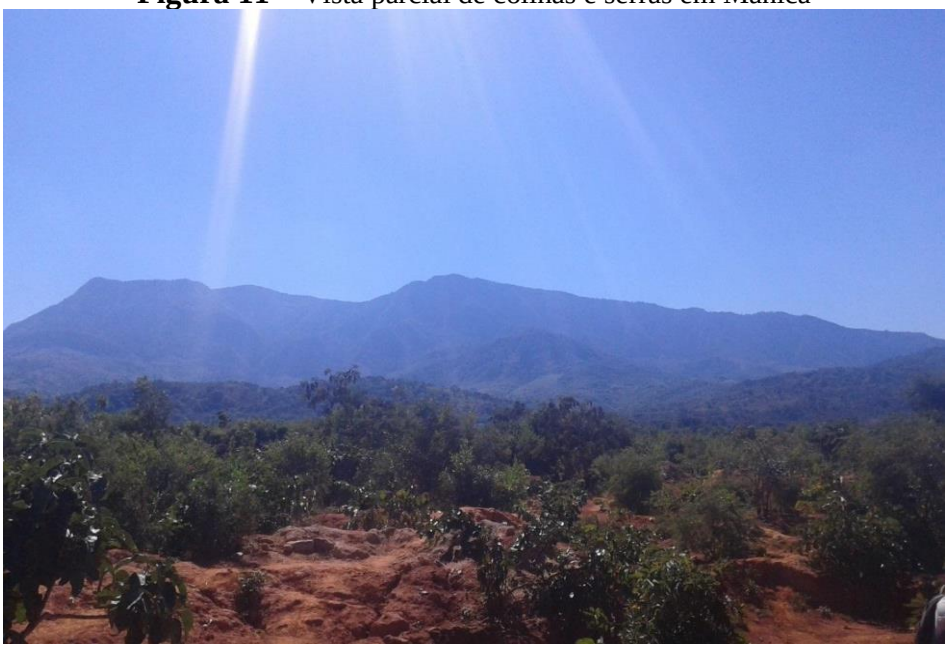
Na sequência, o complexo Mudzi constitui uma continuidade da margem norte do cráton Zimbábue, estendendo-se continuamente no território moçambicano na sub-região de Cuchamano, povoado de Mudzi Chizimwe, que por sinal a designação do complexo, coincide com o nome do povoado. A litologia do complexo de Mudzi ocorre em forma de estruturas dômicas de gnaisses arqueanas datadas a 2710–2630 Ma ou sequências de gnaisses bandadas arcáicas empilhadas por empurrões, com a separação do embasamento/cobertura e com intercalações de metagabros arcaicos, que possuem um mergulho suave a sul (GTK, 2006).

Em termos litológicos, os ortognaisses félsicos do complexo de Mudzi envolvem quartzo-monzonitos/quartzo-monzodiorito (A3Mqm), granitóide foliado, localmente porfirítico (A3mgr) e Gnaisse TTG, granitóide foliado (A3Mgn) com idades U-Pb magmáticas variado de 2600 a 2710 Ma. Os membros máficos subordinados incluem gnaisse granodiorítico contendo bandas anfibolíticas (A3Mgd), metagabro (A3Mgb) e anfibolito/granada-anfibolito (A3Mam). O complexo de Mudzi inclui uma relativa pequena área composta por gnaisses com protólito sedimentar, para além da granada-gnaisse (AzMgg), (GTK, 2006).

Em relação a eventos e idades associadas, destaca-se o metamorfismo durante o Mesoarqueano (±3,0 Ga), retrabalhadas e rehidratadas sob condições de fácies anfibolíticas no Neoarqueano (±2,6 Ga) e recristalizadas durante o Pan-Africano (~500 Ma), (GTK, 2006).

Os serpentinos, horizontes conglomeráticos e algumas séries Vulcano-sedimentares, representam as formações montanhosas escarpadas, como ilustra a figura 11.

Figura 11 – Vista parcial de colinas e serras em Manica



Fonte: dado obtido pelo autor no distrito de Manica.

Por outro lado, os metapelitos e outras formações rochosas menos resistentes a processos erosivos dão lugar a vales profundos (MUCHANGOS, 1999). A faixa do complexo de Mavonde, situando-se entre as cidades de Manica e Chimoio, se caracteriza por uma paisagem colinas suaves e morros isolados, com raros e inconspícuos inselbergs. O extremo oeste do complexo de Mavonde é caracterizada pela predominância de escarpas serranas, sendo as mais elevadas do complexo (GTK, 2006).

4.1.1.5.2 – Cinturões móveis Neoproterozóicos

A unidade morfoestrutural de Cinturões Móveis Neoproterozóicos ao nível da bacia hidrográfica do rio Púnguè enquadra-se na sub-região central da bacia, com representações litológicas do Complexo Baruè, envolvendo o Grupo Chimoio (com representações litológicas mais predominantes), Grupo Macossa e Grupo Gairezi (na sub-região ocidental da bacia) e a Suíte Xiluvo. Não obstante, está representado de forma isolada o Complexo Mavonde, através de algumas litologias isoladas do Grupo Manica.

O Complexo Báruè integra na sua composição rochas plutônicas, félsicas e máficas, para além de uma diversidade de ortognaisses de afinidade granítica a tonalítica, metadiorito, metagabro e hornblenda. A litologia do Complexo Báruè incluí gnaisses quartzo granatíferos, feldspáticos e micáceos, bem como migmatitos, com intercalações menores de quartzitos, mármores e localmente por rochas máficas (GTK, 2006).

As margens leste e sul do Complexo Baruè ocorrem Formações Karoo e coberturas mais jovens limitadas por falhas ou inconformidades. A margem oeste é uma considerável sub-região de cisalhamento dextrógiro, que ocorre ao longo da margem leste exposta do cráton arcaico. No extremo norte, o Complexo Baruè termina através duma frente de empurrão direcionada ao norte (GTK, 2006).

Os protólitos sedimentares destas litologias correspondem mais provavelmente a uma sequência turbidítica monótona, depositada sobre a margem continental passiva e empurrados sobre a margem do cráton zimbabuano durante o ciclo orogênico Grenvilleano (~1.1-1.0 Ga) (GTK, 2006).

Os granitóides do Complexo Báruè apresentam idades de cristalização com cerca de 1100 Ma, associando-se ao Grenviliano e as formações metamórficas com uma idade de cerca 500 Ma, correspondendo à fase final orogenia pan-africana (GTK, 2006).

O Grupo Chimoio, constitui parte integrante do Complexo Báruè e é constituída maioritariamente em paragnaisses migmatíticos Neoproterozóicos e rochas metassedimentares Neoproterozóicas, apresentando deformações acentuadas, assemelhando-se localmente a gnaisses granulíticos. Não obstante, ocorrem com alguma significância uma série de metadolomitos (P2db) (GTK, 2006).

A composição do Grupo Chimoio resume-se em metassedimento siliciclásticos (P2BMar), gnaisse monte Chissui, biotita gnaisse félsico e metagranito (P2BCfg), paragnaisses

migmatíticos (P2BCmi), metagranito a granada e paragnaisses (P2BCmg), hornblenda gnaisse e anfibolito (P2BCch) e mica xisto e mica gnaisse (P2BCch). Quanto à idade, para metassedimentos estima-se entre 1000 a 1100 Ma, sendo que a rocha mãe dos sedimentos seria da idade Mesoproterozóica. (GTK, 2006).

O Grupo Macossa, parte integrante do Complexo Báruè, é constituída porparagnaísses migmatíticos Neoproterozóicos e rochas metassedimentares Neoproterozóicas. O grupo Macossa compreende o gnaisse leucocrático (P2BMlc), gnaisse quartzo-feldspático (P2BMqf), meta-arcósio (P2BMar), quartzito feldspático (P2BMfq), granada-silimatic gnaisse, mica gnaisse e metagrauvaca (P2BMsi), mármore (P2BMma) e gnaisse calco-silicatadas (P2BMcc) (GTK, 2006). Quanto à idade, para metassedimentos estimam-se entre 1000 a 1100 Ma, sendo que a rocha mãe dos sedimentos seria da idade Mesoproterozóica (GTK, 2006).

O Grupo Gairezi é representado por metassedimentos deformados, ocupando uma faixa estreita junto à fronteira de Moçambique com Zimbábue e registam-se texturas em dúplex, compostas por porções de gnaisses arcaicos e metassedimentos proterozóicos carreados e dobrados. A litologia do Grupo Gairezi compreende diversas rochas pélicas como xistos moscovítico-biotíticos (P1Zss), micaxistos porfiroblásticos (P1Zms) e micaxistos arenosos (P1Zas). Na sequência, ocorrem também sacaróides (P1Zqs) os quais formam a impressionante cadeia montanhosa de Sitatonga, orientada N-S, a qual representa uma superfície de escorrência contra a formação de Umkondo (GTK, 2006).

As rochas de sucessão metassedimentar para-autótene do Grupo Gairezi datam a ~2.04 Ga, numa garganta alongada bordejando a margem oriental do cráton do Zimbábue. São considerados como representando relíquia de um cinturão dobrado e carreado com convergência para oeste, tectonicamente cobrindo a margem oriental do cráton do Zimbábue, formado durante o ciclo orogênico Grenviliano (COG) a ~1.1 Ga. O COG foi acompanhado por um metamorfismo de grau anfibolito, em conjunto com a instalação de granitóides pré-a-sincinemáticos e migmatização dispersa (GTK, 2006).

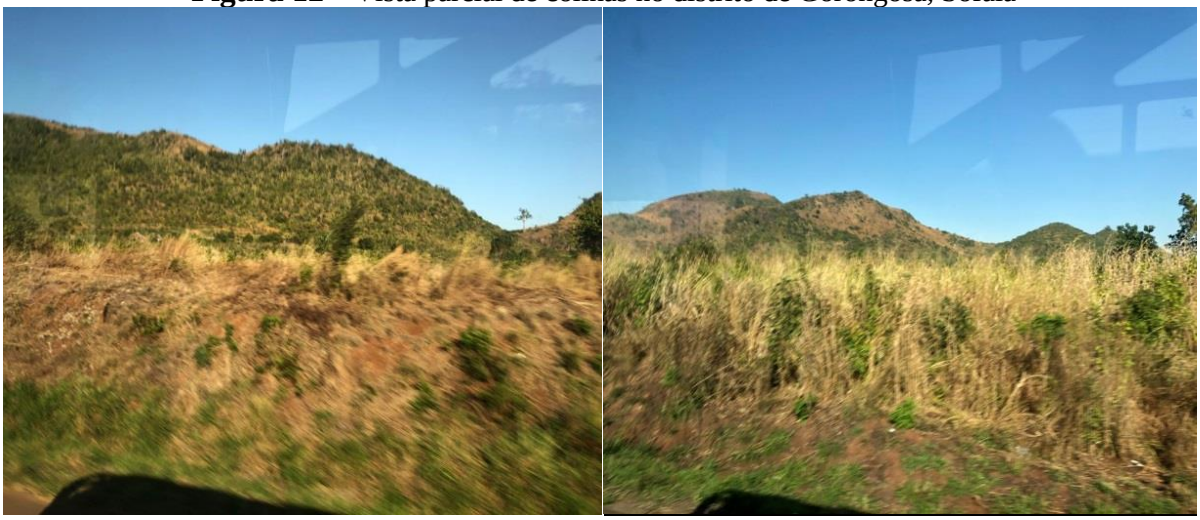
O Grupo Manica é caracterizado predominantemente por intrusões básicas, formando uma sequência basal, Vulcano-sedimentar e uma superior dominada por sedimentos (MUCHANGOS 1999; GTK, 2006).

A Suíte Xiluvo é composta por sovita e alvikita, sendo caracterizada por uma série de elevações, formando comummente uma estrutura subcircular, com 5,5 km de diâmetro. A Suíte

Xiluvo é formada por uma estrutura anelar que envolve núcleo central constituído por carbonato e calcita, um anel ao redor do núcleo central compostas por brechas vulcânicas e uma zona externa muito complexa ao redor do anel, na qual as rochas traquíticas e porfiríticas cortam densamente a rocha quartzo-feldspática encaixantes (GTK, 2006).

Em relação às formas de relevo na sub-região dos Cinturões Móveis Neoproterozóicos, importa referenciar que duma forma geral, compreende extensas áreas dominadas por formações geomorfológicas tipo colinas (figura 12) (baixas elevações de terreno com topos arredondados quase a planos, amplitude entre 20 a 60 metros e declividades baixas (FLORENZANO, 2008), depressões interplanálticas elaborados em terrenos dobrados e falhados, incluindo principalmente metamorfitos e granitóides associados.

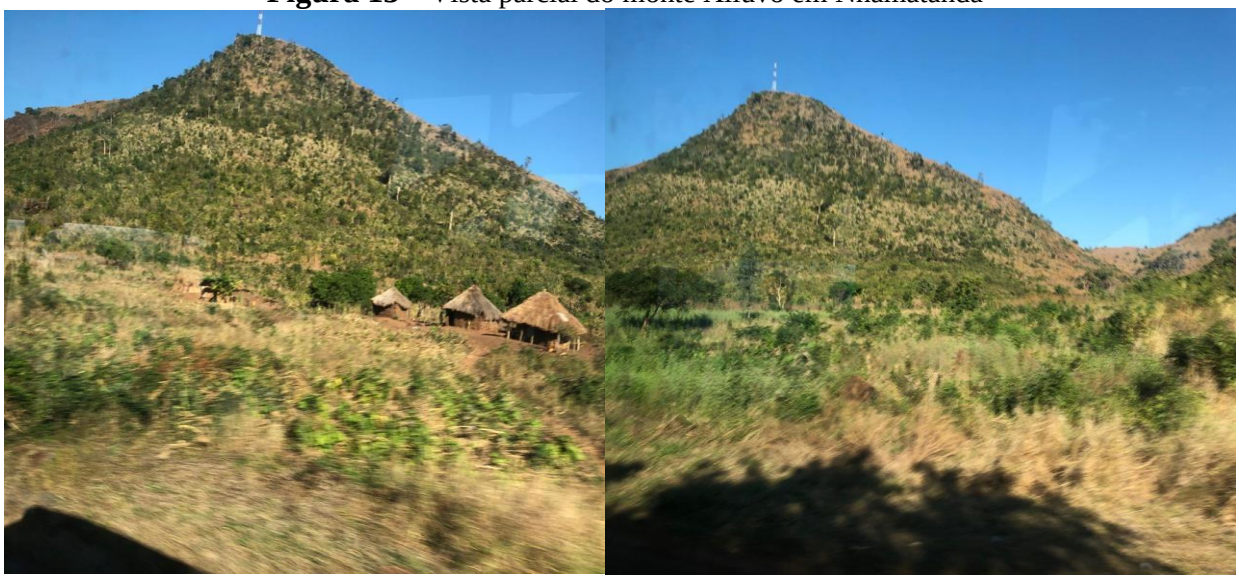
Figura 12 – Vista parcial de colinas no distrito de Gorongosa, Sofala



Fonte: dados obtidos pelo autor no distrito de Gorongosa.

Esta unidade morfoestrutural é também caracterizada pela ocorrência localizada de montes residuais ou cristas intrudidas, de altitudes variáveis, que se disseminam pela paisagem, sobretudo na província de Manica. Estes relevos residuais e posicionais em forma de montes isolados são conhecidos por montes-ilhas ou morros isolados (MUCHANGOS, 1999), como evidencia a feição morfológica da Suíte Xiluvo que se ergue numa sub-região plana (vide figura 13). As chuvas intensas em uma estação do ano contribuem para o incremento da erosão, pelo que se observa ao nível da bacia hidrográfica do rio Púnguè espaços caracterizados morfologicamente como fases de erosão linear (ravinamento e formação de vales).

Figura 13 – Vista parcial do monte Xiluvo em Nhamatanda



Fonte: dados obtidos pelo autor no distrito de Nhamatanda.

4.1.1.5.3 – Bacias e Coberturas Fanerozóicas

A unidade morfoestrutural de bacias e coberturas sedimentares Fanerozóicas na bacia hidrográfica do rio Púnguè fazem se representar através das formações geológicas do Supergrupo Karoo (SK), envolvendo predominantemente as rochas da Suíte Gorongosa e a Formação rio Nhavudezi, Formação de Sena e Formação de Inhaminga.

O Supergrupo Karoo (SK) compreende uma sucessão de rochas sedimentares continentais, seguidas por derrames de lavas básicas e extrusões riolíticas, que atestam um processo de separação do Gondwana. A história deposicional do Supergrupo Karoo é composta por sequências glicogênicas, fluviolacustres, fluviais e magmáticas. Em geral, a sedimentação do Supergrupo Karoo compreende uma mudança progressiva das condições glaciais para as condições úmidas e frias para condições quentes, semiáridas e finalmente quentes e áridas. O supergrupo Karoo vai desde o Carbonífero Superior ao Jurássico Inferior, sendo que se subdivide em Karoo inferior e Karoo superior (GTK, 2006).

A Formação rio Nhavudezi compreende uma sucessão de basaltos, formando uma maior unidade a sul do povoado de Nhamatanda. Os basaltos da Formação rio Nhavudezi, formam rochas de cor cinza escura a verde acastanhada, de textura fina, amigdaloidal, geralmente afíricas (GTK, 2006).

As variedades porfiríticas com fenocristais de plagioclásio ocorrem localmente. As amígdalas preenchidas por calcedônia e zeólitas são comuns na parte superior dos fluxos da lava. Alguns dos fluxos da lava exibem disjunções colunares bem desenvolvidas. Biotita e clorita secundárias constituem acessórios mais comuns (GTK, 2006)

As lavas basálticas amigdalóides formam um cinturão contínuo com largura de 15 a 25 km. Estendem-se desde a fronteira com Zimbábue até cerca de 250 km no sentido nordeste. O contacto ocidental entre a formação do rio Nhavudezi e as metas lavas da formação de Espungabera, é tectônico. Por outro lado, a leste os basaltos da formação de Nhavudezi encontram-se principalmente cobertos por sedimentos não consolidados da formação do Sena (GTK, 2006).

A Formação Sena é caracterizada pela ocorrência de grés arcosóicos de grão médio a grosso, localmente com calhaus e conglomerados arenosos maciços, alterando com intervalo de silitos.

A Suíte Intrusiva de Gorongosa consiste em um núcleo félsico, circundado por rochas ígneas máficas, que juntos formam a Serra de Gorongosa. As litologias do seu núcleo compreendem micropegmatito-granito e sienito, composto por albita, ortoclásio, quartzo, clinoprioxênio e hornblenda, que intrudiu uma intrusão máfica mais antiga composta por gabro toleítico, norita e olivina gabro (GTK, 2006).

As formas de relevo associadas as bacias e coberturas sedimentares Fanerozóicas são predominantemente em forma de domo, majoritariamente representada pela Suíte Gorongosa. A Suíte Gorongosa é de forma dômica, que é uma estrutura circular resultante de processos magmáticos intrusivos que resultaram em arqueamento, com consequente formação da feição topográfica característica, conforme ilustra a Figura 14.

Figura 14– Vista parcial da serra de Gorongosa

Fonte: dado obtido pelo autor na Serra de Gorongosa.

Na Serra de Gorongosa nota-se escarpa inclinada oriental, formada por granito intercalado com ravinas florestadas enquanto o flanco oeste íngreme é profundamente estriado por drenagem radial (MUCHANGOS, 1999).

4.1.1.5.4 – Depósitos Sedimentares Terciários

A unidade morfoestrutural dos Depósitos Sedimentares Terciários ao nível da bacia hidrográfica do rio Púnguè é representada pelas Formações Mazamba (do mioceno-plioceno), Inhaminga (do Oligoceno superior) e Cheringoma (do eoceno-oligoceno).

A Formação Mazamba corresponde dominantemente uma sequência continental areno-gresso-conglomerática continental (TeZ) composto por depósitos detríticos de material não calibrado argilo-arenoso ou conglomerático jazendo no topo da dominante formação de Jofane, sendo que os seixos são compostos comumente por quartzo com proporções de grés sacaróide e carbonato (GTK, 2006).

Na sequência, a Formação Inhaminga compreende uma parte basal composto por grés micáceos, argilíticos de cor vermelho intenso a creme e de granularidade fino a médio. Os pequenos fósseis de gesterópodes e bivalves a litofácies associadas são indicadores de um meio

de deposição marinho litoral, com possíveis intercalações deltaicas. A parte superior da unidade possui granularidade grossa incluindo alguns seixos angulares de quartzo de veio. Em áreas localizadas a sucessão começa com conglomerado grosseiro, com seixos e matacões de granito, gnaisse, quartzito do embasamento e basalto Karoo, cimentado por uma matriz arenosa. A transgressão culminou no fim de miocénico e resultou numa sedimentação costeira, marinha de pouca profundidade no sentido oeste para ambientes continentais (GTK, 2006).

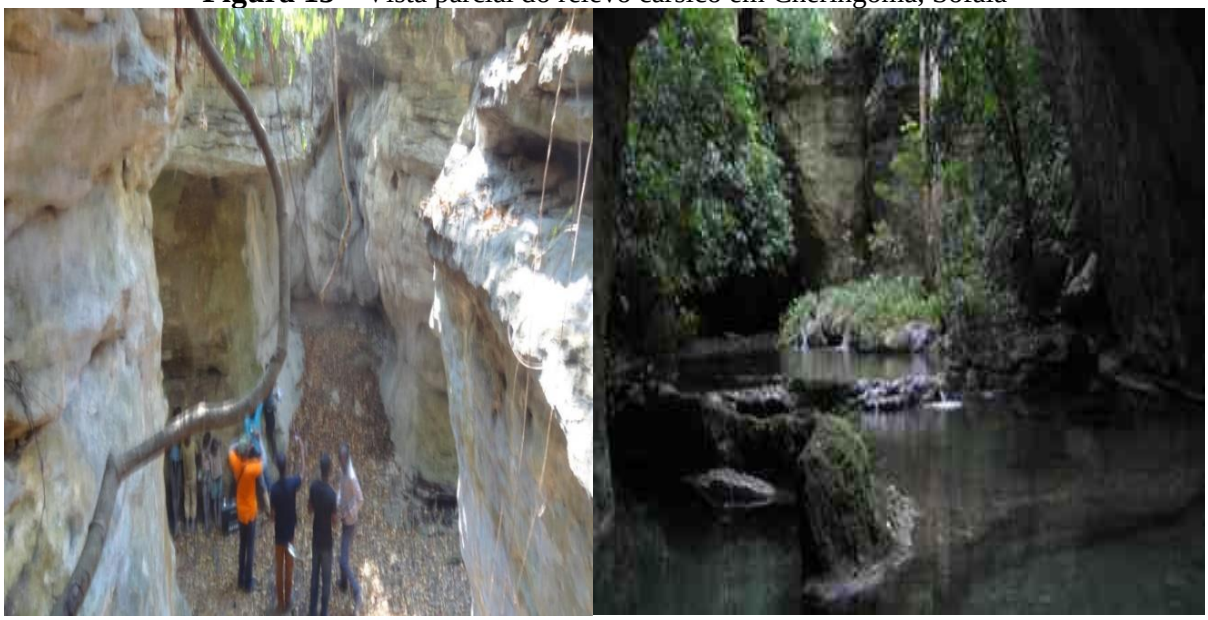
A Formação Cheringoma compreende calcáreos olíticos e brancos, enriquecidos em nummulites, com uma parte basal, glauconítico e pobre em fósseis. As rochas da formação de Cheringoma ocupam uma faixa de direção NE-SW, interrompida pelo gráben miocénico de Urema, ao longo do flanco oeste do Horst Inhaminga e oeste do gráben de Urema no flanco leste do rio Buzi e ao longo dos flancos do platô de Cheringoma (GTK, 2006).

Nas rochas calcárias, os estratos são caracterizados pela abundância de numultideos (conchas de caracóis) (como *Nummulites sp*, e *Nummulites atacicus*), *Discocyclina* a que se associam equinoides, briozoários, gastrópodes e algas calcarias, com *Lithothamnium sp*.

Geomorfologicamente, as áreas com depósitos sedimentares terciários na bacia hidrográfica do rio Púnguè, são dominadas por tabuleiro (formas de relevo de topo plano, desenvolvidas em rochas sedimentares, em geral limitadas por escarpas).

O limite em forma de escarpa nota-se numa orientação este a oeste, em direção a sub-região do Vale do *Rift*. Importa referenciar que ao mesmo tempo que se formava o vale do *rift* em representação na sub-região de Gorongosa, também se levantava o planalto de Cheringoma, parte integrante da bacia na sub-região nordeste, província de Sofala, sendo que emergiram também os maciços rochosos carbonáticos do monte Xiluvo a este da bacia (MUCHANGOS, 1999). Não obstante, uma área isolada ao longo das formações litológicas de Cheringoma ocorrem formações geomorfológicas de natureza cársica (as grutas de Cheringoma) como ilustra a figura 15.

Figura 15 – Vista parcial do relevo cársico em Cheringoma, Sofala



Fonte: dados obtidos pelo autor no distrito de Muanza.

4.1.1.5.5 – Depósitos Sedimentares Quaternários

A unidade morfoestrutural de Depósitos Sedimentares Quaternários é dominada por rochas da Formação Grudja, para além de depósitos coluviais, Aluvião, areia, silte, cascalho, escorrência argilosa fluvial e Aluvião argiloso fluviomarinho.

A Formação Grudja é composta por arenito glauconítico, com lamito calcário e arenito calcário subordinados e de cor amarelo-esverdeados, contendo fósseis de Lopha (*Alectronya ungulata*) na base, seguido por calcários maciços e fossilífero, com até 200 m de espessura. A Formação Grudja compreende estratos marinhos, iniciando com uma camada basal com *alectryonia ungulata,* que é usado como um horizonte marcante separando a formação de Grudja da Formação Sena, em um conjunto de uma descontinuidade e hiatos intra-senonianos. A formação Grudja é dominada pela ocorrência de calcarenitos ou calcarenitos glauconíticos, siltitos e margas (CrG) intercalados com calcários de menor proporção. Em alguns casos, observam-se variedades conglomeráticas com macrofauna marinha, atingindo grés glaucóniticos marcadamente enriquecidos em fósseis (GTK, 2006).

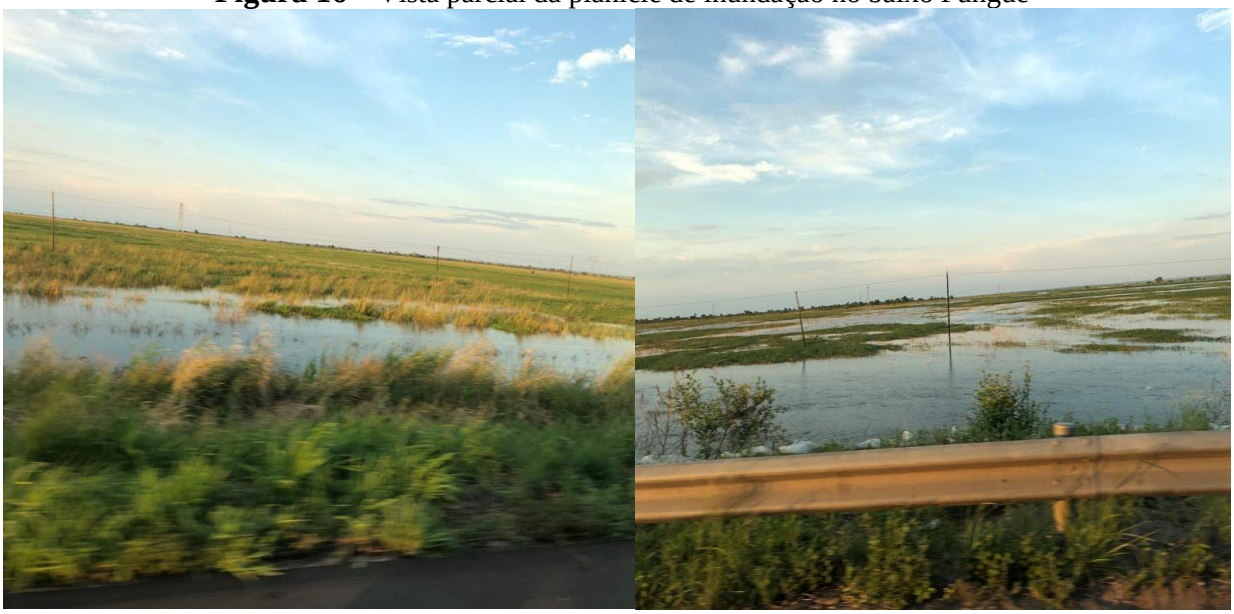
Os depósitos coluviais constituem depósitos desagregados, heterogéneos e inconsolidados, ocorrendo ao longo das subsidências tectónicas e no caso particular com maior expressão na depressão de Urema-Zanguè, mas também ocorrem ao longo dos rios (GTK, 2006).

A sub-região da Gorongosa é dominada pelo vale do Rift, cujo solo aluvial tem em média 40 km de largura e fica entre 15 e 80 m acima do mar nível. A drenagem centrípeta do piso do *Rift Valley* é coletada pelo Lago Urema que forma a parte mais baixa e como a bacia é parcialmente endorréica, constituem a base local efetiva nível. Quando preenchida, a sub-bacia deságua no rio Púnguè, que forma a parte sul limite do parque Nacional de Gorongosa. As bordas superiores da depressão sobem obliquamente para formar o Platô de Cheringoma (300 m) em seu lado oriental e a formação de Báruè, profundamente incisado (400 m) em seu lado oeste (TINLEY, 1977).

Os leques aluviais que se desenvolvem para fora dos lados do Rift Valley, obstruíram a drenagem do vale, resultando em um colar de pastagens inundadas sazonalmente, com savanas invadindo as convexas superfícies. Embora a obstrução não foi muito expressiva, assume extrema importância, pois forma a principal altura crítica controlando a drenagem das planícies do Vale do Rift, e é responsável pela parcial característica endorréica da bacia do Urema (TINLEY, 1977).

Na sequência, mais a jusante do rio Púnguè, no distrito de Dondo, torna-se mais notável a ocorrência de planície de inundação como ilustra a figura 16.

Figura 16 – Vista parcial da planície de inundação no baixo Púnguè



Fonte: dados obtidos pelo autor no distrito de Dondo.

4.2 – Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Púnguè

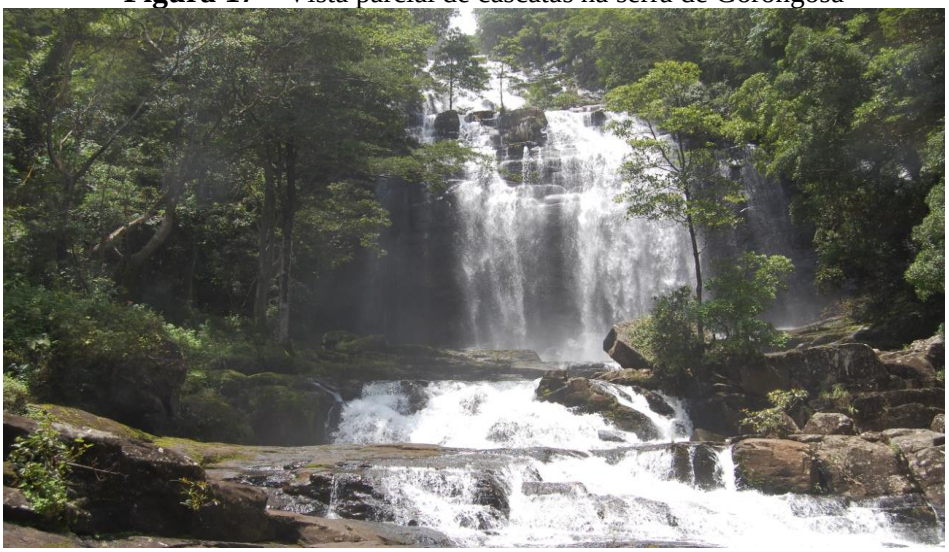
A bacia hidrográfica é um sistema aberto, e as trocas de matéria e energia são responsáveis por sua evolução. Entender a variação dos parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica permite entender os mecanismos de entrada, armazenagem, transformação e saída da matéria e energia desse sistema.

Na bacia hidrográfica do rio Púnguè, o principal rio é o Púnguè, com a nascente nas terras alta do Zimbábue e corre para este atravessando o território moçambicano através das províncias de Manica e Sofala, até a sua desembocadura no Oceano Índico, na cidade da Beira. Após atingir o território moçambicano, ele atravessa regiões montanhosas em vales estreitos, até atingir a planície na depressão de Urema. Através dessa depressão, durante as cheias do rio Zambeze (a norte deste), estabelece-se uma ligação temporária com aquele que transborda parte das suas águas, misturando-as e contribuindo assim para a elevação do caudal do rio Púnguè.

Os principais rios secundários são o Honde (1.245 km^2); Niazónia (2.846 km^2), Vanduzi (3.439 km^2) e Urema (8.402 km^2, incluindo Nhandugué). Na sub-região da serra de Gorongosa, ocorrem quatro rios principais, o Nhandare, Chitunga, Muera e Vundudzi, drenando o maciço em um padrão anelar, contribuído por riachos menores em um padrão radial. Os dois primeiros rios confluem no sopé da Serra de Gorongosa e fluem na direção o Sul até o rio Púnguè. Os dois últimos drenam para leste e atravessam o fundo do Vale do Rift até o Lago Urema. Os rios Nhandare e Vundudzi nascem na borda oeste da Serra de Gorongosa e atravessam todo o cume área ao sul em vales profundos em forma de V abaixo do contorno de 1.400 m (Muchangos, 1999; ASDI, 2005).

Na sequência, na serra de Gorongosa, devido ao desnível do terreno, localmente os rios desenvolvem cascatas localmente como ilustra a Figura 17, ganhando mais energia cinética e consequente poder desgaste e mobilidade de matéria e energia dentro do sistema.

Figura 17 – Vista parcial de cascatas na serra de Gorongosa



Fonte: dado obtido pelo autor na serra de Gorongosa.

Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 6, onde podem ser destacados as condições topográficas, os índices morfométricos e areais da bacia hidrográfica do rio Púnguè. Os dados fornecem um conjunto de informações que permitem a interpretação da influência das características fisiográficas no comportamento hidrológico e fenômenos associados ao nível da bacia hidrográfica do rio Púnguè, podendo ser um importante instrumento para o planejamento de ações de prevenção a processos erosivos e inundações.

Tabela 6 – Indicadores morfométricos da bacia hidrográfica do rio Púnguè

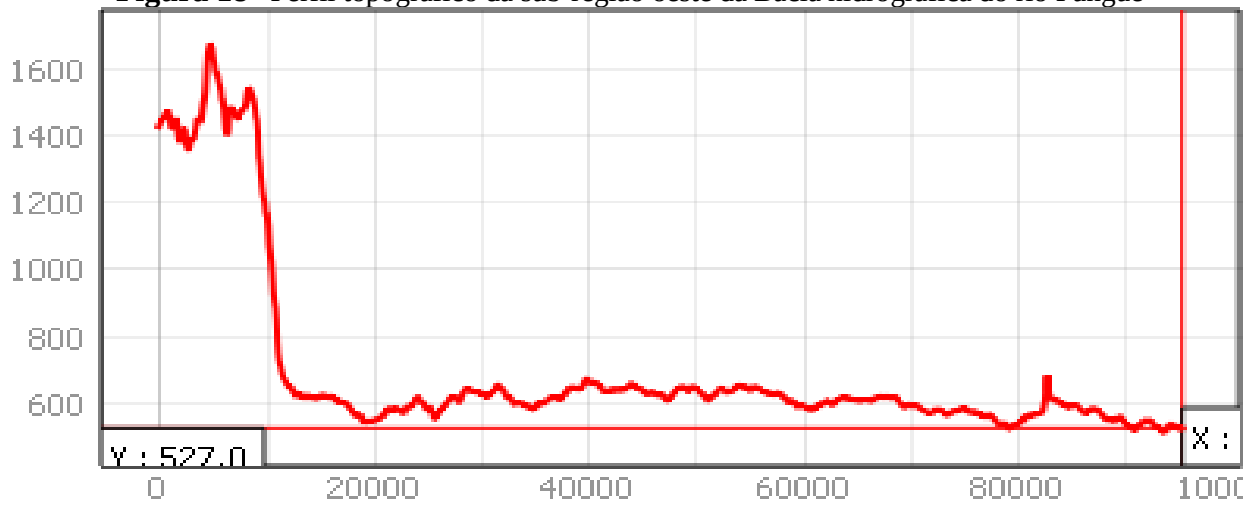
Variáveis morfométricas e areais	**Resultado**	**Observação**
Área da Bacia (A)	27.597,22	
Perímetro da Bacia (P)	923,72	
Comprimento do canal Principal (CP)	503,80	
Comprimento de todos os canais (CN)	7.092,15	
Largura axial da bacia (L)	297,72	
Largura axial do rio principal (L')	261,89	
Total de canais de drenagem	767	
Ordem de canais	6° Ordem	
1ª Ordem	572	
2ª Ordem	158	
3ª Ordem	28	
4ª Ordem	6	
5ª Ordem	2	
6ª Ordem	1	
Altitude máxima	1952	
Altitude mínima	-9	
Amplitude Altimétrica	1943	
Razão de Relevo	0,0075	Razão do relevo baixo, indicando para menor escoamento
Densidade de drenagem	0,2569	Drenagem pobre
Coeficiente de manutenção	389,18	
Índice de sinuosidade	1,49	Bacia com canais meândricos
Índice de circularidade	0,41	Baixa a média suscetibilidade a enchentes ou inundações
Coeficiente de compacidade (KC)	1,56	Baixa suscetibilidade a enchentes e inundações
Fator de forma da bacia (FF)	0,31	Baixa suscetibilidade a enchentes ou inundações
Razão de elongação	0,63	
Índice de rugosidade	7,63	

Fonte: elaborado pelo autor com base nos dados dos mapas.

Os dados topográficos mostram que a bacia hidrográfica do rio Púnguè é caracterizada por vastas superfícies aplainadas de altitude variada, com ocorrência localizada nas sub-regiões oeste e central da bacia de serras e colinas que apresentam cotas superiores a 1.500

metros de altitude. O perfil topográfico transversal, representado na figura 18, destaca o padrão altimétrico numa faixa da porção oeste da bacia (alto Púnguè), notando-se uma variação altimétrica entre os 600 metros a um pouco acima de 1.600 metros, entretanto com predominância de altitudes próximas a 600 metros.

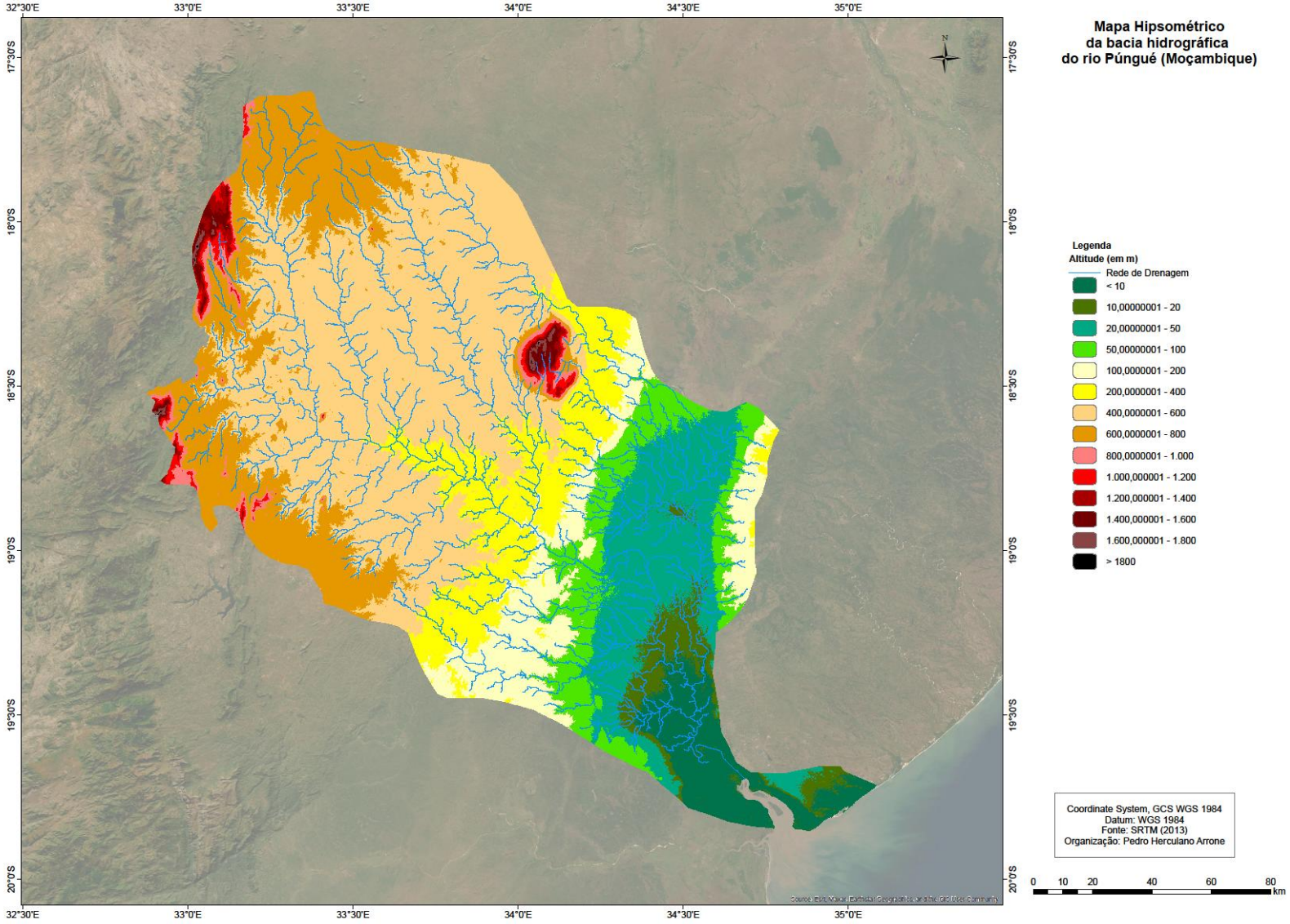
Figura 18– Perfil topográfico da sub-região oeste da Bacia hidrográfica do rio Púnguè



Fonte: elaborado pelo autor.

A amplitude altimétrica da bacia hidrográfica do rio Púnguè é de 1.943 metros de altitude e as maiores cotas acima de 1800 metros de altitude, são encontradas na Serra do Gorongosa e na região serrana junto à fronteira com o Zimbábue. as altitudes mais baixas estão um pouco acima do nível médio do mar, representadas nas planícies e vales da parte sudeste da bacia, incluindo na planície junto a lagoa Urema (Figura 19), ao longo da depressão tectónica do Rift Valley.

Figura 19 – Mapa Hipsométrico da bacia hidrográfica do rio Púnguè

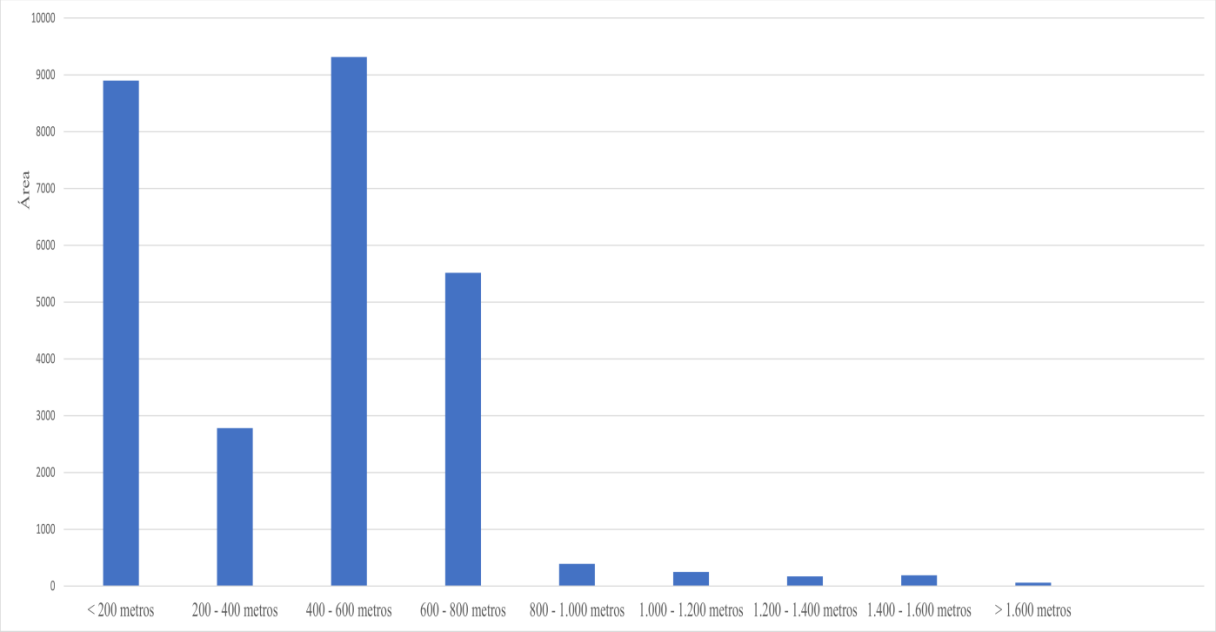


Fonte: STRM (2013). Organizado pelo autor.

A área da bacia hidrográfica do rio Púnguè ao nível do território moçambicano, foi compartimentada em 9 classes com variação de 200 metros de altitude. O gráfico representado na figura 20 apresenta a distribuição por área das classes hipsométricas, notando-se o predomínio de cotas entre 400 e 600 metros de altitude, cobrindo aproximadamente 33,77% da área de abrangência da bacia.

Os terrenos com cotas até 200 metros de altitude cobrem aproximadamente 32,27%, sendo a segunda maior classe em área da bacia. Na sequência, os terrenos entre 600 e 800 metros de altitude representaram 20,01% em relação a área total da bacia e as maiores altitudes com cotas superiores a 1200 metros representam 1,54% de toda área, correspondendo a terrenos mais antigos, sendo observados na sub-região serrana a oeste da bacia e na Serra de Gorongosa.

Figura 20– Distribuição das classes de hipsometria da bacia do rio Púnguè

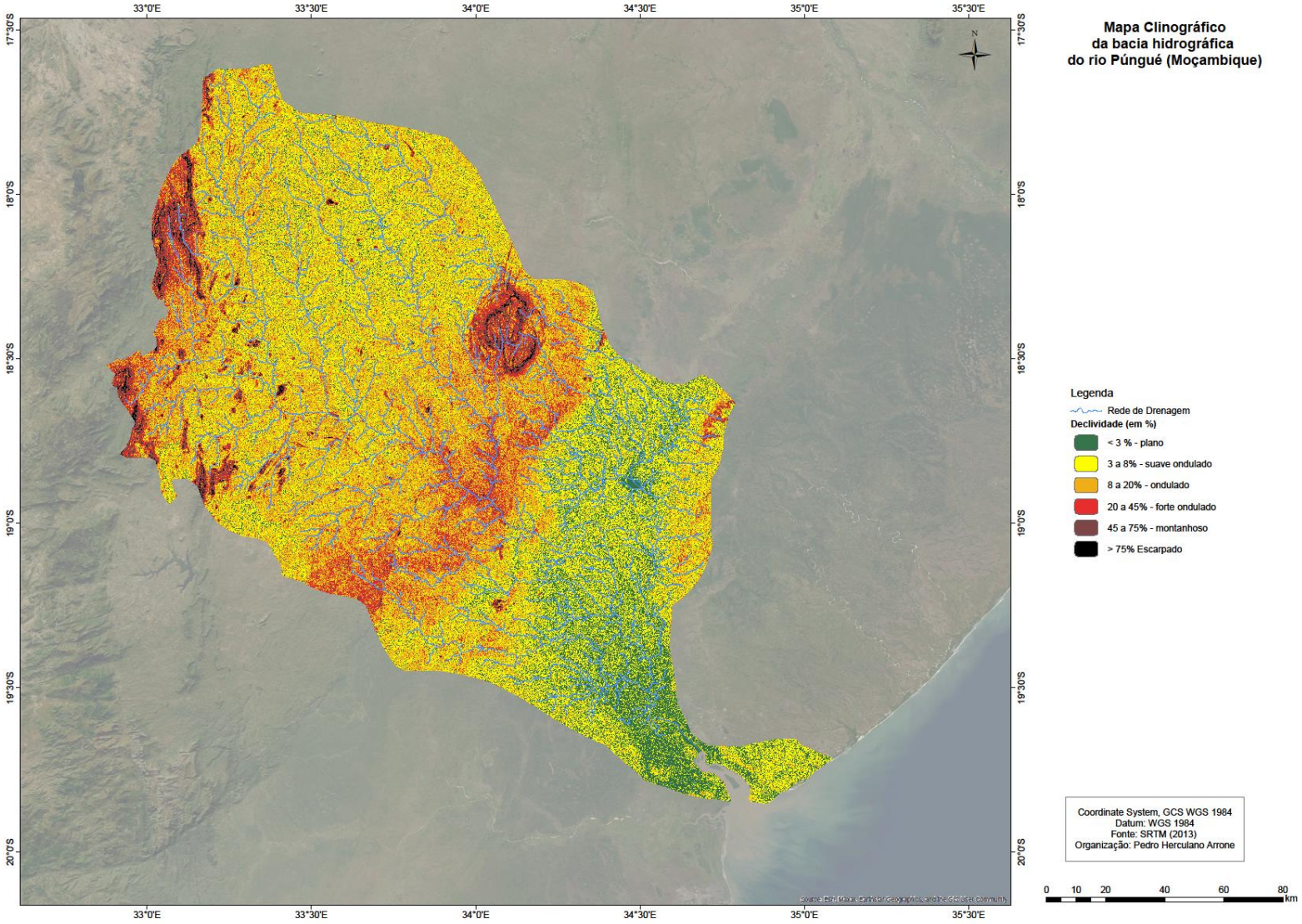


Fonte: elaborado pelo autor a partir do mapa hipsométrico.

Quanto às características clinográficas, na bacia hidrográfica do rio Púnguè, os resultados revelam a predominância de classes de declividade suave ondulado (3-8%) na ordem de 43,18% em relação a área total da bacia, seguido de classes de declividade planas (0-3%), correspondendo a uma área de 32,78% do total da bacia e a terceira classe de declividade predominante é a ondulado (8-20%), correspondendo a 18,89% do total da área, portanto as classes de declividade predominantes variam de plano a ondulado como ilustra a figura 21. Não

obstante, pode-se notar a ocorrência significativa de declividades entre 20 a 45% (montanhoso), com maior evidencia na Serra de Gorongosa e na sub-região serrana junto à fronteira com Zimbábue.

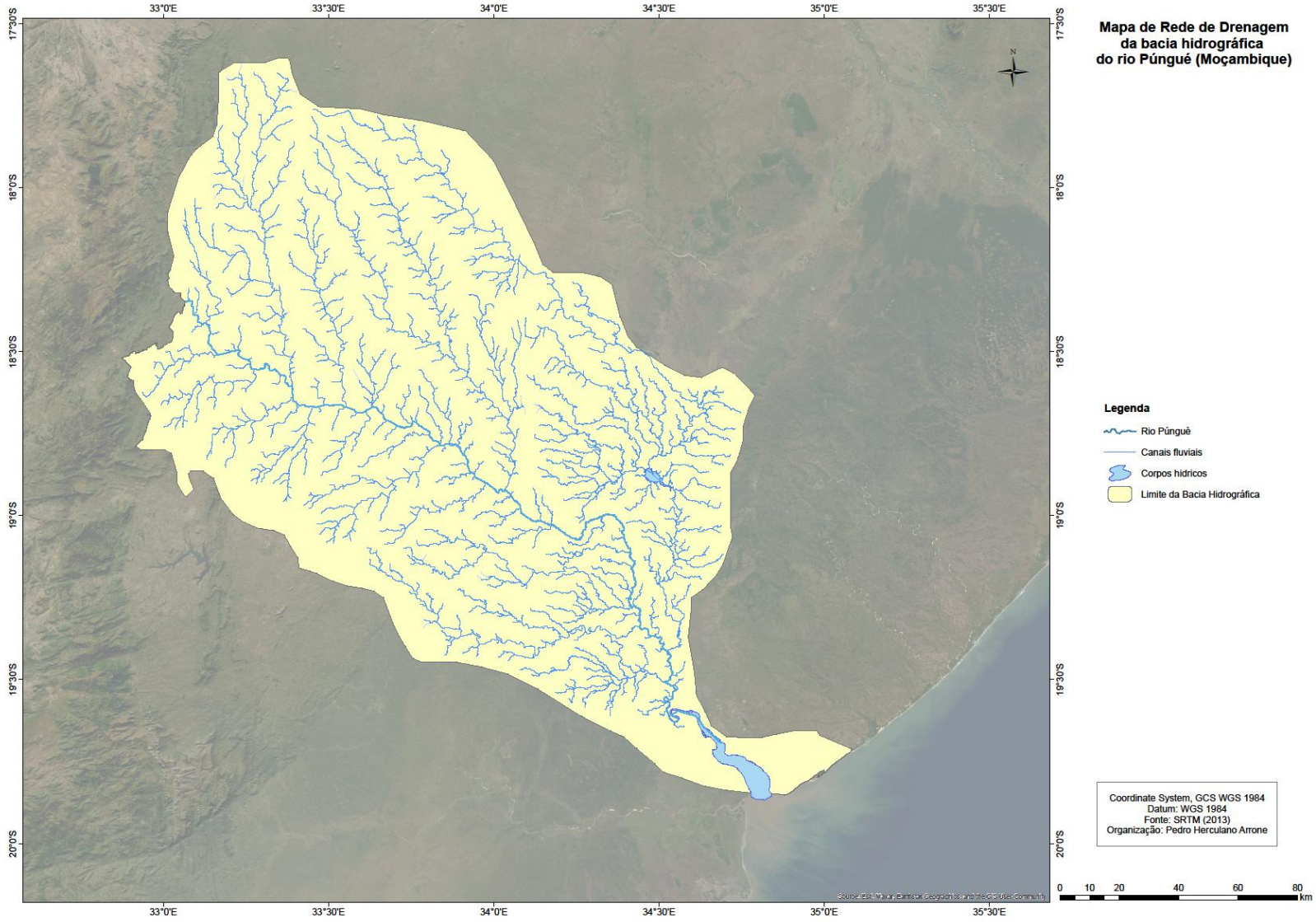
Figura 21 – Mapa Clinográfico na bacia hidrográfica do rio Púnguè



Fonte: STRM (2013). Organizado pelo autor.

Em relação a drenagem (figura 22), a bacia hidrográfica do rio Púnguè apresentou um total de 767 canais em uma área de drenagem total de 27.597,22 km², sendo que a densidade de drenagem é de 0,2569 km², classificando-se como bacia hidrográfica com drenagem pobre na medida em que o valor obtido é abaixo de 0,5 km², conforme sustentam Viela e Matos (1975) ao classificar bacias de drenagem pobre todas as que apresentam densidade inferior a 0,5 km².

Figura 22 – Mapa de Rede de Drenagem da bacia hidrográfica do rio Púnguè

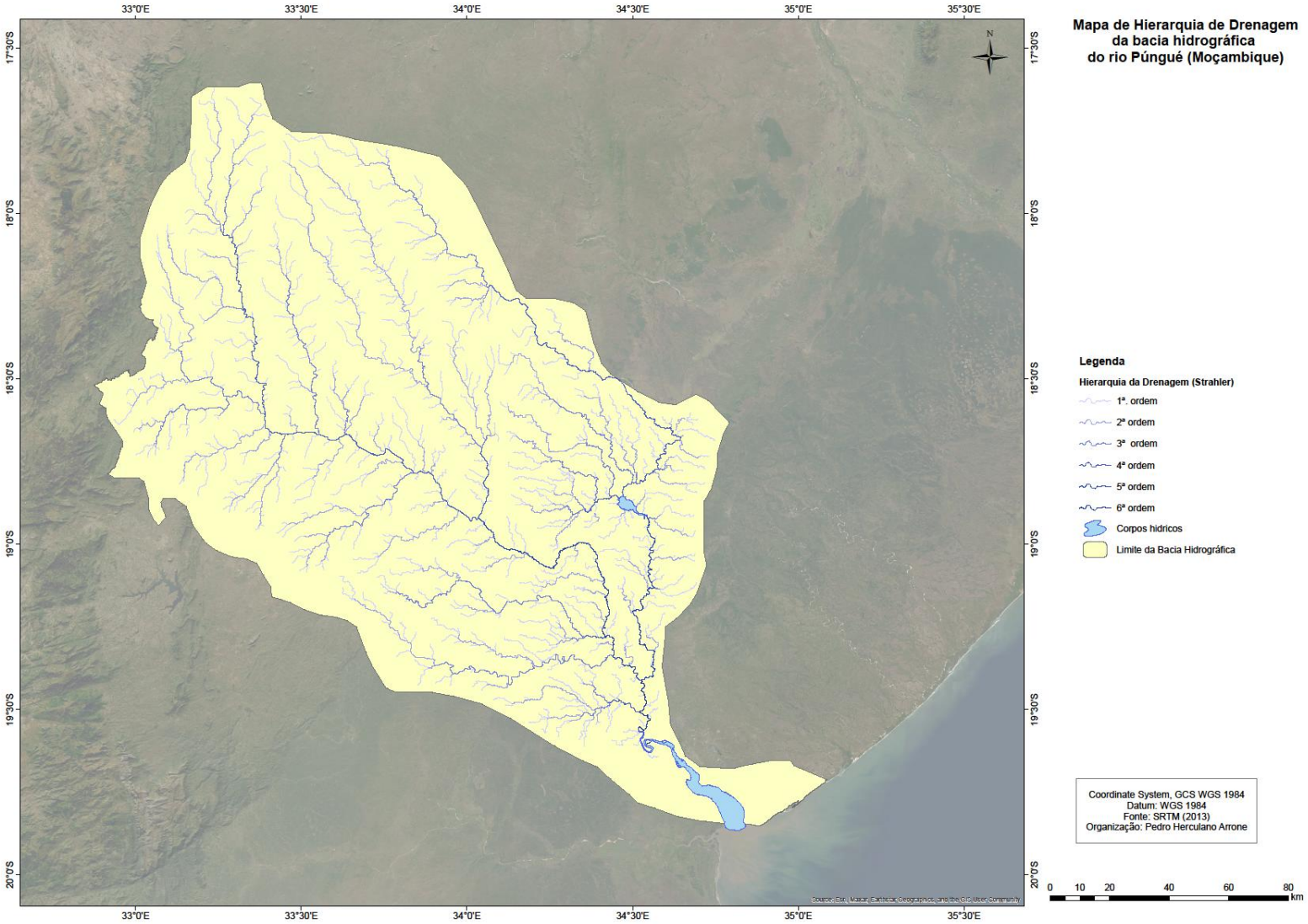


Fonte: STRM (2013). Organizado pelo autor.

O canal principal da bacia hidrográfica do rio Púnguè tem um total de 389,91 km, representando 5,5% de comprimento em relação ao total de todos os canais da bacia e a largura axial do rio principal apresenta um total de 261,89 km, correspondendo a 3,7% comprimento em relação ao total de todos os canais da bacia, numa amplitude altimétrica na ordem de 1.961 metros.

Quanto à hierarquia da drenagem, a bacia hidrográfica do rio Púnguè revelou ser de sexta ordem, sendo que os canais de primeira ordem constituem a maioria, na ordem de 572 canais, seguidas de canais de segunda ordem em número de 158 canais e a menor representatividade corresponde a terceira, quarta e quinta ordem com quantitativos de 28, 6 e 2 canais respectivamente, conforme ilustra a figura 23.

Figura 23– Mapa de Hierarquia de drenagem bacia hidrográfica do rio Púnguè



Fonte: STRM (2013) classificação de Strahler. Organizado pelo autor.

Na análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio Púnguè, importa destacar o valor do coeficiente de compacidade obtido que foi de 1,56 indicando que é de baixa suscetibilidade a inundações, conforme sustenta Viela e Matos (1975) ao afirmar que quanto maior for o valor do índice de compacidade (superior a 1), menor será o grau de suscetibilidade à ocorrência de inundações e quanto menor for o coeficiente de compacidade (próximo a zero) maior será o grau de suscetibilidade.

Os dados obtidos na variável fator forma (0,31) e índice de circularidade (0,41) demonstram a tendência de a bacia hidrográfica do rio Púnguè ser alongada, portanto, com baixa e média suscetibilidade a ocorrência de inundações como defendem Viela e Matos (1975) ao afirmar que os valores próximos a zero revelam uma bacia hidrográfica alongada e os valores próximos 1 denunciam a forma circular da bacia de drenagem. Os valores obtidos nas duas variáveis (fator forma e índice de circularidade) tendem a ser medianos, mas com maior proximidade a o zero, pelo que, se conclui que a maior área da bacia hidrográfica do rio Púnguè é de suscetibilidade baixa, coincidindo com os resultados obtidos em coeficiente de compacidade e densidade de drenagem.

Em relação ao índice de sinuosidade na bacia hidrográfica do rio Púnguè, foi de 1,49, revelando a uma tendência mediana à elevada de sinuosidade ao considerar que os canais que apresentam índices de sinuosidade superior ou igual a 1,5 são considerados meândricos, pelo que este indicador aponta a uma tendência para suscetibilidade mediana à ocorrência de enchentes ou inundações ao nível da bacia, ao tomar em consideração que a sinuosidade constitui um fator controlador da velocidade de escoamento, ao influenciar no tempo de permanência ou de saída da água precipitada na bacia hidrográfica (VILELLA e MATOS, 1975), embora esta suscetibilidade seja mais representativa no baixo Púnguè ao avaliar pela variação altimétrica e de classes de declividade que são relativamente baixas.

Quanto a variação espacial da suscetibilidade à ocorrência de inundações ao nível da bacia hidrográfica do rio Púnguè, essa foi analisada através da aplicação do Modelo *HAND - Heigth Above Nearest Drainage* (Distancia Vertical a Drenagem mais próxima), que mede a diferença altimétrica entre qualquer ponto da grade do MDE e o respectivo ponto de escoamento na drenagem mais próxima, considerando a trajetória superficial de fluxo que liga

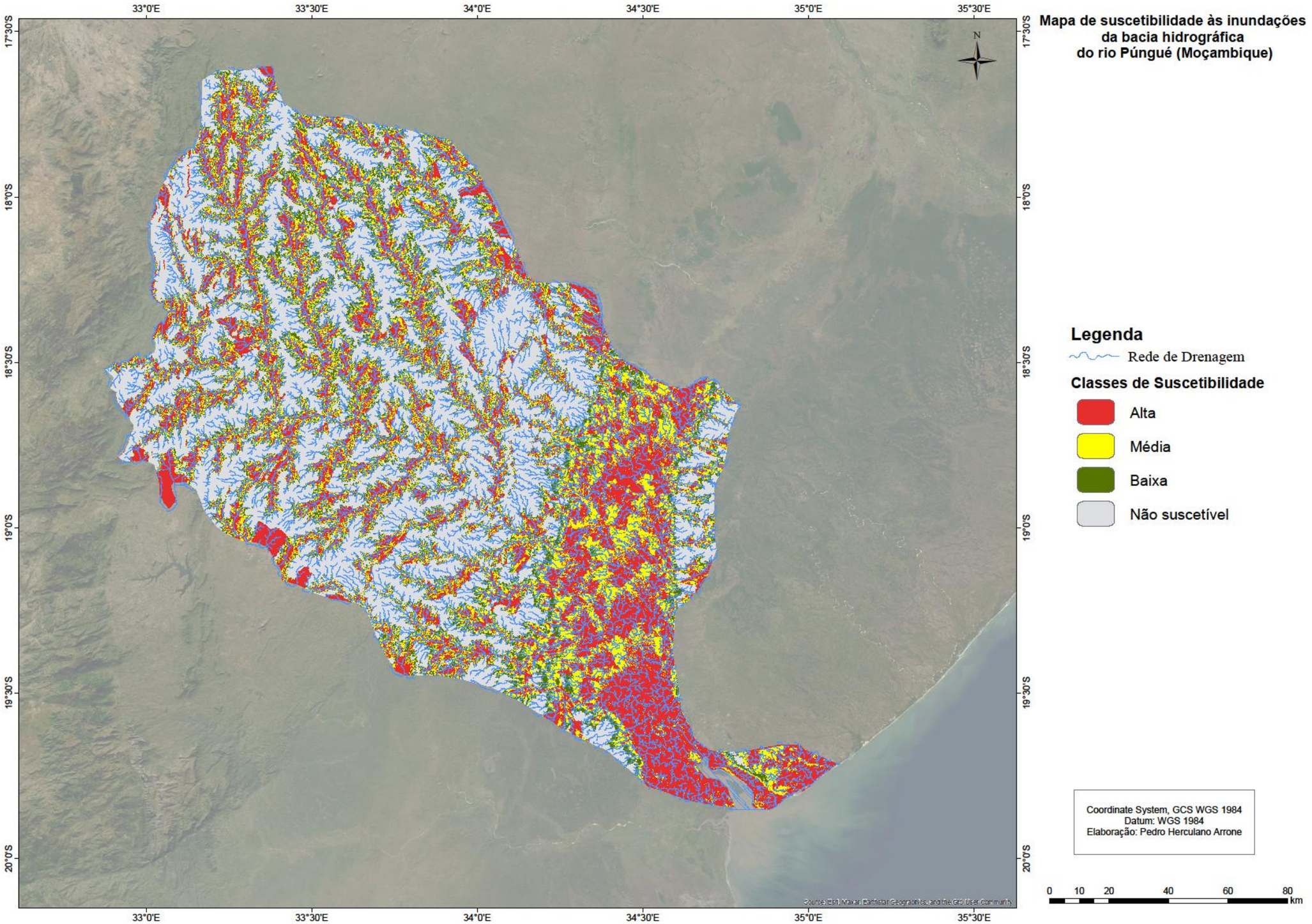
topologicamente os pontos da superfície com a rede de drenagem, definido classes de suscetibilidade: alta, média e baixa.

Os resultados revelam que de uma forma geral, pode se concluir que a bacia hidrográfica do rio Púnguè é de suscetibilidade baixa à ocorrência de inundações na medida em que a maior área é não suscetível, seguida da classe média. Entretanto, o baixo curso da bacia hidrográfica do rio Púnguè (vide a figura 24) e a sub-região do vale do *Rift*, predomina a classe de suscetibilidade alta, justificando-se por ser áreas dominadas em planícies de inundação.

A concentração de áreas suscetíveis à inundações regista-se no distrito de Nhamantanda (particularmente nos povoados de Tica, Nhampoca, Metuchira), distrito de Dondo (com realce a sub-região do vale de Mandruzi no posto Administrativo de Mafambisse, povoados de Nhamacuenguere, Chissange e Chibwabwabwa), sub-região da bacia que envolve o distrito de Buzi, e quase todo Município da Beira (exceto os bairros com subáreas relativamente altas que a suscetibilidade tem uma variação espacial de média a baixa e localmente alta, envolvendo os bairros de Inhamizua, Vila Massane, Alto da Manga).

No distrito de Gorongosa, especificamente na faixa do *Rift Valley*, regista a predominância de variação espacial de classes média a alta. Nas demais áreas da bacia hidrográfica, a classe alta de suscetibilidade à ocorrência de inundações está associada maioritariamente à sub-regiões que coincidem com os vales dos rios.

Figura 24 – Mapa de suscetibilidade às inundações da bacia hidrográfica do rio Púnguè (Moçambique)



Fonte: STRM (2013). Organizado pelo autor.

A elevada suscetibilidade à ocorrência de inundações nas áreas supramencionas, grosso modo, se associa ao fator relevo na medida em que são áreas relativamente baixas, com ocorrência significativa de planícies de inundação. Por outro lado, a ocorrência localizada de solos argilosos tem sido um dos fatores da suscetibilidade a inundações, pois, são de fraca capacidade de infiltração, sendo que combinado com fator relevo, as águas precipitadas são retidas por mais tempo nessas áreas.

Não menos importante é o fator vegetação, pois as áreas mencionadas são de relativa elevada produção agrícola, para além de outras atividades que exploram os recursos florestais, portanto, são áreas com relativa fraca presenças de formações florestais e como se sabe, as formações vegetais exercem um papel importante na interceptação das águas precipitadas, influenciando na quantidade da água direcionada para escoamento superficial num determinado intervalo de tempo, para além da influência das raízes no processo da infiltração.

Importa destacar o fator urbanização, não só pela impermeabilização dos solos, mas também devido as construções que não obedecem aos padrões de ordenamento territorial e com deficiente ou inexistente sistema de drenagem, como é o caso da cidade da Beira, sobretudo nos bairros acima referenciados.

4.3 – Dinâmica dos usos e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Púnguè

4.3.1 – Usos e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Púnguè no período de 1990 a 2020

Os resultados da distribuição espacial dos usos e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Púnguè em 1990 apontam para uma predominância da cobertura por savana, na ordem de 64,1% em relação a área total da bacia. Em 2000, houve predomínio da cobertura por savana, mas com um incremento para 68,9% da área total, resultando em grande parte da perda da cobertura por floresta numa área correspondente a 8,2%. Na sequência, em 2012, embora prevalecesse a cobertura da terra por savana, registou-se redução para 58,9% do total da área e em 2020 a cobertura por savana voltou a registar incremento para 60,5%, continuando a ser a cobertura vegetal predominantemente ao longo da bacia hidrográfica do rio Púnguè como ilustram os mapas da figura 26.

A área de solo exposto/campo limpo foi aumentando gradualmente ao longo dos primeiros três períodos e tendo diminuído ligeiramente em 2020, conforme indicam os dados

percentuais na ordem de 16,4%, 22,5%, 33,3% e 30.5% respectivamente. Torna-se importante referenciar que nem sempre o legendado como solo exposto é totalmente solo exposto, na medida em que em algumas sub-regiões, regista-se a presença de formações vegetais dispersas como ilustra a figura 25, apresentando características de campo limpo ou campo sujo, mas que as imagens analisadas apresentavam características de solo exposto.

Figura 25– Imagem ilustrativa de solo exposto com presença dispersa de vegetação

Fonte: dado obtido pelo autor na sub-região de Gorongosa.

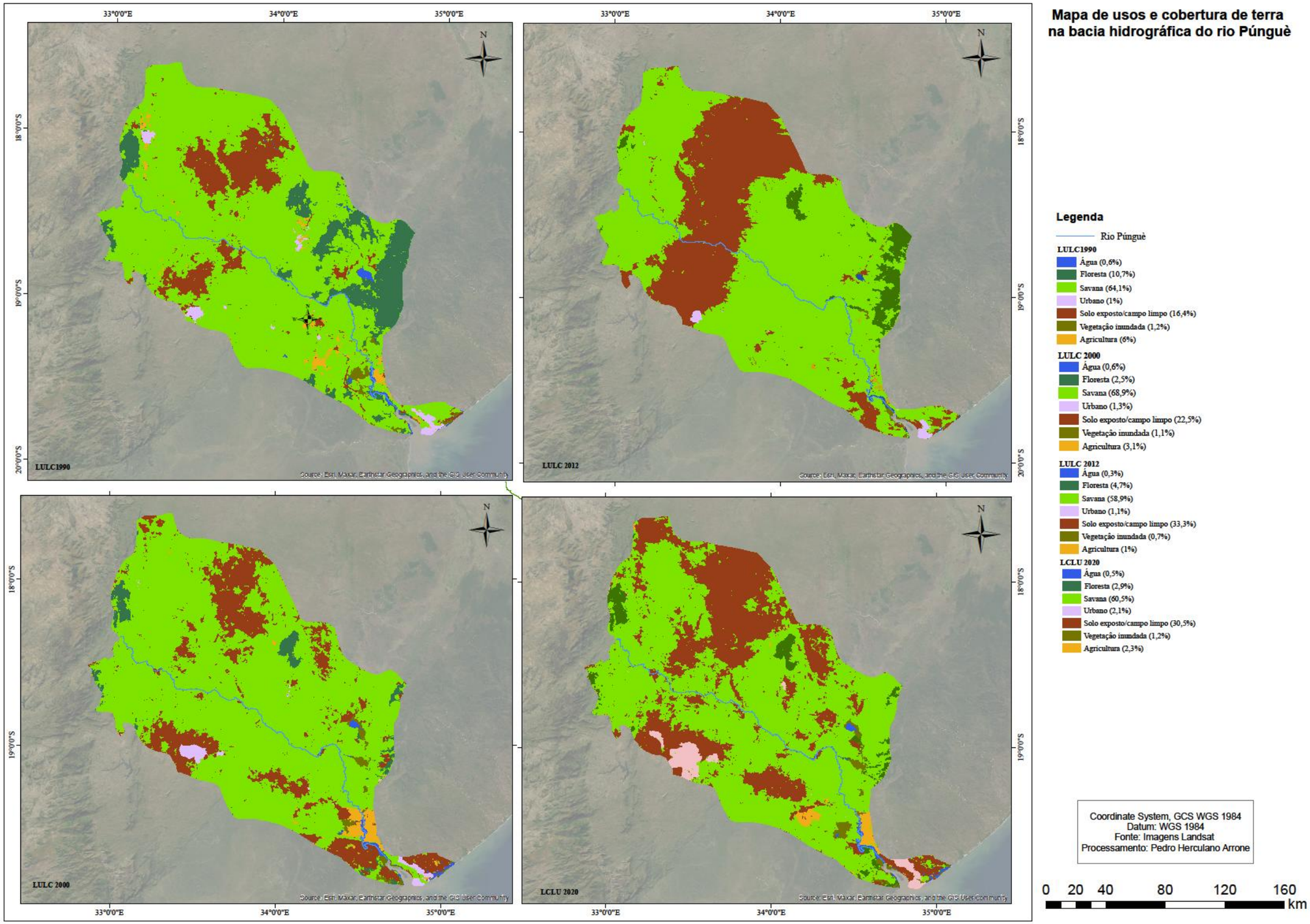
A variação de áreas com solo exposto ao longo da bacia hidrográfica do rio Púnguè pode ser resultado de vários fatores tanto de ordem natural, como de origem antrópica. No ponto de vista natural, importa referenciar que existem espaços localizados com rochas mais antigas e duras e que não desenvolveram nenhum solo, consequentemente sem vegetação, sobretudo no alto Púnguè que se notabiliza a unidade morfoestrutural dos Crátons Neoarqueanos. Por outro lado, na estação climática seca e fria, parte significativa da vegetação rasteira seca. Sob o ponto de vista de fatores antrópicos, para além da prática de agricultura, pastagem, exploração de madeira, entre outras atividades que concorrem para o desmatamento, importa destacar a prática de queimadas descontroladas no âmbito de abertura de campos agrícolas e da caça furtiva, devastando grandes áreas temporariamente como ilustra a figura 26.

Figura 26 – Imagem ilustrativa de queimadas descontroladas

Fonte: dado obtido pelo autor na sub-região de Gorongosa.

Os usos e cobertura de terra no ano de 2012 (vide figura 27) apresentam uma expansão acentuada de solo exposto em comparação com os anos anteriores e posteriores, podendo ser justificado por uma diversidade de fatores, na medida em que as imagens satélites obtidas com alguma nitidez para classificação coincidiram com estação seca e fria, portanto, grande parte da vegetação rasteira seca e as árvores deixam cair maior parte das suas folhas. Por outro lado, foi neste período que se registou maior migração da cidade para meio rural com o fim da guerra civil, como também se assinala como período de intensificação do processo da exploração dos recursos florestais madeireiros, sobretudo com influência do mercado Chinês.

Figura 27 – Usos e cobertura de terra na bacia hidrográfica do rio Púnguè.



Fonte: *Landsat* 7,8. Processado pelo autor.

Em relação aos usos de terra, em 1990 se notabiliza a agricultura na ordem dos 7% (1789,8 km²) do total da área, sendo que maior parte da área ocupada pela prática da agricultura é do cultivo da cana de açúcar (*Saccharum officinarum*) para a fábrica *Tungatt Hullet*, Açucareira de Moçambique, localizada no distrito de Dondo, Posto administrativo de Mafambisse.

Nos anos 2000, 2012 e 2020 notou-se redução da área da agricultura, sendo que este fenômeno pode ser explicado pelo pousio que tem se observado tanto na agricultura mecanizada como na agricultura de subsistência, sendo que estas áreas passam a ter vegetação do tipo gramínea como ilustra a figura 28.

Figura 28 – Campos de pousio nos campos de cultivo de cana-de-açúcar da fábrica *Tungatt Hullet*

Fonte: dado obtido pelo autor nos campos agrícolas de cana de açúcar em Mafambisse.

Ainda no âmbito de usos da terra para agricultura, importa referenciar que no caso particular da agricultura de subsistência, muitas das vezes ocorrem em espaços muito pequenos em relação às vastas áreas com vegetação natural, para além de alguns campos agrícolas terem uma mistura de culturas agrícolas e vegetação natural como ilustra a figura 29, sendo que incialmente no processo de mapeamento, estes espaços foram confundidos como sendo de vegetação natural.

Figura 29 – Imagem ilustrativa de agricultura de subsistência nalgumas áreas da bacia

Fonte: dado obtido pelo autor no distrito de Nhamatanda.

O uso da terra no âmbito da urbanização, no ano de 1990 registou uma área de 1% (302,2 km²) em relação a área total e apenas no ano de 2020 que foi possível notar aumento significativo da área urbanizada, avaliada em 2,1% (635,6 km²) da área total, o que significa ter duplicado em relação ao ano de 1990. Não obstante, há semelhança da dificuldade assinalada no mapeamento de espaços de agricultura de subsistência, registou-se o mesmo caso nos assentamentos humanos em meio rural, na medida em que são ocupações muito dispersas, em espaços pequenos como ilustra a figura 30, sendo praticamente impossível a sua visualização em imagens satélites.

Figura 30 – Imagem ilustrativa de assentamentos humanos no meio rural

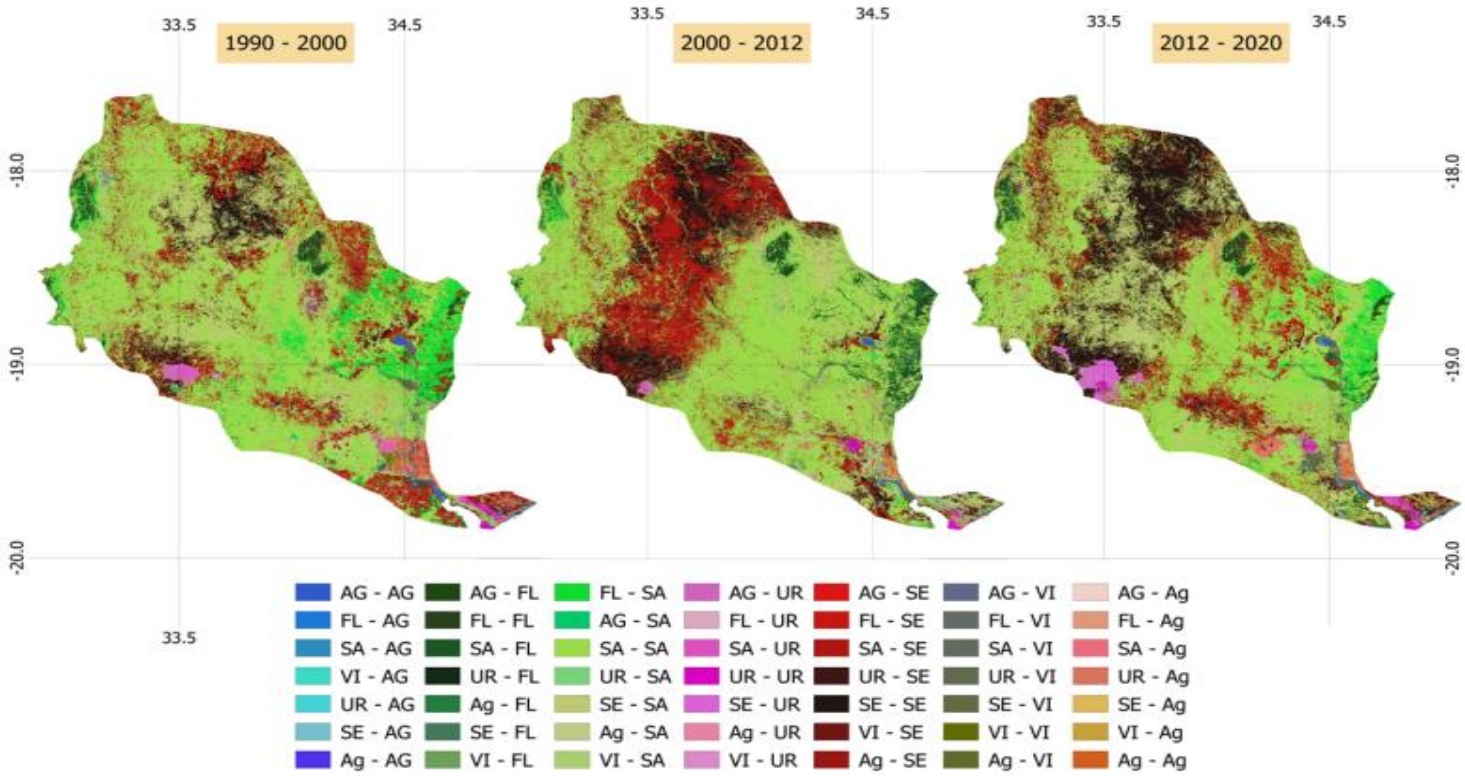
Fonte: dado obtido pelo autor no distrito de Gorongosa.

4.3.2 – Análise das transições dos usos e ocupação de terra na bacia hidrográfica do rio Púnguè no período de 1990 a 2020

O período de análise das transições subdividiu-se em 4 ano de referência (1990, 2000, 2012 e 2020), sendo que as transições foram analisadas obedecendo o período de dois em dois anos consecutivos de referência, ou seja, de 1990 a 2000, de 2000 a 2012 e de 2012 a 2020. Os mapas apresentados nas Figuras 31 e da dados da figura 32 ilustram as diferentes transições entre as classes do uso e cobertura da terra para o período em análise.

Os resultados da análise das transições dos usos da terra entre 1990 e 2000 revelam que um total de área (3174,9 km²) com cobertura florestal ao longo da bacia hidrográfica do rio Púnguè, em 1990, 1,7% (508,9 km²), em 2000 manteve o tipo de cobertura e 7,4% de cobertura florestal sofreu transição para savana em 2000.

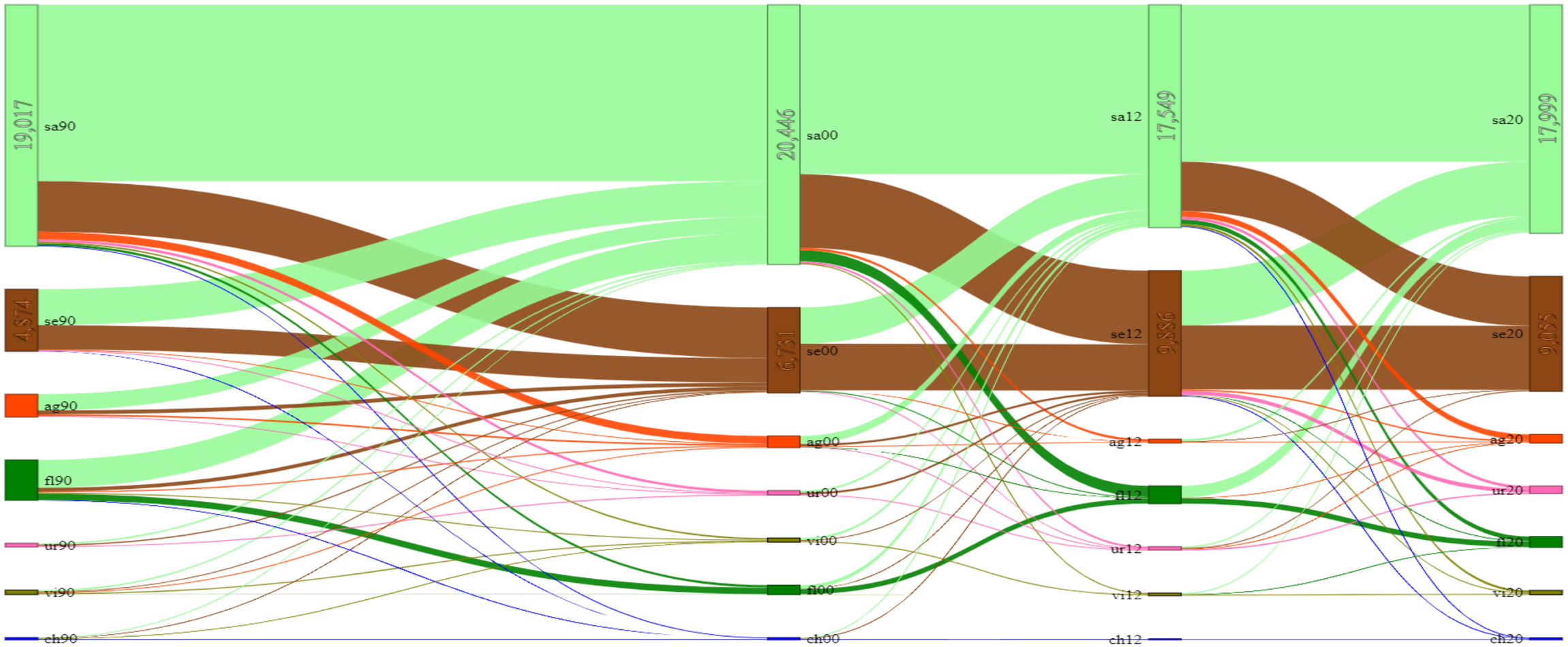
Figura 31 – Transições de usos e cobertura de terra na bacia hidrográfica do rio Púnguè



Legenda das abreviaturas: AG=Água, FL=Floresta, AS=Savana, VI= Vegetação inundada, SE=Solo exposto, Ag=Agricultura e UR=Urbano

Fonte: Landsat 7,8. Processados pelo autor.

Figura 32 – Transições de usos e cobertura da terra dos anos 1990 a 2000, 2000 a 2012 e 2012 a 2020



Legenda:

Cor do tipo de uso ou cobertura de terra	Abreviatura do tipo de uso ou cobertura de terra	Tipo de uso ou cobertura da terra
	sa	Savana
	ag	Agricultura
	fl	Floresta
	ub	Urbano
	se	Solo exposto
	vi	Vegetação inundada
	ch	Corpo hídrico

Fonte: elaborado pelo autor partir dos dados estatísticos dos mapas de análise das transições dos usos e cobertura da terra.

A cobertura da terra pela savana, de 1990 a 2000 manteve na ordem de 46,8% (13.881 km²). Importa referenciar que a área com cobertura por savana registou um ganho através da transição do solo exposto/campo limpo na ordem de 9,5% (2.818 km²). Em contrapartida, a área de cobertura da terra por savana apresentou uma perda significativa para solo exposto na ordem dos 13,4% (3985 km²) superando os ganhos obtidos da transição do solo exposto para savana no mesmo período (vide os dados na tabela 7).

A área da bacia hidrográfica do rio Púnguè com solo exposto/campo limpo, no período de 1990 a 2000 manteve na proporção de 6,5% em relação a área total. Entretanto, 9,5% da área com solo exposto em 1990, transitou para categoria de savana em 2000, constituindo um ganho ambiental significativo para a bacia.

As perdas significativas das coberturas florestais e savana registadas de 1990 a 2000 podem estar associadas ao retorno da população ao meio rural após a assinatura do acordo geral de paz em 1992 no âmbito da guerra civil, na medida em que se incrementaram as intervenções humanas sobre os ecossistemas através da prática da agricultura, pastagem, caça com recurso ao fogo e exploração de recursos florestais para diversos fins.

Tabela 7 – Dados estatísticos das transições de usos de e cobertura da terra entre 1990–2020

Transições de usos e cobertura da terra 1990-2000					**Transições de usos e cobertura 2000-2012**					Transições de usos e cobertura da terra 2012-2020				
1990	**2000**	**Pixel**	**%**	**Área (km²)**	**2000**	**2012**	**Pixel**	**%**	**Área (km²)**	2012	2020	**Pixel**	**%**	**Área (km²)**
AG	AG	301574	0,2	59,4	AG	AG	260910	0,2	55,4	AG	AG	257326	0,2	54,6
FL	AG	89348	0,1	19,0	FL	AG	16381	0,0	3,5	FL	AG	11732	0,0	2,5
SA	AG	249387	0,2	52,9	SA	AG	47758	0,0	10,1	SA	AG	227579	0,2	48,3
UR	AG	11191	0,0	2,4	UR	AG	1375	0,0	0,3	UR	AG	10676	0,0	2,3
SE	AG	89496	0,1	19,0	SE	AG	36321	0,0	7,7	SE	AG	166237	0,1	35,3
VI	AG	60385	0,0	12,8	VI	AG	16879	0,0	3,6	VI	AG	69104	0,0	14,7
Ag	AG	35234	0,0	7,5	Ag	AG	11287	0,0	2,4	Ag	AG	12749	0,0	2,7
AG	FL	63902	0,0	13,6	AG	FL	18878	0,0	4,0	AG	FL	22831	0,0	4,8
FL	FL	2397021	1,7	508,9	FL	FL	1895809	1,4	402,5	FL	FL	2036489	1,5	432,3
SA	FL	854077	0,6	181,3	SA	FL	4138044	3,0	878,5	SA	FL	1647888	1,2	349,8
UR	FL	3564	0,0	0,8	UR	FL	13480	0,0	2,9	UR	FL	19325	0,0	4,1
SE	FL	30307	0,0	6,4	SE	FL	345379	0,2	73,3	SE	FL	128362	0,1	27,3
VI	FL	101242	0,1	21,5	VI	FL	51948	0,0	11,0	VI	FL	109167	0,1	23,2
Ag	FL	60429	0,0	12,8	Ag	FL	119062	0,1	25,3	Ag	FL	57076	0,0	12,1
AG	SA	186664	0,1	39,6	AG	SA	255764	0,2	54,3	AG	SA	64521	0,0	13,7
FL	SA	10334846	7,4	2194,0	FL	SA	1351300	1,0	286,9	FL	SA	4302353	3,1	913,4
SA	SA	65385169	46,8	13881,0	SA	SA	62812812	44,9	13334,9	SA	SA	58163589	41,6	12347,7
UR	SA	552755	0,4	117,3	UR	SA	715746	0,5	151,9	UR	SA	518835	0,4	110,1
SE	SA	13273931	9,5	2818,0	SE	SA	13459698	9,6	2857,4	SE	SA	20285927	14,5	4306,6
VI	SA	562239	0,4	119,4	VI	SA	819047	0,6	173,9	VI	SA	434933	0,3	92,3
Ag	SA	6012761	4,3	1276,5	Ag	SA	2993456	2,1	635,5	Ag	SA	822726	0,6	174,7
AG	UR	4866	0,0	1,0	AG	UR	11088	0,0	2,4	AG	UR	2569	0,0	0,5
FL	UR	50525	0,0	10,7	FL	UR	8909	0,0	1,9	FL	UR	4787	0,0	1,0
SA	UR	941938	0,7	200,0	SA	UR	724145	0,5	153,7	SA	UR	1043951	0,7	221,6
UR	UR	363444	0,3	77,2	UR	UR	327460	0,2	69,5	UR	UR	473266	0,3	100,5
SE	UR	243028	0,2	51,6	SE	UR	261257	0,2	55,5	SE	UR	1437724	1,0	305,2
VI	UR	24994	0,0	5,3	VI	UR	29917	0,0	6,4	VI	UR	871	0,0	0,2
Ag	UR	216072	0,2	45,9	Ag	UR	138842	0,1	29,5	Ag	UR	30813	0,0	6,5
AG	SE	122891	0,1	26,1	AG	SE	204777	0,1	43,5	AG	SE	19342	0,0	4,1
FL	SE	1359005	1,0	288,5	FL	SE	111420	0,1	23,7	FL	SE	75183	0,1	16,0
SA	SE	18770806	13,4	3985,0	SA	SE	27304515	19,5	5796,6	SA	SE	18306146	13,1	3886,3
UR	SE	447046	0,3	94,9	UR	SE	742764	0,5	157,7	UR	SE	346967	0,2	73,7
SE	SE	9069483	6,5	1925,4	SE	SE	17214668	12,3	3654,6	SE	SE	23724282	17,0	5036,5
VI	SE	274885	0,2	58,4	VI	SE	211780	0,2	45,0	VI	SE	53783	0,0	11,4
Ag	SE	1457150	1,0	309,3	Ag	SE	776804	0,6	164,9	Ag	SE	128505	0,1	27,3
AG	VI	134061	0,1	28,5	AG	VI	71494	0,1	15,2	AG	VI	14982	0,0	3,2
FL	VI	337032	0,2	71,6	FL	VI	85787	0,1	18,2	FL	VI	42668	0,0	9,1
SA	VI	557324	0,4	118,3	SA	VI	420799	0,3	89,3	SA	VI	853528	0,6	181,2
UR	VI	9377	0,0	2,0	UR	VI	8335	0,0	1,8	UR	VI	37346	0,0	7,9
SE	VI	34786	0,0	7,4	SE	VI	70737	0,1	15,0	SE	VI	317288	0,2	67,4
VI	VI	389861	0,3	82,8	VI	VI	364520	0,3	77,4	VI	VI	345601	0,2	73,4
Ag	VI	67187	0,0	14,3	Ag	VI	13168	0,0	2,8	Ag	VI	34235	0,0	7,3
AG	Ag	28626	0,0	6,1	AG	Ag	13731	0,0	2,9	AG	Ag	9377	0,0	2,0
FL	Ag	387158	0,3	82,2	FL	Ag	41124	0,0	8,7	FL	Ag	109568	0,1	23,3
SA	Ag	2816639	2,0	598,0	SA	Ag	859263	0,6	182,4	SA	Ag	2166765	1,5	460,0
UR	Ag	36055	0,0	7,7	UR	Ag	35827	0,0	7,6	UR	Ag	95240	0,1	20,2
SE	Ag	217586	0,2	46,2	SE	Ag	113343	0,1	24,1	SE	Ag	507238	0,4	107,7
VI	Ag	252708	0,2	53,6	VI	Ag	35776	0,0	7,6	VI	Ag	21404	0,0	4,5
Ag	Ag	582137	0,4	123,6	Ag	Ag	268380	0,2	57,0	Ag	Ag	281348	0,2	59,7

Fonte: elaborado pelo autor a partir dos dados estatísticos dos mapas de análise das transições dos usos e cobertura da terra.

A cobertura de terra no período de 2000 a 2012, a área ocupada pela floresta manteve na proporção de 1,4% (405 km²), portanto, registou-se ligeira redução em relação ao período anterior. Quanto a transição da cobertura florestal para outro tipo de cobertura ou uso, salienta-se que o maior percentual da área florestal transitou para savana na ordem de 1% (286,9 km²).

Em relação cobertura da terra por savana, 44,9% (13334,9 km²) manteve-se, entretanto, decresceu em comparação com a área mantida no período anterior. No entanto, 3% da área com cobertura por savana transitou para floresta, constituindo um incremento em relação ao período anterior que foi de 1,2% de transição nesta mesma categoria. A cobertura por savana no período de 2000 a 2012 registou transição para solo exposto na ordem de 19,5%, constituindo perda para esse período e aumento significativo em relação ao período de 1990 a 2000.

Em relação a área da bacia com solo exposto, no período de 2000 a 2012 manteve na proporção de 12,3% indicando aumento da área em relação ao período de 1990 a 2000. Importa destacar também que a área com solo exposto/campo limpo em 2000, transitou para savana numa percentagem de 9,6%.

A cobertura de terra por floresta na bacia hidrográfica do rio Púnguè no período de 2012 a 2020, 1,5% da área total, manteve a categoria, assinalando ligeiro incremento em relação ao período de 2000 a 2012 e redução em relação ao período de 1990 a 2000. A transição de realce na categoria de cobertura florestal registou para savana numa proporção de 3,1%, logo teve um aumento em comparação ao período de 2000 a 2012.

Na categoria de cobertura de terra por savana, 41,6% (12.347,7 km²) em 2012 manteve em 2020. Entretanto, 13,1% da área de savana em 2012 transitou para solo exposto em 2020, constituindo perda significativa, para além de 1,5% que transitou para uso agrícola e 0,7% para espaço urbanizado.

Quanto ao solo exposto no período de 2012 a 2020, os resultados revelam que 17% de área manteve, afigurando-se como incremento em comparação ao período anterior. Outro dado a salientar é referente à transição do solo exposto na proporção de 14,1% de área para savana, conferindo a um ganho ambiental.

A redução da cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Púnguè ao longo do período em análise coloca-a numa situação de aumento da suscetibilidade a processos erosivos de algumas sub-regiões, na medida em que a vegetação desempenha uma função protetora dos solos como sustenta Machado e Torres (2013) ao defender que a variação espacial, variação da

tipologia e variação da densidade da vegetação, influência na variação espacial dos processos erosivos.

Por outro lado, a redução da cobertura vegetal e a intensificação das atividades antrópicas ao nível da bacia hidrográfica podem contribuir no incremento de processos erosivos, com consequências nos processos desencadeados pelos rios, incluindo a qualidade da água, sobretudo quando a devastação da vegetação envolve as margens dos rios, como fundamenta Queiroz (2017, p. 128) ao afirmar que “as mudanças no uso do solo nas encostas geram processos erosivos que podem promover alterações na dinâmica fluvial”.

Numa perspectiva geral, os resultados revelaram perdas significativas de cobertura florestal para e de savana para solo exposto em todos os períodos analisados, constituindo um indicador importante a se ter em conta nas políticas e ações sobre gestão de bacias hidrográficas, pois esse cenário demonstra desequilíbrio entre processos de exploração dos recursos naturais e a reposição das formações de vegetação.

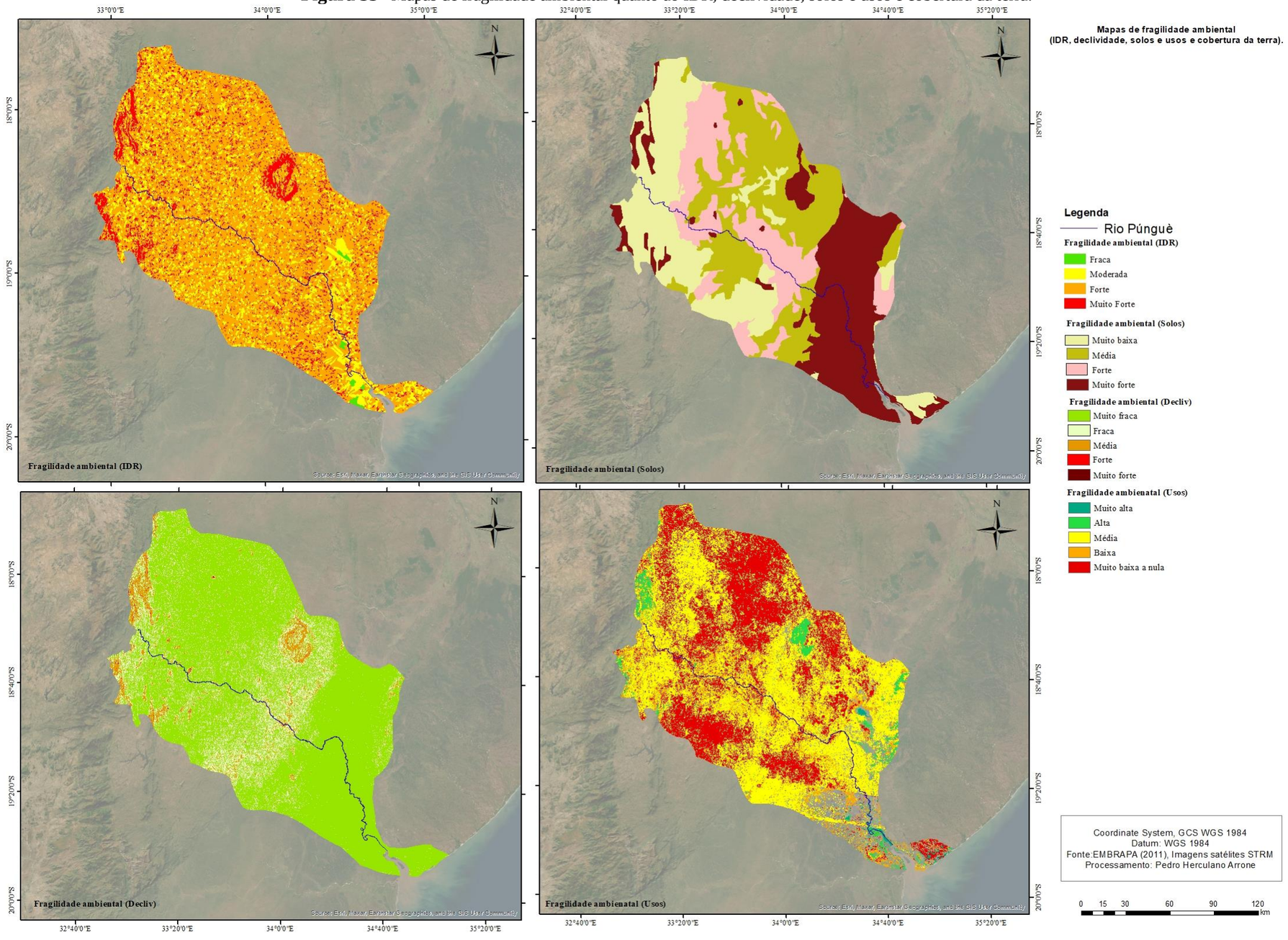
4.4 – Análise da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Púnguè

O conhecimento das fragilidades e potencialidades das condições e recursos naturais passa pela necessidade de desenvolver diagnósticos, considerando o caráter sistêmico que se caracteriza pela troca recíproca de matéria e energia entre os diferentes subsistemas ou elementos naturais e antrópicos. Na presente análise, optou-se em primeiro fazer análise por variável ambiental, culminando com combinação das diferentes variáveis ambientais consideradas (índice de dissecação, classes de declividade, tipos de solos e tipos usos e cobertura da terra), baseando-se nas classes de fragilidade ambiental definidas por Ross (1994), nomeadamente (1) muito fraca, 2 (fraca), (3) média, (4) forte e (5) muito forte, sendo o sentido inverso da sequência para os usos e cobertura da terra na medida em que categoriza o grau de proteção relacionado.

Quanto ao índice de dissecação do relevo (considerado um dos importantes indicadores de fragilidade ambiental, conforme sustenta Ross (2007), a distribuição espacial das classes obtidas nos resultados, revela a predominância da classe de fragilidade ambiental forte (vide figura 32), mas com variação espacial de forma significativa das classes moderada e muito forte, sobretudo no alto e médio Púnguè. Esta variação espacial diversificada do índice de dissecação denuncia a ocorrência de vales profundos no alto e médio Púnguè, para além de processos denudacionais diferenciados que podem ser justificados pela presença de relevo residual, como é sustentado Bertolini e Deodoro (2018) ao considerar que o índice de dissecação do relevo diferenciado pode significar tempos distintos de atuação de agentes modeladores do relevo, para além de que o índice de dissecação do relevo permite distinguir o padrão de compartimentação geomorfológica e identificação da intensidade diferenciada dos processos denudacionais.

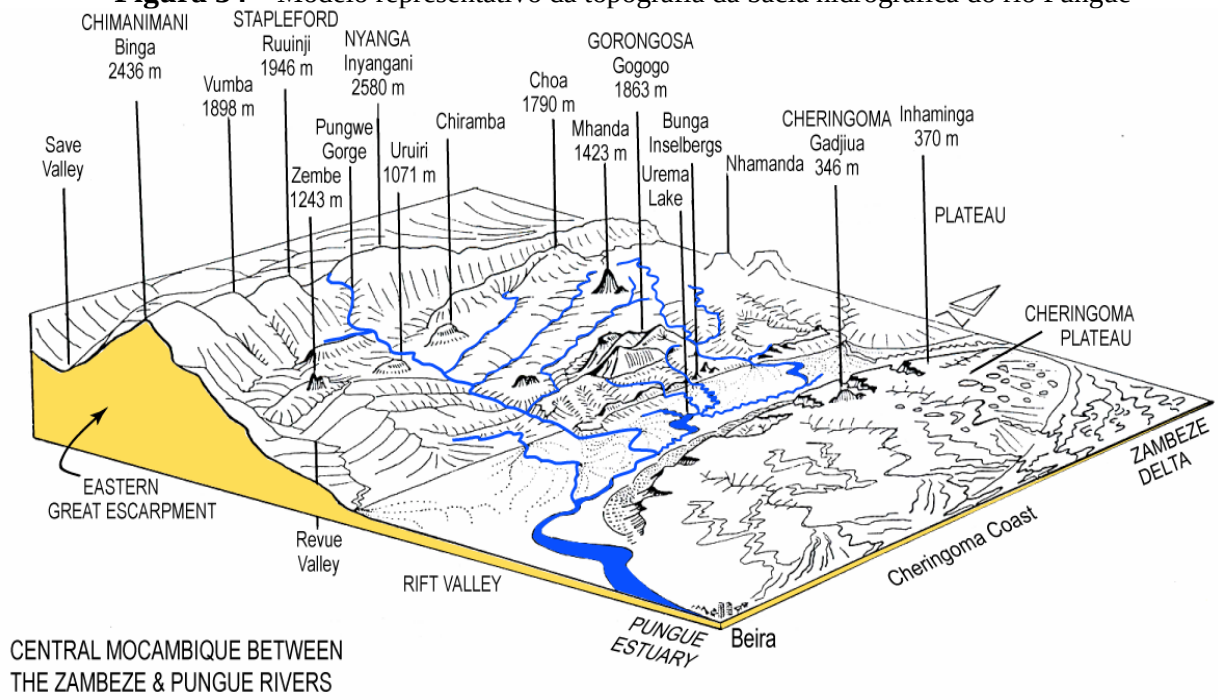
Em relação à declividade, os resultados indicam para predominância de classe muito fraca, mas com homogeneidade no baixo Púnguè, sendo que do médio a alto Púnguè regista-se a variação espacial com a classe fraca e localmente a classe média, onde está coincide com a sub-região de unidade morfoestrutural Crátons Neoarqueanos associado a relevo serrano junto à fronteira com o território zimbabuano e na sub-região de serra de Gorongosa (vide figura 33) e que constituem as sub-regiões com altitudes mais elevadas da bacia como ilustra a figura 34 .

Figura 33– Mapas de fragilidade ambiental quanto ao IDR, declividade, solos e usos e cobertura da terra.



Fonte: Bolfe *et al.* (2011), CENACARTA (2011), LANDSAT, SRTM. Processado pelo autor.

Figura 34 – Modelo representativo da topografia da bacia hidrográfica do rio Púnguè



Fonte: ASDI (2005).

Na sequência, importa referenciar que embora seja uma bacia hidrográfica que predomine formas de relevo planas e suave onduladas, equivalendo, por exemplo, a relativo fraco escoamento superficial e, por conseguinte a fraca suscetibilidade a erosão pluvial ou fluvial, é preciso tomar em consideração que as bordas desses domínios a dissecação são severas como defende Resende *et al.* (2002), sendo que os processos erosivos nesses espaços podem ser intensos.

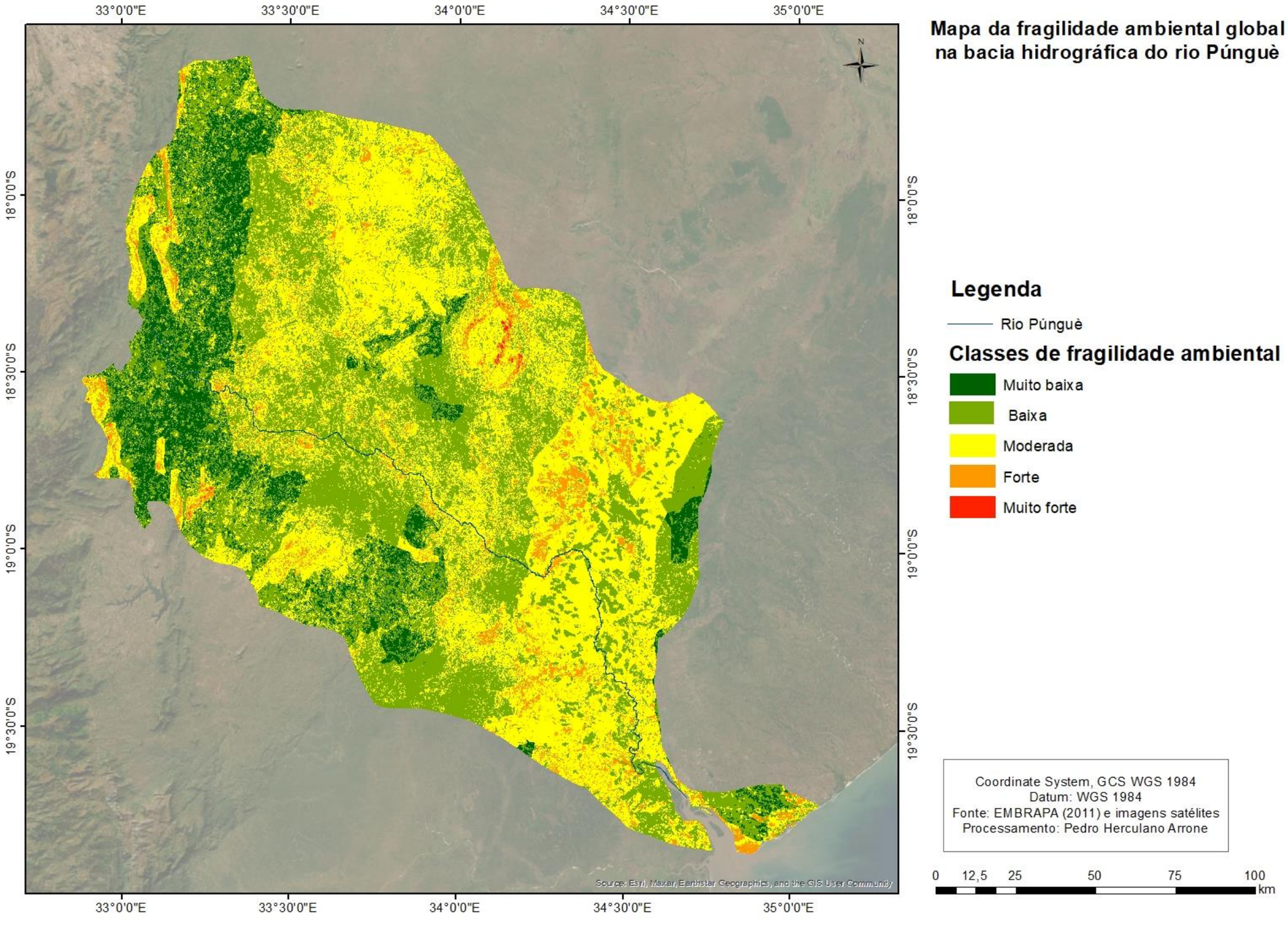
No que concerne a fragilidade ambiental analisada conforme aos tipos de solos, a classe de fragilidade muito forte coincide com o Púnguè, incluindo toda a faixa correspondente a depressão associada ao *Rift Valley*, portanto uma área com variação espacial de arenitos, depósitos aluvionares para além de coluvião e escorrências argilosa fluvial. Trata-se duma sub-região dominada por solos do tipo *Eutric fluvisol*, com sedimentos de granulometria diversificada como resultado das diversas formas de deposição que condicionaram a variação espacial, sendo que os solos de textura arenosa são suscetíveis a processos erosivos, como defende o Lepsch (2010) ao considerar que determinados tipos solos podem ser relativamente suscetíveis à erosão, dependendo da variação das suas propriedades como textura, permeabilidade e profundidade, apontando os solos de textura arenosa como sendo os mais suscetíveis a processos erosivos. Já os

solos associados à fragilidade ambiental muito baixa predominam no domínio morfoestrutural dos Crátons Neoarqueanos, o que pode contribuir para atenuação da atuação do fator declividade. No curso médio da bacia hidrográfica do rio Púnguè, particularmente na sub-região norte, nota-se a predominância de solos de classe de fragilidade ambiental baixa e na sub-região sul e centro, regista-se variação espacial das classes de fragilidade ambiental forte, média e muito baixa.

Quanto a fragilidade ambiental analisada no contexto dos usos e cobertura da terra, os resultados obtidos espelham a predominância de classes de proteção alta, coincidindo com áreas de cobertura por savana, que por sinal é uma formação vegetal com grau de proteção alta conforme as classes definidas por Ross (1994). Não obstante, observa-se uma variação espacial em quase toda bacia hidrográfica, a ocorrência significativa da classe muito baixa ou nula, embora com maior concentração a norte e sul do médio Púnguè, sendo que estas áreas coincidem com sub-regiões de solo relativamente exposto, para além de áreas habitacionais. Já a classe muita alta de proteção regista-se em áreas com ocorrência de cobertura por florestas com realce a sub-região da serra de Gorongosa e a sub-região serrana do alto Púnguè junto à fronteira com Zimbábue, constituindo um fator atenuante do fator declividade na medida em que constituem áreas montanhosas.

Na análise integrada das diferentes variáveis ambientais consideradas (índice de dissecação do relevo, declividade, tipos de solo e usos e cobertura da terra), os resultados apontam para uma predominância relativa da classe da fragilidade moderada, numa distribuição espacial correspondente a 42,72% da área da bacia (vide a figura 35), seguida da classe de fragilidade fraca numa proporção de 40,94% da área da bacia.

Figura 35 – Mapa da fragilidade ambiental global



Fonte: Bolfe *et al.* (2011), CENACARTA (2011), LANDSAT, SRTM. Processado pelo autor.

No baixo Púnguè, a ocorrência significativa de classe de fragilidade fraca e muito fraca, coincide com a sub-região do Parque nacional de Gorongosa, pelo que, para além de ser área de conservação total, é uma área com ocorrência de cobertura vegetal por floresta com variação espacial de savanas, formações vegetais que se enquadram nos níveis de proteção muito alta e alta respectivamente, conforme as classes definidas por Ross (1994), reforçando-se assim a aplicabilidade das teorias em prol da função protetora das formações vegetais como defendem o Machado e Torres (2013) ao considerar que a cobertura vegetal (distribuição, tipologia, densidade etc.), desempenha funções preponderantes nas bacias hidrográficas, na medida em que protegem os solos da erosão e no transporte dos sedimentos. A interceptação exercida pelas folhas, incluindo o manto formado pelas folhas espalhadas à superfície do solo, amortecendo as gotas de água de modo que não alcancem o solo com maior intensidade e consequente redução do impacto erosivo. Importa referenciar que a administração do Parque Nacional de Gorongosa tem promovido ações que visam garantir a sustentabilidade na ocupação e usos de terra nas comunidades da área tampão do parque, com destaque a criação de áreas de conservação comunitária e comitês de gestão dos recursos naturais, como são os casos dos povoados de Nhamacuenguere no distrito de Dondo, povoados de Nhampoca e Bebedo no distrito de Nhamatanda. Por outro lado, esta sub-região, também é caracterizada por declividade dominante que se enquadram na classificação de fragilidade baixa.

No Médio Púnguè, a significativa ocorrência de classe fragilidade baixa, é notória na parte central e sul, podendo ser justificada por classes de declividade e tipo de cobertura vegetal. Já no alto Púnguè, os resultados revelam a predominância de variação espacial de classe de fragilidade fraca e moderada, justificando-se não só pela cobertura vegetal predominante que é classificada como protetora, como também pela natureza dos solos associados.

As áreas com fragilidade ambiental muito alta ao nível da bacia hidrográfica do rio Púnguè coincidem com as áreas de índices de dissecação de relevo muito forte e classes de declividade muito forte, o que propicia à ocorrência de elevada energia potencial e cinética, consequentemente, maior probabilidade de mobilidade de material, não obstante a ocorrência nestas subáreas de tipos de cobertura vegetal classificada como de proteção alta a muito alta.

A classe de fragilidade ambiental forte, regista relativa predominância no médio e baixo Púnguè, associando predominantemente não só os solos expostos, como também a sub-regiões habitacionais, sobretudo nos grandes centros urbanos como são os casos da cidade da

Beira e cidade de Chimoio, para além das áreas classificadas com de prática agrícola, com maior destaque a área ocupada em produção de cana de açúcar, no distrito de Dondo, posto administrativo de Mafambisse.

No contexto de usos de terra e com o intuito de apurar a influência do processo de cultivo e colheita de cana-de-açúcar nos cursos de água dentro dos campos agrícolas da Tongaat Hulett, foram coletadas amostras de água em um dos pontos distintos no interior dos campos agrícolas cujos canais de irrigação são abastecidos pela água do rio Púnguè, tendo sido analisados os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. A maioria dos resultados revelou estar dentro dos parâmetros aceitáveis embora demostram certa modificação em relação ao seu mínimo aceitável.

Na análise da turbidez, a amostra da água coletada, registou um resultado de 64,89 NTU e no segundo ponto de coleta 49,3 NTU. Tomando em consideração o mínimo aceitável que é 5 NTU, os dois pontos de coleta, registaram níveis altos de excesso (vide tabela 8), representando um perigo não só para a vida humana em caso de consumo da água pelos trabalhadores, mas também para a vida aquática. Embora a turbidez possa ser em grande parte resultado de processos naturais, torna-se importante também ter em consideração que durante o processo de cultivo da cana-de-açúcar para além da remoção dos solos durante o cultivo, ocorre a queima da cana durante o processo da colheita como ilustra a figura 36, gerando uma diversidade de sedimentos e que quando chove são escoados em direção aos cursos de água, pelo que há necessidade de estudos específicos para apurar a contribuição desta atividade na turbidez da água.

Tabela 8 – Resultados da análise física, química e microbiológica da água corrente campos agrícolas da Tongaat Hulett.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E ORGANOLÉPTICAS				
Parâmetro	**Método usado**	**Limite máximo admitido**	**Resultado ponto 1**	**Resultado ponto 2**
Cor	Visão	Incolor	Incolor	Incolor
Cheiro	Olfato	Inodor	Inodora	Inodor
Deposito	Visão	Ausente	Presente	Presente
Turvação (NTU)	Turbidímerto	5	64,89	49.3
pH	PH – metro	6,5 - 8,5	6,90	8.1
Condutividade (µS/cm)	Condutivímetro	20 - 2000 µS/cm	113,4	153
ANÁLISE QUÍMICA				
Cloretos (mg/L de Cl)	Titulação com AgNO3	250	24,8	17.7
Análise microbiológica				
Coliformes fecais (NPM/100ml)	Tubos múltiplos	10	15	23

Fonte: elaborado pelo autor a partir dos resultados de análise efetuada no CHAEM.

Figura 36 – Imagens ilustrativas do processo de colheita da cana de açúcar em Mafambisse

Fonte: dados obtidos pelo autor nos campos agrícolas da açucareira de Mafambisse.

Na sequência, sabe-se que turbidez acima dos mínimos aceitáveis ambientalmente em meio aquático, influencia na diminuição da penetração da luz solar na água, reduzindo a capacidade da fotossíntese dos organismos. Outra consequência da turbidez é quando esses materiais se sedimentam e preenchem os espaços entre pedras e pedregulhos do fundo, podendo eliminar os locais de desovas de peixes e o habitat de diversos animais aquáticos.

Outra propriedade da água que registou resultados acima do aceitável são os coliformes fecais, na medida em que o máximo aceitável seria de 10 NPM/100 ml, sendo que os

dos pontos de coleta registaram 15 NPM/100 ml e 23 NPM/100 ml, constituindo um perigo não só para a vida dos trabalhadores da empresa da Tongatt Hulett, mas também para as populações residentes nas áreas adjacentes. A presença de coliformes fecais na água corrente pode ser resultado da falta de latrinas no interior dos campos agrícolas, o que leva aos trabalhadores a defecar a céu aberto. Na sequência, os trabalhadores da Tongatt Hulett, na área de cultivo e coleta de cana de açúcar tomam banho diretamente nos cursos de água quando terminam o trabalho diário, pelo que, também pode ser a fonte dos coliformes fecais. Portanto, torna-se necessário não só desenvolver campanhas de educação ambiental para evitar o fecalismo a céu aberto, mas também construir banheiros no interior dos campos agrícolas.

Para além das amostras de água extraídas para análise nos campos de cultivo de cana de açúcar, foram extraídas outras em dois pontos diferentes, na sub-região de Nhamacuara, Província de Manica, uma área que se desenvolve a mineração artesanal e semi-industrial de ouro, sendo que os resultados são apresentados na tabela 9.

Tabela 9 – Resultados de análise de água coletada na sub-região de Manica

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E ORGANOLÉPTICAS				
Parâmetro	**Método usado**	**Limite máximo admitido**	**Resultado**	
			Ponto 1	**Ponto 2**
Cheiro	Olfato	Inodor	Inodora	Inodora
Turvação (NTU)	Turbidímerto	5	199	307
pH	PH – metro	6,5 - 8,5	7.59	7.21
ANÁLISE QUÍMICA				
Cloretos (mg/L de Cl)	Titulação com AgNO3	250	70,9	177,25
Análise microbiológica				
Coliformes fecais (NPM/100ml)	Tubos múltiplos	10	>24	>24

Fonte: elaborado pelo autor a partir dos resultados de análise efetuada no CHAEM.

Os resultados obtidos quanto à turbidez revelam valores muito altos e muito acima do mínimo aceitável, sendo que estes níveis altos de turbidez (199 NTU e 307 NTU, dos dois pontos de coleta) podem ser justificados pelas características geomorfológicas da região que se associam a maior velocidade das águas do rio, consequentemente a maior capacidade de remoção e transporte dos sedimentos dos solos ou das rochas. Por outro lado, pode ser que a atividade de mineração do ouro esteja a contribuir para o incremento da turbidez na medida em que para além

de se efetuar escavações muito próximas das margens dos rios (destruindo a vegetação), o processamento para extração do ouro é feito diretamente no leito do rio, particularmente na mineração artesanal.

Importa destacar que as formações vegetais predominantes nas nascentes e margens dos rios, denominadas pela mata ciliar ou floresta de galeria desempenham uma diversidade de funções ecológicas, ao funcionar como esponja que absorve e retém a água e libera gradativamente tanto para o lençol freático como para o rio e por outro lado, por influenciarem na disponibilidade da qualidade da água em termos da sua qualidade na medida em que forma uma barreira aos sedimentos e da carga de poluentes físicos (diversos tipos de resíduos) e químicos como agrotóxicos carregados pela água das chuvas, evitando a contaminação da água dos rios.

Em relação a análise dos coliformes fecais, para os dois pontos de coleta, os resultados, há semelhança dos resultados obtidos na sub-região dos campos agrícolas de produção da cana de açúcar, revelam-se muito acima dos mínimos aceitáveis, conforme ilustram os dados da tabela 9, o que constitui perigo para as comunidades que vivem nas áreas adjacentes na medida em que consomem água tirada diretamente no rio. A fonte de coliformes fecais pode estar associada ao fecalismo a céu aberto uma vez que nestas áreas de mineração artesanal não tem latrinas construídas, no entanto, não se descarta a possibilidade de a montante existir pequenas descargas clandestinas de esgotos diretamente ao leito do rio.

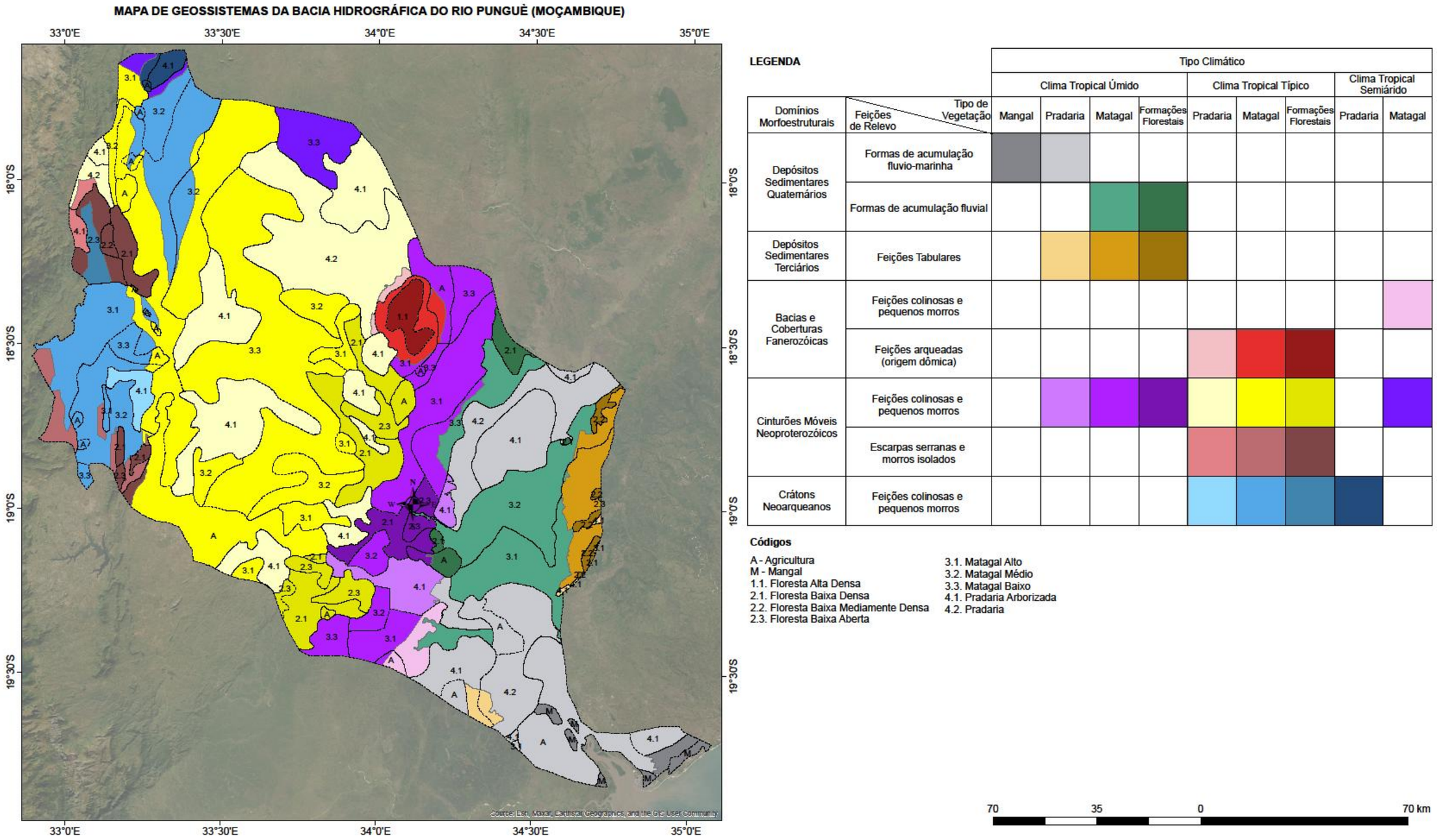
4.5 – Os Geossistemas da bacia Hidrográfica do rio Púnguè

Optou-se por analisar as unidades geossistêmicas agrupadas por domínios morfoestruturais. A bacia hidrográfica do rio Púnguè têm 05 (cinco) unidades morfoestruturais que condicionam os processos morfogenéticos da paisagem, sendo estes: Crátons Neoarqueanos, Cinturões Móveis Neoproterozóicos, Bacias e Coberturas Fanerozóicas, Depósitos Sedimentares do Terciário e depósitos sedimentares do Quaternário. Primeiro, faz-se a caracterização geral da bacia hidrográfica do rio Púnguè quanto aos aspectos climáticos, da cobertura da terra e fauna. Na sequência, faz-se caracterização geológica de cada unidade morfoestrutural, seguida da caracterização das unidades geossistêmicas que compõem a cada unidade morfoestrutural, conforme a Tabela 10 e a Figura 37.

Tabela 10– Unidades Geossistêmicas da bacia hidrográfica do rio Púnguè

Designação das unidades geossistêmicas	**Área (km²)**
Formações colinosas e pequenos morros em rochas cratônicas cobertos por Formações Florestais no Clima Tropical Típico	143,55
Formações colinosas e pequenos morros em rochas cratônicas cobertos por Matagal no Clima Tropical Típico	2.380,65
Formações colinosas e pequenos morros em rochas cratônicas cobertos por Pradarias no Clima Tropical Típico	150,00
Formações colinosas e pequenos morros em rochas cratônicas cobertos por Pradarias no Clima Tropical Semiárido	131,90
Formações colinosas e pequenos morros em rochas dos Cinturões Móveis Neoproterozóicos cobertos por Formações Florestais no Clima Tropical Úmido	1397,00
Formações colinosas e pequenos morros em rochas dos Cinturões Móveis Neoproterozóicos cobertos por Matagal no Clima Tropical Úmido	2.162,00
Formações colinosas e pequenos morros em rochas dos Cinturões Móveis Neoproterozóicos cobertos por Pradarias no Clima Tropical Úmido	434,60
Formações colinosas e pequenos morros em rochas dos Cinturões Móveis Neoproterozóicos cobertos por Formações Florestais no Clima Tropical Típico	440,80
Formações colinosas e pequenos morros em rochas dos Cinturões Móveis Neoproterozóicos cobertos por Matagal no Clima Tropical Típico	6.880,00
Formações colinosas e pequenos morros em rochas dos Cinturões Móveis Neoproterozóicos cobertos por Pradarias no Clima Tropical Típico	4.198,00
Formações colinosas e pequenos morros em rochas dos Cinturões Móveis Neoproterozóicos cobertos por Matagal no Clima Tropical Semiárido	538,70
Escarpas Serranas em rochas dos Cinturões Móveis Neoproterozóicos cobertos por Formações Florestais no Clima Tropical Típico	528,60
Escarpas Serranas em rochas dos Cinturões Móveis Neoproterozóicos cobertos por Matagal no Clima Tropical Típico	261,00
Escarpas Serranas em rochas dos Cinturões Móveis Neoproterozóicos cobertos por Pradarias no Clima Tropical Típico	96,72
Formações colinosas e pequenos morros em rochas das Bacias e Coberturas Fanerozóicas cobertos por Matagal no Clima Tropical Úmido	207,50
Feições dômicas intrusas em rochas das Bacias e Coberturas Fanerozóicas cobertos por Formações Florestais no Clima Tropical Típico	209,90
Feições dômicas intrusas em rochas das Bacias e Coberturas Fanerozóicas cobertos por Matagal no Clima Tropical Típico	280,00
Feições dômicas intrusas em rochas das Bacias e Coberturas Fanerozóicas cobertos por Pradarias no Clima Tropical Típico	49,46
Feições Tabulares em Depósitos Sedimentares Terciários cobertos por Formações Florestais no Clima Tropical Úmido	124,40
Feições Tabulares em Depósitos Sedimentares Terciários cobertos por Matagal no Clima Tropical Úmido	516,40
Feições Tabulares em Depósitos Sedimentares Terciários cobertos por Pradarias no Clima Tropical Úmido	115,50
Formas de acumulação fluvial em Depósitos Sedimentares Quaternários cobertos por Formações Florestais no Clima Tropical Úmido	220,50
Formas de acumulação fluvial em Depósitos Sedimentares Quaternários cobertos por Matagal no Clima Tropical Úmido	2.046,00
Formas de acumulação fluviomarinho em Depósitos Sedimentares Quaternários cobertos por Mangal no Clima Tropical Úmido	212,70
Formas de acumulação fluviomarinha em Depósitos Sedimentares Quaternários cobertos por Pradaria no Clima Tropical Úmido	3.679,00
Área total das Unidades Geossistêmicas	27.385,09

Figura 37 – Mapa de Geossistemas da bacia hidrográfica do rio Púnguè



Fonte: GTK (2006), (BOLFE *et al.*, 2011), CENACARTA (2011). Organizado pelo autor.

Na unidade morfoestrutural dos Crátons Neoarqueanos foram delimitadas 4 unidades geossistêmicas: (1) Formações colinosas e pequenos morros em rochas cratônicas cobertos por Formações Florestais no Clima Tropical Típico, (2) Formações colinosas e pequenos morros em rochas cratônicas cobertos por Matagal no Clima Tropical Típico, (3) Formações colinosas e pequenos morros em rochas cratônicas cobertos por Pradarias no Clima Tropical Típico e (4) Formações colinosas e pequenos morros em rochas cratônicas cobertos por Pradarias no Clima Tropical Semiárido.

A primeira Unidade geossistêmica da zona cratônica, denomina-se *"*Formações colinosas e pequenos morros em rochas cratônicas cobertos por Formações Florestais no Clima Tropical Típico*",* apresentando uma área de 143,55 km², o que corresponde aproximadamente 5% das áreas cratônicas. Configura-se como uma área formada por colinas suaves e morros situadas no fundo de vale no sopé de escarpas serranas, entre 580 e 830 m de altitude. Apresenta uma área intensamente dissecada, individualizando feições colinosas com amplitude variando entre 10 e 40 metros e morros com amplitude variando entre 100 e 300 m. O entalhamento dos vales na porção central dessa unidade varia entre 10 e 30 metros enquanto nas suas áreas limítrofes, o entalhamento é superior a 40 m, resultando em um relevo com dissecação predominantemente forte a muito forte.

A estrutura geológica, formada pela associação de maciços graníticos associados a ortognaisses máficos a intermediários associada os desníveis do terreno e aos processos climáticos, formam na área duas classes de solos predominantemente os *Eutric Leptosol* e os *Rhodic Ferralso*, apresentando fragilidade aos processos erosivos entre muito baixa e baixa. Essa Unidade geossistêmica apresenta como cobertura vegetal natural a Floresta Baixa medianamente densa, possível de se formar graças aos volumes médios anuais de precipitação, que se situam, associados as temperaturas médias anuais que variam entre 22 e 23°C, com exceção do extremo sul da Unidade geossistêmica nas quais a temperatura média variam entre 21 e 22°C. Tais características têm a influência da região serrana da porção oeste da bacia hidrográfica.

A segunda Unidade geossistêmica situada nas zonas cratônicas é a de "Formações colinosas e pequenos morros em rochas cratônicas cobertos por Matagal no Clima Tropical Típico", que tem área de 2.380,66 km², o que corresponde a cerca de 84% as áreas cratônicas. Essa unidade é formada predominantemente por colinas suaves e identifica-se alguns morros isolados situadas que estão entre 480 e 1.220 m de altitude. Apresenta uma área intensamente

dissecada, individualizando feições colinosas predomínio de colinas suaves, com amplitude variando entre 10 e 20 metros, exceto nas áreas situadas nos fundos de vale, no qual o entalhamento varia entre 20 e 30 metros. Os morros isolados apresentam amplitude mais alta, entre 100 e 200 metros predominantemente, com exceção dos morros isolados da região central dessa unidade geossistêmica em que a amplitude se aproxima de 300 metros, resultando em um relevo formado por processos de dissecação forte e muito forte.

As rochas dessa unidade geossistêmica apresentam resistências variadas, identificando como rochas ígneas plutônicas: Granito foliado, localmente porfiríticos, e em alguns casos com veios de quartzo e rochas metamórficas como Metagabro, Tonalito de grão médio, foliado e granodiorito, Gnaisse de composição TTG, bandado, dentre outras, o que faz com que os processos de erosão e dissecação sejam diferenciados a depender da resistência da rocha. Cabe ressaltar que pequenos núcleos de rochas sedimentares e metassedimentares Proterozóicas associadas ao ciclo de orogenia pretérito foram localizados nessa unidade. Considerando a complexidade geológica e os processos morfogenéticos do relevo associados aos processos climáticos, nessa unidade identifica-se quatro classes de solos: *Cambic arenosol, Ferralic Arenos, Eutric Leptoso e Rhodic Ferralso*. Essa diversidade pedológica faz com que nessa unidade geossistêmica a fragilidade aos processos erosivos varie: é fraca a média nas áreas com *Cambic arenosol*; é muito baixa ou baixa nas áreas cobertas pelos *Ferralics Arenos;* e nas áreas com *Eutric Leptosol* e os *Rhodic Ferralso*, apresentando fragilidade aos processos erosivos entre muito baixa e baixa.

Essa Unidade geossistêmica apresenta duas grandes manchas distintas na bacia hidrográfica do rio Púnguè, por isso os atributos climáticos variam, e com isso o porte da vegetação. A porção que está à noroeste da bacia hidrográfica apresentam médias anuais pluviométricas variam de 1.200 a 1.600 mm e temperaturas médias anuais situadas entre 22 e 23°C onde predominam a vegetação denominada de Matagal e seus extratos alto e médio. Já na porção que está a oeste da bacia hidrográfica, as médias anuais pluviométricas de 1.000 a 1.600 mm e temperaturas médias anuais situadas entre 21 e 22ºC, apresentando predominantemente Matagal com extrato alto e médio e em duas áreas que ocorre o Matagal baixo, associados aos *Ferralic Arenos* com declividades mais acentuadas (superiores a 20%).

A terceira Unidade Geossistêmica, a de “Formações colinosas e pequenos morros em rochas cratônicas cobertos por Pradarias no Clima Tropical Típico” apresenta área de 150 km², o

que corresponde a 5% das áreas cratônicas. Essa unidade é formada predominantemente por colinas suaves e identifica-se alguns morros isolados situadas que estão entre 490 e 880 m de altitude. Apresenta uma área intensamente dissecada, por conta da alta densidade da drenagem, responsável por esculpir colinas suaves, predominando colinas com amplitude 10 metros, exceto nas áreas situadas nos fundos de vale, no qual o entalhamento varia entre 20 e 30 metros. Os morros isolados apresentam amplitude mais alta, entre 150 e 300 metros, resultando em um relevo formado por processos de dissecação forte e muito forte.

As rochas dessa unidade geossistêmica apresentam resistências variadas, identificando como rochas ígneas plutônicas. O Granito foliado, localmente porfiríticos, com veios de quartzo e rochas metamórficas como Metagabro, Ortognaisse máfico a intermédio e Gnaisse de composição TTG, bandado, dentre outras, o que faz com que os processos de erosão e dissecação sejam diferenciados a depender da resistência da rocha. Considerando a complexidade geológica e os processos morfogenéticos do relevo associados aos processos climáticos, nessa unidade identificam-se duas classes de solos: *Ferralic Arenos e Rhodic Ferralso*, solos que apresentam fragilidade aos processos erosivos entre muito baixa e baixa.

Nessa Unidade geossistêmica forma-se uma Pradaria Arborizada. Esse tipo de vegetação é adaptado aos solos arenosos e rasos da área, bem como a sazonalidade climática, que define duas estações bem definidas: uma estação quente e úmida e outra com temperaturas amenas e marcada por um período de estiagem de 5 a 6 meses. As médias anuais pluviométricas variam de 1.200 a 1400 mm e temperaturas médias anuais situadas entre 21 e 22°C.

A última Unidade geossistêmica das zonas cratônicas denomina-se “Formações colinosas e pequenos morros em rochas cratônicas cobertos por Pradarias no Clima Tropical Semiárido” que apresenta área de 131,91 km² e corresponde a 4,7% das zonas cratônicas da bacia hidrográfica do rio Púnguè. É a unidade geossistêmica mais homogênea geologicamente tem rochas do Complexo Mudzi, o Gnaisse granodiorítico com bandas anfibolíticas. É uma área formada por colinas, decorrentes do intenso processo de dissecação da área por uma drenagem dendrítica. Predominam as colinas suaves, que apresentam amplitude de 10 metros predominantemente. A amplitude máxima é de 100 metros em pequenos morros isolados. Essa unidade geossistêmica apresentam duas classes de solos: Ferralic Arenos e Rhodic Ferralso, presentes em toda a zona cratônicas, e que apresentam fragilidade aos processos erosivos entre muito baixa e baixa.

Os solos ferralíticos são típicos de regiões tropicais e que geralmente se desenvolvem sobre rochas eruptivas e metamórficas (Muchangos, 1999), característico da geologia do geossistema em descrição. Devido às características geomorfológicas, em particular a declividade, os solos apresentam algumas perturbações no processo de evolução, refletindo-se no perfil e na difusa diferenciação dos horizontes. Essa unidade geossistêmica está no domínio do Clima Tropical Semiárido, caracterizado por chuvas concentradas no verão com pelo menos 8 meses de estiagem. As médias anuais pluviométricas variam de 1.000 a 1200 mm e temperaturas médias anuais situadas entre 22 e 23°C. Essa área é coberta pela Pradaria Arborizada, que no seu limite sudoeste foi substituída pela agricultura. As pradarias podem ser arborizadas ou arbustivas, sendo que neste caso, as árvores apresentam-se dispersas. Portanto, a denominação pradaria, equivale a denominação savanas e estão relacionadas a sub-regiões com fraca precipitação com defende Muchangos (1990) ao afirmar que em regiões de relativa fraca pluviosidade, normalmente a afastadas da costa e de solos secos, ocorre uma associação vegetal, vulgarmente designada por Savana, podendo ser diferenciada em arbórea ou arbustiva conforme a dominância de árvores ou arbustos nos respectivos estratos, mas com um estrato herbáceo sempre presente.

Na unidade morfoestrutural dos Cinturões Móveis Neoproterozóicos foram delimitadas 10 (dez) unidades geossistêmicas (vide a tabela 8 e figura 36), portanto, é a unidade morfoestrutural com maior número de geossistemas na bacia hidrográfica do rio Púnguè.

A primeira Unidade geossistêmica dos cinturões móveis denomina-se *"*Formações colinosas e pequenos morros em cinturões móveis cobertos por Formações Florestais no Clima Tropical Úmido", apresenta área de 1397,00 km² o que corresponde a 8,25% dos cinturões móveis Neoproterozóicos. Configura-se como uma área formada por colinas suaves e morros situados no fundo de vale no sopé de escarpas serranas, entre 50 e 430 m de altitude. Apresenta uma área intensamente dissecada, individualizando feições colinosas com amplitude variando entre 10 e 20 metros e morros com amplitude variando entre 100 e 150 m. O entalhamento dos vales é predominantemente de 10 e 20 metros, por conta das colinas suaves um relevo com dissecação forte.

A estrutura geológica, formada pela associação de rochas metamórficas e metassedimentares intercaladas por intrusões máficas. Na área encontra-se o gnaisse do Monte Chissui; o gnaisse biotítico félsico, o metagranito, o metassedimento siliciclástico, o micaxisto e gnaisse micáceo; a lentícula de quartzo, comumente brechóide e, o paragnaisse migmatítico. Os

processos intempéricos alteram essas rochas deram gênese aos seguintes solos: Cambic arenosol, Ferralic Arenos, Ferric Lixisols e Haplic Acrisols. A área apresenta fragilidade aos processos erosiva predominantemente baixa e média. Esta Unidade geossistêmica apresenta como cobertura vegetal natural a Floresta Baixa Aberta e na porção nordeste a Floresta Baixa Mediamente Densa, possível de se formar graças aos volumes médios anuais de precipitação (entre 800 e 1200 mm), que se situam, associados as temperaturas médias anuais que variam entre 23 e 24°C.

A segunda Unidade geossistêmica dos cinturões móveis, chama-se "Formações colinosas e pequenos morros em cinturões móveis cobertos por Matagal no Clima Tropical Úmido" apresenta área de 2162 km², o que corresponde a 12,16% da área dessa morfoestrutura. Essa unidade é formada predominantemente por colinas suaves e identificam-se alguns morros isolados situadas que estão entre 60 e 400 m de altitude. Apresenta uma área intensamente dissecada, por conta da alta densidade da drenagem, responsável por esculpir colinas suaves, predominando colinas com amplitude 10 metros, exceto nas áreas situadas nos fundos de vale, no qual o entalhamento varia entre 20 e 30 metros. Os morros isolados apresentam amplitude mais alta, entre 150 e 300 metros, resultando em um relevo formado por processos de dissecação predominantemente forte.

As rochas dessa unidade geossistêmica apresentam resistências variadas, identificando como rochas ígneas plutônicas como o gabro, rocha gabróica e o ortognaisse do Inchope, com 1079 M.a. (U/Pb), magmático, bem como rochas metamórficas e sedimentares, formadas por: (a) Gnaisse do Monte Chissui, gnaisse biotítico félsico, metagranito;, (b) Membro gresoso de Tório, grés conglomerático (elevada expressão em Tório), (c) Metassedimento siliciclástico, (d) Paragnaisse migmatítico, e (e) Quartzito feldspático, granatífero.

Considerando a complexidade geológica e os processos morfogenéticos do relevo associados aos processos climáticos, nessa unidade identifica-se as seguintes classes de solos: o *Albic e Cambic* apresentou indicador de fragilidade a processos erosivos é baixo; o *Cambic arenosol* tem indicador de fragilidade a processos erosivos é médio; no *Eutric Leptosol* o indicador de fragilidade a processos erosivos alta a muito alta; para o *Ferralic Arenos, o* indicador de fragilidade a processos erosivos muito baixa e baixa; já para *Ferric Lixisols* o indicador de fragilidade a processos erosivos é baixo a media; O *Haplic Acrisols*, apresentou indicador de fragilidade a processos erosivos é de média a baixa; e para *Haplic Lixisols*, o indicador de fragilidade a processos erosivos é baixo. Nessa Unidade geossistêmica forma-se

Matagal em seus três diferentes extratos Matagal Alto, Matagal Médio e Matagal Baixo. O porte da vegetação tem relação com as características do solo e a umidade da área, influenciada pela posição das vertentes. Esse tipo de vegetação é adaptado às médias anuais pluviométricas variam de 1.000 a 1200 mm e temperaturas médias anuais situadas entre 23 e 24 ºC.

A terceira Unidade geossistêmica dos cinturões móveis, denomina-se "Formações colinosas e pequenos morros em cinturões móveis cobertos por Pradarias no Clima Tropical Úmido", apresenta área de 434,6 km² o que corresponde a cerca de 2,5% das áreas de cinturões móveis. Configura-se como uma área formada por colinas suaves e morros isolados situadas entre 50 e 450 m de altitude. Apresenta uma área intensamente dissecada, individualizando feições colinosas com amplitude predominante de 10 metros, com algumas colinas com amplitude chegando a 30 metros e morros com amplitude variando entre 50 e 80 m. O entalhamento dos vales na porção central dessa unidade é predominantemente de 10 metros, resultando em um relevo com dissecação predominantemente forte.

A estrutura geológica, formada pela associação de rochas plutônicas e rochas metasedimentares como a Brecha carbonatítica, Carbonatito, Gabro, rocha gabróica, Gnaisse do Monte Chissui; gnaisse biotítico félsico, metagranito, Metassedimento siliciclástico, Micaxisto e gnaisse micáceo, Microssienito, traquito, Ortognaisse do Inchope, 1079 M.a. (U/Pb), magmático e Paragnaisse migmatítico. Essa configuração geológica, associada os desníveis do terreno e aos processos climáticos, formam as seguintes classes de solos: os *Cambic arenosol* que o indicador de fragilidade a processos erosivos é predominantemente baixo, *Eutric fluvisol* o indicador de fragilidade a processos erosivos varia entre médio e alto, *Eutric Leptosol* o indicador de fragilidade a processos erosivos é alto, *Ferralic Arenos* o indicador de fragilidade a processos erosivos varia de muito baixo a baixo, *Ferric Lixisols* o indicador de fragilidade a processos erosivos é médio, *Haplic Acrisols* o indicador de fragilidade a processos erosivos varia de baixo a médio *e os Mollic Fluvisol, Rhodic Ferralso*, apresentando fragilidade aos processos erosivos entre fluvisol médio e alto.

Essa Unidade geossistêmica apresenta como cobertura vegetal natural a Pradaria Arborizada, possível de se formar graças aos volumes médios anuais de precipitação, que se situam entre 800 a 1200 mm, associados às temperaturas médias anuais acima de 25ºC.

A quarta Unidade geossistêmica dos cinturões móveis, foi denominado de *"*Formações colinosas e pequenos morros em cinturões móveis cobertos por Formações

Florestais no Clima Tropical Típico*",* apresenta área de 440,80km², o que corresponde a cerca de 2% da área total dos cinturões móveis. Configura-se como uma área formada por colinas suaves e morros isolados situados entre 110 e aproximadamente 800 m de altitude. Apresenta uma área predominantemente de dissecação forte, individualizando feições colinosas com amplitude predominante de 10 metros, com algumas colinas com amplitude chegando a 140 metros e morros com amplitude variando entre 50 e 140 metros. O entalhamento dos vales predominante é de 10 metros, entretanto, nos principais vales nota-se uma variação espacial entre 40 a 50 metros, o que justifica a predominância de dissecação forte.

A estrutura geológica é formada pela associação de rochas plutônicas e rochas metassedimentares do complexo geológico de Báruè (grupos Chimoio e Macossa), envolvendo os seguintes tipos de rochas: Paragnaisse migmatítico, Gabro, rocha gabróica, Ortognaisse do Inchope, 1079 M.a. (U/Pb), magmático, Gnaisse horneblêndico, anfibolito, Gnaisse do Monte Chissui; gnaisse biotítico félsico, metagranito, Micaxisto e gnaisse micáceo, Gnaisse leucocrático granatífero do Monte Tomonda, Gnaisse granatífero-silimanítico, gnaisse micáceo, metagrauvaque, Metassedimento siliciclástico, Paragnaisse migmatítico e Quartzito feldspático, granatífero.

A configuração geológica dessa unidade geossistêmica, associada às irregularidades topográficas e aos processos climáticos, formam as seguintes classes de solos: *Haplic Acrisols* (que se desenvolvem em interflúvios e em encostas médias, com topografia do tipo ondulado e são de drenagem moderada), com indicador de fragilidade a processos erosivos que varia de baixa a média, *Ferralic Arenos* (ocorrem em terrenos ondulados entre 0 a 6% e são de drenagem pouco excessiva), com indicador de fragilidade a erosão que varia de muito baixa a baixa, *Cambic arenosol* (ocorrem em declives de 0 a 8 e são de drenagem pouco excessiva), com indicador de fragilidade a erosão que varia de fraca a média e *Ferric Lixisols* (ocorrem encostas superiores e em interflúvios, com terrenos ondulados de 0 a 8%), com indicador de fragilidade a erosão médio. Esta Unidade geossistêmica é coberta predominantemente por floresta aberta, associando-se a precipitação média anual entre 1000 a 1200 mm e em temperaturas médias que variam 20 a mais de 25ºC.

A quinta Unidade geossistêmica dos cinturões móveis são as “Formações colinosas e pequenos morros em cinturões móveis cobertos por Matagal no Clima Tropical Típico”, representada numa área de 6.880 km², o que corresponde a 40,62% das áreas dessa

morfoestrutura, envolvendo os distritos de Gondola, Macossa, Manica e Báruè na província de Manica. Esta unidade geossistêmica é formada predominantemente por colinas suaves e identifica-se alguns morros isolados situadas que estão entre 170 e 1380 m de altitude. Apresenta uma área com dissecação predominantemente forte a médio, predominando colinas com amplitude 10 metros, exceto nas áreas situadas nos fundos de vale, no qual o entalhamento é de 30 metros.

As rochas dessa unidade geossistêmica são predominantemente do complexo Báruè (grupo Chimoio e Macossa), com variação espacial de rochas plutônicas e metassedimentares nomeadamente: Gnaisse do Monte Chissui, gnaisse biotítico félsico, metagranito, Metagranito com granada, paragnaisse, Granodioríto e tonalito do Monte Hombe, migmatítico, Diorito piroxénico, Gnaisse granítico com anfíbola, Gnaisse do Monte Chissui; gnaisse biotítico félsico, metagranito, Paragnaisse migmatítico, Gabro, rocha gabróica, Ortognaisse do Inchope, 1079 M.a. (U/Pb), magmático, Gnaisse horneblêndico, anfibolito, Gnaisse leucocrático, geralmente granatífero, Quartzito feldspático, granatífero, Gnaisse leucocrático granatífero do Monte Tomonda, Gnaisse granatífero-silimanítico, gnaisse micáceo, metagrauvaque, Gnaisse calco-silicatado, escarnito, Granito do Monte Senge, deformado, Quartzo-diorito da Foz do Rio Banhale, Metassedimento siliciclástico, Gnaisse arcósico, localmente com anfibolito, Quartzito sacaróide, xisto quartzítico, Xisto moscovítico-biotítico (<2041 M.a., U/Pb), Granito foliado, localmente porfirítico, e Quartzito.

Face à complexidade geológica e os processos morfogenéticos do relevo associados aos processos climáticos, nessa unidade identifica-se as seguintes classes de solos: *Eutric Leptosol*, com indicador de fragilidade a processos erosivos médio a alto; *Haplic Lixisols*, com indicador de fragilidade a processos erosivos baixo, *Rhodic Ferralso* (ocorrem em encostas superiores e em interflúvios, de drenagem boa) com indicador de fragilidade a processos erosivos que varia de muito fraca a fraca, *Cambic arenosol* com indicador de fragilidade a processos erosivos entre baixo a médio, *Ferralic Arenos* como indicador de fragilidade a processos erosivos muito fraco a fraco e *Ferric Lixisols* cujo indicador de fragilidade a processos erosivos é fraco a médio. Nesta Unidade Geossistêmica, a cobertura vegetal é predominantemente por matagal (com variação espacial de matagal alto, médio e baixo). Esse tipo de vegetação devolve-se sob influência de precipitação anual que varia de 1.000 a 1400 mm e temperaturas médias anuais situadas entre 17 e 24ºC, mas com subárea com temperaturas médias de 15ºC.

A sexta Unidade geossistêmica situada nos cinturões móveis da bacia hidrográfica do rio Púnguè, denomina-se *"*Formações colinosas e pequenos morros em cinturões móveis cobertos por Pradarias no Clima Tropical Típico*",* que se expande por uma área de 4.198 km², o que corresponde a cerca de 24,79% dos cinturões móveis. Esta unidade geossistêmica é formada predominantemente por colinas suaves e identificam-se alguns morros isolados situadas que estão entre 170 e 1.820 m de altitude. Apresenta uma área predominantemente de dissecação alta, individualizando feições colinosas predomínio de colinas suaves, com amplitude variando entre 10 e 20 metros, exceto nas áreas mais elevadas, no qual o entalhamento varia entre 40 a 50 metros, sobretudo a nordeste do geossistema (distrito de Báruè, posto administrativo de Choa).

As rochas dessa unidade geossistêmica são maioritariamente do complexo Báruè (Grupo Macossa e grupo Chimoio), ocorrendo uma variação espacial de rochas plutónicas e metassedimentos, com predominância de Paragnaisse migmatítico; seguido de Gnaisse arcósico, localmente com anfibolito, para além de ocorrência significativa e localizada de Gnaisse do Monte Chissui; gnaisse biotítico félsico, metagranito; Metagranito com granada, paragnaisse; Diorito piroxénico, Gabro, Lentícula de quartzo, comumente brechóide; Gnaisse granítico com anfíbola; Gabro, rocha gabróica; Ortognaisse do Inchope, 1079 M.a. (U/Pb), magmático; Quartzito feldspático, granatífero; Gnaisse leucocrático granatífero do Monte Tomonda; Gnaisse granatífero-silimanítico, gnaisse micáceo, metagrauvaque; Gnaisse calco-silicatado, escarnito; Granodiorito do Monte Panda, deformado; Horneblendito; Metassedimento siliciclástico; Xisto moscovítico-biotítico (<2041 M.a., U/Pb); Quartzito sacaróide; xisto quartzítico e Quartzito.

Considerando a complexidade geológica e os processos morfogenéticos do relevo associados aos processos climáticos, nessa unidade ocorrem seis tipos de solos nomeadamente: Cambic arenosol (indicador de fragilidade aos processos erosivos fraco a médio), *Eutric Leptosol* (indicador de fragilidade a processos erosivos médio a alto), *Ferralic Arenos* (indicador de fragilidade a processos erosivos que varia de muito fraco a fraco), *Ferric Lixisols* (indicador de fragilidade a processos erosivos é fraco a médio), *Haplic Acrisols* (indicador de fragilidade a processos erosivos baixo) e *Rhodic Ferralso* (indicador de fragilidade a processos erosivos entre muito fraco a fraco).

Nessa unidade geossistêmica, devido a significativa variação espacial altimétrica e consequente influência do relevo nos processos climáticos, nota-se variação espacial das médias de precipitação, atingindo entre 1.400 e 1.600mm na localidade de Shoa Sede, 1.200mm na

localidade de Nhamazi sede, 1.400mm em Nhambonda e os valores mais baixos entre 700 a 800 mm, a norte do geossistema, concretamente na localidade de Macossa sede. As temperaturas médias anuais neste geossistema variam em função da altitude, suando-se entre 15 a 25ºC. As condições climáticas que caracterizam o geossistema favorecem predominância de pradaria arborizada.

A sétima Unidade geossistêmica dos cinturões móveis, foi designada de "Formações colinosas e pequenos morros em cinturões móveis cobertos por Matagal no Clima Tropical Semiárido", está representada numa área de 538 km², o que corresponde a 3,14% das áreas dessa morfoestrutura, enquadrando-se administrativamente nas localidades de Macossa sede e Rio dos Elefantes no distrito de Macossa e localidades de Nhanssacara e Nhampassa, sede no distrito de Báruè.

Essa unidade geossistêmica é formada predominantemente por colinas suaves e identificam-se alguns morros isolados situadas que estão entre 480 e 1.140 m de altitude. Apresenta uma área com dissecação predominantemente forte, sendo que as colinas com amplitude 10 metros são as mais comuns, exceto nas áreas mais elevadas, nas quais o entalhamento varia de 40 a 50 metros e nos vales de 20 a 30 metros.

As rochas desta unidade geossistêmica são predominantemente do complexo Báruè (grupo Macossa), com variação espacial de rochas plutônicas e metassedimentares nomeadamente: Gnaisse arcósico, localmente com anfibolito (predominante); Gnaisse calco-silicatado, escarnito, Gnaisse granatífero-silimanítico, gnaisse micáceo, metagrauvaque; Gnaisse leucocrático granatífero do Monte Tomonda; Gnaisse quartzo-feldspático, migmatítico; Granito do Monte Senge, deformado; Granito-gnaisse com gnaisse máfico, migmatítico do Monte Calinga Muci, 867±9 M.a. (U/Pb), magmático; Paragnaisse migmatítico; Quartzito feldspático, granatífero; Quartzito sacaróide, xisto quartzítico e Xisto moscovítico-biotítico (<2041 M.a., U/Pb).

Face à complexidade geológica e os processos morfogenéticos do relevo associados aos processos climáticos, nessa unidade identificam-se os seguintes tipos de solos: *Cambic arenosol*, com indicador de fragilidade a processos erosivos médio; *Eutric Leptosol* com indicador de fragilidade a processos erosivos alto, *Ferralic Arenos* com indicador de fragilidade a processos erosivos muito fraco a fraco; *Ferric Lixisols* com indicador de fragilidade a processos erosivos médio; *Rhodic Ferralso* com indicador de fragilidade a processos erosivos fraco; e

Haplic Lixisols, com indicador de fragilidade a processos erosivos baixo. Nesta Unidade Geossistêmica, a cobertura vegetal é predominantemente por matagal, variando espacialmente de matagal alto, médio e baixo. Esse tipo de vegetação devolve-se sob influência de precipitação anual que varia de 700 a 800 mm e temperaturas médias anuais situadas entre 20 e 25ºC.

A oitava Unidade geossistêmica dos cinturões móveis, chama-se "Escarpas Serranas em cinturões móveis cobertos por Formações Florestais no Clima Tropical Típico", estende-se numa área de 528,6 km², o equivalente a 3,12% da área total dos cinturões móveis, com enquadramento administrativo nas localidades Choa e Chuala no distrito de Báruè.

Essa unidade geossistêmica regista-se ocorrência significativa de relevo serrano cuja altitude máxima atinge os 1.724 e a altitude dos morros varia entre 507 e 1.724 m de. Apresenta uma área com dissecação que varia predominantemente de forte a muito forte, sendo que as colinas com amplitude 50 metros são comuns a norte-nordeste e oeste do geossistema. A leste e sudeste deste geossistema, as colinas predominantes são de 10 metros de amplitude, exceto nos ao longo dos vales que a amplitude varia de 20 a 30 metros. As rochas desta unidade geossistêmica são predominantemente do complexo Mavonde (grupo Gairezi), com variação espacial de rochas plutônicas e metasedimentares, destacando-se as seguintes variedades de rochas: Xisto moscovítico-biotítico (<2041 M.a., U/Pb) (predominante); Quartzito sacaróide, xisto quartzítico; Quartzito; Ortognaisse máfico a intermédio; Granito maciço; Granito foliado, localmente porfirítico; Gnaisse de composição TTG e Granito foliado, localmente porfirítico, veio de quartzo (Unidade A3Vqz).

As características pedológicas dessa unidade geossistêmica se associam à diversidade geológica, geomorfológicas e às características climáticas, destacando-se três tipos de solos, a saber: *Eutric Leptosol* cujo indicador de fragilidade a processos erosivos é médio a alto, *Ferralic Arenos* com indicador de fragilidade a processos erosivos muito fraco a fraco *e Rhodic Ferralso* com indicador de fragilidade a processos erosivos fraco a muito fraco. A cobertura vegetal é predominantemente a floresta baixa (variando espacialmente de floresta aberta, moderadamente densa e densa), devolve-se sob influência de precipitação anual que varia de 1.200 a 1.600 mm e temperaturas médias anuais situadas entre 17 e 25°C.

A nona Unidade geossistêmica dos cinturões móveis designadas por "Escarpas Serranas em cinturões móveis cobertos por Matagal no Clima Tropical Típico", ocupa uma área de 261 km², proporcional a 1,54% da área total dos cinturões móveis, enquadrando-se

administrativamente nas localidades Mavonde Sede, Chitunga, Bandula, Púnguè Sul e Vanduzi Sede, distrito de Manica. Nesta unidade geossistêmica regista-se ocorrência predominante de relevo serrano com altitudes que variam de 584 e 1.839 metros. Apresenta uma área com dissecação predominantemente muito forte. As amplitudes dominantes são de 50 metros variando espacialmente com as de 40 metros.

As rochas dessa unidade geossistêmica são predominantemente do complexo Mavonde, com variação espacial de rochas plutônicas, vulcânicas e metasedimentares, destacando-se as seguintes variedades de rochas: Granito foliado, localmente porfirítico, veio de quartzo (Unidade A3Vqz); Ortognaisse máfico a intermédio, Tonalito de grão médio, foliado e granodiorito, Metagabro; Pegmatito; Serpentinito, metakomatiito; Quartzito; e Xisto moscovítico-biotítico (<2041 M.a., U/Pb).

Os solos dessa unidade geossistêmica se associam à diversidade geológica, geomorfológica e às características climáticas, evidenciando-se três tipos de solos, nomeadamente: *Eutric Leptosol* cujo indicador de fragilidade a processos erosivos é médio a alto, *Ferralic Arenos* com indicador de fragilidade a processos erosivos fraco e *Rhodic Ferralso* com indicador de fragilidade a processos erosivos fraco a médio. A cobertura vegetal é predominantemente é o matagal (alto e médio), devolve-se sob influência de precipitação anual que varia de 1200 a 1400 mm e temperaturas médias anuais situadas entre 15 e 25°C.

A décima Unidade geossistêmica dos cinturões móveis, denomina-se “Escarpas Serranas em cinturões móveis cobertos por Pradarias no Clima Tropical Típico”, estende-se por uma área de 96,72 km², equivalente a 0,57% da área total dos cinturões móveis, enquadrando-se administrativamente na localidade Shoa Sede, distrito de Báruè. Nesta unidade geossistêmica regista-se ocorrência predominante de relevo serrano com altitudes que variam de 779 e 1872 metros. Apresenta uma área com dissecação predominantemente muito forte a forte. As amplitudes dominantes são de 50 metros variando espacialmente com as de 40 metros.

As rochas desta unidade geossistêmica são predominantemente do complexo Mavonde, de natureza metassedimentar, destacando-se três variedades: Xisto moscovítico-biotítico (<2041 M.a., U/Pb) (predominantes); Quartzito sacaróide, xisto quartzítico e Ortognaisse máfico a intermédio.

As características pedológicas da unidade se associam à diversidade geológica, altimétrica e às características climáticas, variando espacialmente dois tipos de solos,

nomeadamente: *Eutric Leptosol* (os predominantes) cujo indicador de fragilidade a processos erosivos é médio a alto e *Rhodic Ferralso* com indicador de fragilidade a processos erosivos fraco. A cobertura vegetal predominantemente é pradaria arborizada e arbustiva, devolvendo-se sob influência de condições climáticas modificadas pela altitude, de precipitação média anual que varia de 1400 a 1600 mm e temperaturas médias anuais situadas entre 15 e 20ºC.

Na unidade morfoestrutural de Bacias e Coberturas Fanerozóicas foram delimitadas 04 (quatro) geossistemas, nomeadamente: (1) Formações colinosas e pequenos morros em rochas das Bacias e Coberturas Fanerozóicas cobertos por Matagal no Clima Tropical Úmido, (2) Feições dômicas intrusas em rochas das Bacias e Coberturas Fanerozóicas cobertos por Formações Florestais no Clima Tropical Típico, (3) Feições dômicas intrusas em rochas das Bacias e Coberturas Fanerozóicas cobertos por Matagal no Clima Tropical Típico, e (4) Feições dômicas intrusas em rochas das Bacias e Coberturas Fanerozóicas cobertos por Pradarias no Clima Tropical Típico.

A primeira Unidade geossistêmica das Bacias e Coberturas Fanerozóicas, denominado “Formações colinosas e pequenos morros em rochas das Bacias e Coberturas Fanerozóicas cobertos por Matagal no Clima Tropical Úmido”, ocupa uma área de 207,5 km², o equivalente a 27,78% da área total das Bacias e Coberturas Fanerozóicas, enquadrando-se administrativamente nas localidades Chirassicua e vila de Nhamatanta no distrito de Nhamatanda.

Essa unidade geossistêmica regista-se ocorrência significativa pequenas colinas, com altitude situadas entre 44 e 177 metros. Apresenta uma área dominada com classe de dissecação forte, exceto as áreas dos vales que a dissecação tende a ser muito forte. A amplitude das pequenas colinas é majoritariamente de 10 metros, exceto nos ao longo dos vales que a amplitude varia de 20 a 30 metros.

As rochas desta unidade geossistêmica são predominantemente de origem vulcânica, do grupo Uper Karoo (formação Nhavudezi), para além da ocorrência de rochas sedimentares, com maior representatividade os da Formação Sena e ocorrência localizada das rochas sedimentares da formação Inhaminga, destacando-se as seguintes variedades de rochas: Basalto amigdalóide; Grés; Escorrência argilosa fluvial; Membro gresoso de Tório; grés conglomerático (elevada expressão em Tório) e Aluvião, areia, silte, cascalho. Os solos deste geossistema, associam-se aos aspectos geomorfológicos e climáticos locais, registando-se variação espacial de

6 tipos de solos nomeadamente: *Eutric fLuvisol* com indicador de fragilidade a processos erosivos médio, *Ferric Lixisols* com indicador de fragilidade a processos erosivos fraco, *Haplic Acrisols* com indicador de fragilidade a processos erosivos fraco a médio, *Haplic Lixisols* com indicador de fragilidade a processos erosivos fraco a médio, *Mollic Fluvisol* com indicador de fragilidade a processos erosivos médio e *Mollic Soloncha* com indicador de fragilidade a processos erosivos médio. A cobertura vegetal predominantemente é o matagal alto, exceto o extremo norte que ocorre a pradaria arborizada e estas duas formações vegetais se devolvem sob influência de precipitação anual na ordem de 800 mm e temperaturas médias anuais que ultrapassam 25°C.

A segunda unidade geossistêmica das Bacias e Coberturas Fanerozóicas, foi designada de "Feições dômicas intrusas em rochas das Bacias e Coberturas Fanerozóicas cobertos por Formações Florestais no Clima Tropical Típico", ocupando uma área de 209,5 km², o que corresponde a 28,1% da área total das Bacias e Coberturas Fanerozóicas, enquadrando-se administrativamente nas áreas limítrofes das localidades Nhamadzi sede, Gorongosa sede e Vanduzi, no distrito de Gorongosa.

Essa unidade geossistêmica é caracterizada por um domo, com altitude situadas entre 610 e 1.850 metros. Apresenta uma área dominada com classes de dissecação entre forte a muito forte, com entalhamento dominante de 50 metros, para além da ocorrência significativa de entalhamento de 30 e 40 metros. As rochas desta unidade geossistêmica são de origem plutônica, pertencentes a suíte de Gorongosa, com representação de dois tipos de rochas nomeadamente: Ganito sienítico, 181 M.a. (U/Pb), magmático e Gabro.

Os solos desse geossistema, tiveram a influência dos aspectos geomorfológicos e climáticos locais, sendo que é dominado unicamente por *Eutric Leptosol*, com indicador de fragilidade a processos erosivos médio e localmente forte a muito forte. Este geossistema é completamente coberto por floresta densa, sob influência do clima modificado pela altitude, com pluviosidade média anual de 1.200 mm e temperaturas médias anuais que variam entre 17 e 22ºC.

A terceira Unidade geossistêmica das Bacias e Coberturas Fanerozóicas, chama-se "Feições dômicas intrusas em rochas das Bacias e Coberturas Fanerozóicas cobertos por Matagal no Clima Tropical Típico", ocupa numa área de 280 km², o que corresponde a 37,49% da área total das Bacias e Coberturas Fanerozóicas, enquadrando-se administrativamente parte das localidades Nhamadzi sede, Gorongosa sede e Vanduzi, no distrito de Gorongosa. Esta unidade geossistêmica é caracterizada por um domo, com altitudes situadas entre 225 e 1.480 metros.

Apresenta uma área dominada por classe de dissecação muito forte, com entalhamento dominante de 50 metros, para além da ocorrência significativa de entalhamento de 30 e 40 metros.

As rochas dessa unidade geossistêmica são proeminentemente de origem plutônica, mas com ocorrência localizada de rochas sedimentares, ambas pertencentes a suíte de Gorongosa, fazendo-se representar três tipos de tochas: Ganito sienítico, 181 M.a. (U/Pb), magmático, Gabro e Coluvião. Os solos desse geossistema variam espacialmente dois tipos, a saber: *Eutric Leptosol* com indicador de fragilidade a processos erosivos médio a forte, localmente muito forte e *Ferric Lixisols* com indicador de fragilidade a processos erosivos fraco a médio e localmente forte. Esse geossistema é coberto predominantemente por Matagal alto, sob influência do clima modificado pela altitude, com pluviosidade média anual de 1.200 mm e temperaturas médias anuais que variam entre 17.5 e 25°C.

A quarta unidade geossistêmica das Bacias e Coberturas Fanerozóicas, denomina-se "Feições dômicas intrusas em rochas das Bacias e Coberturas Fanerozóicas cobertos por Pradarias no Clima Tropical Típico", ocupa numa área de 49,46 km², o que corresponde a 6,62% da área total das Bacias e Coberturas Fanerozóicas, enquadrando-se administrativamente na localidade de Nhamadzi sede, no distrito de Gorongosa. Essa unidade geossistêmica é caracterizada por um domo, com altitudes situadas entre 406 e 918 metros.

A dissecação dominante neste geossistema é predominantemente da classe muito forte, com entalhamento dominante de 50 metros. As rochas dessa unidade geossistêmica são de origem plutônica, pertencentes à suíte de Gorongosa, com representação única de Gabro. Os solos desse geossistema, com influência dos aspectos geomorfológicos e climáticos locais, desenvolveram-se predominantemente os de tipo *Ferric Lixisols* com indicador de fragilidade a processos erosivos médio e localmente forte. Esse Geossistema é predominantemente coberto por pradaria, sob influência do clima modificado pela altitude, com pluviosidade média anual de 1.200 mm e temperaturas médias anuais que variam entre 20 e 25ºC.

Nessa unidade morfoestrutural de depósitos sedimentares terciárias, foram delimitadas 3 unidades geossistêmicas, nomeadamente: (1) Feições Tabulares em Depósitos Sedimentares Terciários cobertos por Formações Florestais no Clima Tropical Úmido, (2) Feições Tabulares em Depósitos Sedimentares Terciários cobertos por Matagal no Clima Tropical Úmido, e (3) Feições Tabulares em Depósitos Sedimentares Terciários cobertos por Pradarias no Clima Tropical Úmido.

A primeira unidade geossistêmica dos Depósitos Sedimentares Terciários denomina-se “Feições Tabulares em Depósitos Sedimentares Terciários cobertos por Formações Florestais no Clima Tropical Úmido”, ocupando numa área de 124,4 km², o que equivale a 16,45% da área total dos Depósitos Sedimentares Terciários, situando-se administrativamente parte das localidades de Muanza sede e Mazamba nos distritos de Muanza e Cheringoma respetivamente. Essa unidade geossistêmica é caracterizada por formações geomorfológicas do tipo tabular, com altitudes situadas entre 55 e 267 metros.

A dissecação dominante nesse geossistema é predominantemente da classe forte, com entalhamento dominante na classe dos 10 metros, exceto o extremo norte, na localidade de Mazamba, onde se verifica variação espacial de entalhamento de 10, 20 e 30 metros. As rochas desta unidade geossistêmica são sedimentares, pertencentes as formações de Mazamba, Grudja, Inhaminga e Cheringoma, com representações dos seguintes tipos de rochas: Grés arcósico, parcialmente conglomerático; Coluvião; Grés; Marga, silte, calcário, gesso; Escorrência argilo-arenosa fluvial e Calcário, grés glauconítico. Os solos deste geossistema, com influência dos aspectos geomorfológicos e climáticos locais, desenvolveram-se predominantemente, a sul (localidade de Mazamba), os de tipo *Calcaric Cambis* com indicador de fragilidade a processos erosivos fraca e a norte (localidade de Muanza Sede), os do tipo *Chromic Luvisol* com indicador de fragilidade a processos erosivos também fraca. Esse geossistema é predominantemente coberto por floresta baixa densa, sob influência de precipitação média anual situada entre 800 a 1.000 mm e temperaturas médias anuais acima de 25ºC.

A segunda unidade geossistêmica dos Depósitos Sedimentares Terciários se chama “Feições Tabulares em Depósitos Sedimentares Terciários cobertos por Matagal no Clima Tropical Úmido”, estende-se por uma área de 516,4 km², o que corresponde a 16,45% da área total dos Depósitos Sedimentares Terciários, sendo que a sua maior área se situa administrativamente na localidade de Muanza sede e uma pequena área, a norte, na localidade Mazamba, nos distritos de Muanza e Cheringoma respetivamente. Esta unidade geossistêmica é caracterizada por formações geomorfológicas do tipo tabular, com altitudes situadas entre 24 e 276 metros.

A dissecação dominante nesse geossistema é predominantemente da classe forte, com entalhamento dominante na classe dos 10 metros. As rochas desta unidade geossistêmica são sedimentares, pertencentes as formações de Mazamba, Inhaminga e Cheringoma, com

representações dos seguintes tipos de rochas: Grés (dominante), Grés arcósico, parcialmente conglomerático; calcário, grés glauconítico; Coluvião; Escorrência argilo-arenosa fluvial e Marga, silte, calcário, gesso.

Os solos desse geossistema apresentam variação espacial que se associa as particularidades geológicas, morfológicas e microclimáticos, destacando-se os seguintes tipos: *Chromic Luvisol* com indicador de fragilidade a processos erosivos fraca, *Calcaric Cambis* com indicador de fragilidade a processos erosivos fraca, *Stagnic ou Hapl* com indicador de fragilidade a processos erosivos médio. Este geossistema é totalmente coberto por matagal (alto e médio), sob influência de precipitação média anual de 800 mm e temperaturas médias anuais acima de 25ºC.

A terceira unidade geossistêmica dos Depósitos Sedimentares Terciários denomina-se "Feições Tabulares em Depósitos Sedimentares Terciários cobertos por Pradarias no Clima Tropical Úmido", ocupa uma área de 115,5 km², o que corresponde a 15,27% da área total dos Depósitos Sedimentares Terciários, situando-se administrativamente na localidade de Tcheadeia (a maior parte), no distrito Nhamatanda e pequenas parcelas representadas nas localidades de Mutua e Muanza sede, nos distritos de Dondo e Muanza respectivamente. As feições geomorfológicas dominantes são do tipo tabular, com altitudes que variam de 16 a 173 metros.

A dissecação dominante nesse geossistema é predominantemente da classe forte, com entalhamento de 10 metros na sua plenitude. As rochas dessa unidade geossistêmica são sedimentares, pertencentes as formações de Mazamba, Inhaminga e Cheringoma (dominante), com representações dos seguintes tipos de rochas: Calcário, grés glauconítico, Escorrência argilo-arenosa fluvial, Grés arcósico, parcialmente conglomerático e Grés.

Os solos desse geossistema apresentam variação espacial que se associa as particularidades geológicas, morfológicas e microclimáticos, destacando-se os seguintes tipos: *Arenosols* com indicador de fragilidade a processos erosivos médio, *Stagnic ou Hapl* com indicador de fragilidade a processos erosivos fraca, *Ferralic Arenos* com indicador de fragilidade a processos erosivos muito fraco a fraco e *Calcaric Cambis* com indicador de fragilidade a processos erosivos fraco a médio. Esse geossistema é totalmente coberto por pradaria sob influência de precipitação média anual de 800 mm e temperaturas médias anuais acima de 25ºC.

Na unidade morfoestrutural dos depósitos sedimentares quaternários foram delimitados 4 (quatro) geossistemas: (1) Formas de acumulação fluvial em Depósitos

Sedimentares Quaternários cobertos por Formações Florestais no Clima Tropical Úmido, (2) Formas de acumulação fluvial em Depósitos Sedimentares Quaternários cobertos por Matagal no Clima Tropical Úmido, (3) Formas de acumulação fluviomarinho em Depósitos Sedimentares Quaternários cobertos por Mangal no Clima Tropical Úmido, e (4) Formas de acumulação fluviomarinha em Depósitos Sedimentares Quaternários cobertos por Pradaria no Clima Tropical Úmido".

A primeira unidade geossistêmica dos Depósitos Sedimentares Quaternários, denomina-se "Formas de acumulação fluvial em Depósitos Sedimentares Quaternários cobertos por Formações Florestais no Clima Tropical Úmido", estende-se numa área de 220,5 km², o que corresponde a 3,58% da área total dos Depósitos Sedimentares Quaternários, situando-se administrativamente na localidade de Metuchira, no distrito Nhamatanda, Vanduzi no distrito de Gorongosa e uma pequena parcela representada na localidade de Muanza sede, no distrito Muanza. As feições geomorfológicas dominantes são formas de acumulação fluvial, com altitudes que variam de 28 a 304 metros.

As rochas dessa unidade geossistêmica são sedimentares, majoritariamente pertencentes à formação de Grudja, mas também ocorrem pequena representação de rochas plutônicas do Complexo Baruè e Vulcânicas do grupo Lupata, destacando-se os seguintes tipos de rochas: Aluvião, areia, silte, cascalho (predominantes), Ortognaisse do Inchope, 1079 M.a. (U/Pb), magmático, Membro gresoso de Tório, grés conglomerático (elevada expressão em Tório) e Lava fonolítica.

Os solos desse geossistema apresentam variação espacial que associa-se as particularidades geológicas, morfológicas e microclimáticos locais, destacando-se os seguintes tipos: *Eutric fLuvisol* com indicador de fragilidade a processos erosivos médio, *Mollic Fluvisol* com indicador de fragilidade a processos erosivos médio, *Haplic Acrisols* com indicador de fragilidade a processos erosivos fraco, *Stagnic ou Hapl* com indicador de fragilidade a processos erosivos fraco, *Haplic Lixisols* com indicador de fragilidade a processos erosivos fraco, Eutric fLuvisol com indicador de fragilidade a processos erosivos médio a forte, *Eutric Cambisol* com indicador de fragilidade a processos erosivos médio e *Eutric Leptosol* com indicador de fragilidade a processos erosivos médio a fraco. Esse Geossistema é coberto floresta que varia de Baixa alta, baixa densa e baixa moderadamente densa, sob influência de precipitação média anual de 800 mm e temperaturas médias anuais acima de 25ºC.

A segunda unidade geossistêmica dos Depósitos Sedimentares Quaternários, intitula-se “Formas de acumulação fluvial em Depósitos Sedimentares Quaternários cobertos por Matagal no Clima Tropical Úmido”, estende-se numa área de 2.046 km², o que corresponde a 33,22% da área total dos Depósitos Sedimentares Quaternários, se expandindo nos territórios dos distritos de Nhamatanda (localidades de Nhampoca, Bebedo, Lamengo, Chirassicua e Metuchira), Muanza (localidade de Muanza sede), Dondo (localidade de Mutua) e Gorongosa (localidade de Gorongosa sede e Vanduzi).

As feições geomorfológicas dominantes são formas de acumulação fluvial, com altitudes que variam de 8 a 360 metros, formando planícies fluviais e terraços fluviais. As rochas dessa unidade geossistêmica são sedimentares, majoritariamente pertencentes à formação de Grudja, destacando-se os seguintes tipos de rochas: Aluvião, areia, silte, cascalho (predominantes) e ocorrência localizada de Coluvião; Escorrência argilosa fluvial; Areia e cascalho de terraço fluvial; Grés conglomerático; calcário, grés glauconítico e Grés arcósico, parcialmente conglomerático.

Os solos desse geossistema, apresentam variação espacial que associa-se as particularidades geológicas, morfológicas e microclimáticos locais, destacando-se os seguintes tipos: *Eutric fLuvisol* (ocorrem em vales e planícies, são de textura grossa e de drenagem imperfeita e má), com indicador de fragilidade a processos erosivos médio a fraco; *Mollic Fluvisol* (ocorrem em vales e planícies, argilosos, drenagem moderada a má) com indicador de fragilidade a processos erosivos médio a fraco e *Stagnic ou Hapl* (ocorrem em planícies e fundos dos vales, de drenagem imperfeita), com indicador de fragilidade a processos erosivos médio a fraco. Este Geossistema é coberto por matagal que varia espacialmente de Baixa, médio e alto, sob influência de precipitação média anual de 800 a 1000 mm e temperaturas médias anuais acima de 25°C.

A terceira unidade geossistêmica dos Depósitos Sedimentares Quaternários, é denominada de “Formas de acumulação fluviomarinho em Depósitos Sedimentares Quaternários cobertos por Mangal no Clima Tropical Úmido”, ocupa uma área de 212,7 km², o que corresponde a 3,45% da área total dos Depósitos Sedimentares Quaternários, expandindo-se majoritariamente na cidade da Beira e alguma representatividade nos distritos de Dondo e Buzi. As feições geomorfológicas dominantes são formas de acumulação fluviomarinha, com altitudes que variam de 3 a 9 metros, formando planície marinha e planícies fluviomarinhas.

As rochas dessa unidade geossistêmica são sedimentares, destacando-se os seguintes tipos de rochas: Aluvião, areia, silte, cascalho (predominantes), Aluvião argilosa fluviomarinho e Escorrência argilosa fluvial. Nesse geossistema, evidencia-se a variação espacial de três tipos de solos, nomeadamente: *Salic Fluvisols* (ocorrem em planície estuarina, de drenagem má a muito má) com indicador de fragilidade a processos erosivos fraco e localmente médio; *Mollic Fluvisol* (ocorrem em vales e planícies, de drenagem moderada a má) com indicador de fragilidade a processos erosivos médio a alto e *Ferralic Arenos* com indicador de fragilidade a processos erosivos fraco a muito fraco. Esse geossistema é coberto por mangal, sob influência do clima tropical úmido, com precipitação média anual de 800 a 1400 mm e temperaturas médias anuais acima de 25ºC.

A quarta Unidade geossistêmica dos Depósitos Sedimentares Quaternários, denomina-se "Formas de acumulação fluviomarinha em Depósitos Sedimentares Quaternários cobertos por Pradaria no Clima Tropical Úmido", ocupa uma área de 3.679 km², o que corresponde a 59,74% da área total dos Depósitos Sedimentares Quaternários, expandindo-se pela cidade da Beira, distrito do Dondo, distrito de Nhamatanda, distrito de Gorongosa ao longo do Vale do *Rift* e Distrito de Buzi.

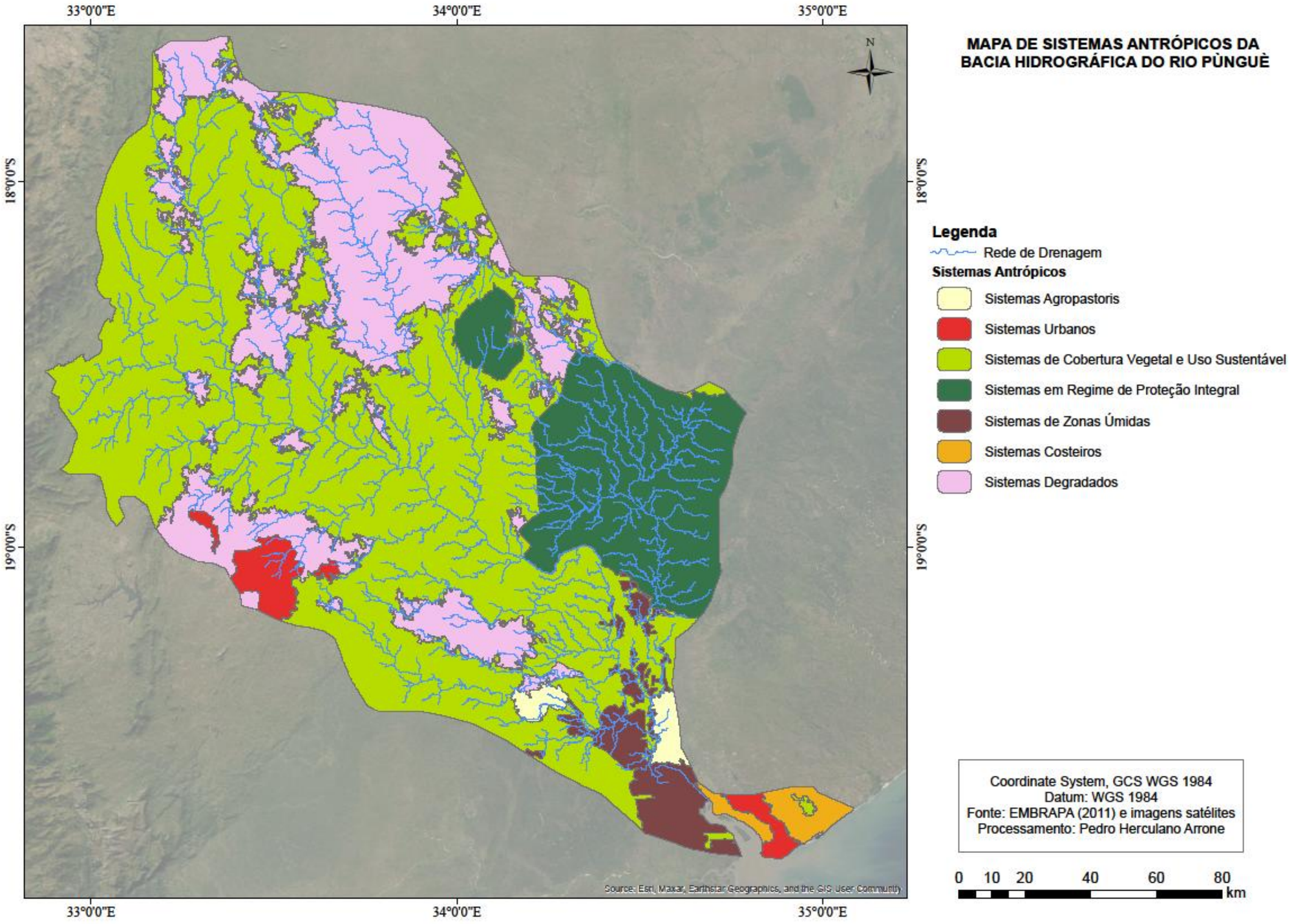
As feições geomorfológicas dominantes são formas de acumulação fluviomarinha, formando planícies e terraços fluviomarinhos com altitudes que variam de 3 a 185 metros. As rochas desta unidade geossistêmica são sedimentares, com maior representatividade as da formação Grudja, destacando-se os seguintes tipos de rochas: Aluvião, areia, silte, cascalho (predominantes), Escorrência argilosa fluvial e Coluvião. Nesse geossistema, evidencia-se a variação espacial de três tipos de solos, nomeadamente: *Eutric fLuvisol* com indicador de fragilidade a processos erosivos médio a fraco; Mollic Fluvisol com indicador de fragilidade a processos erosivos médio a forte; *Stagnic ou Hapl* com indicador de fragilidade a processos erosivos médio a fraco; *Salic Fluvisols* indicador de fragilidade a processos erosivos fraco e localmente médio; Ferralic Arenos com indicador de fragilidade a processos erosivos fraco a muito fraco; *Arenosols* com indicador de fragilidade a processos erosivos médio a forte e *Mollic Soloncha* com indicador de fragilidade a processos erosivos médio a forte. Esse Geossistema é coberto majoritariamente por pradaria, sob influência do clima tropical úmido, com precipitação média anual de 800 a 1200 mm e temperaturas médias anuais acima de 25ºC.

4.6 – Sistemas antrópicos na bacia hidrográfica do rio Púnguè

Os sistemas antrópicos são resultado do processo de exploração humana, direta ou indireta das condições e/ou recursos naturais, influenciando na estrutura e funcionamento dos sistemas naturais.

A bacia hidrográfica do rio Púnguè é constituída basicamente por 7 sistemas antrópicos (vide figura 38), nomeadamente: sistemas agropastoris, sistemas urbanos, sistemas de cobertura vegetal e uso sustentável, sistemas de regime de proteção integral, sistema de zonas úmidas, sistemas costeiros e sistemas degradados.

Figura 38 – Sistemas antrópicos na bacia hidrográfica do rio Púnguè



Fonte: LANDSAT, CENACARTA (2011), EPMBRAPA (2011). Processado pelo autor.

Os sistemas agropastoris ao longo da bacia hidrográfica do rio Púnguè apresentam dois cenários distintos: a área com agricultura mecanizada, a de monocultura, sendo que a mais expressiva é a de cultivo da cana de açúcar no distrito de Dondo, posto administrativo de Mafambisse e as pequenas áreas de agricultura de subsistência com variação espacial de pequenos campos de pastagem de criação animal maioritariamente doméstica.

Os campos agrícolas de monocultura de cana de açúcar ocupam uma área de 10.335 ha, entretanto, a área cultivada e as quantidades de produção variam de ano a ano, como testemunham os dados dos relatórios anuais na tabela 11.

Tabela 11 – Variação anual da área de produção e quantidade de cana de açúcar em Mafambisse

Ano	Área (ha)	Produção (ton.)		Ano	Área (ha)	Produção (ton.)
1970	6.021,0	349.311,6		1997	4.635,0	179.747,8
1971	5.966,0	476.540,8		1998	5.527,0	270.930,1
1972	6.965,0	566.081,0		1999	5.633,0	302.408,8
1973	9.667,0	668.633,6		2000	6.039,0	293.280,3
1974	10.870,0	757.617,2		2001	5.962,0	288.730,6
1975	10.395,0	550.855,6		2002	7.102,0	359.029,9
1976	10.248,0	492.290,2		2003	7.221,0	373.225,9
1977	10.453,0	433.896,9		2004	6.891,0	351.244,0
1978	9.981,0	578.885,2		2005	7.036,0	425.390,0
1979	10.173,0	437.427,7		2006	7.039,0	323.237,0
1980	10.473,0	418.928,2		2007	6.801,0	326.801,0
1981	7.042,0	397.321,6		2008	6.819,0	289.982,0
1982	8.745,0	323.574,2		2009	6.132,0	257.014,4
1983	4.527,0	126.764,6		2010	6.112,0	230.849,3
1984	3.812,0	141.059,6		2011	6.334,0	303.845,6
1985	1.686,0	48.886,7		2012	6.379,0	248.529,1
1986	1.290,0	60.613,1		2013	5.925,0	311.483,7
1987	2.088,0	71.000,6		2014	5.925,0	308.680,2
1988	1.809,0	81.393,3		2015	5.578,0	262.246,2
1989	4.304,0	111.915,3		2016	5.185,0	227.520,8
1990	4.306,0	126.507,8		2017	5.130,4	205.331,2
1991	3.265,0	94.380,2		2018	4.896,5	197.489,9
1992	2.248,0	53.192,0		2019	4.170,9	118.183,7
1993	2.427,0	55.341,1		2020	3.396,0	103.568,9
1994	2.684,0	124.106,4		2021	3.373,0	116.514,9
1995	4.590,0	219.916,7		2022	2.918,0	97.636,3
1996	5.331,0	225.320,2				

Fonte: Banco de dados da Açucareira de Mafambisse

Em relação à produção da cana de açúcar nos campos agrícolas da açucareira de Mafambisse, a lavra é desenvolvida com auxílio a equipamentos mecânico, como tratores (vide figura 39), equipamentos estes que também podem contribuir para a compactação dos solos tendo conta o seu peso.

Figura 39– Preparação dos solos com recurso a tratores no processo de cultivo de cana de açúcar

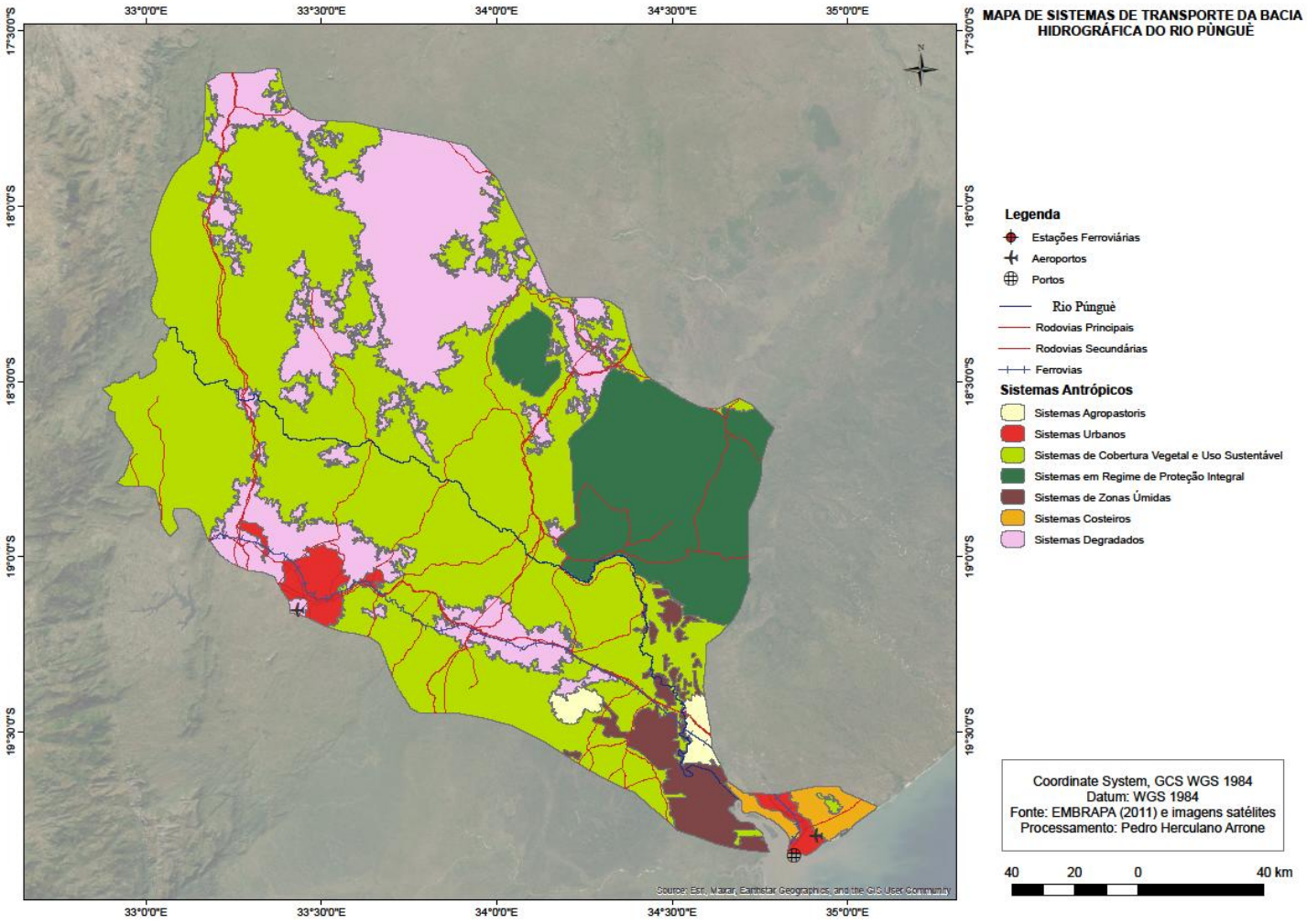
Fonte: dados obtidos pelo autor nos campos agrícolas da açucareira de Mafambisse.

A produção de cana-de-açúcar nos campos da açucareira de Mafambisse desenvolve-se por via vegetativa, por meio de estacas de caule cortada a 30 cm, com folhas ou sem, com um ou mais gemas e coloca-se de 10 a 15 gemas. O processo de corte da cana semente utiliza-se desinfetante Jeye fluid 0.2 litros/ha. A cana semente para multiplicação faz-se o tratamento com água quente a 50ºC durante 2 horas, para controle de doenças de raquitismo da soqueira e a praga broca de colmo (Chilo sacharifagos). As canas são distribuídas manualmente no sulco e cortadas em pedaços de 30 cm e coberto a 30 cm de profundidade, manualmente. O espaçamento entre linhas, vária de 1,5 a 2,1 metros (BARROS *et al*, 2010).

No processo de irrigação se emprega vários sistemas, desde gravidade (sulco), aspersão, portátil (tubo de alumínio), fixo temporário (modfied drag line) fixo permanente

(semi solid), pivô central e linear. As necessidades de água são determinadas pelo cálculo de evapotranspiração potencial a partir de dados meteorológicos (BARROS *et al*, 2010). Os campos agrícolas da açucareira de Mafambisse constituem o espaço com maiores sistemas de irrigação ao longo da bacia hidrográfica do rio Púnguè e que estão georreferenciados (vide figura 40).

Figura 40 – Sistemas de irrigação implantados ao logo da bacia hidrográfica do rio Púnguè



Fonte: Bolfe *et al.* (2011). Processado pelo autor.

O processo da colheita da cana de açúcar é majoritariamente manual, numa primeira fase, envolve a introdução do fogo (vide figura 41) para a limpeza das folhas, o que produz uma quantidade significativa de cinzas e que na época chuvosa pode ser arrastada até ao rio.

Figura 41 – Queima da cana-de-açúcar no processo da colheita

Fonte: dados obtidos pelo autor nos campos agrícolas da açucareira de Mafambisse.

Quanto a agricultura de subsistência ao longo da bacia hidrográfica do rio Púnguè, importa destacar que envolve majoritariamente a população feminina (55%) e com baixo nível de escolaridade (67% com menos da 4ª classe – Ensino Fundamental incompleto). O nível tecnológico na agricultura de subsistência é muito baixo e a lavra é normalmente com recurso da enxada de cabo curto, pelo que, os espaços das machambas são pequenos. As culturas agrícolas comuns são o milho, a mandioca, arroz, feijão nhemba e amendoim, para além de diversas hortícolas principalmente em regiões relativamente baixas, sendo que a produção é destinada essencialmente para o autoconsumo (BARROS *et al*, 2010). O mesmo assunto é sustentado por Muchangos (1999) ao afirmar que na região litoral onde a amplitude térmica é fraca e com pluviosidade total anual superior a 900 mm e humidade de ordem dos 75% e onde os solos são aluvionares, existem boas condições para o desenvolvimento do milho, arroz, amendoim, cana-de-açúcar, mandioca e legumes. O arroz e a cana-de-açúcar, distribuem-se pelas áreas de solos aluvionares, sobretudo nas margens do rio Púnguè (MUCHANGOS, 1999).

Ainda em prol da agricultura ao longo da bacia hidrográfica do rio Púnguè, importa destacar as plantações de árvores exóticas, cobrindo uma área de 2.496 hectares perto da cidade de Gondola, no distrito de Gondola, província de Manica.

Em relação a pecuária, até 2010, ao longo da bacia hidrográfica do rio Púnguè, a criação animal era avaliada em 23.513 bovinos, 45.769 pequenos ruminantes, 119.90 porcos e 507.523 aves (BARROS *et al*, 2010).

Na sub-região do baixo Púnguè, sobretudo nas comunidades de Nhampoca e Bebedo, também se desenvolve o artesanato, na medida em que esta sub-região tem um grande potencial de palmito, distribuído de forma dispersa ao longo do território embora cenários de abundância sejam comuns em pântanos ou locais de predominância de ocorrência de inundações. Constituem produtos básicos do artesanato as esteiras, cestos e chapéus.

Os sistemas urbanos na bacia hidrográfica do rio Púnguè caracterizam-se por apresentar maior parte das suas áreas ocupadas por infraestruturas para habitação, com três cenários distintos, distintos. O primeiro cenário é referente a área que o processo de ocupação obedeceu aos padrões de ordenamento territorial, pelo que, essas áreas possuem as infraestruturas básicas de saneamento de meio e de outras finalidades. Estas áreas coincidem com as capitais provinciais (Beira e Manica), para além de pequenas áreas representativas nas sedes distritais (vida figura 42 sobre a divisão administrativa ao longo da bacia). A figura 42 constitui uma ilustração dos espaços urbanos, nas capitais provinciais (estados) e no caso específico, trata-se uma imagem ilustrativa de parte da cidade da Beira.

Figura 42 – Imagem ilustrativa de parte da cidade da Beira

Fonte: www.rotasturísticas

A cidade da Beira constitui a área com maior concentração da população, seguida da cidade de Chimoio, ambas correspondes a capitais provinciais, portanto, as capitais provinciais e distritais correspondem os espaços com maior densidade dos assentamentos humanos. Os dados populacionais apresentados na tabela 10 são distritais, pelo que, para alguns distritos como Cheringoma, Dondo, Muanza Manica, etc., são dados aproximados na medida em que a bacia não cobre na totalidade estes distritos.

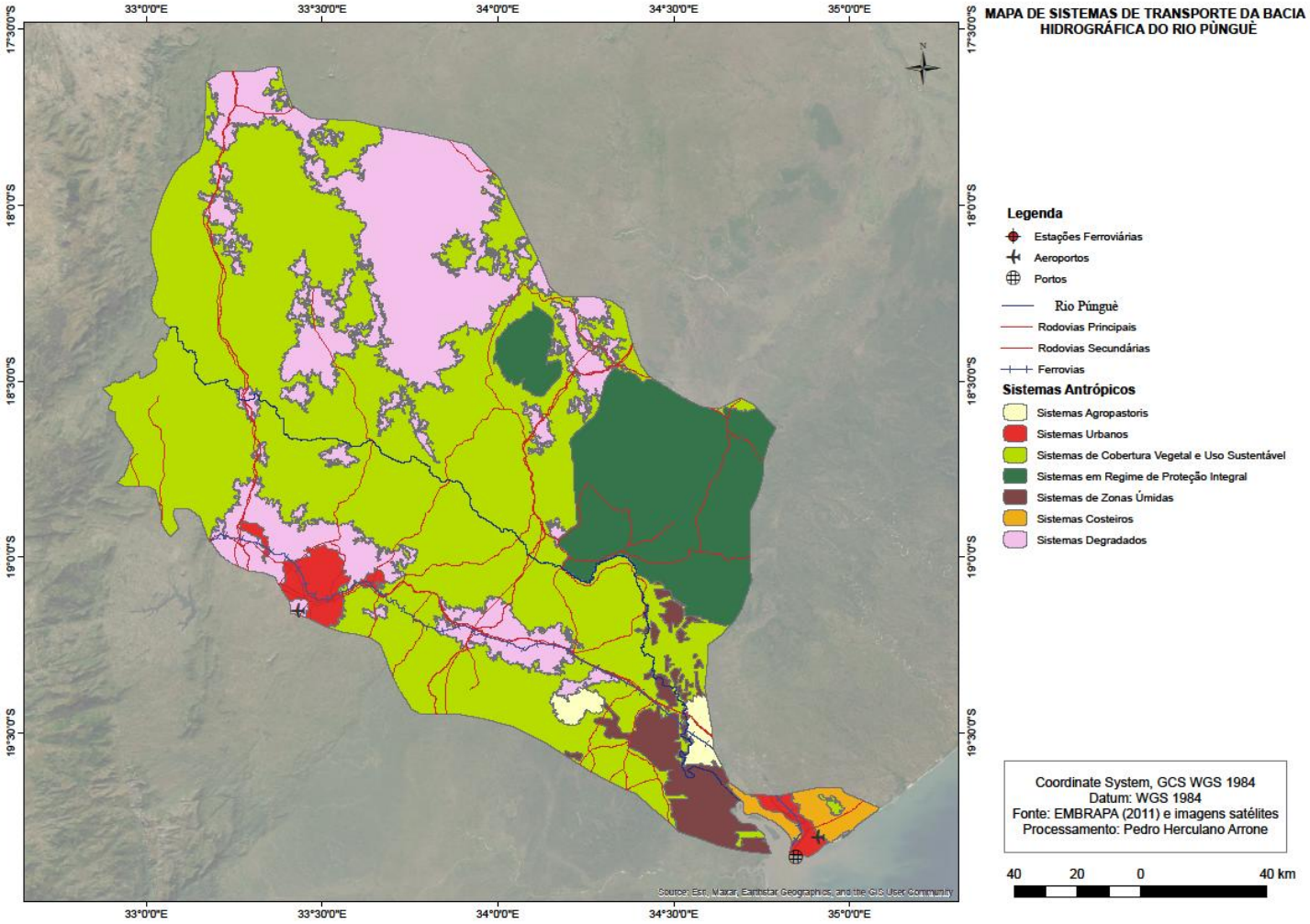
Tabela 3- População por distrito ao longo da bacia hidrográfica do rio Púnguè.

Província	Distrito	Homens	Mulheres	Total
Manica	Chimoio	185.116	187.707	372.823
	Báruè	88.178	97.001	185.179
	Gondola	98.760	102.975	201.735
	Macossa	23.099	25.549	48.648
	Manica	109.546	115.454	225.000
Sofala	Beira	265.045	268.780	533.825
	Cheringoma (Mazamba)	1.678	1.815	3.493
	Dondo (cidade de Dondo, Mafamisse e Mutua)	85.890	88.225	189.115
	Gorongosa	86.929	95.297	182.226
	Muanza (Muanza Sede)	3.655	3.898	7.553
	Nhamatanda	153.391	164.147	317.538
	Buzi (Buzi Sede e Vila de Buzi)	58.690	64.640	123.326
	Maríngue (Sabui Sede)	8.680	10.155	18.835
	Totais	**1.168.657**	**1.225.643**	**2.894300**

Fonte: Recenseamento geral da população (2017).

Importa destacar que nas áreas urbanizadas acima referenciadas, coexistem estabelecimentos comerciais, instancias hoteleiras, universidades, diversas escolas públicas e privadas, para além de indústrias que estão associadas a parques de estacionamento de caminhões. O ramo industrial, altamente dependente da matéria prima importada, conta com um porto nas proximidades do estuário do rio Púnguè (vide figura 43) e do terminal de carga (vide figura 44), incluindo uma via férrea, ligando a cidade de Chimoio e Zimbábue, portanto, atravessa toda a bacia do rio Púnguè. Na sequência, da Beira, inicia a estrada nacional número 6, que atravessa toda a bacia hidrográfica do rio Púnguè no sentido este a oeste, ligando as cidades de Chimoio e Mutare em Zimbabwe e por outro lado a estrada nacional número 1 atravessa a bacia no sentido sul-norte (vide a figura 43). Ao longo da bacia hidrográfica do rio Púnguè, tem dois aeroportos, situados nas duas grandes cidades, o aeroporto da Beira (internacional) e o aeroporto de Chimoio.

Figura 43 – Sistemas de transporte ao longo da bacia hidrográfica do rio Púnguè



Fonte: Bolfe *et al.* (2011). Processado pelo autor

Figura 44 – Vista parcial do parque industrial e logístico da Beira

Fonte: MIREME, s/d.

As principais indústrias ao longo da bacia hidrográfica do Púnguè estão concentradas na província de Sofala, sendo que no distrito de Dondo se destacam: a fábrica de açúcar em Mafambisse, duas fábricas de cimento e uma fábrica de chapas de cobertura do tipo lusalite. Na cidade da Beira pode-se destacar a fábrica de cervejas, as fabricas de tinta, a fábrica de óleo alimentar, fábrica de cimento e indústria metalúrgica. Por sua vez, na cidade de Chimoio, pode-se destacar a indústria têxtil, indústria metalúrgica, fábrica de refrigerante, indústrias de processamento de frutas e indústria de processamento de tabaco.

As universidades estão situadas nas duas capitais provinciais, sendo que na Beira há duas Universidades Públicas (Universidade Licungo e a Universidade Zambeze) e em Chimoio tem a Universidade Púnguè. As universidades privadas que existem nas duas capitais provinciais são a Universidade Católica de Moçambique, Universidade Aberta (UNISCED), Universidade Piaget (Uni Piaget), Universidade Chipande e Universidade Adventista.

O segundo cenário é das áreas de expansão dos centros urbanos, que na maioria dos casos, são caracterizadas por ocupações que não obedecem aos padrões de ordenamento territorial e com grande deficiência ou mesmo ausência de infraestruturas de saneamento, de lazer, para circulação e outras finalidades, com destaque a ausência de infraestruturas de drenagem, propiciando a ocorrência focos de acumulação de água nas residências em períodos de chuva como testemunha a figura 45.

Figura 45– Ilustração de focos de acumulação de água em áreas residências na Beira

Fonte: EL País (2019).

O terceiro cenário dos sistemas urbanos é o dos assentamentos rurais e que normalmente estão situados próximos aos vales dos rios, em áreas com ocorrência de solos férteis para a agricultura e na proximidade de infraestruturas existentes, como estradas e centros administrativos. Geralmente são pequenos povoamentos onde as habitações são predominantemente dispersas, exceto nas capitais administrativas dos distritos.

O sistema de cobertura vegetal e uso sustentável é o que ocupa maior extensão na bacia hidrográfica do rio Púnguè, registando-se variação espacial de florestas (alta, média e baixa, para além de apresentar uma variação de aberta e fechada) e savanas (arbóreas e arbustivas) A cobertura vegetal do tipo savana com variação espacial de arbórea com a arbustiva, constitui a mais predominante, distribuindo-se em quase todo o sistema.

As áreas de predominância de coberturas florestais localizam-se no extremo oeste da bacia, junto à fronteira com Zimbábue, concretamente a sul e centro da localidade de Shoa e a nordeste da localidade de Chauala, ambas no distrito de Báruè. Também se registam algumas manchas ou fragmentos florestais a oeste da localidade de Mavonde-sede, localidade de Chitunda e localidade de Bandula, todas localizadas no distrito de Manica.

O sistema de cobertura vegetal e uso sustentável está associado a ocorrência de recursos florestais, sobretudo nos subsistemas de cobertura do tipo floresta e savana arbustiva, destacando-se a ocorrência de Pterocarpus angolenses (Umbila), Afzelia quazensis (Chanfuta), Aniba rosaedora (Pau-rosa), Androstachys johnsonii (Mecrusse), Brachystegia spiciformis (Messassa), Millettia stuhlmanni (Panga-panga) e Dalbergia melanoxylon (Paupreto) e os produtos florestais não madeireiros utilizados para alimentação (frutos silvestres), plantas herbáceas, lenhosas utilizadas como fonte de medicamento tradicional e o capim para a cobertura das casas e outras utilidades na construção, para além de produção e extração de mel tanto para comercialização.

O sistema de regime de proteção integral corresponde a área do Parque Nacional de Gorongosa, que é área de conservação total, onde são interditadas a maioria das atividades socioeconômicas, exceto pesquisas cientificas e turismo ecológico sustentável. O Parque Nacional de Gorongosa caracteriza-se pela predominante cobertura da terra do tipo savana, variando espacialmente as variedades arbórea e a arbustiva. As formações florestais, que também variam espacialmente em abertas, fechadas, altas, médias e baixas, são mais representativas na serra de Gorongosa, uma área recentemente anexada na área do Parque Nacional de Gorongosa a partir dos 700 metros de altitude, embora ainda se regista o desenvolvimento de algumas atividades económicas como é o caso da mineração artesanal e que de certo modo influencia na qualidade da água dos rios e no aumento do risco à erosão. Ainda no contexto de cobertura da terra por floresta, importa destacar a ocorrência de algumas manchas ou fragmentos florestais no nordeste e sudeste do Parque Nacional de Gorongosa. Nas imediações do lago Urema, que constitui uma planície de inundação, regista-se alguns fragmentos ou manchas de ocorrência de vegetação temporariamente inundada.

O Parque Nacional de Gorongosa existe desde o período colonial, tendo registado uma fase de grande destruição da flora e fauna durante a guerra civil, que terminou em 1992 com a assinatura geral de paz. Em 2008 o governo de Moçambique assinou uma parceria público-

privado (Governo/Fundação Americana Car) de 20 anos, para fins de restauração do Parque Nacional de Gorongosa. O projeto de restauração do Parque Nacional de Gorongosa estabeleceu uma grande área de conservação comunitária (ACC) na zona tampão do PNC, sendo que parte da área se enquadra na bacia hidrográfica do rio Púnguè, envolvendo as comunidades de Nhamacuenguere distrito de Dondo, Bebedo e Nhampoca no distrito de Nhamatanda.

Para garantir a sustentabilidade ambiental e socioeconômica na exploração dos recursos naturais, nessas comunidades acima referenciadas foram estabelecidos comitês de gestão de recursos naturais e animadores comunitários, como forma de envolver a comunidade na gestão dos recursos naturais, afigurando-se como atividades únicas desenvolvidas regularmente, a fiscalização (da pesca ilegal, da caça furtiva e da exploração ilegal da madeira) e a sensibilização da comunidade em diversas matérias de gestão dos recursos naturais, sobretudo sobre a pesca, caça e exploração de madeira. Esses comitês têm recebido 20% de exploração dos recursos naturais, no caso particular, aliados a arrecadação de receita através do turismo ecológico desenvolvido no PNG.

Os comitês de gestão dos recursos naturais têm como potencialidades para seu funcionamento o treinamento contínuo que vem tendo ao longo dos tempos, a posse de alguns materiais como panfletos, dísticos, cartazes e diversas leis que usam no âmbito da sensibilização da população. Na sequência, os comitês de gestão dos recursos naturais, registam-se fragilidades de funcionamento, marcadas pela falta de equipamento completo, falta de identificação, meios de comunicação, meio de circulação (bicicletas ou motas), falta de blocos de senhas para vendedores de carvão e falta de incentivo pela atividade que desenvolvem. Importa salientar que de forma particular, somente os animadores é que recebem um kit alimentar e bicicleta, o que tem desmotivado os membros dos comitês dos recursos naturais pela “exclusão” deste incentivo (PNG, 2021).

Nas comunidades localizadas na zona tampão do parque nacional de Gorongosa, onde foram criadas zonas de conservação comunitária (Nhamacuerengue, Bebedo e Nhampoca), vem sendo promovida a produção de mel com recurso a colmeias Langstroth e que consistem num ninho e um conjunto de melgueiras sobrepostas em função da riqueza florística associada ao vigor da rainha na reprodução de abelhas operárias que são as principais responsáveis na coleta do pólen e néctar para preencher os favos dos quadros das melgueiras (PNG, 2021).

Os sistemas de zonas úmidas correspondem a áreas dominadas por planícies de inundação, ocorrendo no baixo Púnguè, com maior abrangência no distrito de Nhamatanda, nas localidades de Tica-Sede, Tcheiadeia, Nhampoca, Bebedo, Metchira e Lamego, para além do distrito De Buzi, especificamente na localidade Buzi-sede. São áreas que tem sido usada pelas populações locais para a prática de agricultura de subsistência, sobretudo para o cultivo de arroz, durante a estação quente e chuvosa e uma diversidade de hortícolas durante a estação fria e seca.

O sistema de zonas costeiras abrange a zona costeira junto a baía de Sofala, no município da Beira, concretamente em Nhangau, registando-se junto à beira do mar algumas formações vegetais do tipo manguezal e na zona de transição para o continente, regista-se variação espacial de pequenas dunas e áreas planas, cobertas de vegetação rasteira e localmente com ocorrência de arbustos. Nos últimos tempos, esta área registra ocupações humanas e como são áreas sujeitas a inundações localmente durante a estação chuvosa, tem se registado ações de terraplanagem, podendo alterar os ecossistemas locais futuramente.

Por fim, os sistemas degradados, que se constituem como solos expostos, com registo de maior extensão no distrito de Macossa, nas localidades de Macossa-Sede, Nhacossoro, Rio dos Elefantes e Dunda, para além de toda região com predominância de clima tropical semiárido, a norte do distrito de Báruè, com abrangência nas localidades de Nhancassacara e Nhamapassa-Sede. Importa salientar que estas áreas não são totalmente expostas, pelo que ocorrem formações vegetais do tipo gramínea e rasteira, mas dispersa, podendo variar em função da estação do ano. Essas áreas são resultado das atividades humanas com realce a agricultura de subsistência e pastagem de gado, mas que também são influenciadas pelo tipo de clima com estação seca mais longa que a chuvosa.

4.7 – Análise da Gestão ambiental da bacia hidrográfica do rio Púnguè

Para o entendimento da necessidade de usos da terra sustentáveis que garantam a ocorrência dos recursos hídricos com qualidade necessária, torna-se importante referenciar as potencialidades da rede de drenagem e algumas aplicações reais dos usos da água. A lei de águas moçambicana, no seu artigo 21, prevê usos comuns e privativos da água do rio, incluindo a concessão de licenças de usos de água para fins agrícolas e industriais (artigo 29), produção de energia (artigo 48), navegação e transporte (artigo 50), etc., constituindo usos diretos da água dos rios, deixando marcas antrópicas (LEI Nº. 16/91, 1991).

A bacia hidrográfica do rio Púnguè tem escoamento médio anual avaliado em 4195 Mm^3, sendo que 1191 Mm^3/ano (28%) ocorrem no território zimbabweano e 3004 Mm^3/ano (72%) ocorre no território moçambicano, portanto, maior escoamento ocorre no território moçambicano (BARROS et al, 2010).

Em termos globais, a demanda de água ao nível da bacia hidrográfica do rio Púnguè é avaliada em 98087 m^3/dia, sendo que 62.442 m^3 corresponde a demanda do território zimbaweano, dos quais 60480 m^3 são de canalização para o meio urbano, 428 m^3 para sistemas rurais canalizados e 1.534 m^3 para os sistemas rurais precários. No território moçambicano, a demanda total é avaliada em 35.645 m^3, dos quais 25.339 m^3 destinam para a cidade da Beira, 8.283 m^3 para abastecimento rural e 2023 para sistemas precários rurais. Importa referenciar que a demanda de água para o ano de 2023 é de 98.689 m^3/dia dos quais 74.640 m^3/dia somente para abastecer a cidade da Beira (BARROS *et al*, 2010). Nos dados acima, pode se perceber que apesar de maior quantidade de drenagem (72%) ocorrer em Moçambique, em termos de demanda de usos de água, o Zimbábue quase que duplica a demanda moçambicana.

A captação de água para consumo humano direto e para sistemas industriais está associada aos centros urbanos, com destaque a cidade da Beira. A bacia hidrográfica do Púnguè ao nível do território moçambicano, contém um grande sistema de captação no distrito de Dondo e seis pequenos sistemas abastecimento de água em Nhamatanda, Muanza, Gorongosa, Gôndola, Macossa e Baruè. Os sistemas de Dondo, Gorongosa, Gondola e Catandica são abastecidos a partir de águas superficiais, e os restantes a partir da água subterrânea (ASDI, 2005).

Para além da captação da água para consumo direto humano, a agricultura construiu uma das áreas de produção que consome quantidades significativas da água do rio Púnguè ao nível do território moçambicano, com destaque no sistema de plantação de cana de açúcar em Mafambisse, distrito de Dondo, numa área de 8.133 ha, envolvendo uma demanda anual avaliada em 189,5 Mm^3/ano nos anos úmidos e 83,9 Mm^3/ano nos anos tidos como secos. Ainda na agricultura, as plantações de árvores exóticas em Moçambique como eucaliptos, cobrindo uma área de 2.496 hectares no distrito de Gondola, província de Manica, tem uma demanda da água avaliada entre 7,5 a 10,0 Mm^3 por ano. No setor da pecuária, no ano 2000, na parte moçambicana da bacia hidrográfica do rio Púnguè, a captação de água para responder a demanda, era avaliada em 0,44 M m^3/ano para consumo de 23.513 bovinos, 45.769 pequenos ruminantes, 11.990 porcos e 507.523 aves, revelando um decréscimo em relação ao ano de 1975 que a captação era de 0,70 M m^3/ano, para consumo de 45.190 bovinos, 46.194 pequenos ruminantes e 19.559 porcos. Importa referenciar que no território moçambicano ao nível da bacia hidrográfica do rio Púnguè existem 19 pequenas represas, majoritariamente destinadas para processos de irrigação (BARROS *et al*, 2010).

No sistema de corpos hídricos também se desenvolve a pesca artesanal, sendo que na maioria dos casos a finalidade é para autoconsumo, exceto em certas comunidades como a de Bué Maria e Tacuraminga, que o pescado é comercializado, mas em pequenas quantidades, pois também é de carácter artesanal. Existe uma diversidade de tipos de peixe de água doce, mas o mais comum é a tilápia, localmente conhecido como peixe macacana. Calcula-se que a produtividade da pesca na planície de inundação do rio Púnguè, em uma área de cerca 4.500 km², pode estar na faixa das 4 a 6 toneladas por km², ou cerca de 20.000 toneladas (ASDI).

Os tipos de uso da água acima descritos, por si só justificam e despertam a importância que este recurso tem para a vida e consequente necessidade de usos sustentáveis dos diferentes recursos naturais cuja sua exploração, direta ou indiretamente, afeta a disponibilidade da água, portanto, urge a necessidade de gestão das bacias hidrográficas.

A gestão de bacias hidrográficas em Moçambique está prevista na lei de águas de 1991, que no seu artigo 18, alínea 1, determina que a gestão dos recursos hídricos será

realizada por administrações regionais de águas, organizadas na base de bacias hidrográficas e fundamentalmente vocacionadas para administração de recursos hídricos da região. No caso particular da bacia hidrográfica do rio Púnguè, a sua gestão é através da Administração Regional de águas do Centro (ARA-Centro), com sede na cidade da Beira. A ARA-Centro é uma instituição de natureza pública.

Como pode se perceber no parágrafo anterior, a gestão da bacia hidrográfica do rio Púnguè está centrada numa instituição de natureza político administrativa. O processo de gestão de bacias hidrográficas, precisa sim do setor político administrativo para coordenar e fiscalizar as diferentes atividades associadas aos usos dos recursos hídricos, mas torna-se importante a complementaridade com os conhecimentos técnicos científicos para fins de realização de diagnósticos e prognósticos sobre a bacia, para além do envolvimento dos diferentes usuários dos recursos hídricos que constituem o foco principal da implementação das medidas de prevenção ou de mitigação dos possíveis impactos ambientais.

A gestão integrada de bacias hidrográficas requer a participação de diferentes segmentos e atores da sociedade, dada a sua complexidade. O Banco Interamericano para o Desenvolvimento define participação no desenvolvimento como o processo pelo qual as pessoas e entidades exercem influência no controle das iniciativas de desenvolvimento e nas decisões sobre recursos que as afetam (FLORES e MISOCZKY, 2008). Ela aparece preconizada em diferentes documentos normativos de caráter universal ou internacional (NUNES e PINTO, 2007). Por exemplo, nos princípios de Dublin, a alínea 2, sustenta-se que o desenvolvimento e a gestão da água devem ser baseados na participação de todos, quer sejam usuários, planejadores e decisores políticos de todos os níveis (NUNES e PINTO, 2002).

A lei de águas de Moçambique no seu artigo 20, alínea 1 preconiza que os utentes dos recursos hídricos poderão voluntariamente constituir-se em associações, designadamente em associações de regantes. O mesmo assunto, é referenciado na estratégia de gestão integrada dos recursos hídricos de 2004, que realça e reconhece que a Lei da Água de 1991, abre um limitado papel para interessados e afetados e que a principal forma de participação dos interessados e afetados seria através dos Comités de bacia, com apenas papel consultivo. Entretanto, na mesma estratégia afirma-se que tais comitês ou conselhos

de gestão das bacias hidrográficas nunca foram criados, pelo que, não existem. Por outro lado, a estratégia determina que estes comitês seriam apenas para fins consultivos e não faz menção das atribuições específicas e responsabilidades no âmbito da gestão da bacia hidrográfica, pelo que, mesmo que existissem os referidos comitês, provavelmente, o seu impacto nos processos de decisão não seria grande importância. Portanto, torna-se importante que na estratégia de gestão integrada estejam definidos os critérios para criação dos almejados comitês de gestão, as atribuições, as tarefas e responsabilidades associadas, as principais diretrizes para seu funcionamento, incluindo as fontes de aquisição de fundos para seu funcionamento.

A estratégia nacional de gestão de recursos hídricos (2004), no contexto de avaliação dos recursos hídricos, determina como política que "a avaliação dos recursos hídricos será feita de forma sistemática, científica e técnica, nas bacias hidrográficas do país para determinar o potencial dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos". Na sequência, no contexto de planejamento dos recursos hídricos, na estratégia determina-se como política que "o planejamento dos recursos hídricos deve ser realizado para todos os níveis, baseando-se numa abordagem integrada, multisetorial a nível da bacia hidrográfica, com o envolvimento das partes interessadas e, devendo-se destacar, dentre outros, os aspectos ambientais, incluindo biodiversidade e ecossistemas associados". Entretanto, na estratégia não estão definidos os mecanismos que podiam garantir o envolvimento dos setores atuantes ao longo da bacia hidrográfica. Por exemplo, para fins de produção de banco de dados sobre a bacia, é importante o envolvimento das instituições de pesquisa e Universidades locais como Unizambeze, UniPúnguè, Unilicungo, etc., posto que, a integração na estratégia das diretrizes para parcerias/envolvimento dessas instituições pode se assumir como de grande importância.

Um dos princípios para uma gestão integrada de recursos hídricos é a disponibilidade de dados e sua socialização ao público em geral (SILVA, AZEVEDO e MATOS, 2006), no entanto a falta de dados ou pelo menos sua indisponibilidade nos principais veículos de informação, constitui um desafio para a gestão da bacia hidrográfica de Púnguè, aspecto este que podia ser superado com o envolvimento das instituições de pesquisa e universidades.

Para planificar os usos e ocupações da terra sustentáveis, torna-se necessário a existência dum banco de dados sobre as particularidades das características físico geográficas e socioeconómicas, dados estes que podem permitir efetuar o zoneamento da bacia hidrográfica de modo a tornar operacionais as ações de manejo e conservação (PIRES et. al.,2002) e ampliar a favor do poder público e da sociedade civil a capacidade de organização e direcionamento de esforços, reconhecimento dos diversos níveis de demandas específicas, formulação de políticas na área de recursos hídricos, além de apoiar a operacionalização dos comitês de bacias hidrográficas (ALBUQUERQUE, 2012) por meio de ações tais como direcionar usos específicos de cada sub-região da bacia hidrográfica em função das suas potencialidades e fragilidades.

A estratégia de gestão integrada dos recursos hídricos (2004) apresenta as funções da ARA-Centro e são as seguintes: a formulação, implementação e revisão dos planos hidrológicos das bacias na sua área de jurisdição; a administração e controlo das águas públicas na sua área de jurisdição; a criação e manutenção de um registo de utentes; a cobrança de taxas de água e multas; a licenciamento de usos de água e de descargas de efluentes, incluindo a sua monitorização; a aprovação e supervisão de novas infraestruturas hidráulicas; a planificação, concepção e construção de obras hidráulicas, assim como a sua operação e manutenção; a projeção, operação e manutenção de redes hidrometeorógicas e a implementação de programas de controlo de cheias.

Como pode-se perceber no parágrafo acima sobre as funções da ARA-Centro, em nenhum momento se faz referência aos processos de coordenação através desta instituição aos diferentes interessados, afetados, usuários, das instituições públicas afins para além dos referenciados comitês de gestão dos recursos hídricos. Se é importante a gestão integrada da bacia hidrográfica, que seja realçada a importante tarefa de coordenação através da instituição que desempenha a função político administrativa, para além da definição clarificada dos mecanismos de implementação dessa coordenação, para que seja possível a cogestão das diferentes atividades desenvolvidas ao longo da bacia hidrográfica do rio Púnguè.

O processo de gestão integrada das bacias hidrográficas, também pressupõe que as diferentes legislações afins tais como Lei de Terras, Lei de Águas, Lei de Florestas e Fauna Bravia, lei de ordenamento territorial, lei do ambiente, Decreto de proteção,

conservação e uso sustentável da diversidade biológica etc. (LEI Nº. 18/97, 1997; LEI Nº. 10/99, 1999; LEI Nº. 19/2007; DECRETO Nº. 89/2007; LEI Nº. 20/97, 1997), tenham uma abordagem complementar, de modo a garantir a coordenação desses diferentes setores de atuação políticos administrativos e evitando sobreposições e discordâncias. Na tabela 11, apresentam-se os principais aspectos quanto as leis acima referenciadas, cuja finalidade é fazer análise comparativa quanto aos órgãos de gestão, áreas de proteção consideradas em cada instrumento legal, atribuições na gestão, interdições e aspectos logados a licenciamentos das atividades.

De forma geral pode-se afirmar que os diferentes instrumentos legais que regulam as diferentes atividades socioeconômicas comunicam-se entre si ou envolvem alguns aspectos de complementaridade, o que é importante para garantir a gestão integrada das bacias hidrográficas. Um dos exemplos a destacar neste contexto de complementaridade entre as diferentes leis, é o fato de a lei do ambiente referenciar que o fato de o licenciamento ambiental de atividades econômicas, estar sob tutela de um determinado ministério ou setor administrativo, não dispensa o licenciamento das áreas específicas em que a atividade se enquadra. No entanto, podem ser observadas lacunas como por exemplo, lei de terra realça que a aprovação de pedido do uso e aproveitamento da terra não dispensa o licenciamento nas áreas afins da atividade, entretanto, na lista das áreas econômicas não foi referenciada a questão dos usos diretos da água, o que pode parecer ser da prioridade secundária.

Em relação aos órgãos de gestão dos setores afins de cada instrumento legal, importa referenciar que se nota algumas diferenças na descentralização dos processos de gestão, com destaque a própria lei de águas que descentraliza até ao nível regional, como pode se entender na tabela 11, nas colunas das observações. Por outro lado, pode-se destacar algumas ambiguidades na definição de órgãos de gestão de alguns sectores, como é o caso das leis de florestas e fauna bravia e do ambiente, que centralizam responsabilidades a concelhos de ministros, sabendo-se não se trata de um órgão institucional.

Quanto a áreas de conservação, é importante reconhecer que todos os instrumentos legais em análise na tabela 12, fazem referência a áreas de conservação parcial ou total, ou no mínimo apresentam alguma orientação no sentido de respeitar as

áreas de proteção definidas na lei de terras. Entretanto, nenhuma das leis recomenda a proteção na globalidade das áreas montanhosas dadas a importância na origem das nascentes e a função da vegetação na recarga dos aquíferos, como também, não se recomenta a proteção da vegetação nas áreas com vertentes íngremes como forma evitar erosão.

Tabela 12 – Análise comparativa dos instrumentos de gestão nos diferentes sectores de atividades

	Lei ° 16091: Lei de águas	**Lei nº 19/97, de 1 de outubro, Lei de terras**	**Lei nº.19/2007, Lei de ordenamento do território**	**Lei nº.10/1999 de 10 de julho, Lei de florestas e fauna bravia**	**Lei nº. 5/2017 de 11 de maio: Lei de proteção, conservação e uso sustentável da diversidade biológica.**	**Lei nº 20/97, Lei do ambiente**	**Constatações/observações**
Órgão de gestão	Gestão centrada em instituições regionais de âmbito estatal, no caso particular a Administração Regional Centro, como preconiza o artigo 18, alínea 1:A gestão dos recursos hídricos será realizada por administrações regionais de águas organizadas na base de bacias hidrográficas e fundamentalmente vocacionadas para a administração dos recursos hídricos da região.	Gestão centrada no estado através do concelho de ministros, governos provinciais, concelhos municipais, governos distritais e autoridades locais. A aprovação do pedido de uso e aproveitamento da terra não dispensa a obtenção de licença ou outras autorizações exigidas por: a) legislação aplicável ao exercício das atividades económicas pretendidas, nomeadamente agropecuárias ou agroindustriais, industriais, turísticas, comerciais, pesqueiras e mineiras e à proteção do meio ambiente; b) diretrizes dos planos de uso da terra (artigo 20)	Compete ao Estado e às Autarquias Locais promover, orientar, coordenar e monitorizar de forma articulada o ordenamento do território, no âmbito das suas atribuições e das competências dos respectivos órgãos (artigo 6) O ordenamento territorial compreende os seguintes níveis de intervenção no território: nacional, provincial, distrital e autárquica (artigo 8).	Compete ao Conselho de Ministros, nos termos a regulamentar, garantir a fiscalização florestal e faunística, visando monitorar, orientar e disciplinar as atividades de conservação, utilização e maneio dos recursos florestais e faunísticos (artigo 37, alínea 1) A fiscalização florestal e faunística é exercida pelos fiscais de florestas e fauna bravia, pelos fiscais ajuramentados e pelos agentes comunitários nos termos e condições a definir por diploma próprio (artigo 37, alínea 4) Gestão participativa: São criados conselhos locais de gestão de recursos, constituídos por representantes das comunidades locais, do sector privado, das associações e das autoridades locais visando proteção, conservação e a promoção do uso sustentável dos recursos florestais e faunísticos (artigo 31, alínea 1) O Estado pode delegar poderes de gestão dos recursos florestais e faunísticos, incluindo para fins de repovoamento de espécies florestais e faunísticas, às comunidades locais, associações ou ao sector privado, sem prejuízo da sua fiscalização pelas entidades competentes (artigo 33)	O órgão central de gestão das áreas de conservação é ANAC (artigo 42) As áreas de conservação que não estejam sob administração da ANAC, poderão ter outros órgãos de gestão a definir no regulamento da respectiva área de conservação (artigo 43) Cada área de conservação tem conselho de gestão, constituído por administrador e representantes das comunidades locais, sector privado, associações e órgãos locas do estado (artigo 1) As áreas de conservação podem ser geridas por entidades públicas, privadas, por parcerias público-privadas, por instituições de ensino ou de natureza científica, por organizações da sociedade civil ou pelas comunidades locais (artigo 58)	Cabe ao Governo elaborar e executar o Programa Nacional de Gestão Ambiental (artigo 5). O Conselho Nacional de Desenvolvimento Sustentável é um órgão consultivo do Conselho de Ministros e serve também como fórum de auscultação da opinião pública sobre questões ambientais.	Nas leis de florestas e fauna bravia e do ambiente, nota-se ambiguidade na indicação do órgão institucional gestora, referenciar apenas o concelho de ministros. Todas as legislações especificas apontam para gestão centrada no estado. A lei de água descentraliza até ao nível regional A lei de terra descentraliza até às autoridades locais e recomenda licenciamentos das atividades em áreas especificas, mas as áreas referenciadas não direcionam para área gestão de recursos hídricos/bacias hidrográficas A lei de ordenamento territorial descentraliza até o nível distrital A lei de florestas e fauna bravia e a lei de proteção, conservação e uso sustentável da diversidade biológica, centralizam a gestão, mas se distinguem por destacar a necessidade envolvimento do setor privado e autoridades e comunidades locais A lei do ambiente centraliza a gestão ao nível nacional e provincial
Áreas de conservação/proteção	Os locais onde se instalem captações de água para consumo das cidades ou de outros centros urbanos, as margens dos lagos artificiais, bem como as respectivas áreas adjacentes ficarão sujeitos ao regime das zonas de proteção definido na Lei de Terras e seu Regulamento. Ao mesmo regime ficarão sujeitas as zonas adjacentes das nascentes de água e dos poços (Artigo 57,	Consideram-se zonas de proteção total as áreas destinadas a atividades de conservação ou preservação da natureza e de defesa e segurança do Estado (artigo 7) Consideram-se zonas de proteção parcial: a) O leito das águas interiores, do mar territorial e da zona	O ordenamento do território deve respeitar o uso e aproveitamento da terra e dos recursos naturais nos termos da legislação em vigor, sem prejuízo da preservação da propriedade do Estado. O ordenamento do território deve garantir a organização do domínio público, designadamente águas territoriais, as estradas, os	Consideram-se zonas de proteção: a) parques nacionais; b) reservas nacionais; c) zonas de uso e de valor histórico-cultural (artigo 10, alínea 2)	Áreas de conservação total (reserva nacional integral, parques nacionais e monumento cultural e natural) Áreas de conservação de uso sustentável (reserva especial, área de proteção ambiental, coutada oficial, área de conservação comunitária, santuário, fazenda bravio e parque ecológico municipal	A fim de assegurar a proteção e preservação dos componentes ambientais, bem como a manutenção e melhoria de ecossistemas de reconhecido valor ecológico e socioeconômico, o governo estabelece áreas de proteção ambiental devidamente sinalizadas. 2. As áreas protegidas podem ter âmbito nacional, regional,	Todas as leis em referência recomendam a observância de áreas de conservação total e parcial, remetendo às áreas definidas na lei de terras. Entretanto, nenhuma das leis recomenda a proteção na globalidade das áreas montanhosas dada a importância na origem das nascentes e a função da vegetação na recarga

	alínea 1) Nas referidas zonas de proteção e para além das restrições e condicionamentos ditados pelas especificidades de cada caso, fica interdito: a) Construir habitações ou edifícios cuja utilização possa conduzir a degradação da qualidade da água; b) Instalar estabelecimentos industriais ou comerciais, matadouros ou cercas de gado; c) Instalar sepulturas ou fazer escavações; d) Instalar entulheiras ou escombreiras resultantes da atividade mineira; e) Introduzir animais, depositar ou enterrar lixo ou imundícies de qualquer tipo; f) Instalar canalizações e reservatórios de hidrocarbonetos ou de águas usadas de qualquer tipo; g) Estabelecer terrenos de cultura e espalhar estrume, fertilizantes ou qualquer outro produto destinado a fertilização dos solos ou a proteção das culturas (artigo 77, alínea 3)	económica exclusiva; b) A plataforma continental; c) A faixa da orla marítima e no contorno de ilhas, baías e estuários, medida da linha das máximas preia-mares até 100 metros para o interior do território; d) A faixa de terreno até 100 metros confinante com as nascentes de água; e) A faixa de terreno no contorno de barragens e albufeiras até 250 metros; f) Os terrenos ocupados pelas linhas férreas de interesse público e pelas respectivas estações, com uma faixa confinante de 50 metros de cada lado do eixo da via; g) Os terrenos ocupados pelas autoestradas e estradas de quatro faixas, instalações e condutores aéreos, superficiais, subterrâneos e submarinos de eletricidade, de telecomunicações, petróleo, gás e água, com uma faixa confinante de 50 metros de cada lado, bem como os terrenos ocupados pelas estradas, com uma faixa confinante de 30 metros para as estradas primárias e de 15 metros para as estradas secundárias e terciárias; h) A faixa de dois quilómetros ao longo da fronteira terrestre; i) os terrenos ocupados por aeroportos e aeródromos, com uma faixa confinante de 100 metros; j) A faixa de terreno de 100 metros confinante com instalações militares e outras instalações de defesa e segurança do Estado (artigo 8)	caminhos públicos e servidões, os lugares sagrados e cemitérios. as praias, zonas de proteção da natureza, de uso e interesse militar e das fronteiras, portos, aeroportos, monumentos nacionais e outros, nos termos da legislação em vigor (artigo 7)		(Artigo 13)	local ou ainda internacional, consoante os Interesses que procuram salvaguardar e podem abranger áreas terrestres, águas lacustres, fluviais ou marítimas e outras zonas naturais distintas (artigo 13, alíneas 1 e 2)	dos aquíferos. Na sequência, não se recomenta a proteção da vegetação nas áreas com vertentes íngremes como forma evitar erosão.
Atribuições do órgão de gestão	Participar na preparação, implementação e revisão do plano de ocupação hidrológica da bacia;	Em áreas não cobertas por planos de urbanização, compete: 1- Aos Governadores	Ao nível nacional definem-se as regras gerais da estratégia do ordenamento do território, as normas e as diretrizes para as ações de ordenamento	O Estado promove a recuperação de áreas degradadas através de plantações florestais, preferencialmente, nas dunas, bacias hidrográficas e nos	Compete ao Conselho de Ministros criar, modificar ou extinguir as reservas naturais totais, os parques nacionais, os monumentos culturais e naturais	Compete ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Sustentável: a) pronunciar-se sobre as	Observa-se sobreposição no mesmo território, pelo que há necessidade de se desenhar estratégia de gestão integrada

	A administração e controlo do domínio público hídrico e a criação e manutenção do cadastro de águas e do registo dos aproveitamentos privativos, bem como o lançamento e cobrança de taxas de uso e aproveitamento da água; O licenciamento e a concessão de uso e aproveitamento das águas do domínio público, a autorização de despejos, a imposição de servidões administrativas, bem como a inspeção e fiscalização do cumprimento dos requisitos a que os mesmos estão sujeitos; A aprovação das obras hidráulicas a realizar e a sua fiscalização; Declarar a caducidade de autorizações licenças e concessões e sua extinção ou revogação; A projeção, a construção e a exploração das obras realizadas com os seus próprios meios, bem como o das que lhe forem atribuídas; A prestação de serviços técnicos relacionados com as suas atribuições e o assessoramento aos órgãos locais do Estado, as entidades públicas e privadas e aos particulares; h) Colher e manter atualizados os dados hidrológicos necessários à gestão das bacias hidrográficas; Conciliar conflitos decorrentes do uso e aproveitamento da água; Proceder ao policiamento das águas, aplicar sanções, ordenar a demolição de obras, a eliminação de usos e aproveitamentos não autorizados e o encerramento de fontes de contaminação.	Provinciais: a) autorizar pedidos de uso e aproveitamento da terra de áreas até ao limite máximo de 1000 hectares; b) autorizar licenças especiais nas zonas de proteção parcial; c) dar parecer sobre os pedidos de uso e aproveitamento da terra relativos a áreas que correspondam à competência do Ministro da Agricultura e Pescas. 2. Ao Ministro da Agricultura e Pescas: a) autorizar os pedidos de uso e aproveitamento da terra de áreas entre 1000 a 10000 hectares; b) autorizar licenças especiais nas zonas de proteção total; c) dar parecer sobre os pedidos de uso e aproveitamento da terra relativos a áreas que ultrapassem a sua competência. 3. Ao Conselho de Ministros: a) autorizar pedidos de uso e aproveitamento da terra de áreas que ultrapassem a competência do Ministro da Agricultura e Pescas, desde que inseridos num plano de uso da terra ou cujo enquadramento seja possível num mapa de uso da terra; b) criar, modificar ou extinguir zonas de proteção total e parcial; c) deliberar sobre a utilização do leito das águas territoriais e da plataforma continental. Nas áreas rurais, as comunidades locais participam: a) na gestão dos recursos naturais; b) na resolução dos conflitos; c) no processo de titulação, conforme o estabelecido no nº 3	provincial, distrital e autárquico e compatibilizam-se as políticas setoriais de desenvolvimento do território. Ao nível provincial definem-se as estratégias de ordenamento do território da província, integrando-as com as estratégias nacionais de desenvolvimento económico e social e, estabelecem-se as diretrizes para o ordenamento distrital e autárquico, Ao nível distrital elaboram-se os planos de ordenamento do território da área do distrito e os projetos para a sua implementação, refletindo as necessidades e aspirações das comunidades locais, integrando-os com as políticas nacionais e de acordo com as diretrizes de âmbito nacional e provincial. Ao nível autárquico estabelecem-se os programas, planos; projetos de desenvolvimento e o regime de uso do solo urbano, de acordo com as leis vigentes. (artigo 9) O órgão que superintende a atividade do ordenamento do território é responsável pelo acompanhamento, recolha e tratamento de informação de caráter estatístico, ambiental, social, técnico e científico relevante, promovendo a criação e o desenvolvimento de um sistema nacional de informação sobre o território, articulando-se aos níveis nacional, provincial, distrital e municipal, nos lermos a regulamentar. (artigo 26, alínea 2)	ecossistemas frágeis (artigo 27 alínea 1) O Estado promove o desenvolvimento de plantações florestais para fins comerciais, industriais ou energéticos, consoante as características ecológicas de cada zona, nos termos a regulamentar (artigo 28, alínea 1) O Estado promove o repovoamento da fauna bravia de acordo com os planos de maneio previamente aprovados e com a observância da legislação sobre a matéria (artigo 29, alínea 1) Compete ao Conselho de Ministros, nos termos a regulamentar, garantir a fiscalização florestal e faunística, visando monitorar, orientar e disciplinar as atividades de conservação, utilização e maneio dos recursos florestais e faunísticos (artigo 37, alínea 1) A exploração do património nacional florestal deve observar os seguintes regimes: a) exploração por licença simples; b) exploração por contrato de concessão florestal. Por decreto do Conselho de Ministros são fixados os termos e condições para a exploração dos recursos florestais nos regimes previstos no número anterior (artigo 14) São devidas ao Estado taxas pelo acesso e utilização dos recursos florestais e faunísticos, bem como pelo exercício do turismo contemplativo nos parques e reservas nacionais. Por decreto do Conselho de Ministros, são fixados os valores das taxas referidas no número anterior, bem como para a emissão de licenças de atividades, guias de trânsito,	de domínio público do Estado, as reservas especiais, as áreas de proteção ambiental, as coutadas oficiais, independentemente das suas dimensões, bem como os santuários, as fazendas do bravio e as áreas de conservação comunitárias com dimensões superiores a 10.000 hectares. Compete ao Ministro que superintende as áreas de conservação criar, modificar ou extinguir os santuários, as fazendas do bravio e as áreas de conservação comunitárias com dimensão entre 1.000 a 10.000 hectares. Compete ao governo provincial criar, modificar ou extinguir as fazendas do bravio, os santuários e as áreas de conservação comunitárias com dimensão até ao limite máximo de 1.000 hectares bem como os monumentos cultural e natural de domínio público comunitário e de domínio privado. Compete à assembleia municipal criar, modificar ou extinguir os monumentos culturais e naturais de domínio público autárquico e os parques ecológicos autárquicos que se localizam dentro dos limites da respectiva autarquia. Caso a área de conservação a criar abranja mais do que uma província e a competência para a sua criação seja do governo provincial, o despacho de criação é assinado pelos governadores provinciais das províncias em causa (artigo 20) O Conselho de Gestão da Área de Conservação apoia a Administração da Área de Conservação na: a) Implementação e monitoria do cumprimento dos planos de maneio; b) Fiscalização das áreas de conservação e suas zonas tampão;	políticas setoriais relacionadas com a gestão de recursos naturais; b) Emitir pareces sobre propostas de legislação complementar à presente Lei, incluindo as propostas criadoras ou de revisão de legislação setorial relacionada com a gestão de recursos naturais do país; c) Pronunciar-se sobre as propostas de ratificação de convenções internacionais relativas ao ambiente; d) Elaborar propostas de criação de incentivos financeiros ou de outra natureza para estimular os agentes económicos para a adopção de procedimentos ambientalmente sãos na utilização quotidiana dos recursos do país; e) Propor mecanismos de simplificação e agilização do processo de licenciamento de atividades relacionadas com o uso de recursos naturais; f) Formular recomendações aos ministros das diversas áreas de gestão de recursos naturais sobre aspectos relevantes das respectivas áreas; g) Servir como foro de resolução de diferendos institucionais relacionados com a utilização e gestão de recursos naturais; h) exercer as demais funções que lhe forem cometidas pela presente Lei e pela demais legislação ambiental (artigo 6, alínea 3) Compete ao Governo criar, em termos a regulamentar, um Corpo de agentes de fiscalização ambiental competentes para Velar pela implementação da legislação ambiental e para a tomada das providências necessárias para prevenir a violação das suas disposições (artigo 28) Com vista garantir a necessária	Lei de florestas e fauna bravia com atribuições bastante centralizadas, não referenciando órgão locais para execução dos processos de gestão Necessidade de o órgão gestor das bacias hidrográficas incluir na estratégia de gestão integrada de bacias, as diretrizes e ações a serem observadas no âmbito cooperação e gestão integrada, dada a sobreposição de poderes no mesmo território. Necessidade de o órgão gestor das bacias hidrográficas incluir na estratégia de gestão integrada de bacias, as diretrizes para parcerias, por exemplo, com instituições de pesquisa e universidades no âmbito produção de diagnósticos e prognósticos ambientais Urge a necessidade de a lei de água, incluir nas atribuições do órgão gestor das bacias hidrográficas a necessidade coordenar os processos de gestão integrada, envolvendo os diferentes segmentos da sociedade e sectores gestoras de atividades económicas, para além da necessidade da elaboração da estratégia de gestão integrada

		do artigo 13 da presente Lei; d) No exercício das competências referidas nas alíneas a) e b) do nº 1 do presente artigo, as comunidades locais utilizam, entre outras, as normas e práticas costumeiras (artigo 24) Compete aos Presidentes dos Conselhos Municipais e de Povoação e aos Administradores do Distrito, nos locais onde não existam órgãos municipais, autorizar pedidos de uso e aproveitamento da terra nas áreas cobertas por planos de urbanização e desde que tenham serviços públicos de cadastro (artigo 23)		certificados e demais autorizações (artigo 35) Compete ao Conselho de Ministros estabelecer uma zona tampão em redor de quaisquer zonas de proteção, na qual podem ser permitidos usos múltiplos com as restrições que vierem a ser estabelecidas pelo respectivo plano de maneio (artigo 10, alínea 3)	c) Revisão do Plano de Maneio em parceria com todas partes interessadas e afetadas pelo menos uma vez em cada cinco anos; d) Resposta às necessidades de desenvolvimento das comunidades que legalmente residem nas áreas de conservação e nas zonas tampão; e) Elaboração de planos estratégicos de desenvolvimento das áreas de conservação, assim como de planos de desenvolvimento turístico dela; f) Busca de novas atividades de rendimento que diminuam a pressão exercida pelas comunidades locais sobre a biodiversidade, incluindo negócios baseados na biodiversidade; g) Supervisão da implementação dos contratos de concessão com operadores no âmbito do desenvolvimento de parceria público-privada e comunitárias; h) Tomada de medidas que fortaleçam a capacidade de conservação no contexto do Plano de Maneio; i) Na elaboração de planos de desenvolvimento de infraestruturas de utilidade pública, relacionadas com a Área de Conservação (artigo 46, alínea 2	participação das comunidades locais e a utilizar adequadamente os seus conhecimentos e recursos humanos, o governo, em coordenação com as autoridades locais, promove a criação de agentes de fiscalização comunitários (artigo 30).	
Interdições/infrações	Sem prejuízo do disposto no artigo 54 e, em geral, interdito: a) Efetuar direta ou indiretamente despejos que contaminem as águas; b) Acumular resíduos sólidos, desperdícios ou quaisquer substâncias que contaminem ou criem perigo de contaminação das águas; c) Atuar sobre o meio físico ou biológico afeto à água de modo a degradá-lo ou criar perigo da	Limitações de atividades em áreas de conservação total e parcial O direito de uso e aproveitamento da terra extingue-se: a) pelo não cumprimento do plano de exploração ou do projeto de investimento, sem motivo justificado, no calendário estabelecido na aprovação do pedido, mesmo que as obrigações fiscais	A inobservância das disposições Legais para o ordenamento do território resulta em penalidades administrativas e multas. As sanções para garantir o cumprimento das obrigações estabelecidas na presente Lei são objeto de regulamentação.	É condenado à pena de prisão até um ano e multa correspondente, aquele que, voluntariamente, puser fogo e por este meio destruir em todo ou em parte seara, floresta, mata ou arvoredo (artigo 40) Constituem infracção, punível com pena de multa de 2.000.000,00 MT a 100.000.000,00 Mt, os seguintes fatos: a) realização de quaisquer atos de exploração florestal sem	No parque nacional, exceto por razões científicas ou por necessidades de maneio, são rigorosamente interditas as seguintes atividades: a) Caçar, exercer qualquer exploração florestal, agrícola, mineira ou pecuária; b) Realizar pesquisa ou prospecção, sondagem ou construção de aterros; c) Todos os trabalhos tendentes a modificar o aspecto do terreno ou as características da vegetação bem como provocar a poluição das águas; d) Toda a introdução de espécies	Não é permitida. no território nacional a produção, o depósito no solo e no subsolo, o lançamento para a água ou para a atmosfera, de quaisquer substâncias tóxicas e poluidoras, assim como a prática de atividades que acelerem a erosão, a desertificação, o desflorestamento ou qualquer outra forma de degradação do ambiente, fora dos limites, legalmente estabelecidos É expressamente proibida a importação para o território	Necessidade de incluir de limitações de atividades econômicas em zonas montanhosas e declivosas dada a importância na origem das nascentes e função da vegetação na recarga dos aquíferos e proteção dos solos à erosão

	sua degradação; d) Exercer, nas zonas de proteção estabelecidas nos planos de ordenamento de águas, quaisquer atividades que envolvam ou possam envolver perigo de contaminação ou degradação do domínio público hídrico (artigo 53)	estejam a ser cumpridas; b) por revogação do direito de uso e aproveitamento da terra por motivos de interesse público, precedida de pagamento de justa indemnização e/ou compensação; c) no termo do prazo ou da sua renovação; d) pela renúncia do titular.		autorização, ou em desacordo com as condições de exploração; b) prática de quaisquer atos que perturbem ou prejudiquem a fauna em zonas de proteção; c) caça sem licença, ou em desacordo com as condições legalmente estabelecidas; d) importação ou exportação de recursos florestais ou faunísticos sem licença, ou em desacordo com as condições fixadas pela lei; e) abandono dos produtos florestais e faunísticos objetos da licença. 2. Constituem infracção, punível com pena de multa de 1.000.000,00 MT a 20.000.000,00 MT os seguintes factos: a) armazenamento, transporte ou comercialização de recursos florestais ou faunísticos sem autorização, ou em desacordo com as condições legalmente estabelecidas; b) recepção de recursos florestais ou faunísticos sem que se tenha documento comprovativo da autorização do vendedor ou do transportador (artigo 41)	zoológicas ou botânicas, quer exóticas, ou selvagens; e) Todo o ato que, pela sua natureza possa causar perturbações à manutenção dos processos ecológicos, à flora, fauna e ao património cultural (artigo 78, alínea 2)	nacional de resíduos ou lixos perigosos. salvo o que vier estabelecido em legislação específica (artigo 9)	
Licenciamento	As águas do domínio público, quanto ao uso e aproveitamento, classificam-se em águas de uso comum e águas de uso privativo. O uso e aproveitamento privativo das águas pode resultar da lei, de licença ou de concessão (artigo 21, alínea 1) O aproveitamento privativo da água dependerá do licenciamento, quando praticado através de obras de carácter não permanente que não alterem as margens ou leitos das correntes, lagos, lagoas ou pântanos. Depende ainda do	O direito de uso e aproveitamento da terra é adquirido por: a) ocupação por pessoas singulares e pelas comunidades locais, segundo as normas e práticas costumeiras no que não contrariem a constituição; b) ocupação por pessoas singulares nacionais que, de boa-fé, estejam a utilizar a terra há pelo menos dez anos; c) autorização do pedido apresentado por pessoas singulares ou coletivas na forma estabelecida na presente Lei.	Compete ao Estado e às Autarquias Locais promover, orientar, coordenar e monitorizar de forma articulada o ordenamento do território, no âmbito das suas atribuições e das competências dos respectivos órgãos, nos termos da presente Lei (artigo 6, alínea 1)	A exploração do património nacional florestal deve observar os seguintes regimes: a) exploração por licença simples; b) exploração por contrato de concessão florestal (artigo 14, alínea 1) A exploração sob o regime de licença simples é sujeita a quantidades e prazos limitados e é exercida, exclusivamente, por operadores nacionais e pelas comunidades locais nas florestas produtivas e nas de utilização múltipla, para fins comerciais,	O exercício de qualquer atividade económica com ocupação de espaço nas áreas de conservação e a construção ou instalação de qualquer empreendimento ou edificação nas áreas de conservação é precedida do respectivo estudo de impacto ambiental nos termos da legislação em vigor, não sendo autorizado o exercício de qualquer atividade económica sem a obtenção prévia da respectiva Licença Ambiental ou declaração da sua isenção, conforme aplicável. 2. Exceptua-se do disposto no número anterior, as autorizações	O Licenciamento e o registo das atividades que, pela sua natureza, localização ou dimensão, sejam susceptíveis de provocar impactos significativos sobre o ambiente, são feitos de acordo com o regime a estabelecer pelo governo, por regulamento específico. 2. A emissão da licença ambiental é baseada numa avaliação do impacto ambiental da proposta de atividade e precede-a emissão de quaisquer outras licenças legalmente exigidas para cada caso.	A lei de terra realça que a aprovação de pedido do uso e aproveitamento da terra não dispensa o licenciamento nas áreas afins da atividade, entretanto, na lista das áreas económicas não foi referenciada a questão dos usos diretos da água, o que pode parecer ser da prioridade secundária. No âmbito da lei do ambiente, surge a necessidade da elaboração plano estratégico de para garantir o envolvimento dos diferentes sectores de gestão das atividades socioeconómicas nos processos de licenciamento

	licenciamento: a) A prospecção, captação e o aproveitamento de águas subterrâneas incluías nas zonas de proteção; b) A instalação de depósitos, a implantação de culturas ou plantações e o abate de árvores nos leitos e margens das correntes naturais contínuas ou descontinuas e dos lagos, lagoas e pântanos; c) A extração de materiais inertes, designadamente areia e cascalho, dos leitos e margens das correntes naturais contínuas ou descontinuas e dos lagos, lagoas e pântanos (artigo 32)	(artigo 12, aquisição) O processo de titulação do direito do uso e aproveitamento da terra inclui o parecer das autoridades administrativas locais, precedido de consulta às comunidades, para efeitos de confirmação de que a área está livre e não tem ocupantes (artigo 13, alínea 3) A aprovação do pedido de uso e aproveitamento da terra não dispensa a obtenção de licença ou outras autorizações exigidas por: a) legislação aplicável ao exercício das atividades económicas pretendidas, nomeadamente agropecuárias ou agroindustriais, industriais, turísticas, comerciais, pesqueiras e mineiras e à proteção do meio ambiente; b) diretrizes dos planos de uso da terra (artigo 20)		industriais e energéticos, com observância do plano de maneio previamente aprovado (artigo 15, alínea 1) A exploração sob o regime de contrato de concessão florestal é exercida por pessoas singulares ou coletivas e pelas comunidades locais nas florestas produtivas e nas de utilização múltipla, para o abastecimento à indústria de processamento ou energética com observância do plano de maneio previamente aprovado pelo sector (artigo 16, alínea 1) A exploração da fauna bravia existente no país deve observar as seguintes modalidades: a) caça por licença simples; b) caça desportiva; c) caça comercial (artigo 20) A caça por licença simples é exercida por pessoas singulares nacionais e pelas comunidades locais, nas florestas de utilização múltipla e nas zonas de uso e de valor histórico-cultural, com o objetivo de satisfazer necessidades de consumo próprio (artigo 21)	a serem concedidas para o exercício de atividades económicas pelas comunidades locais nas áreas de conservação ou zonas tampão que, pela sua reduzida dimensão, possa ser autorizada pela entidade gestora da área de conservação nos termos dos artigos 83 a 88 do presente Regulamento (89)		ambiental Na lei de florestas e fauna bravia, no âmbito de licenciamento para exploração dos recursos florestais, podia ser recomendada a necessidade de articular com outros sectores de atividades, em particular o sector de gestão de bacias hidrográficas de modo a tomar em consideração as áreas tidas como frágeis ou com potenciais processos hidrológicos. ao nível da bacia.

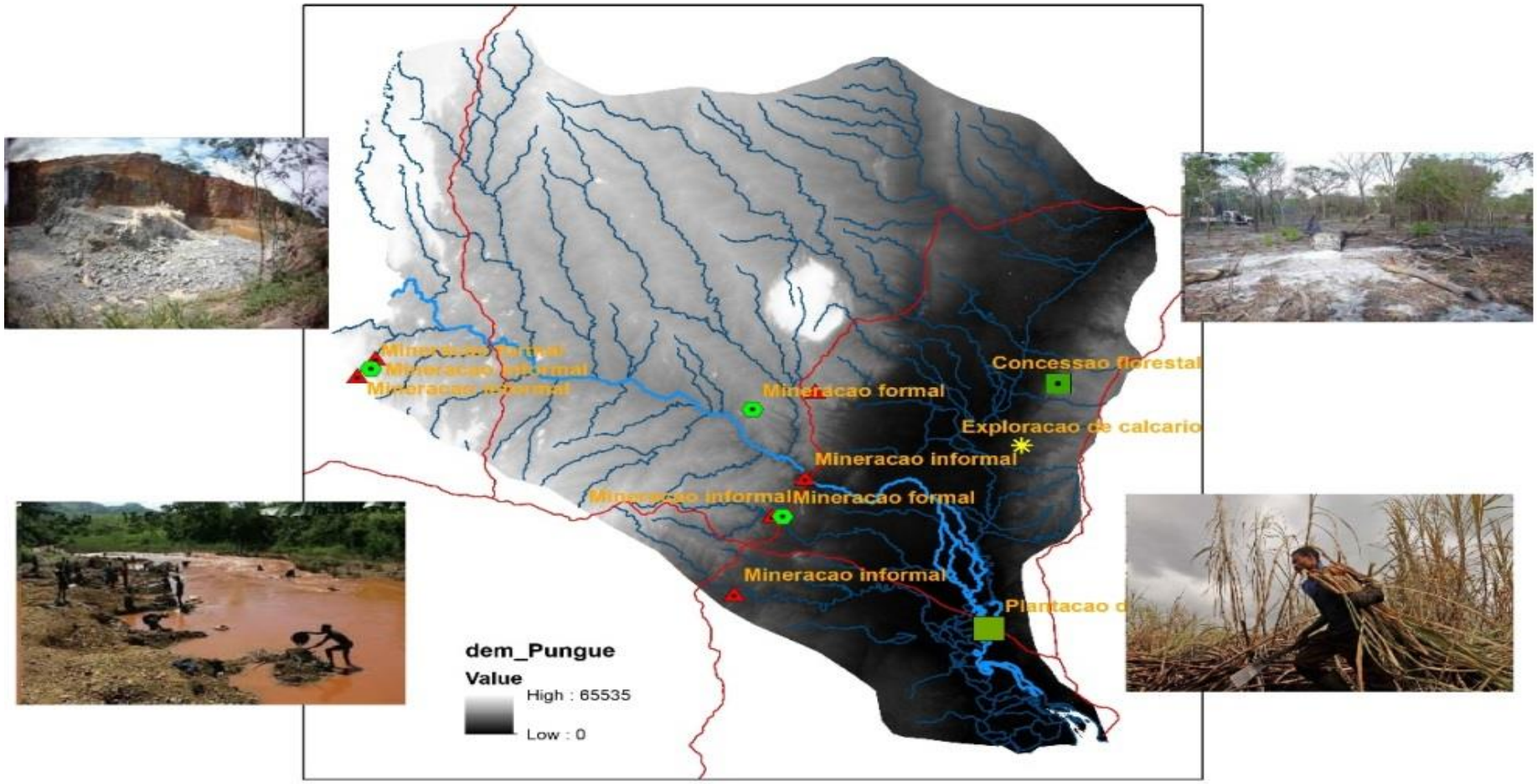
Embora haja significativa complementaridade e diálogo nas diferentes legislações acima referenciadas, ainda prevalecem algumas lacunas, sobretudo nos mecanismos de implementação. A título de exemplo, a lei de água, no artigo 58, alínea 1 sustenta que fora das zonas de proteção da natureza (parque e reservas), nos terrenos inclinados próximos de fontes de recursos de água ou onde se previna ou combate erosão, fica dependente da prévia autorização das administrações regionais da água, a execução dos trabalhos, instalação de equipamentos ou desenvolvimento de quaisquer atividades suscetíveis de alterar a existência, o caudal ou reservas de fontes, lagos ou de recursos de água. Entretanto, as concessões florestais para exploração de recursos florestais madeireiros, por exemplo, são reguladas e licenciadas por outro órgão político administrativo.

Importa referenciar que a estratégia de gestão integrada da bacia hidrográfica do rio Púnguè não define mecanismos para garantir a coordenação das atividades, incluindo para coordenação da implementação das leis nas diferentes atividades socioeconômicas desenvolvidas ao longo da bacia. Outro exemplo a referenciar: da lei da água em relação a produção da base de dados que constitui um elemento chave para o diagnóstico ambiental e o sucesso das intervenções necessárias para a recuperação e uso sustentável dos recursos hídricos (SILVA, AZEVEDO e MATOS, 2006), sendo que a referida lei apenas realça a necessidade de levantamento de dados hidrológicos (artigo18, alínea h), excluindo de certa maneira dados doutros subsistemas (solos, relevo, uso e ocupação de terras) da bacia hidrográfica que direta ou indiretamente influenciam na disponibilidade da água.

Na sequência, o quadro legal relativo à gestão de recursos hídricos, embora apresente alguma abordagem que tende a direcionar para gestão integrada de recursos hídricos, ao abrir espaço para criação de comitês, da participação das partes interessadas e afetadas, etc., contudo nesta base não foram definidas as bacias hidrográficas como unidades básicas de planejamento e gestão ambiental como visto em Albuquerque (2012), mas sim criadas entidades regionais para gestão de conjunto de bacias (Administrações Regionais de Águas – ARA's). A bacia como unidade de planejamento ambiental seria o ideal, pois, como sustentam Nascimento e Vilaça (2008), não há qualquer área de terra, por menor que seja, que não se integre a uma bacia hidrográfica, sendo possível avaliar de forma integrada as ações humanas sobre o ambiente e seus desdobramentos no equilíbrio presente no sistema de uma bacia hidrográfica.

Os desafios do processo da gestão da bacia hidrográfica do rio Púnguè não se limitam apenas na articulação das leis afins e envolvimento dos diferentes segmentos da sociedade, mas também em fazer cumprir o que está preconizado nas leis. A lei de uso e aproveitamento de terra de Moçambique no seu artigo 8, prevê zonas de proteção parcial, nomeadamente: a) o leito das águas interiores, do mar territorial e da zona económica exclusiva, b) a plataforma continental, c) a faixa da orla marítima e no contorno de ilhas, baías e estuários, medida da linha das máximas preia-mares até 100 metros para o interior do território, d) a faixa de terreno até 100 metros confinante com as nascentes de água, e) a faixa de terreno no contorno de barragens até 250 metros, f) os terrenos ocupados pelas linhas férreas de interesse público e pelas respectivas estações, com uma faixa confinante de 50 metros de cada lado do eixo da via, g) os terrenos ocupados pelas autoestradas e estradas de quatro faixas, instalações e condutores aéreos, superficiais, subterrâneos e submarinos de eletricidade, de telecomunicações, petróleo, gás e água, com uma faixa confinante de 50 metros de cada lado, bem como os terrenos ocupados pelas estradas, com uma faixa confinante de 30 metros para as estradas primárias e de 15 metros para as estradas secundárias e terciárias, h) a faixa de dois quilómetros ao longo da fronteira terrestre, i) os terrenos ocupados por aeroportos e aeródromos, com uma faixa confinante de 100 metros, j) a faixa de terreno de 100 metros confinante com instalações militares e outras instalações de defesa e segurança do Estado. Entretanto ainda ocorrem atividades (mineração informal, agricultura, entre outras) que não respeitam as distancias mínimas definidas, por exemplo em relação as margens dos rios (vide o mapa de sistemas antrópicos) e que lançam efluentes e resíduos nos leitos dos rios. A figura 46 apresenta algumas atividades exercidas ao longo da bacia e que são potenciais ameaçadores da qualidade de água.

Figura 46– Algumas atividades desenvolvidas na bacia que perigam a qualidade dos recursos hídricos.



Fonte: DEM (ASTER-GDEM2); Imagens (Google).

A exploração de recursos florestais para fins de obtenção do combustível lenhoso no meio rural, muitas das vezes é feita não só para consumo próprio das famílias, mas também para comercialização e é notória a venda de carvão vegetal ao longo das estradas. Importa referenciar que a exploração dos recursos florestais para comercialização não se restringe apenas para fins de obtenção de carvão vegetal, como também para obtenção de lenha, estacas e troncos de madeira, sendo que na maioria dos casos, estas atividades são desenvolvidas sem licença de exploração.

Para o caso do Distrito de Dondo, por exemplo, os exploradores ilegais de troncos para madeira, cortam os troncos no interior e carregam de bicicletas durante a noite, usando caminhos e não estradas para não ser interpelados por fiscais nos postos de fiscalização, sendo que em Dondo existem diversas serrações nas imediações da cidade, onde esses troncos são processados e a madeira é comercializada localmente e na cidade da Beira. Portanto, é uma exploração que coloca em risco a sustentabilidade ecológica e ambiental.

A distribuição e o funcionamento regular das infraestruturas de gestão hidrológica, também constituem um desafio de grande relevo para a entidade gestora da bacia. Por exemplo, uma das estratégias adotadas pelas autoridades para avaliar a distribuição espacial e a procura dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Púnguè foi a sua subdivisão em 12 sub-bacias (ASDI, 2005), sendo que avaliação e quantificação dos recursos hídricos utilizam-se dados de precipitação, evapotranspiração e caudal, contando com 77 estações identificadas para precipitação e evapotranspiração e 22 estações para o caudal, porém alguns dados advindos destas estações apresentam falhas e por isso sua precisão é questionável (Barros *et al*. 2010)

O zoneamento ambiental da bacia hidrográfica do Púnguè também constitui um dos desafios da entidade gestora, de modo que em coordenação com outras instituições afins, numa perspectiva de gestão integrada, direcione usos e ocupações da terra em função das particularidades de cada sub-região como fundamentam Rosa e Ferreira (2018, p. 409) ao afirmar que,

> O zoneamento viabiliza a inserção da questão ambiental nos processos de tomada de decisão, desde o estabelecimento de estratégias de desenvolvimento regional até mesmo a implantação de atividades. Trata-se de uma ferramenta para identificação de conflitos, além de contribuir para a efetividade do planejamento e gestão ambiental.

O zoneamento ambiental pressupõe a articulação das diferentes leis e regulamentos afins, envolvimento dos diferentes segmentos da sociedade, incluindo as instituições de pesquisa

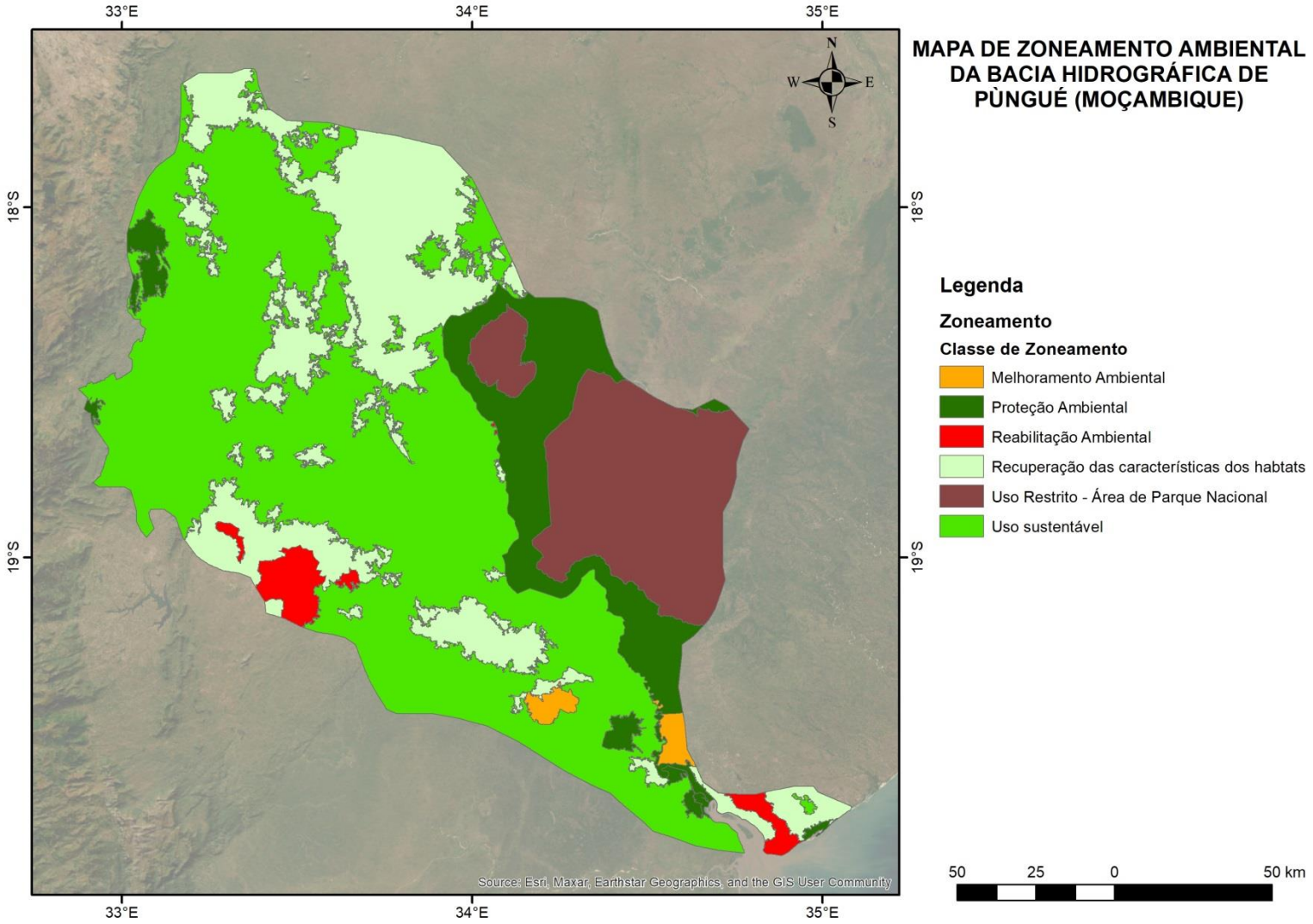
e universidades, de modo a garantir a identificação de potencialidades e fragilidades nas diferentes unidades de paisagens que compõem a bacia e direcionar ocupações e usos terra sustentáveis.

4.7.1 – Propostas para Gestão Ambiental na bacia hidrográfica do rio Púnguè

Em função das características das condições ambientais, socioeconômicas e políticos administrativas constatadas na pesquisa, sobre a bacia hidrográfica do rio Púnguè, se propõe algumas sugestões a tomar em consideração dos processos de planejamento e gestão ambiental.

Foram delimitadas 7 zonas ambientais nomeadamente: zonas de melhoramento ambiental, zonas de proteção ambiental, zonas de reabilitação ambiental, zonas de reabilitação das características dos habitats, zona de uso restrito (Parque Nacional de Gorongosa) e zona de uso sustentável (vide a figura 47). Em cada zona ambiental são apresentadas algumas medidas de melhoria no amito de processos de gestão da ambiental da bacia hidrográfica do rio Púnguè.

Figura 47- Mapa de zoneamento ambiental na bacia hidrográfica do rio Púnguè



Fonte: LANDSAT, CENACARTA (2011), EPMBRAPA (2011). Processado pelo autor.

Nos sistemas agropastoris, em campos agrícolas da açucareira de Mafambisse, nas análises de qualidade da água efetuadas, constatou-se a ocorrência de coliformes fecais acima de limites legalmente aceitáveis, podendo ser resultado da falta de balneários ao longo das áreas de cultivo, portanto, propõe-se a construção de balneários em locais estratégicos a identificar, de modo a evitar atos de higienização dos trabalhadores nos cursos de água e fecalismo ao céu aberto.

As áreas mapeadas como sendo de fragilidade ambiental alta e muito alta (Figura 32) propõe-se a sua identificação através de montagem de painéis fixos em locais estratégicos, incluindo o conteúdo de proibição de desenvolvimento de determinadas atividades socioeconómicas e ocupação para habitação e certas atividades sob certos condicionalismos, como por exemplo, agricultura em socalcos ou agricultura de conservação. Este processo de identificação desses lugares, deve ser acompanhado por um processo de educação comunitária sobre a necessidade de preservar esses espaços.

Nos mapas de usos e cobertura da terra, foi notória a falta do comprimento das distancias legalmente estabelecidas em relação às áreas de proteção ambiental como nascentes dos rios, margens dos rios, margens das vias férreas, margens das estradas, etc., pelo que, para além de potenciar a fiscalização, torna-se importante a sinalização desses espaços e promoção de campanhas de educação comunitária.

Nos sistemas urbanos, sobretudo os maiores centros urbanos situados ao longo da bacia hidrográfica do rio Púnguè (cidades da Beira e Chimoio) ainda não possuem aterros sanitários, pelo que, os resíduos sólidos não recicláveis são acondicionados em uma lixeira aberta, sendo que o chorume produzido nesses espaços de lixeiras pode influenciar na qualidade de água subterrânea e superficial (rios). Portanto, constitui uma necessidade a construção de aterros sanitários pelo menos nos grandes centros urbanos.

Outro aspecto não menos importante que se propõe que seja potencializada ao logo dos grandes centros urbanos na bacia hidrográfica do rio Púnguè, é a construção de estações de tratamento de águas residuais. Sabe-se que a cidade da Beira, já existe estação de tratamento de águas residuais, entretanto, ainda existe um enorme desafio de garantir a implantação de um sistema de rede de esgoto ao nível dos bairros de expansão urbana de modo a garantir a drenagem das águas residuais para a ETAR. Na sequência, pode se questionar a capacidade de uma única estação de tratamento de águas residuais para uma cidade com elevada densidade

populacional. Por outro lado, os outros centros urbanos, ainda não possuem as estações de tratamento de águas residuais.

Nos sistemas de cobertura vegetal não protegidos ocorre a exploração dos recursos florestais madeireiros e não madeireiros para diversos fins como a produção de carvão vegetal e aquisição de lenha como combustível, para além exploração de estacas para construção de habitações, sendo que a exploração destes recursos também é destinada para comercialização e na maioria dos casos de produção de carvão vegetal não envolve licenciamentos. Face a esse cenário, propõe-se desenvolvimento de projetos comunitários de reflorestamento de algumas áreas na escala local com espécies vegetais com curto ciclo vegetativo como é o caso de eucalipto, de modo que se destine para produção de carvão vegetal, permitindo assim, o abandono do uso da vegetação nativa para produção de carvão vegetal, obtenção de lenha e estacas.

Reconhecendo-se a importância da participação dos diferentes segmentos da sociedade no processo da gestão das bacias hidrográficas, sobretudo os utentes diretos dos recursos e condições naturais que ocorrem nesses espaços, propõem-se a criação de comitês de gestão de bacias hidrográficas nas diferentes sub-bacias ao longo da bacia hidrográfica do rio Púnguè. Para o efeito, torna-se necessário a definição de uma estratégia de gestão integrada das bacias hidrográficas, descrevendo claramente as funções, atribuições, responsabilidades e mecanismos de participação de cada segmento da sociedade (comunidades, sector privado e empresarial, instituições de pesquisa e universidades, etc.), incluindo a definição de fontes de financiamento dos comitês. Uma das fontes de financiamento dos comitês de gestão das bacias hidrográficas podia ser alguma percentagem das taxas pagas pelos utentes privados dos recursos hídricos.

No âmbito de realização de diagnósticos e prognósticos ambientais com propósitos de geração de indicadores que auxiliam o planejamento e gestão da bacia hidrográfica do rio Púnguè, propõe-se que o órgão de gestão da bacia (ARA-Centro), potencie parcerias com instituições de pesquisa e universidades como Unizambeze e Unilicungo, através dos cursos afins como Geografia, Gestão Ambiental e Desenvolvimento Comunitário, Engenharia Hidráulica, etc.

Nos sistemas de cobertura vegetal e uso sustentável e em sistemas degradados propõe-se o desenvolvimento de projetos de agricultura de conservação, recorrendo a técnicas de

manejo que associam a cobertura vegetal existente ou por reflorestar, com pequenas plantações de culturas agrícolas para subsistência das populações locais. Para a efetivação destes projetos, pode-se potenciar os extensionistas agrícolas do programa sustenta (iniciativa do governo moçambicano que visa estimular a economia rural, tendo como base a agricultura), definindo essas áreas como prioritárias para o acompanhamento dos camponeses. Importa destacar que no Parque Nacional de Gorongosa foram reportadas experiências conservacionistas de produção de café, com relatos de prémio internacional na área de conservação com aquela iniciativa, pelo que pode se buscar estas experiencias naquele órgão de gestão.

Ainda no sistema de cobertura vegetal e uso sustentável, propõe-se a criação de área de conservação na sub-região com cobertura de terra do tipo floresta, localizada no extremo oeste da bacia hidrográfica do rio Púnguè, próximo à fronteira com Zimbábue, concretamente a sul e centro da localidade de Shoa e a nordeste da localidade de Chauala, ambas no distrito de Báruè. Trata-se de umas das sub-regiões mais elevadas da bacia hidrográfica do rio Púnguè, com índices de dissecação fortes e com ocorrência de significativas nascentes, portanto, dada a importância da vegetação, não só no âmbito de proteção dos solos à erosão, como também a sua influência na recarga dos aquíferos e que por sua vez alimentam as nascentes, justifica-se a necessidade de proteção daquele ecossistema.

Nos sistemas de zonas úmidas e que coincidem áreas mapeadas como de alto risco a inundações (vide o mapa de suscetibilidade às inundações), propõe-se que sejam fixados painéis gigantes com conteúdos relacionados a áreas de risco às inundações e proibidas a fixação de infraestruturas habitacionais. Adicionalmente, propõe-se o desenvolvimento de campanhas de sensibilização das comunidades situadas nessas áreas, em matérias de riscos às inundações, incluindo sobre o funcionamento do sistema de aviso prévio.

Na sequência, torna-se importante desenvolver programas de manutenção da área de vegetação alagada por conta de processos ecológicos – reprodução de espécies aquáticas, para além da observância da distância mínima definida por lei em relação as margens do rio, em casos de alguma atividade económica como agricultura. É necessário controlar a expansão do arroz em detrimento da vegetação úmida natural e implantar sistemas irrigados de rizicultura em áreas degradadas.

As zonas úmidas da bacia hidrográfica do rio Púnguè são ricas de recursos pesqueiros da água doce com tilápia, bagre, camarão, entre outras, pelo que, propõe-se o desenvolvimento de projetos de turismo e pesca recreativa, envolvendo as comunidades locais.

As atividades desenvolvidas na zona tampão de áreas de conservação, no caso particular, o Parque Nacional de Gorongosa tem alguma influência na fauna da área de conservação, até porque, por lei, na zona tampão há limitações para realização de algumas atividades socioeconômicas, o que demanda o envolvimento das comunidades locais nos processos de gestão do ambiente. O envolvimento efetivo das comunidades locais da zona tampão nos processos de gestão ambiental requer a consciência ambiental e conhecimento dos instrumentos legais que regulam as atividades nesses espaços. Portanto, propõe-se o desenvolvimento de um projeto de educação ambiental para as comunidades locais que contemplem a necessidade de treinamento de educadores ambientais locais, tanto para membros dos comitês de gestão dos recursos naturais quanto para membros dos comitês das bacias hidrográficas, para que esses sejam difusores de boas práticas e dos instrumentos legais nas suas próprias comunidades. A educação ambiental poderá ser desenvolvida nas escolas como currículo local nas disciplinas afins ou como temas transversais e ao nível das comunidades.

A atividade de educação ambiental comunitária deve ser acompanhada por um processo de identificação e fixação de informações chaves nos diferentes espaços ao nível das comunidades da zona tampão e nos limites da área de conservação. Por exemplo, na zona tampão, nos rios, existem áreas proibidas de pescar e outras que é permitida a pesca para consumo familiar, portanto, nas zonas proibidas para pescar, deverão ser fixados painéis com seguintes dizeres, por exemplo: “A partir deste lugar em direção a nascente do rio, é proibido pescar”. O painel deverá conter também imagens ilustrativas do conteúdo da frase. Em zonas em que a pesca é permitida, nos locais estratégicos como de concentração de pescadores (entrada e saída para pesca) deverão ser fixados painéis com escritas e imagens ilustrativas de algumas proibições ou permissões, por exemplo, de certos tipos de instrumentos de pesca. Na sequência, em locais identificados como caminho de animais ao nível de zona tampão, podem ser fixados painéis gigantes com informações de proibição da caça, como também do perigo que as pessoas podem estar sujeitas aos animais ferozes como leões. Os limites das áreas de conservação deverão estar devidamente identificados e com instruções básicas sobre as funções e funcionamento, a fixar em locais estratégicos.

Nos sistemas costeiros, em particular nas áreas de cobertura vegetal por manguezal ocorre exploração no âmbito de aquisição de estacas para construção de habitações, aquisição de lenha como combustível lenhoso, para além da produção de carvão vegetal, colocando em risco os processos ecológicos, como a reprodução de caranguejo e camarão. Portanto, propõe-se que se interdite integralmente a exploração do mangal e se desenvolva um programa de restauração do manguezal, acompanhado com um processo de educação comunitária. Paralelamente, deve ser implantado um projeto comunitário de plantio de espécies de curto ciclo vegetativo para fins de produção de carvão vegetal, aquisição de lenha e de estacas. Por outro lado, tendo em conta as características da paisagem, sobretudo na orla marítima, pode ser potencializada a atividade turística com envolvimento das comunidades locais.

Nos sistemas degradados, para além da agricultura de conservação de âmbito de subsistência proposto nos sistemas de cobertura vegetal e uso sustentável, deverão ser desenvolvidos projetos de reflorestamento tanto com espécies nativas como com espécies exóticas como eucaliptos de modo a garantir a sustentabilidade nas comunidades.

5 – CONCLUSÕES

A bacia hidrográfica do rio Púnguè é caracterizada por uma diversidade geológica, geomorfológica e climática, determinado a distribuição espacial dos tipos de solo e da cobertura vegetal, pelo que, também se regista a variação espacial quanto a potencialidades e fragilidades ambientais, condicionado às medidas direcionadas em função das especificidades das características locais.

Os resultados da análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio Púnguè, revelam que é caracterizada por uma drenagem pobre na medida em que a sua densidade é inferior a 0,5km². Os indicadores morfométricos nomeadamente: fator forma, índice de circularidade, índice de compacidade e densidade de drenagem indicam para baixa suscetibilidade à ocorrência de inundações de forma global, embora os dados sobre índice de sinuosidade, apontam para suscetibilidade, justificando-se por ser uma bacia globalmente plana. Na análise específica da suscetibilidade à ocorrência de inundações, com recurso ao modelo de HAND, os resultados revelaram elevada suscetibilidade no baixo Púnguè, que é área de planície de inundação, coincidindo com as localidades de Tica-Sede, Bebedo, Nhampoca, Metchira no distrito de Nhamatanda, localidade de Buzi-Sede e algumas áreas do município da Beira

A ocorrência de componentes biofísicos com características diversificadas e a interação entre eles determinam a variação espacial da fragilidade ambiental ao longo da bacia hidrográfica do rio Púnguè. Os resultados da análise da fragilidade global revelam que a bacia hidrográfica do rio Púnguè é dominada por classe de fragilidade média (42,72% da área total da bacia), variando espacialmente com a classe de fragilidade ambiental fraca (40,94% da área total da bacia).

A predominância da classe de fragilidade média é mais notória no extremo leste da bacia, na província de Sofala, com destaque nos distritos de Gorongosa e Nhamatanda, uma área dominada por planície e cobertura da terra do tipo savana, sendo que a predominância da fragilidade média se justifica pelo tipo de solo predominante que é Neossolos Flúvicos e que se enquadra na classe de fragilidade muito alta na classificação do ROSS 1994. Regista-se também relativa dominância da fragilidade média na sub-região centro norte da bacia, com destaque do extremo norte do distrito de Macossa, na província de Manica e na sub-região da serra de Gorongosa.

Na sub-região da serra de Gorongosa a dissecação dominante varia de forte a muito forte, ocorrendo Neossolos Litólicos, portanto de alta fragilidade ambiental, entretanto, a fragilidade média justifica-se pela cobertura vegetam que é predominantemente do tipo floresta, portanto, de muito alta capacidade de proteção dos solos.

As áreas com predominância de classes de fragilidades muito baixa se situam no extremo oeste da bacia, com maior abrangência nos distritos de Báruè e Manica, na província de Manica. Embora seja uma área com relevo dissecada, a fragilidade muito baixa justifica-se por ser uma área de rochas mais antigas e mais consolidadas, com predominância de latossolos e variação espacial de cobertura de terra do tipo savana e floresta, características estas que conferem a alto grau de resistência ou de proteção à processos erosivos.

Quanto a dinâmica dos usos e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Púnguè, os resultados apontam para predominância de cobertura vegetal do tipo savana nos 4 anos de referência, embora com algumas variações ao longo do período em análise. As transições mais significativas na cobertura da terra apontam a perdas significativas de floresta para savana e de savana para solo exposto, podendo influenciar negativamente na biodiversidade e na susceptibilidade em relação aos processos erosivos. Na sequência, em relação aos usos de terra a transição significativa regista-se entre a cobertura por savana e agricultura, com maior realce em áreas de cultivo de cana de açúcar. Por outro lado, as áreas com solo exposto, os resultados também indicam para uma evolução ao longo do período em análise, o que chama atenção a necessidade de desenvolvimento de programas de reflorestamento e de práticas de agricultura conservacionistas.

Quanto a unidades geossistêmicas da bacia hidrográfica do rio Púnguè, forma delimitadas um total de 25 unidades, sendo que 4 enquadram-se na unidade morfoestrutural de rochas cratônicas, dominadas por formações colinosas e pequenos morros, com diferenciação espacial da paisagem pelo tipo de cobertura vegetal que variam entre formações florestais, matagal e pradarias, que se desenvolvem sob influência do clima tropical típico, exceto uma das unidades que se enquadra na sub-região do clima tropical semiárido. Os geossistemas da unidade morfoestrutural cratônica são predominantemente intensamente dissecados, entretanto, apresentam susceptibilidade à erosão dos solos que varia de muito baixa a baixa, justificando-se pelos tipos de solo e cobertura vegetal predominante.

Na unidade morfoestrutural dos cinturões móveis foram delimitadas 10 unidades geossistêmicas, tendo se notado que a maioria é dominada por colinas com variação espacial das amplitudes, exceto três unidades geossistêmicas que são dominadas por escarpas serranas. O índice de dissecação das unidades geossistêmicas dessa unidade morfoestrutural, variam de forte a muito forte, mas as classes de fragilidade ambiental variam de fraco a médio, justificando-se pela variação espacial dos tipos de solo e pela variação espacial dos tipos de cobertura vegetal (floresta, matagal e pradaria) que se desenvolvem sob influência do clima tropical típico, exceto uma das unidades geossistêmicas que se enquadra no clima tropical semiárido.

Na unidade morfoestrutural de bacias e coberturas Fanerozóicas foras delimitadas 4 unidades geossistêmicas das quais três enquadram-se numa estrutura dômica (serra de Gorongosa) e uma é dominada por colinas, sendo que todas apresentam índices de dissecação muito forte. A diferenciação das unidades geossistêmicas está centrada na cobertura vegetal apresentando variação de dominância em cada Geossistema, destacando-se florestas, matagal e pradarias. Os geossistemas dessa unidade morfoestrutural apresentam classe de fragilidade ambiental predominantemente muito forte a forte, justificando-se pela predominância de vertentes declivosas e tipos de solos suscetíveis a erosão, embora os tipos de cobertura vegetal predominantes se enquadrem nas classes de alta capacidade de proteção dos solos.

Na unidade morfoestrutural de depósitos sedimentares terciários foram identificadas e delimitadas três unidades geossistêmicas, caraterizadas por feições tabulares e com índice de dissecação forte. Para além das feições do tipo tabular, as unidades geossistêmicas dessa unidade morfoestrutural, também se diferenciam pala variação espacial dos tipos de cobertura vegetal, destacando-se formações florestais, matagal e pradarias. Em termos de fragilidade ambiental, nos três geossistemas, os resultados apontaram ser fraca, podendo ser justificada pelos tipos de solos e cobertura vegetal predominante.

Na unidade morfoestrutural de Depósitos Sedimentares Quaternários foram identificadas e delimitadas 4 unidades geossistêmicas, sendo que três são dominadas por formas de acumulação fluviomarinhas e um por formas de acumulação fluvial. A distinção dos geossistemas é marcada pelos tipos de cobertura vegetal, distinguindo-se o mangal, matagal, pradaria e florestas. Quanto a fragilidade ambiental nas unidades geossistêmicas que compõem esta unidade morfoestrutural varia de fraca a médio como resultado da variação espacial das formações vegetais e tipos de solos.

Quanto aos sistemas antrópicos, na bacia hidrográfica do rio Púnguè, dos 7 identificados e delimitados, constatou-se que os sistemas agropastoris são caracterizados por dois sistemas agrícolas, o mecanizado e o de subsistência. A agricultura de mecanizada ocorre na região estuarina do rio Púnguè e está centrada na produção de cana de açúcar para abastecer a fábrica de açúcar de Mafambisse, tendo se constatado alguns aspectos que colocam em risco a qualidade da água e dos solos como são os casos da queima da cana durante a colheita, a presença de coliformes fecais na água acima dos limites legais acetáveis entre outros aspectos. A agricultura de subsistência, geralmente ocupa pequenas parcelas, e a produção é destinada para consumo familiar, tendo se constatado que é altamente dependente às condições naturais e aplicam-se técnicas de produção rudimentares, incluído a técnica de fogo para desbravar áreas vegetadas, contribuindo para a ocorrência de queimadas descontroladas e consequente degradação de formações vegetais.

Os sistemas urbanos são marcados pela deficiência ou ausência do sistema drenagem e de esgoto, aterros sanitários e estacoes de tratamentos de águas residuais, sobretudo nas áreas de expansão, pelo que constitui um risco para a qualidade das águas tanto subterrâneas como superficiais ao longo da bacia hidrográfica do rio Púnguè.

Nos sistemas de cobertura vegetal e uso sustentável, constatou-se que a exploração dos recursos florestais carece de ser acompanhada por programas de reflorestamento com recurso de espécies nativas, mas também, desenvolvimento de alguns projetos de reflorestamento de algumas áreas com recurso a plantas exóticas de curto ciclo vegetativo para que estejam exploradas no âmbito de produção de carvão vegetal, lenha e estacas, contribuindo assim para redução da pressão das espécies nativas.

Nos sistemas de zonas úmidas constatou-se que constituem potenciais áreas de risco a inundação, pelo que, o desenvolvimento de programas de educação comunitária, incluindo o aprimoramento de instalação de sistema de aviso prévio, constitui prioridade. Adicionalmente, torna-se importante a manutenção dos ecossistemas ribeirinhos e o cumprimento das distancias mínimas em relação as margens dos rios em casos de desenvolvimento de alguma atividade económica.

Em suma, os resultados da pesquisa revelam a comprovação da hipótese levantada inicialmente na medida em que as características biofísicas (morfometria, solos, cobertura da terra, geologia, clima) e as características socioeconômicas (usos da terra como agricultura,

urbanização, etc.), variam espacialmente ao longo da bacia hidrográfica do rio Púnguè, condicionando a variação espacial das potencialidades e fragilidades ambientais, devido a variação das propriedades dos elementos constituintes e consequente variação dos graus de proteção e/ou de suscetibilidade à ocorrência de eventos naturais como inundações, erosão, etc., para além de processos de poluição ou degradação ambiental.

6 – REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

AGÊNCIA SUECA PARA O DESENVOLVIMENTO INTERNACIONAL (ASDI). Fase II. Cenários de Desenvolvimento da Bacia do Rio Púngoé. Volume III. **Relatório Técnico**. Desenvolvimento da estratégia conjunta de gestão integrada dos recursos hídricos da bacia do rio Púnguè. Moçambique, 2005.

ALBUQUERQUE, A. R. C. Bacia Hidrográfica: Unidade de Planejamento Ambiental. **Revista Geonorte**, Edição Especial, V.4, N.4, 2012.

AMORIM, R. R. Um novo olhar na Geografia para os conceitos e aplicações de Geossistemas, Sistemas Antrópicos e Sistemas Ambientais. In: **Caminhos de Geografia**. Uberlândia: UFU, v. 13, n. 41, p. 80 – 101, mar/2012.

AMORIM, R. R.; REIS, C. H.; FERREIRA, C. Mapeamento dos geossistemas e dos sistemas antrópicos como subsídio ao estudo de áreas com riscos a inundações no baixo curso da bacia hidrográfica do rio Muriaé (Rio de Janeiro – Brasil). **Revista Territorium**, n.º 24, p. 89-114, 2017**.**

BAJABAA, S.; MASOUD, M.; AL-AMRI, N. Flash flood hazard mapping based on quantitative hydrology, geomorphology and GIS techniques (case study of Wadi Al Lith, Saudi Arabia). **Arabian Journal of Geosciences**, April, 2013. Disponível em: <http://link.springer.com/content/pdf/ 10.1007%2Fs12517-013-0941-2.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2023.

BAJABAA, S.; MASOUD, M.; AL-AMRI, N. Flash flood hazard mapping based on quantitative hydrology, geomorphology and GIS techniques (case study of Wadi Al Lith, Saudi Arabia). Arabian Journal of Geosciences, April, 2013. Disponível em: <http://link.springer.com/content/pdf/ 10.1007%2Fs12517-013-0941-2.pdf>. Acesso em: 9 set. 2013.

BARROS, Jorge de *et al*, **Estratégia integrada de uso de agua e terra da bacia do Púnguè**, Moçambique, 2010.

BEROUTCHACHVILI, N.; RADVANYI, J. Les structures verticales des géosystèmes. **Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest**, tome 49, fascicule 2, p. 181-198, 1978.

BERTALANFFY, L. V. **Teoria Geral dos Sistemas**. Petrópolis: Editora Vozes, 1973.

BERTOLINI, W. Z. e DEODORO, S. C., Estudo da dissecação do relevo no alto rio Piranga, São Paulo, UNESP, Geociências, v. 37, n. 1, p. 183 - 192, 2018

BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física Global. esboço metodológico, IN: Tradução: Olga Cruz. Trabalho publicado, originalmente, na "**Revue Geógraphique des Pyrénées et du Sud-Ouest", Toulouse**, v. 39 n. 3, p. 249-272, 1968, sob título: Paysage et geographie physique globale. Esquisse méthodologique. Publicado no Brasil **no Caderno de Ciências da Terra**. Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo, n. 13, 1972.

BOLFE, E. L.; BATISTELLA, M.; CUSTÓDIO, D. O.; PUGLIERO, V. **WebGis Moçambique: organização das bases de dados espaciais para a plataforma GeoServer.** Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2011.

BRITO, T. P.; BARCELAR, L. A. P.; BARBOSA, M. S. C.; BARELLA, C. F. Assessment of the groundwater favorability of fractured aquifers from the southeastern Brazil crystalline basement. **Hydrological Sciences Journal.** n. 65, v.3, p. 442-454p.2020.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de sistemas em Geografia.** São Paulo: Hucitec, 1979.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 2ª edição, São Paulo, 1980.

CHRISTOFOLETTI, **A. Modelagem de sistemas ambientais**. Edgar Blücher: São Paulo, 1999.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T.; DUARTE, V.; CLEMENTE, C. F. B. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**, INPE-8454-RPQ/722. São José dos Campos, 2001.

DANTAS, M. E.; ARMESTO, R.C. G.; SILVA, C. R.; SHINZATO, E. Geodiversidade e análise da paisagem: uma abordagem teórico-metodológica, **Terræ Didatica**, Brasil, v. 11, n.. 1, pp. 4-13. 2015

DIAS, R. L.; PEREZ FILHO, A. P. Novas considerações sobre geossistemas e organizações espaciais em Geografia, **Sociedade & Natureza**, v. 29, n. 3, pp. 413-425, 2017.

DIJKSSHORN, J. A. **Os solos da Província de Maputo e Gaza**, INIA, Departamento de terra e água, Maputo, 1993.

EL País (2019) https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fbrasil.elpais.com%2Fbrasil%2F2019%2F03%2F21%2Falbum%2F1553152776_634472.html&psig=AOvVaw0gZqtVx4ngs4nBR5KRMWBV&ust=1684015145932000&source=images&cd=vfe&ved=0CBMQjhxqFwoTCLDD6bvj8P4CFQAAAAAdAAAAABAD, acesso Fevereiro de 2023.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Súmula da 10ª Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro, 1979.

FDNS, **Relatório do mapa de cobertura florestal de Moçambique**, Maputo, 2016.

FDNS, **Relatório do mapa de cobertura florestal de Moçambique**, Maputo, 2019.

FERREIRA, M. C. **Iniciação à análise geoespacial: teorias, técnicas e exemplos para geoprocessamento**. Editora Unesp; São Paulo; 2014.

FLORENZANO, T. G. Introdução à Geomorfologia. In: FLORENZANO, T. G. (org.) Geomorfologia: **conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008

FLORES, R. K.; MUZOCZKY, M. C. Participação no gerenciamento da bacia hidrográfica: o caso do comitê lago Guaíba, **Revista de Administração Pública**, Rio de Janeiro, 2008.

GTK CONSORTIUM, **Notícia explicativa**, Ministério de Recursos Minerais, Direcção nacional de Geologia, Moçambique, 2006

GUIMARÃES, F. S. *et al*, Uma proposta para automatização do índice de dissecação do relevo, **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Brasil, 2017.

JANSEN, L.J.; DI GREGORIO, A. Parametric land Cover and Land-Use Classifications as Tools for Environmental Change Detection. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 91, p. 89-100. 2002.

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da paisagem com SIG**, São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

MACHADO, P. J. O.; TORRES, F. T. P. **Introdução à Hidrogeografia**, Cengage Learning, São Paulo, 2013.

MACIEL, E. M. A Complexidade no Gerenciamento de Bacias Hidrográficas: Consumo e Gestão Integrada, **Revista Brasileira de Gestão e Engenharia** – ISSN 2237-1664 Centro de Ensino Superior de São Gotardo, 2018.

MAXIMIANO, L. A. **Considerações sobre o conceito de paisagem**, Editora UFPR, Curitiba, 2004.

MENDONÇA, F. A., **Geografia e meio ambiente**, Editora Contexto, 8ª edição, São Paulo, 2005

MIREME s/d, https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQjE49wMihGCVgCZDTms1zVDkgwbJRK9gyMCw&usqp=CAU, acesso: Fevereiro de 2023

MOÇAMBIQUE. Decreto n.º 89/2017: Aprova o Regulamento da Lei n.º 16/2014, de 20 de Junho, Lei da Proteção, Conservação e Uso Sustentável da Diversidade Biológica, alterada e republicada pela Lei n.º 5/2017, de 11 de Maio. **Boletim da Republica de Moçambique**. I SÉRIE — Número 203, 2017

MOÇAMBIQUE. Lei de Florestas e Fauna Bravia nº. 10/99 de 7 de julho de 1999, **Boletim da República de Moçambique:** I SÉRIE — Número 27. Suplemento 4. 1999.

MOÇAMBIQUE. Lei n.º 16/91 de 3 de agosto de 1991. Lei das Águas. **Boletim da República de Moçambique**: I SÉRIE — Número 31. Suplemento 2. 1991.

MOÇAMBIQUE. Lei n.º 19/2007 de 18 de julho de 2007, Lei do Ordenamento do Território. **Boletim da República de Moçambique**. I SÉRIE — Número 29, 2007.

MOÇAMBIQUE. Lei n.º 19/97 de 1 de outubro de 1997. Lei de Terras. **Boletim da República de Moçambique**: I SÉRIE — Número 40, 1997.

MOÇAMBIQUE. Lei n.º 20/97 de 01 de outubro de 1997. Lei do Ambiente. **Boletim da República de Moçambique**: I SÉRIE — Número 40, 1997.

MORIN, E. **O método: a natureza da natureza**. 2 ed. Lisboa: Editora Seuil, 1977.

MUCHANGOS, A. **Moçambique, Paisagens e Regiões Naturais**. Edição: do Autor, 1999.

NUNES, F. P.; PINTO, M. T. C. Conhecimento local sobre a importância de um reflorestamento ciliar para a conservação ambiental do Alto São Francisco, Minas Gerais. **Revista Biota Neotropica.** v. 7, n. 3. p. 171-179. 2007.

OLIVEIRA, G. G. de. Modelos para previsão, espacialização e análise das áreas inundáveis na bacia hidrográfica do rio Caí, RS. 2010. 149 f. **Dissertação (Mestrado)** - Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

OLIVEIRA, G. G. de.; GUASSELLI, L. A.; SALDANHA, D. L. Influência de variáveis morfométricas e da distribuição das chuvas na previsão de enchentes em São Sebastião do Caí, RS. **Revista de Geografia**, Recife, v. especial VIII SINAGEO, n. 3, p. 140-155, set. 2010.

PAUNGARTTEN, S. P. L.; BORDALO, C. A. L.; LIMA, A. M. M. Análise evolutiva da paisagem da Bacia Hidrográfica do Rio Benfica (PA): Processos, dinâmica e tendências. ***Ambiente & Educação,*** v. *21*, n. 2, p. 87–107. 2016.

PHIPLIPHI, Arlindo Jr., ROMERO, Marcelo de Andrade e BRUNA, Gilda Collet, **Curso de Gestão Ambiental**, editora Monole, Brasil, 2004.

PIRES, J. S; R.; SANTOS, J. E.; DEL PRETTE, M. E. A utilização do conceito de bacia hidrográfica para a conservação dos recursos naturais. In: SCHIAVETTI, A. e CAMARGO, A. F. M. **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações,** Ilhéus, Ba: Editus, 2002.

PISSARRA, T. C. T.; POLITANO, W. E FERRAUDO, A. S. Avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da bacia hidrográfica do córrego rico, Jaboticabal (sp), **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 28, núm. 2, 2004, pp. 297-305, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Viçosa, Brasil

PNG, **Processo de Avaliação de Impacto Ambiental do Projeto de Criação de Áreas de Conservação Comunitária de Nhampoca e Bebedo**, Posto administrativo de Tica, Distrito de Nhamatanda e Nhamacuerengue, Distrito de Dondo, Sofala, 2021

QUEIROZ, P. H. B. Mapeamento de declividade e das tipologias de uso da terra como subsídio ao zoneamento ambiental de um segmento do médio curso da bacia hidrográfica do rio Pacotice**, Revista Geonorte**, v.8, n.29, p.116-133, 2017.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORREA, G. F.; KER, J. C. **Pedologia: base de distinção de ambientes**, 4ª ed. Lavras: Editora UFLA, 2002.

RODRIGUEZ, J. M. M. e SILVA, E. V. **Planejamento e gestão ambıental: subsídios da geoecologıa das paisagens e da teorıa geossistémica**; Edıtora UFC; Fortaleza; 2013

RODRIGUEZ, J. M. M., SILVA, E. V., CAVALCANTI, A. P. B. **Geoecologia das paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental**, Editora UFC, Fortaleza, 2004.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V. **Teoria dos Geossistemas- O legado de V.B. SOCHAVA: Volume 1 fundamentos teóricos metodológicos.** Edições UFC, Fortaleza, 2019.

ROSA, R. M.; FERREIRA, V. O.; Análise da paisagem e proposição de zoneamento ambiental da bacia do rio Uberabinha, Minas Gerais; In: **Caderno de Geografia**, v.28, n.53, p. 404-427, 2018.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados. **Revista do Departamento de Geografia.** v. *8*, p. 63-74. 2011.

ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil: subsídios para planejamento Ambiental.** São Paulo: Oficina de textos, 2009.

ROSS, J. L. S., **Geomorfologia, Ambiente e Planejamento**, Editora Contexto, 9ª edição, 3ª reimpressão, São Paulo, 2019

ROSS, J. L. S., **Geomorfologia: Ambiente e planejamento,** Editora contexto, São Paulo, 2007

ROSS, J. L. S.; **Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados**, Laboratório de Geomorfologia-FFLCH/USP, São Paulo, 1994

SEABRA, V. S.; CRUZ, C. M. **Mapeamento da Dinâmica da Cobertura e Uso da Terra na Bacia Hidrográfica do Rio São João**, RJ, Soc. & Nat., Uberlândia, 2013

SILVA, B. A. W.; AZEVEDO, M. M.; MATOS, J. S. Gestão Ambiental de Bacias Hidrográficas Urbanas. **Revista Vera Cidade** – Ano I - nº 01 – Dez/2006.

SOCHAVA, V. B. Geography and Ecology. **Soviet Geography**, v. 12, n.5, p. 277-293. 1971.

SOCHAVA, V. B. O Estudo de Geossistemas. **Métodos em questão**, 16. IGUSP. São Paulo. 1977.

SOCHAVA, V. B. Theoretical requisites for the mapping of the human habitat. **Soviet Geography**, v.16, n.2, p. 86-98. 1975.

SOUZA, C. R. de G. Risco a inundações, enchentes e alagamentos em regiões costeiras. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 1., 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: GEDN; UFSC, 2004. p. 231-247. 1 CD-ROM.

SPECKHANN, G.A.; CHAFFE, P. L. B.; GOERL, R.F.; ABREU, J.J; FLORES, J. A. A.Flood hazard mapping in Southern Brazil: a combination of flow frequency analysis and the HAND model. **Hydrological Sciences Journal**, v. 63, n. 1, p. 87-100, 2018.

TENG, J.; JAKEMAN, J.; VAZE, J.; CROKE, B. F. W.; DUTTA, D.; KIM, S.. Flood inundation modelling: A review of methods, recent advances and uncertainty analysis. **Environmental modelling & software,** v. 90, p. 201-216, 2017.

TINLEY, K. L. **Framework of the Gorongosa ecosystem**, Pretoria, 1977

TONELLO, K.C. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas**, Guanhães, MG. 2005. 69p. Tese (Doutorado em Ciências Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005

UNICEF, https://www.unicef.org/brazil/comunicados-de-imprensa/ciclone-idai-mais-de-1-milhao-e-meio-de-criancas-precisam-urgentemente-de-ajuda, Acesso: Dezembro de 2022

VICENS, R. S.; Geografia da paisagem e ordenamento territorial; In: BARBOSA, J. L.; LIMONAD, E. (org.), **Ordenamento territorial e ambienta**l, editor UFF; Niterói, 2012.

VILELLA, S.M., MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill, 1975.

www.rotasturísticas.com, disponível em: https://www.rotasturisticas.com/imagens/fotos/mz/large/fotos_36139_beira_mocambique_vista_aerea_da_beira.jpg ,acesso: Janeiro de 2023

ZACHARIAS, A. A. **A representação gráfica das unidades de paisagem no zoneamento ambiental.** São Paulo**:** Fundação Editora da UNESP, São Paulo, 2010.