UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

ORLANDO INÁCIO JALANE

CARBONO NO SOLO E CORRELAÇÕES COM A DINÂMICA DA PAISAGEM: CONTRIBUIÇÃO PARA O PLANEJAMENTO E GESTÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO UMBELÚZI - MOÇAMBIQUE

FORTALEZA
2020

ORLANDO INÁCIO JALANE

CARBONO NO SOLO E CORRELAÇÕES COM A DINÂMICA DA PAISAGEM: CONTRIBUIÇÃO PARA O PLANEJAMENTO E GESTÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO UMBELÚZI - MOÇAMBIQUE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geografia. Área de concentração: Dinâmica territorial e ambiental

Orientador: Prof. Dr. Edson Vicente Da Silva
Co-oreintador: Prof. Dr. Carlos Henrique Sopchaki

FORTALEZA

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

J27c Jalane, Orlando Inácio.
Carbono no solo e correlações com a dinâmica da paisagem: contribuição para o planejamento e gestão da bacia Hidrográfica do rio Umbelúzi - Moçambique / Orlando Inácio Jalane. – 2020.
176 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Fortaleza, 2020.
Orientação: Prof. Dr. Edson Vicente Da Silva.
Coorientação: Prof. Dr. Carlos Henrique Sopchaki.

1. Carbono do Solo. 2. Planejamento Ambiental. 3. Dinâmica das Paisagens. 4. Bacia Hidrográfica do Umbelúzi. I. Título.

CDD 910

ORLANDO INÁCIO JALANE

CARBONO NO SOLO E CORRELAÇÕES COM A DINÂMICA DA PAISAGEM: CONTRIBUIÇÃO PARA O PLANEJAMENTO E GESTÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO UMBELÚZI - MOÇAMBIQUE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geografia. Área de concentração: Dinâmica territorial e ambiental

Aprovado em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

_____

Prof. Dr. Edson Vicente da Silva (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

_____

Prof. Dra. Professora Adryane Gorayeb
Universidade Federal do Ceará (UFC)

_____

Prof. Dr. Daniel Borini Alves
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

_____

Prof. Dr. Lúcio Correia Miranda
Universidade Federal do Pará (UFPA)

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, pela vida e graça que me concedeu até esse momento especial.

Não poderia de deixar de fazer a referência especial a família Jalane e Cossa pois foram a base de tudo, me proporcionam forças até em momentos que duvidei delas. Garanto-vos que vocês são extremamente importantes na minha vida que sem a vossa presença nada disso seria realidade: meus pais Inácio Jalane e Maria Chilaúle, meus irmãos Armindo, Estrela, Jose e Sergio Jalane (*In memoriam*), Zeferino, meus filhos, primos e sobrinhos.

Às pessoas e instituições que direta ou indiretamente contribuíram para que esta dissertação ganhasse corpo e àquelas que ajudaram a transformar o meu sonho em realidade.

Aos meus orientadores Prof. Dr. Edson Vicente da Silva e o Prof. Dr. Carlos Henrique Sopchaki pela confiança e orientação com a qual aprendi muito e continuo aprendendo.

A família do professor Cacau que recebeu me em sua casa com amor, e sempre esteve presente para me acolher, mesmo longe de casa me sentia perto, porque aqui no Brasil eu tinha uma família.

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela atribuição da bolsa de estudo, que sem ela não teria condições para a realização da pesquisa e muito menos sustentar a minha estadia aqui no Ceará.

Ao Departamento de Geografia da Universidade Federal do Ceará, por me admitir e receber me no seu Programa de Pós-graduação em Geografia. Aos coordenadores do programa o professor Christian Dennys Monteiro de Oliveira e a professora Adryane Gorayeb Nogueira Caetano, pelo apoio e disponibilidade em ajudar sempre.

Agradecimentos especiais vão para os professores e funcionários da UFC, em particular do Departamento de Geografia, com destaque para todos os professores do programa de pós-graduação em geografia pela paciência e sua sabedoria na transmissão do conhecimento, não menos importantes a todos os funcionários do departamento de geografia pela vontade de ajudar sempre.

Não deixaria de mandar os meus sinceros agradecimentos ao Erandi Canafístola Araújo a e Francisca Edilene Silva de Sousa da Secretaria da Pós-graduação em Geografia, pela disponibilidade, dinamismo e prontidão na orientação dos estudantes. Meu muito obrigado.

Aos amigos e colegas do PPG, Israel Rodrigues Bezerra, Jefferson Santos Fernandes e Magno Ricardo Silva De Carvalho o meu muito obrigado pela amizade e

companheirismo. Vai um especial agradecimento aos colegas do LAGEPLAN - Laboratório de Geoecologia da Paisagem e Planejamento Ambiental, e todos os seus integrantes, agradeço pelo apoio incondicional prestado em várias e diferentes etapas desta minha longa estadia junto de vocês e pelas ideias para o desenvolvimento da dissertação, obrigado gente!

Ao meu irmão, pois é para além de ganhar amigos essa jornada me trouxe um irmão de uma outra mãe, vindo do outro lado do Atlântico. Para Antônio Correia Junior, o meu muito Khanimambo pela amizade e atenção, e sem esquecer a toda a comunidade da Guine Bissau de Fortaleza que me recebeu de braços abertos.

Para o Hueliton da Silveira Ferreira e o Paulo Couto muito obrigado pela amizade e hospitalidade, vocês são novos membros da mais vasta família Africana.

Quero agradecer aos meus colegas do Instituto de Investigação Agrária de Moçambique (IIAM), nas pessoas de Eng. Jacinto Mafalacusser, Dr. Manuel Amane, Dr. Paulino Munisse Jorge, Dr. Carla Dovale, Dra. Teresa Alves, Eng. Camila, Jorge Francisco, José da Graça Tomo, Ausvaldo Mabjaia, Eng. Tembe, Pedro Macie e a todos os técnicos e funcionários da DARN pelo apoio prestado durante e em todos os momentos da minha vida profissional.

O meu khanimambo vai ainda para o Askot Mussa e Bernardo Melecuane pela sua disposição e disponibilidade nos trabalhos de campo e a direção da DARN pelo apoio logístico para a materialização do mesmo.

Um agradecimento muito especial e profundo ao Dr. Carvalho Carlos Ecole (In memoriam), pelo incentivo e disponibilidade em todos os momentos para mostrar os caminhos, muito khanimambo e descanse em paz.

Aos meus amigos Edmar Umausse, Nelson Zandamela, Ariel Khadayle, Natércio Manhique, as famílias de Tchumene, pelo incentivo e amizade de vocês.

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

“Escola é conhecimento (sabedoria), escola é poder, se não estudaremos vão nos arrancar o poder”

Roberto Chitsondzo.

RESUMO

A bacia hidrográfica do rio Umbelúzi está localizada no sul de Moçambique, na província de Maputo, é provavelmente o local com o uso mais intensivo dos solos, portanto altamente pressionada pelas ações antrópicas. Possui diversas unidades paisagísticas com diferentes atividades econômicas, nem sempre adequadas ao meio ambiente. Ao considerar a bacia hidrográfica como base ambiental de análise, a pesquisa teve como objetivo apresentar uma proposta de análise integrada de fatores ambientais, econômicos e sociais na dinâmica da paisagem. Para alcançar a proposta, a pesquisa foi desenvolvida com a modelagem de estoques de carbono dos solos na faixa de 0 a 30 cm, como um contributo no planejamento ambiental da bacia hidrográfica. Recorrendo a estudos integrados da paisagem através do uso das geotecnologias aplicadas ao planejamento e gerenciamento de todos os fatores naturais que influem nas boas práticas humanas. De modo, a contribuir com instrumentos técnicos científicos de auxílio a tomada de decisão para o melhoramento da qualidade ambiental nas terras drenadas pela Bacia Hidrográfica do Rio Umbelúzi. A pesquisa segue seis etapas para alcançar o objetivo proposto e ela foi realizada na escala base de 1: 250.000, o que satisfaz a representação de bacias com áreas maiores que 1000 m^2. Os resultados demonstram que há uma correlação entre as paisagens da bacia e a dinâmica do carbono no solo, e com o aumento das atividades antrópicas na paisagem vem alterando a disposição do carbono no solo e sua função como regulador ambiental e da saúde do solo. O uso da terra está relacionado a sistemas econômicos e causa alterações nos sistemas naturais, que mudam e criam consequências como a erosão, inundações, secas, perda de casas, mortes, etc., interferindo em fatores sociais, como insegurança alimentar e pobreza extrema.

Palavras-chave: Carbono do Solo. Planejamento Ambiental. Dinâmica das Paisagens. Bacia Hidrográfica do Umbelúzi.

ABSTRACT

The Umbelúzi river basin is located in the south of Mozambique, in the Maputo province, probably the most intensive soil use place, highly pressured by atrophic actions. They are variety of landscape units with different economic activities, which not always adjusted to the environment when consider the basin, as an environmental basis for analysis, the research aimed to present a proposal for an integrated analysis of environmental, economic and social factors in the landscape dynamics. To achieve the propose, the research was developed by the modelling of soils carbon stocks in the range of 0 to 30 cm, to contribute in the environmental planning for the catchment area. Using integrated landscape studies and the geo-technology applied to the planning and management of natural factors that influence good human practices. In order to contribute with technical scientific instruments to aid decision-making for the improvement of environmental quality in the Umbelúzi River catchment land. The research follows six steps to achieve the proposed objective and it was carried out on a base scale of 1: 250,000, which satisfies the representation of basins with larger area than 1000 square meter. The results demonstrate that there is an influence between the basin's landscapes and the dynamics of carbon in the soil, and with the increase of atrophic activities in the landscape, the disposition of carbon in the soil and its function as an environmental and soil health regulator has changed. Land use is related to economic systems and causes changes in natural systems, which change and create consequences such as erosion, floods, droughts, loss of homes, deaths, etc., interfering with social factors, such as food insecurity and extreme poverty.

Keywords: Soil Carbon. Environmental Planning. Landscape Dynamics. Umbelúzi Basin.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - O sistema de uso da terra atuando na interseção de contextos sociais e ecológicos..... 33
Figura 2 - Principais reservatórios globais de C (PgC) e fluxos (PgC por ano)..... 39
Figura 3 - O conceito de árvores aleatórias de decisão..... 44
Figura 4 - Fluxograma metodológico..... 47
Figura 5 - locais de amostragem de solos na BHRU..... 50
Figura 6 - Densidade aparente da fração mineral do solo (g/m3) por classe de textura..... 51
Figura 7 - Variáveis ambientais e antropogênicos aplicadas na calibração do modelo para estimação dos estoques de carbono do solo..... 53
Figura 8 - Perfil longitudinal partindo do monte Ponduíne a Estuário do Esperto Santo..... 80
Figura 9 - Compilação de imagens representativos do perfil..... 81
Figura 10 - Perfil característico de grés vermelho na Vila de Boane..... 86
Figura 11 - Área de solos basálticos pretos preparados para sementeira na planície de Movene..... 87
Figura 12 - Vale com cobertura arenosa moderadamente espessa cobrindo a Mananga..... 90
Figura 13 - Madeira preparada para produção de carvão vegetal..... 94
Figura 14 - Colinas perto de Goba mostrando áreas abertas onde a floresta foi desmatada para a produção de carvão..... 95
Figura 15 - Composição ao fundo de uma floresta aberta no monte Libombos – Namaacha..... 98
Figura 16 - Área recém lavrada, nas encostas de Mafuiane na parte sul de Namaacha (**A**) e produção de hortícolas nos vales do distrito de Namaacha Sede (**B**)..... 99
Figura 17 - Casas de palhotas (A) e construção convencional coberta a chapa de zinco (B)..... 100
Figura 18 - Gráfico termo pluviométrico X evapotranspiração de Namaacha..... 106
Figura 19 - Gráfico termo-pluviométrico X evapotranspiração de Moamba..... 106

Figura 20 - Gráfico termo-pluviométrico X evapotranspiração de Umbelúzi-Boane..... 107
Figura 21 - Pirâmide etária da população de Namaacha..... 115
Figura 22 - Atividades agrárias praticadas nas depressões de Namaacha..... 116
Figura 23 - Venda de carvão vegetal produzido em Namaacha..... 117
Figura 24 - Pirâmide etária do distrito de Boane em Moçambique..... 119
Figura 25 - Principais culturas agrarias ambos, com sistema de irrigação, gota a gota a esquerda e por aspersão a direita..... 121
Figura 26 - Bancas de venda de produtos chineses no mercado municipal de Boane..... 122
Figura 27 - Pirâmide etária do distrito de Moamba..... 125
Figura 28 - Erro aleatório de generalização de floresta. Convergência de erro OOB ao longo do número de árvores na floresta..... 140
Figura 29 - Importância das variáveis medidas em% InMSE..... 141

LISTA DE MAPAS

Mapa 1 - Localização geográfica da Bacia Hidrográfica do Rio Umbelúzi, em Moçambique..... 26
Mapa 2 Contexto geográfico de Moçambique..... 60
Mapa 3 - Principais bacias hidrográficas de Moçambique..... 69
Mapa 4 Unidades Geológicas da Bacia Hidrográfica do Rio Umbelúzi..... 76
Mapa 5 - Hipsometria da Bacia Hidrográfica do Rio Umbelúzi..... 79
Mapa 6 - Unidades de solos da Bacia Hidrográfica do Rio Umbelúzi..... 83
Mapa 7 - Uso e cobertura do solo da Bacia Hidrográfica do rio Umbelúzi..... 96
Mapa 8 - NDVI para estação seca e chuvosa do BHRU derivado de imagens do Landsat 8 OLI/TIRS..... 102
Mapa 9 - Rede de drenagem e hierarquia fluvial..... 109
Mapa 10 - Distritos e áreas municipais atravessados pela bacia do rio Umbelúzi. 111
Mapa 11 - Sistemas Geoecológicos da Bacia Hidrográfica do Rio Umbelúzi..... 137
Mapa 12 - Sistemas geoecológicos/ Estoque de Carbono no solo da BHRU..... 149
Mapa 13 - Unidades de solos / Unidades Geoambientais/ Estoque de Carbono no solo da BHRU..... 152

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parte dos perfis estimados no laboratório do IIAM, e parte dos parâmetros dos solos..... 49

Tabela 2 - Valores absolutos e relativos da superfície do território Moçambicano... 59

Tabela 3 - Dados de cobertura da terra e do uso do solo no BHRU..... 97

Tabela 4 - Dados da estação de Namaacha..... 104

Tabela 5 - Dados da estação de Moamba..... 104

Tabela 6 - Dados da estação de Umbelúzi – Boane..... 104

Tabela 7 - População do distrito de Namaacha (idade, sexo e percentagem) 114

Tabela 8 - População do distrito de Boane (idade, sexo e percentagem) 119

Tabela 9 - Estatísticas descritivas dos estoques das variáveis de teste e validação do modelo usado..... 139

Tabela 10 - Erros e indicadores de qualidade do modelo..... 140

Tabela 11 - Subunidades ambientais e distribuição das estatísticas de estoque do carbono no solo na profundidade 0 -30cm em Kg/m^2..... 150

Tabela 12 - Unidades de solos e distribuição das estatísticas de estoque do carbono no solo na profundidade 0 -30cm em Kg/m2..... 153

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Exemplo de equações para PTFs para estimar DA, com base na MO e da textura..... 45
Quadro 2 - Unidades geológicas em Km^2 e percentual ocupado por unidade de mapeamento..... 77
Quadro 3 - Quadro síntese das unidades e subunidades geoecológicas na bacia hidrográfica do rio Umbelúzi..... 138

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection
ARASUL	Administração Regional das Aguas do Sul
C	Carbono
CO	Carbono Orgânico
DA	Densidade Aparente
DINAGECA	Direção Nacional de Geografia e Cadastro
DNG	Direção Nacional de Geologia
DSM	Digital Soil Mapping
ECS	Estoque de Carbono no Solo
IIAM	Instituto de Investigação Agrária de Moçambique
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FRELIMO	Frente de Libertação de Moçambique
GPS	Global Positioning System
MAE	Ministério de Administração Estatal
MICOA	Ministério Para a Coordenação da Ação Ambiental
MO	Matéria Orgânica
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
OMM	Organização Mundial de Meteorologia
SIG'S	Sistemas de Informação Geográficas
SOC	Soil Organic Carbon
UFC	Universidade Federal do Ceara
RENAMO	Resistencia Nacional de Moçambique
PTF	Pedo transfer function
SDB	Soil Data Base
RF	Random Forest

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 20
1.1 Motivação e problema de estudo 24
1.2 Hipóteses e objetivos 28
1.2.1 Hipóteses 28
1.3 Objetivos 28
1.3.1 Objetivo Geral 28
1.3.2 Objetivos Específicos 28
2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS DA PESQUISA 29
2.1 A Teoria Geral dos Geossistema 29
2.2 Analise Integrada de Bacias Hidrográficas 31
2.3 Ecodinâmica da Paisagem 34
2.4 Indicadores de Mudanças Ambientais 35
2.5 Geotecnologias Aplicadas ao Planejamento e Gestão Ambiental 36
2.6 Ciclo de Carbono e o Uso da Terra 38
2.7 Relação paisagens e técnicas de mapeamento do carbono do solo 40
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS 45
3.1 A fase de organização e inventário 48
3.2 Fase de organização do banco de dados primários e secundários 48
3.2.1 Preparação dos dados locais da propriedade dos solos 49
3.2.2 Densidade aparente 50
3.2.3 Mapas temáticos 51
3.3 Aquisição e processamento de imagens de satélite 52
3.4 Análise e classificação 53
3.5 Mapeamento integrado 55
3.5.1 Compartimentação das unidades geoambientais 56
3.5.2 Floresta aleatória (Random Forest –RF) 56
3.6 Fase da validação e análise dos resultados 58
4 CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA DE MOÇAMBIQUE 58
4.1 Retrospectiva histórica 61
4.1.1 Antes da Colônia 61
4.1.2 Moçambique Colônia 62
4.1.3 Moçambique Pós-independência 63

4.2 Contexto Físico Natural de Moçambique 64
4.2.1 Domínio paisagístico de Moçambique 64
4.2.1.1 Domínio das Planícies 64
4.2.1.2 Domínio dos Planaltos 65
4.2.1.3 Montanhas e Depressões 66
4.3 Principais Bacias Hidrográficas de Moçambique 67
4.4 Contexto socioeconômico atual de Moçambique 70
4.4.1 População 70
4.4.2 Agricultura, pecuária e outras atividades econômicas 72
5 ASPECTOS FÍSICOS NATURAIS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO UMBELÚZI 73
5.1 Geologia 74
5.2 Geomorfologia 78
5.3 Pedologia 82
5.3.1 Descrições das unidades de mapeamento 84
5.3.1.1 Solos de Cobertura Arenosa 84
5.3.1.2 Solos argilosos 85
5.3.1.3 Solos Vermelhos Derivados do Grés Vermelho (G) 85
5.3.1.4 Solos Basálticos 86
5.3.1.5 Os solos aluviais e estuarinos 88
5.3.1.6 Plataforma de Mananga 89
5.3.1.7 Solos Post – Mananga 91
5.3.1.8 Solos Riolíticos 91
5.3.1.9 Solos Coluvionares 92
5.4 Vegetação e cobertura da terra 92
5.4.1 Índice de Vegetação da Diferença Normalizada e o Uso Atual da Terra 100
5.5 Clima 103
5.6 Recursos Hídricos 107
6 ASPECTOS REGIONAIS DA BACIA HIDROGRAFICA DO RIO UMBELUZI 110
6.1 Distrito de Namaacha breve descrição 113
6.1.1 População 114
6.1.2 Agricultura e outras atividades econômicas. 115
6.2 Distrito de Boane, uma breve descrição. 118

6.2.1 População 118
6.2.2 Agricultura e Outras Atividades Econômicas 120
6.3 Distrito da Moamba: breve descrição 123
6.3.1 População e sua dinâmica 124
6.3.2 Agricultura e outras atividades econômicas 125
7 COMPARTIMENTAÇÃO GEOAMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO UMBELÚZI 127
7.1 Zona da Bacia Sedimentar 127
7.1.1 Planícies Arenosas 127
7.1.2 Dunas Interiores 128
7.2 Zonas Aluvionares e Fluviomarinhas 129
7.2.1 Planície Fluvial 129
7.2.2 Planície Fluviomarinha 131
7.3 Zona de Dambos (Depressões do Embasamento Cristalino) 132
7.3.1 Depressões Interplanálticas 132
7.3.2 Superfícies Aplanadas 132
7.4 Zona de Embasamento Cristalino 133
7.4.1 Planaltos Tabulares Pouco Dissecados 134
7.4.2 Planaltos Dissecados em Colina 134
7.4.3 Topos e Encostas Montanhosas 135
8 ESTOQUES DE CARBONO NO SOLO 139
8.1 Compartimento dos estoques de carbono no solo em diferentes unidades ambientais 142
8.1.1 Zonas Aluvionares e Flúviomarinhas 142
8.1.2 Zona das Bacia Sedimentar 144
8.1.3 Zona de Dambos (Depressões do Embasamento Cristalino) 145
8.1.4 Zona de Embasamento Cristalino 146
8.2 Relação das mudanças nos estoques de carbono do solo com o efeito de diferentes agrupamentos de solos 151
8.2.1 Solos de Aluviões 153
8.2.2 Solos de Sedimentos Marinhos Estuarinos 155
8.2.3 Solos de Textura Arenosa e Solos de Mananga 155
8.2.4 Solos de Coluviões 156
8.2.5 Solos Basálticos 157

8.2.6 Solos Rioliticos 158
9 CONSIDERAÇÕES FINAIS 159
REFERÊNCIAS 162
APÊNDICE A - ESTOQUE DE CARBONO NOS SOLOS DE ALUVIÕES ARGILOSOS. 170
APÊNDICE B - ESTOQUE DE CARBONO NOS SOLOS DE ALUVIÕES ESTRATIFICADOS 171
APÊNDICE C - ESTOQUE DE CARBONO NOS SOLOS DE SEDIMENTOS MARINHOS ESTUARINOS. 172
APÊNDICE D - ESTOQUE DE CARBONO NOS SOLOS DE TEXTURA ARENOSA 173
APÊNDICE E - ESTOQUE DE CARBONO NOS SOLOS DE MANANGA 174
APÊNDICE F - ESTOQUE DE CARBONO NOS SOLOS DE ARGILOSOS NÃO ESPECIFICADOS. 175
APÊNDICE G - ESTOQUE DE CARBONO NOS SOLOS COLUVIONARES. 176
APÊNDICE H - ESTOQUE DE CARBONO NOS SOLOS BASÁLTICOS. 177
APÊNDICE I - ESTOQUE DE CARBONO NOS SOLOS RIOLTICOS. 178

1 INTRODUÇÃO

A demanda pelos recursos naturais do planeta tem crescido de uma forma sem precedência na história da existência humana, principalmente a partir da Revolução Industrial, sendo que a existência da vida no universo nunca foi tão desafiada como nos dias atuais. A humanidade está pressionando tanto à Terra que está causando um aumento dramático na taxa de extinção de espécies, que ultrapassa um nível superior de mil vezes mais rápido do que antes da Revolução Industrial (FREITAS, 2011).

Os anseios da humanidade do alcance do progresso tecnológico e social tem desafiado as leis naturais do universo de auto regeneração do meio físico e natural, através da exploração desenfreada dos recursos renováveis e não renováveis.

No entanto, esse consumo desmedido dos recursos naturais não tem sido distribuído de uma forma equitativa no contexto global levantado, questões de natureza sócios ambientais bastantes controversos entre as diferentes regiões e países. A existência de grupos de países cada vez mais antagônicos, no que concerne as questões relacionadas ao ambiente, vem aumentando as divisões na questão de sustentabilidade. Os países com uma relativa estabilidade econômica e social, na maior parte deles chegaram a esse estágio de desenvolvimento sem o devido respeito pelas questões ambientais e que representam a grande fatia de consumo de cerca de 80% dos recursos naturais, apesar de concentrar apenas 19,9% da população mundial e há outros que ainda estão na cauda dessa equação de estabilidade, que se acham no direito de alcançar os primeiros, nem que para isso ignorem os problemas ambientais vigentes (DÍAZ *et al*., 2009 *apud* MEADOWS *et al*., 1972). A afirmação de Sachs (2015) corrobora com o parágrafo acima:

> Os pobres estão lutando para encontrar comida, água potável, assistência médica e abrigo de que precisam para sobreviver. Os que estão logo acima da linha da pobreza estão buscando uma prosperidade melhorada e um futuro melhor para seus filhos. Aqueles no mundo de alta renda esperam que os avanços tecnológicos ofereçam a eles e suas famílias níveis ainda mais altos de bem-estar. Parece que os super-ricos também disputam seu lugar no ranking mundial das pessoas mais ricas.[1]

[1] The poor are struggling to find the food, safe water, health care, and shelter they need for mere survival. Those just above the poverty line are looking for improved prosperity and a brighter future for their children. Those in the high-income world are hoping that technological advances will offer them and their families even higher levels of wellbeing. It seems that the superrich also jostle for their place in the world's rankings of richest people (SACHS, 2015, p.2).

Existe uma busca incessante da humanidade pelos recursos naturais para a satisfação das suas necessidades e egos, que tem influenciado de sobremaneira nos fatores de mudança do clima global, na disponibilidade de água doce, na composição química dos oceanos e a transformação de 'habitats' de diferentes espécies. Os impactos ambientais atuais são agora tão grandes que a própria Terra está passando por mudanças inconfundíveis no funcionamento de processos-chave, como os ciclos de água, nitrogênio e carbono dos quais a vida depende (SACHS, 2015). A percepção que existe atualmente é que o ser humano é o principal responsável por parte das causas que concorrem para as mudanças climáticas, que tem impactado negativamente a natureza, desafiado a capacidade de sobrevivência do planeta em futuro não distante.

Os usos dos solos relacionam-se a fatores econômicos e provocam transformações sobre os fatores naturais, que se modificam e criam consequências nas características naturais (erosão, enchentes, inundações, secas, perdas de moradias, mortes, etc.), interferindo, portanto, nos fatores sociais. Nesse sentido, tem crescido o debate em relação à sustentabilidade da natureza, relacionada com as formas como o ser humano vêm usando, ocupando e explorando os recursos naturais, para além da sua capacidade de resposta natural.

O maior inimigo da sustentabilidade dos sistemas naturais são as formas como a sociedade usa e ocupa a superfície terrestre (BOSSEL, 2000), relacionados ao modo como se planejam e gerenciam as necessidades humanas, principalmente em situações de dependência dos fatores naturais de produção como são os casos da grande parte das populações rurais africanas.

A preocupação na busca por uma relação harmônica para exploração dos recursos naturais, deixa bem claro que os processos de desenvolvimento devem ser acompanhados de análises cada vez mais profundas do meio social e natural (MENSAH, 2019). Torna-se necessária a instituição de políticas ambientais adequadas para fazer fase aos eventos socioambientais cada vez mais nefastos as comunidades, derivados de problemas ambientais, que podiam ser evitados por ações básicas, sem grandes impactos sócios econômicos.

É por essa razão, que se torna extremante importante os estudos de planejamento territorial, a partir do entendimento de todos dos efeitos causados por ações naturais e antropogênicas sobre os territórios no que tange aos seus solos, paisagens, etc. Para o alcance desse objetivo, segundo Rodriguez et. al. (2018) deve se romper o predomínio da visão mecanicista e relacional da natureza, olhando para ela como uma unidade integrada, multidisciplinar e interdependente.

As previsões sobre a capacidade do uso dos solos, no sentido de satisfazer as necessidades alimentares da população mundial não são animadoras (IPCC, 2019). Mediante esse cenário bastante sombrio sobre a provisão dos meios de sobrevivência, tem se questionado sobre capacidade de resiliência para os povos altamente dependentes do que a terra lhes oferece. Tomando em conta que a maioria dos povos africanos vivem em áreas rurais e delas dependem em termos de produção em subsistência, modificações profundas na paisagem derivadas da forte pressão sobre os seus recursos florestais e hídricos podem impactar fortemente nestas comunidades. Essa característica é partilhada pela população que vive nas terras drenadas e correspondentes a Bacia Hidrográfica do Rio Umbelúzi, especificamente no seu baixo curso, no sul de Moçambique, província de Maputo. Essa população exerce uma pressão relativa sobre os recursos naturais, pela forma como explora e se apropria dos mesmos e isso acarreta desafios para o meio em que se encontra inseridos de ponto de vista ambiental, social e econômico, devido aos com diferentes níveis de impactos causados pelas ações humanas.

Percebe-se que todas as ações sobre o meio natural têm os seus níveis mais altos de impactos socioambientais negativos junto a populações rurais com menor capacidade de resiliência. Torna-se necessário a realização de estudos que objetivem entender as melhores formas nas relações entre os seres humanos e a natureza, bem como as suas interações, de modo a apontar soluções socioambientais sustentáveis na vida das comunidades, a partir de uma abordagem interdisciplinar e de síntese.

Implica que para o alcance dos melhores resultados de qualquer sistema, seja ele natural ou social, é importante o seu melhor entendimento, fazendo uma análise de forma integrada de todos os seus fatores de entrada e saída que possam afetar o modo de vida das populações. Através do conhecimento das suas potencialidades, fragilidades, percebe-se como isso influi na relação com a natureza, de modo a minimizar os impactos que possam ser gerados nas relações sociedade e natureza.

Desenvolver um sistema de uso dos recursos naturais de forma sustentável na Bacia Hidrográfica do Rio Umbelúzi tem sido bastante desafiante, devido a várias razões relacionadas com as práticas de uso das comunidades, como o desmatamento para abertura de novas áreas agrícolas ou ainda na produção de carvão vegetal, que ainda nos dias de hoje é a maior fonte energética das populações. Os desmatamentos acompanhados de queimadas descontroladas são usados como técnicas produtivas na agricultura itinerante, sendo um dos contribuintes na insustentabilidade do uso dos recursos naturais.

Existe uma necessidade cada vez mais urgente de estabelecimento de planos de uso sustentável no uso da terra, tendo como base um conhecimento do sistema integrado no seu

conjunto espacial, com uma participação ativa das comunidades locais e de toda a sociedade. Para alcançar esses objetivos é preciso que as dimensões biofísicas, antrópicas e econômicas sejam analisadas dentro dos sistemas espaciais (geossistema) que integram a bacia hidrográfica, considerando todos os seus componentes naturais como geologia, relevo, solos, clima, águas, vegetação e fauna. Deve-se conhecer a dinâmica natural de formação e modelagem da paisagem, e ainda os processos antrópicos, ou seja, as formas como as comunidades fazem o uso e ocupação da terra.

Os processos de uso e ocupação dos solos não tem sido acompanhada de mecanismos de avaliação das reais capacidades de carga dos ambientes em que esses solos estão inseridos, o que levou a uma exploração ineficiente da terra e consequentemente a aceleração da degradação dos recursos naturais.

Como já mencionado, a agricultura é o motor inicial de todas as ações sobre as formas de uso da terra, definindo variações e padrões nas relações naturais e humanas nos espaços geográficos, modelando de formas únicas e variadas os ambientes e paisagem. Ao analisar os efeitos que estes ambientes contribuem nos processos naturais de acumulação do carbono nos solos, partindo dos fatores que os moldam e da própria forma, é possível oferecer subsídios para o planejamento integrado voltado usos mais adequados da terra, influenciando na forma como as comunidades possam se relacionar com o meio, que é a sua própria fonte de vida.

O carbono dos solos é um dos grandes indicadores de um dos recursos naturais mais precioso para o ser humano, os solos, por essa razão exerce uma influência na estabilidade, no processo de modelagem do meio e na qualidade das atividades humanas sobre a paisagem. Além de servir como o indicador da saúde dos solos, os estoques de carbono ajudam no monitoramento da saúde do planeta como um todo, estocando o gás carbônico, que quando liberado na atmosfera é um dos principais elementos do aquecimento global e de mudanças do clima, com graves consequências para os ambientes globais, regionais e locais.

O entendimento da dinâmica do carbono no solo, só é possível com a análise de todas as variáveis que o influenciam no ambiente, desde os processos hidrológicos, a dinâmica de uso do solo, desmatamento das florestas, a geologia, o clima e os hábitos culturais, são fatores que devem ser vistas como elementos de um só sistema que se retroalimentam na composição dos diferentes ecossistema e espaços geográficos.

Portanto, a realização dessa pesquisa visa apresentar uma contribuição ou subsídios para o planejamento e gerenciamento dos recursos naturais, sejam eles bióticos e abióticos a partir da dinâmica do carbono no solo que por si só não justifica a sua existência, muito menos

sua distribuição no espaço. Visto que o estoque do carbono é resultado de todas as combinações relacionadas a configuração do espaço em conjunto com as ações humanas.

Para a realização da pesquisa foi selecionada uma bacia hidrográfica como unidade de planejamento, pois essa unidade territorial possui uma aceitação universal. O conhecimento do meio natural permite uma avaliação previa das suas capacidades de suporte dos esforços que são colocados sobre estes, sendo essa a motivação principal da pesquisa.

1.1 Motivação e problema de estudo

Desde a explosão da Revolução Industrial, que o mundo vem testemunhando transformações e avanços tecnológicos que tem impulsionado a capacidade humana de ocupação e exploração dos recursos e de transformar o meio. Essa transformação tem sendo feita a uma velocidade nunca vista na história da humanidade, o que tem resultado no aumento da carga ambiental (ROMEIRO, 2012). Este aumento de carga sobre os sistemas naturais tem ampliado progressivamente os problemas ambientais, elevando desse jeito os desafios sobre a preservação e conservação dos recursos naturais no mundo.

Uma das maiores preocupações atuais dos problemas ambientais é o aquecimento global, que tem contribuído para o aumento do nível médio das águas dos oceanos, as mudanças nos ciclos hidrológicos através do padrão e da frequência das chuvas. Estes eventos ambientais aumentam a preocupação no mundo rural, que é totalmente dependente do acesso aos recursos naturais como a água, a terra e os recursos florestais, que estão cada vez mais em risco de colapso, devido as essas transformações ambientais.

O meio rural moçambicano é basicamente agrário, tem na terra o seu maior recurso para sua existência, e ela é condicionada por outros fatores naturais e humanos para cumprir a sua plena missão. Associando-se as atividades humanas e aos processos naturais, tem-se registrado mudanças nos fatores de equilíbrio natural, como os casos da capacidade de captura e armazenamento do carbono pelos solos. O solo é um sistema de tempo-espaço e o meio de crescimento para as plantas superiores e a base da vida para os animais e seres humanos, portanto um dos substratos físico-biológicos vitais da paisagem.

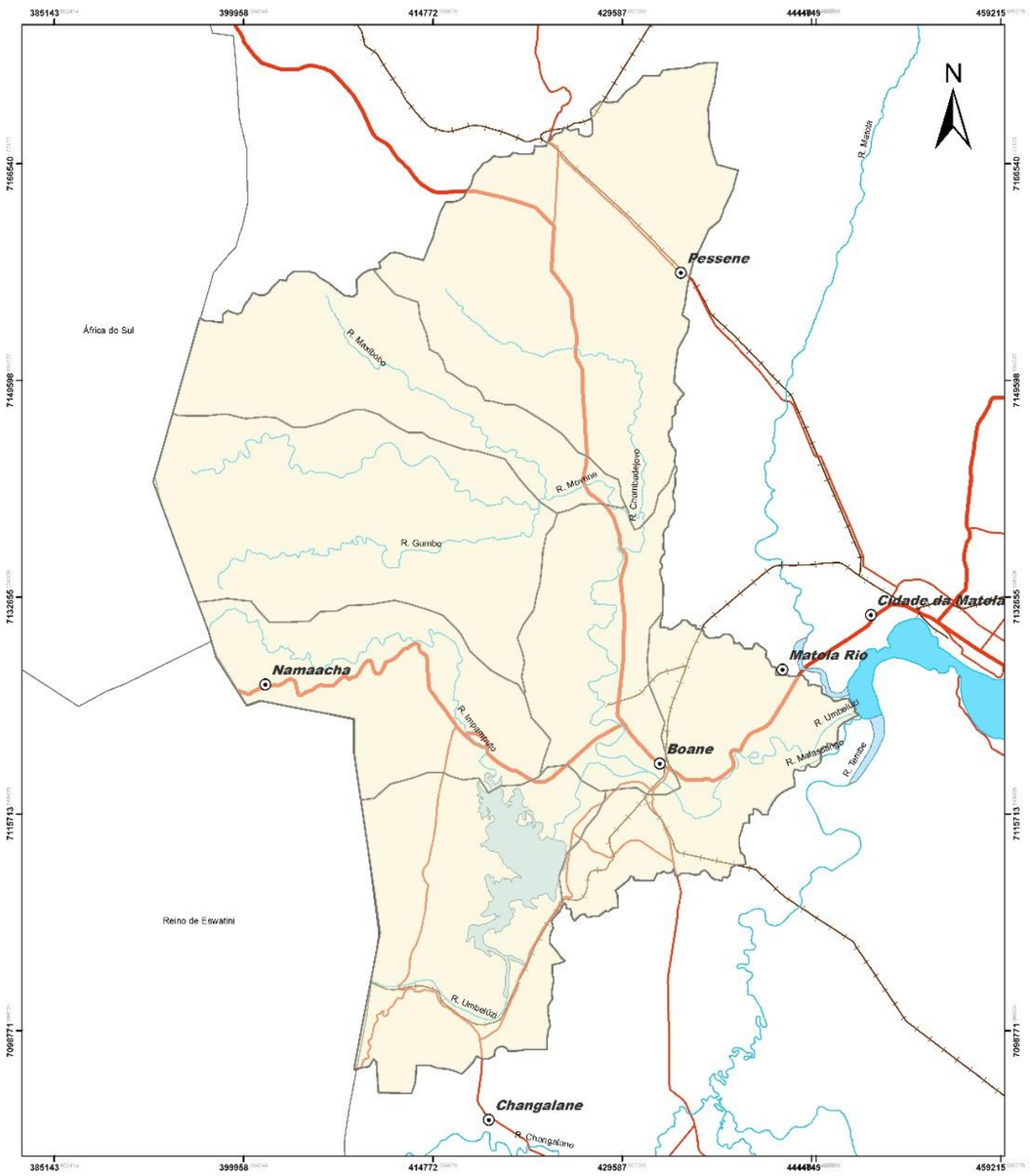
Apesar do reconhecimento da importância dos solos para a sociedade e para a natureza, nem sempre são utilizados de maneira a assegurar, a longo termo, a sua capacidade de cumprir as suas múltiplas funções e garantir a existência do ser humano na terra (MACIE, 2009), e contribuir no equilíbrio da natureza. Existe uma preocupação crescente, em relação à

forma como se ocupa e modifica o meio na procura dos meios básicos de sustento, tornando-se acentuada a problemática relacionada a disponibilidade de água com qualidade para o consumo humano, de solos adequados para as práticas agrícolas, e são influenciados pela substituição dos ecossistemas naturais e pelas formas como se trabalha à terra e o uso desenfreado dos recursos florestais.

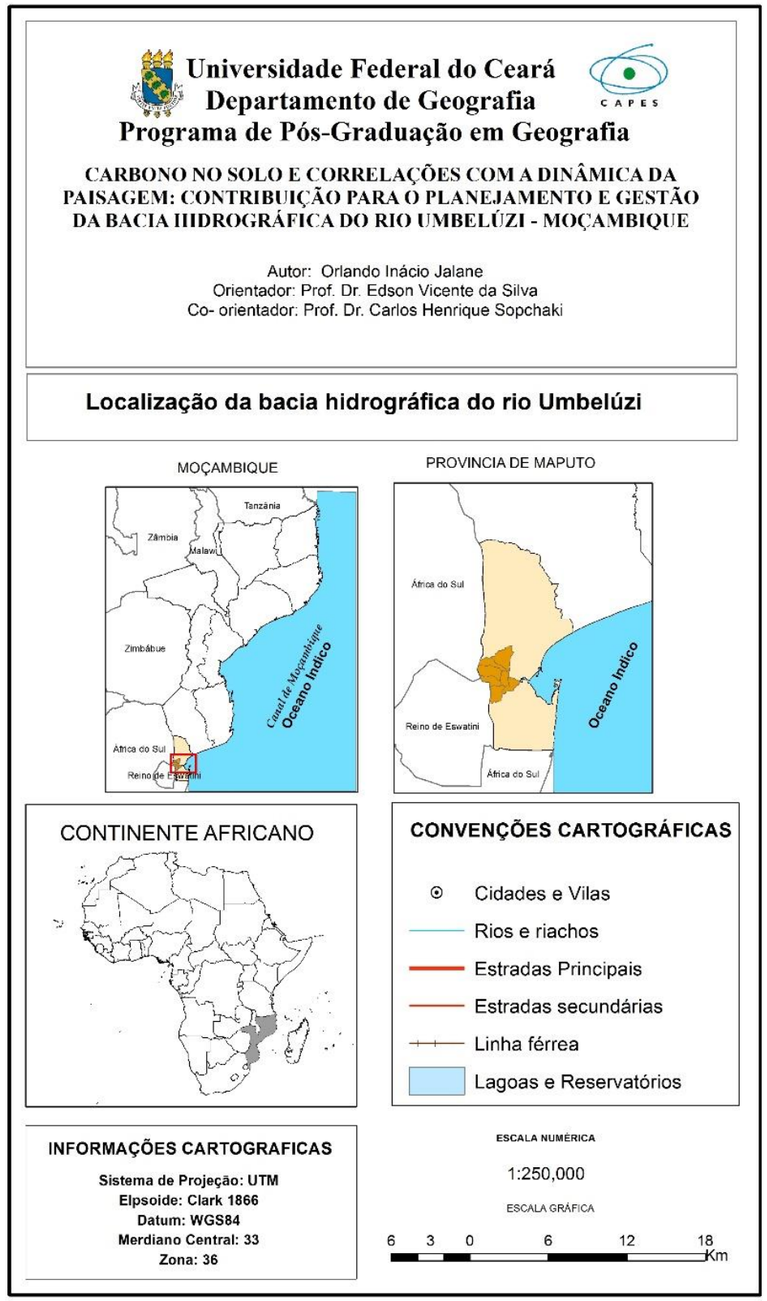
A pesquisa em seu conjunto, visa contribuir com instrumentos técnico-científicos para a manutenção e melhoramento da qualidade ambiental nas terras correspondentes a Bacia Hidrográfica do Rio Umbelúzi (BHRU), recorrendo ao planejamento e gerenciamento de todos os fatores naturais que influem nas boas práticas. Busca-se, portanto, contribuir junto as comunidades diretamente afetadas, assim como aos governos locais e centrais, com um instrumento de auxílio na tomada de decisões.

A área de estudo em questão, corresponde a uma parte do território da bacia hidrográfica internacional do rio Umbelúzi, como mostra o Mapa 1, que nasce no reino do Eswatini (antiga Suazilândia). É estudada no seu baixo curso, dentro do território moçambicano, na província de Maputo, onde as suas águas drenam três distritos e dois municípios. Os distritos de Namaacha, Boane e Moamba, são os que tem os seus territórios drenados pela bacia do rio Umbelúzi e concedem com as áreas de maior pressão ambiental da província, com elevados índices de serviços agropecuários, desmatamentos e queimadas descontroladas, associadas a forte exploração dos recursos florestais que continuam até os dias atuais. Destaca-se, que a maior fonte energética utilizada em Moçambique, está na forma de carvão vegetal e lenhoso.

Mapa 1: Localização geográfica da Bacia Hidrográfica do Rio Umbelúzi, em Moçambique



Fonte: adaptado do MOPH, DNA, Mapa de Bacias.



As terras em volta desses distritos, Namaacha, Boane e Moamba, atraem muitos agricultores e os seus familiares devido a relativa disponibilidade de terra fértil e água em condições bastante favoráveis a produção agrária, abrindo espaço para abertura de novas áreas agrícolas e pasto que na maior parte das vezes as condições naturais do ambiente não são as mais favoráveis a prática dessas atividades, o que pode levar a problemas ambientais tais com a erosão e a degradação dos solos. Por essa razão, existe uma necessidade de se entender as potencialidades e as limitações de cada um dos ambientes da bacia hidrográfica com o auxílio dos indicadores da qualidade dos solos para as atividades humanas e as disponibilidades da qualidade da água, como é também o caso do carbono armazenado pelos estratos dos solos.

A indisponibilidade de informações suficiente e com qualidade para as comunidades e os órgãos de tomada de decisão, tem favorecido as formas de uso e manejo das terras pouco sustentáveis e com base nas reais capacidades dos ambientes.

Os países em vias de desenvolvimento apresentam na sua maior parte um déficit de dados primários que possam ajudar nas ações de planejamento ambiental e territorial. Moçambique é um caso particular dessa lacuna, que é derivada de várias razões, tais como motivos financeiros, técnicos e acessibilidade ao território, daí que um dos motivos da pesquisa se centra na criação de capacidade institucional voltas a análise geográfica das paisagens e do ambiente natural como uso integrado de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aliado as estatísticas espaciais. De modo a se modelar o problema espacial, este trabalho inclui no desenvolvimento da metodologia, o papel dos Sistemas de Informação Geográfica, abrindo caminho para mais uma aplicação destes sistemas na modelagem dos fenômenos da terra.

Na busca por indicadores da qualidade do solo, o carbono orgânico destaca-se dentre os parâmetros e características mais utilizados para o monitoramento do solo, tanto a médio quanto a longo prazo. É o indicador químico mais sensível para a análise dos processos ou comportamento do solo, uma vez que afeta a produtividade das culturas decorrente de seu efeito sobre a estrutura do solo, a disponibilidade de água para as plantas e a resistência do solo a mudanças de pH (ROBERTSON; THORBURN, 2001; BRIENEN et. al., 2015).

1.2 Hipóteses e objetivos

1.2.1 Hipóteses

- As formas de uso e ocupação, desenvolvidas, considerar em conta as potencialidades e limitações do conjunto de fatores naturais atuantes na dinâmica do meio, constituem um dos maiores impulsionadores dos problemas ambientais e das mudanças do clima, que afetam as formas de vida das comunidades rurais dependentes dos recursos naturais tais como solos e água, em Moçambique.
- As técnicas de análise geoespacais são efetivas na criação de capacidade de análise de dados geoambientais, possibilitando apresentar propostas de planejamento e gerenciamento do uso dos solos para a Bacia Hidrográfica do Rio Umbelúzi.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo deste estudo foi modelar Estoques de Carbono Orgânico do Solo (SOC) na profundidade de 0 - 30 cm, em escala regional usando variáveis naturais (climáticas, topográficas, vegetação, etc.) e dos fatores humanos e econômicos, estabelecendo uma linha de base que possa ser usada como um indicador capaz de subsidiar o planejamento regional e ambiental em diferentes tipos de paisagens na Bacia Hidrográfica do Rio Umbelúzi (BHRU).

1.3.2 Objetivos Específicos

- Identificar as formas de uso e cobertura da terra atuais, com base na análise de produtos de sensoriamento remoto orbitais.
- Mapear e caracterizar unidades geoecológicas, analisando as suas potencialidades e fragilidades.
- Interpretar as relações dos domínios paisagísticos com a dinâmica do carbono.
- Avaliar os impactos da forma de uso e ocupação do solo na dinâmica do carbono.
- Propor medidas de planejamento do uso dos solos na BHRU.

2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS DA PESQUISA

Na concepção dos preceitos teóricos referentes a pesquisa desenvolvida, a mesma apoiou-se em seis pilares conceituais, o primeiro foi a Teoria Geral dos Geossistemas, Analise Integrada da bacia Hidrográficas, Ecodinâmica da Paisagem, Indicadores de Mudanças Ambientais, Geotecnologias Aplicadas ao Planejamento e Gerenciamento Ambiental e o Ciclo de Carbono e o Uso da Terra.

2.1 A Teoria Geral dos Geossistema

Os fatores que condicionam as funções naturais da terra não agem de forma isolada e desconexa, elas se interlaçam dentro do meio natural que se encontram a agir, influenciadas ainda por ações humanas que os modificam, levando a reagir a esses estímulos externos na tentativa do retorno aos estados de equilíbrio. Todos os processos naturais se encontram em equilíbrio dentro do seu processo natural, de entrada e saída de fluxos energéticos.

Compreender a conexão dos eventos da natureza, foi sempre o maior desafio dos estudos no âmbito da Geografia Física, pois geralmente, ela foi sempre analisada de forma desconexa, como indivíduos isolados dentro de uma infinidade de sistemas naturais. A análise geossistêmica veio com essa visão integradora, não olhando para os componentes de um sistema de forma isolada e desconexa do resto dos seus elementos.

Os geossistemas representam a organização espacial resultante das interações dos elementos físicos e biológicos da natureza, funcionando através da interação areal dos fluxos de matéria e energia pelos seus componentes, transformando num meio para estudos integrados e das dependências e interações integrais, contribuindo na construção de um mundo multidimensional e produtivo no estudo de fenômenos complexos (CHRISTOFOLETTI, 1999; RODRIGUEZ e SILVA, 2018).

Sochava (1977) *apud* Antunes (2017), contribui com esta questão, evidenciando que em condições normais se devem estudar não só os componentes da natureza, mas as conexões entre eles. A natureza complexa dos estudos de sistemas, sejam eles naturais ou não, se caracterizam cada vez mais pela necessidade de uma visão interdisciplinar e uma abordagem holística. A interdisciplinaridade é aplicada cada vez mais em estudos da complexidade e usado no estudo de sistemas caóticos e sistemas complexos adaptativos, o que pode permitir o alcance da auto crítica e auto organização, chegando ao estudo da criticidade auto organizada que seria um estado crítico auto organizado numa região de fronteira ordem/caos, sendo elas

contribuições fundamentais para a base epistemológica de uma pesquisa voltada à abordagem sistêmica ou integrada da paisagem, (CAPRA, 1996; RODRIGUEZ e SILVA, 2018).

Um dos primeiros percursores da concepção geossistêmica para os estudos integrados na Geografia, foi o russo Sochava (1977), na tentativa de estabelecer uma tipologia que podia ser aplicável aos estudos da geografia, enfatizando a integração dos elementos naturais da terra, dentro de uma entidade espacial. Considerou que o geossistema é um conjunto de sistemas flexíveis, dinâmicos e abertos, com uma certa hierarquia organizacional com influência temporal na sua evolução.

Bertalanffy (1973), trouxe no quesito dos sistemas as primeiras contribuições sobre os sistemas abertos baseados numa integração e com uma visão holística das ciências levando ao abandono do reducionismo aqui estavam voltadas, e constitui a base metodológica do pensamento sistêmico (RODRIGUEZ e SILVA, 2018). Segundo Sachs, (2015), o sistema representa um conjunto de interações entre os componentes que com as suas regras de interação constituem um todo interconectado.

A Teoria Geossistêmica surge com o desenvolvimento das ciências na procura pela integração da natureza, com os seus elementos físicos e ecológicos, adicionando na equação as ações das sociedades através das suas atividades econômicas, políticas e culturais na concepção da paisagem e da sua complexidade. Essa preocupação vem muito antes através das antigas civilizações humanas, desde os tempos de Heródoto e Estrabão que sempre se preocuparam com a relação do ser humano com o meio que o rodeia, até chegar na sistematização da Geografia no século XIX, na Prússia, atual Alemanha, por Alexandre Von Humboldt e Karl Ritter, que tentam mostrar uma ciência integradora através da qual se pudesse demonstrar a harmonia da natureza, em que os diversos fenômenos são interdependentes (FERREIRA & SIMÕES, 1994).

Quando se estudam fenômenos dinâmicos cuja sua ocorrência não se explica só por si, entra em ação a visão da complexidade, um fenômeno que acolhe uma extrema quantidade de interações e de interferência entre um grande número de unidades. Porém, a complexidade não compreende apenas quantidades de unidades e interações que desafiam até mesmo as possibilidades de cálculo, criando padrões e comportamentos que não são facilmente discerníveis dos próprios componentes subjacentes “a complexidade compreende, efetivamente, o tecido de acontecimentos, ações, interações, retroações, determinações, acasos que constituem o nosso mundo fenomenal” (MORIN, 1990, p. 20; SACHS, 2015).

A natureza não é regida unicamente por relações de causa e efeito e, em si mesma, não é portadora de uma finalidade estabelecida a priori, em que os seus elementos

frequentemente respondem de maneira não linear a choques ou mudanças, o que significa que mesmo uma mudança modesta nos componentes do sistema pode causar uma grande mudança, talvez catastrófica, no desempenho do sistema na totalidade (SACHS, 2015). É nesse não padrão de reação aos estímulos ejetados no sistema que traz complexidade a sua interpretação e análise, produzindo resultados que não são a soma das partes que os deu origem, com uma sensibilidade extrema aos choques por menores que sejam, capazes de causar efeitos catastróficos ao sistema exigindo uma forma complexa de análise.

A preservação/conservação e a sustentabilidade da Terra são metas prioritárias diante do panorama climático atual em que se encontra. Sustentabilidade implica garantir para as gerações futuras uma destinação democrática e digna, que acabe de vez com as desigualdades sociais e isso é contraditório com políticas desenvolvimentistas baseadas numa suposta superioridade da tecnociência (IHU, 2012).

2.2 Analise Integrada de Bacias Hidrográficas

A agenda 21 (UNCED, 1993), destaca que a crescente pressão sobre os recursos naturais vem criando competição e conflitos, resultando no uso sub-otimizado tanto da terra, quanto de seus recursos. Planejamento físico integrado, planejamento de uso integrado e gerenciamento ambiental, são os caminhos práticos para se chegar a solução para tais conflitos e para se mover em direção a um uso mais eficiente e efetivo da terra e de seus recursos naturais. Está reconhecido que a integração deve ocorrer em dois níveis, considerando-se de um lado todos os fatores sociais e econômicos e de outro todos os componentes e fontes ambientais, tais como: ar, água, biota, geologia, recursos da terra entre outros.

O mundo se encontra cada vez mais conectado, principalmente no que tange as mudanças globais dos últimos 20 -30 anos do século XXI, o que tem aumentado a pressão sobre os recursos da terra, levando a uma competividade das economias mundiais pelo seu controle. O maior paradoxo dessa grande conexão mundial é a falta de distribuição dos benefícios de forma equitativa e sustentável, em que não apenas a exploração dos recursos naturais ocorre de forma desigual, mas também os reflexos negativos da exploração desenfreada.

As atividades humanas são na sua maioria dependentes das condições físicas e naturais, daí que o conhecimento dos efeitos sobre a exploração dos recursos da terra toma uma importância crucial, devido à integração de todos os seus elementos como as condições especificas, como é o caso da produção agrícola, que requer bons solos, da disponibilidade de água e de manejo adequado da mesma. Os estudos integrados permitem ou facilitam os

processos de planejamento dos territórios, para uma melhor e adequado gerenciamento dos mesmos.

Esta competição levou a uma percepção de que os objetivos ecológicos e econômicos sejam conflitantes, apesar de serem sistemas dependentes, que se complementam para dar apoio à vida humana. Esses dois objetivos se interconectam e caminham lado a lado "se imaginar as ações do desmatamento das regiões a noroeste da província de Maputo, junto aos distritos de Boane, Namaacha e Moamba" se ligam de uma forma particular com as necessidades energéticas das cidades de Maputo e Matola, que gera reflexos na escassez de chuva no distrito de Magude, a norte da província, condicionado a produção agrária e consequentemente levando a insegurança alimentar. Os desmatamentos e a perda da cobertura vegetal não devem ser analisados por si só e de uma forma isolada, partindo de outras causas sócio econômico do momento que impulsionaram uma demanda desse tipo de recurso, levando a um mau uso ou a uso não consciente, acabando por desencadear uma reação em cadeia. Isso dá a clara sensação de que a análise do problema deve ser vista de uma forma integrada como um todo e não como partes isoladas de um sistema.

As ações sobre a natureza por mais isolada que elas possam parecer, carregam consigo uma infinidade de conexões que afetam a totalidade do sistema, fato que reforça a visão da análise integrada dos componentes da terra para uma melhor percepção. O mais importante é a investigação das relações dos componentes e revelar quais os fatores críticos que determinam o sucesso de um ou do outro tipo de uso, ou intervenção na região em questão (SPIERS, 1984, *apud* MACIE, 2009, p.14).

Para Bertrand (1974) *apud* Freitas (2006), o estudo integrado das paisagens é uma questão essencialmente metodológica, onde a pesquisa se caracteriza pela procura de um método caracterizado tanto pelo conteúdo analítico quanto sintético. Porém, ele não é um bloco monolítico e único que funciona por si só, sendo caracterizado por processos sucessivos preocupados com a análise do movimento vivo de uma reflexão aberta. Sendo que eles ocorrem devido à própria complexidade dos geossistemas, que se apoiam em diferentes metodologias para sua compreensão.

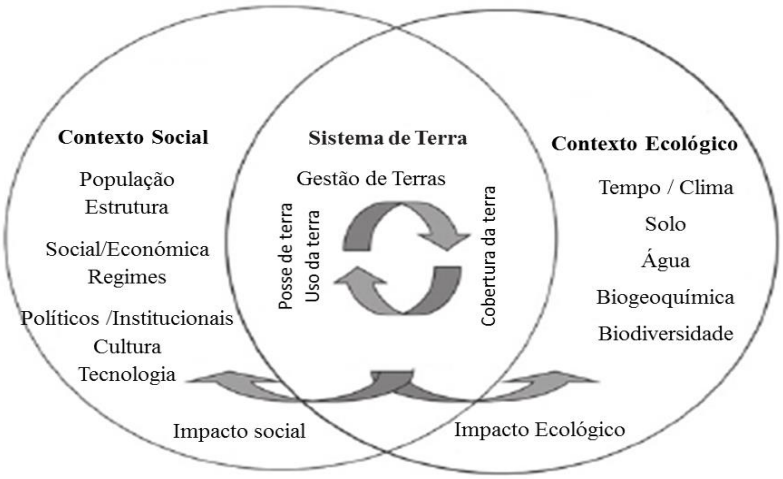
A concepção da paisagem como um sistema integrado só se dá numa visão sistêmica, onde componentes isolados não tem propriedades integradoras, mais desenvolve-se quando a paisagem é vista como um sistema total não a soma das partes (RODRIGUEZ *et al.*, 2013, p.47). Sistemas são construções mentais e definidas de várias maneiras, e eles podem ser analisado, como estruturas de processo, forma e como estruturas simples e complexas (HUGGETT, 2011)

A integração envolve tanto a coordenação da seleção dos itens do levantamento, quanto a coordenação e cooperação em termos científicos, pragmáticos e organizacionais das várias disciplinas. Esta integração, faz com que o resultado seja mais que a mera soma dos resultados das ações individuais (SIMÕES-MEIRELLES, 1997). Isso significa que a terra é estudada como o total caráter de uma região, e não em termos dos aspectos separados de seus componentes elementos (ZONNEVELD, 1979 apud NAVEH *et al*., 1993 p.112).

A ideia da integração entre os componentes físicos, em qualquer lugar da superfície do planeta terra, foi debate nas várias pesquisas e objeto de análise de vários estudos sobre a paisagem levados a cabo por Alexander Van Humboldt.

Por essa razão, o olhar integrado dos recursos naturais, se entende como uma preocupação da análise das interações dos elementos naturais e da sociedade, sendo que o pleno conhecimento dos meios físicos naturais e sociais ajudam no entendimento da forma como são utilizados. A figura 1 demostra as interações no âmbito integrado em um sistema de terra e os meios que devem ser usados de modo a minimizar os impactos negativos decorrentes da atuação dos diferentes contextos.

Figura 1: O sistema de uso da terra atuando na interseção de contextos sociais e ecológicos.



Fonte: adaptado de Robinson et al. 2013.

Coletivamente, esses contextos definem o valor da terra, quem a utiliza e com que finalidade, como à terra é administrada e como essas alterações humanas modificam o ecossistema, funções e serviços e como o planejamento abrangente da terra pode fazer bom uso da orientação ampliada que o pensamento holístico e integrado fornece (NAVEH et al., 1993).

2.3 Ecodinâmica da Paisagem

A dinâmica da paisagem pode ser definida como sendo as trocas existentes no sistema que ocorrem no meio de uma mesma estrutura e que não conduzem a sua transformação quantitativa (SIMÕES-MEIRELLES,1997). Segundo o Tricart (1977), o estudo da organização do espaço deve determinar como a ação se insere na dinâmica natural, de modo a corrigir certos aspectos desfavoráveis e facilitar a exploração dos recursos ecológicos que o meio oferece, tendo a ótica dinâmica no centro da partida da avaliação.

A análise dos processos de pedogênese e morfogênese permitem classificar o grau de estabilidade de determinada unidade de paisagem. Faz-se necessário salientar com precisão a dinâmica do geossistema, seja a atual ou a pretérita, para mostrar um padrão evolutivo de tempo e espaço que permita estabelecer parâmetros para a compreensão do estado presente e elaboração das possíveis tendências futuras (OLIVEIRA, 2011).

As paisagens não são monolíticas e estáticas, elas evoluem de forma natural ou através das ações antrópofisicas sobre elas, criando diversos cenários naturais e sócias sobre elas. Na verdade, a interpretação sistêmica do conceito de paisagem ou espaço natural, é um salto cognitivo que respondeu a uma dinâmica social, baseada nos procedimentos de busca de identificação, classificação e mapeamento das unidades com vista a responder à necessidade de informação sobre a organização espacial da natureza, como base para avaliar o potencial em recursos (RODRIGUEZ e SILVA, 2018, p.91).

Tricart (1977), propõe que a visão dinâmica deve ser assumida como o ponto inicial de uma avaliação, de modo a obter uma classificação taxonômica da natureza com um elevado grau de precisão. Para isso propôs três categorias de classificação morfodinâmica que indicam os estados dos meios de acordo com as forças atuantes sobre eles.

Partindo de uma análise e do conhecimento dos fatores morfodinâmicos e da sua ação integrada nos processos de modelação e formação das paisagens, torna possível mitigar os eventos negativos aqui elas estão expostas (vulnerabilidade ambiental). O geógrafo francês JeanTricart (1977), propõe três dimensões de meios morfodinâmicos para a avaliação ambiental de acordo com a intensidade das forças atuantes sobre eles: (I) Meios estáveis; (II) Integrados ou de transição e (III) Instáveis.

Onde os meios estáveis apresentam uma certa estabilização dos processos morfogênicos em relação aos de pedogênese, e apresentam uma relativa cobertura vegetal que se encontra no seu clímax capaz de proteger os solos da erosão. O pedólogo H. Erhart considerou estado de bioestasia, dando uma relevância a existente da cobertura vegetal, fato

que Tricart (1977) mesmo concordando dessa visão da importância da vegetação na estabilidade do meio considera que apenas ela fará o papel de protetor, contrário aos animais que na maior parte do processo serão os elementos da exposição dos solos, daí propõe ao termo fitoestasia.

Enquanto aos meios integrados ou de transição existe uma tendência de paridade entre os dois processos da modelação da paisagem, neste caso da morfogênese e pedogênese criando uma situação de passagem gradual de ambientes estáveis e instáveis. Os meios instáveis caracterizam-se pelo domínio da morfogênese, resultante das causas naturais, com uma dissecação antrópicas bastante elevada.

Existe um entendimento que as paisagens naturais ou modificadas resultam da análise integrada de todos os elementos físicos (fatores geomorfológicos, climáticos, hidrológicos e vegetação), junto aos fatores socioeconômicos, através de uma visão geossistêmica do ambiente como um elemento interconecto. Do ponto de vista holístico, considera-se a paisagem como um corpo natural que pode ser descrito e classificado (através de critérios topológicos ou cronológicos), enquanto a abordagem tradicional ou paramétrica começa de baixo e observa as diferentes características da terra, que podem ser medidas através de parâmetros individuais.

Está claro que a dinâmica de uma paisagem pode ser entendida através do arranjo dos elementos, sejam eles internos a paisagem ou externos a ela, que são influenciados através das ações impostas sobre elas.

2.4 Indicadores de Mudanças Ambientais

A demanda crescente pelos limitados recursos naturais, tornou necessário e imprescindível a tomada de decisões de forma cuidadosa, bem como a verificação do impacto do crescimento na utilização desses recursos. Os usos indiscriminados dos recursos naturais, levou a poluição do ar, dos mares e dos rios, ao aumento dos gases de efeito estufa, aumento do buraco da camada de ozônio e a outros problemas ambientais em escala global.

Segundo Mattar Neto *et al*. (2009), nos dias atuais o desenvolvimento econômico e social não pode ser considerado sem que a preocupação ambiental esteja presente em todo o processo, configurando os indicadores ambientais como instrumentos de planejamento e gerenciamento dos espaços urbanos e rurais. O estudo de todos os elementos sócias e naturais, que possam afetar todas as formas de no planeta exige um conhecimento cada vez mais amplo dos seus efeitos integrados sobre o meio, a interdependência.

O uso de indicadores de mudanças ambientais é uma forma de padronização no alcance das metas de desenvolvimento sustentável, proporcionado a um melhor aproveitamento dos recursos naturais e também para indicação de medidas preventivas de degradação ambiental e consequentes prejuízos econômicos para a sua reparação.

Com base no NEPA (National Environmental Policy Act, 1969), um indicador ambiental, ou conjunto de indicadores, é um meio de caracterizar impactos sobre um recurso ambiental ou um de seus componentes importantes.

Indicadores são a forma simplificada da representação dos dados, informações e conhecimentos. Segundo Colman e Nixon (1981), a medida direta do desenvolvimento de um fenômeno social seria impraticável, sendo necessária a utilização de indicadores para o desempenho dessa tarefa. A utilidade dos indicadores depende da extensão em que eles podem ser usados para estabelecer uma condição de linha de base e rastrear ou prever mudanças no recurso em resposta a uma ação proposta. Está implícita nesta definição a aplicabilidade de um indicador ou conjunto de indicadores sobre escalas espaciais e temporais relevantes.

A compensação de florestas ou bosques e sua conversão em terras agrícolas nos trópicos reduz o teor de carbono no solo, principalmente pela redução da produção de detritos, aumento das taxas de erosão e decomposição de matéria orgânica do solo por oxidação (BATIONO *et al*., 2015). A redução dos teores de carbono nos solos constitui um dos indicadores para avaliação das suas qualidades, da fertilidade e da água e ajuda na mitigação dos gases de efeito estufa, o que contribui para avalição da qualidade ambiental.

O efeito estufa é um fenômeno natural e possibilita a vida humana na Terra, pois proporciona uma temperatura média global próxima à superfície de 14ºC, ao passo que sua inexistência acarretaria uma temperatura média no planeta de 18ºC negativos.

Os sinais físicos e os impactos socioeconômicos deixados pela mudança climática são cada vez maiores devido às concentrações de gases de efeito estufa sem precedentes, que provocam um aumento das temperaturas mundiais a níveis perigosos (OMM, 2018).

2.5 Geotecnologias Aplicadas ao Planejamento e Gestão Ambiental

Os estudos do meio ambiente, vem cada vez mais recorrendo ao uso de novas técnicas, como seus métodos de análise da natureza. Mesmo como o crescimento elevado do uso dessas técnicas, em Moçambique ainda apresenta muita carência de informações espaciais sistematizadas, principalmente na análise de bacias hidrográficas.

Para Brenning, (2010), a análise espacial de dados ambientais, utilizando os sistemas de informação geográfica (SIG) e a estatística, fornecem visões diferentes por conta das barreiras disciplinares das ciências envolvidas, no entanto, ambas as perspectivas contribuem para a análise de dados espaciais. Segundo Aronoff (1993), os SIG foram desenhados para armazenar e analisar os objetos ou fenómenos onde a sua localização geográfica é o fator importante, ou crítica para sua análise.

Os recursos naturais não são distribuídos uniformemente, mas variam espacialmente e, em consequência, os desafios do desenvolvimento social e econômico também variam espacialmente, daí que eles condicionam de forma diversificada os espaços. A aplicação de técnicas de SIG e sensoriamento remoto para os estudos de elementos naturais principalmente quando eles não são de alcance direito dos sensores, derivam da análise dos outros fatores são bastante desafiadoras, e no estabelecimento da relação de como esses elementos influencia na formação da paisagem.

A necessidade de uma melhor e cada vez mais eficaz estatística de uso dos recursos da terra, levou ao uso de cada vez maior de técnicas computacionais integradoras para a análise dos recursos naturais. Sendo que o ganho desse tipo de método é o seu cárter multidisciplinar, capaz de envolver as ações de análise mais complexas e estabelecendo relações entre os diferentes fatores que se encontra em interação.

A caracterização dos diferentes tipos de vegetação e os estudos pedológicos são basicamente analisados na forma linear, pois é possível extrair diferenças na cobertura vegetal e delimitar as manchas de solos expostos só com o olhar horizontal, mesmo que isso represente relações biológicas e químicas complexas. Porém, a caracterização vertical de tais mosaicos apresenta um comportamento altamente não-linear na interação da radiação eletromagnética com os componentes vegetais no espaço vertical. Tal não linearidade traz grandes dificuldades para o estudo dos papéis dos tecidos e dos atributos estruturais determinantes das características da radiância de paisagens só com mensurações de campo, sendo recomendada a utilização conjunta de modelos espectrais (ASNER, 1998; *apud* FREITAS, 2006).

A análise do comportamento do carbono nos diferentes meios se mostra bastante complexo, pois ele traz consigo a questão da verticalidade, que para além da visão horizontal dos fatores naturais e sócio econômicos que são normalmente visíveis a olho desarmado para um analista comum. A questão da sua variabilidade vertical também depende desses fatores condicionantes já mencionados. As geotecnologias permitem realizar esse olhar de múltiplas dimensões e conecta-los de modo a apresentar um resultado que seja fruto de uma da análise integrada de todos os fatores envolvidos na interação.

2.6 Ciclo de Carbono e o Uso da Terra

No último milênio, houve uma significativa intervenção humana nos sistemas da Terra. A extração dos combustíveis fósseis formado por resíduos da vida ricos em carbono (C) do passado distante, tem sido uma das atividades realizadas pelos seres humanos por um tempo bastante longo (CHURKINA, 2013). Durante a maior parte desse tempo, antes da revolução industrial a influência dos seres humanos nos processos ecológicos, incluindo o ciclo do carbono (C), limitou-se aos impactos em escala local por meio da caça e coleta e, em seguida, pelo cultivo e criação de animais (ROBINSON *et al*., 2013).

Existe uma concordância entre vários autores no que tange a influência dos processos naturais no ciclo de carbono, mais são as ações coletivas humanas depois da revolução industrial no século XVII que contribuíram no crescimento dos impactos através da queima de combustíveis fósseis. Atualmente estima-se que a queima de combustíveis tenha contribuído em mais de 30% do efluente antropogênico total de dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera (ROBINSON *et al*., 2013).

Segundo Robinson *et al*. (2013, p7), as ações humanas afetam as estruturas e as funções fundamentais dos ecossistemas, alterando, portanto, a quantidade de Carbono (C) armazenada acima e abaixo do solo; a taxa de transferência entre a superfície e a atmosfera; e quanto acaba nos rios, córregos, lagos e oceanos.

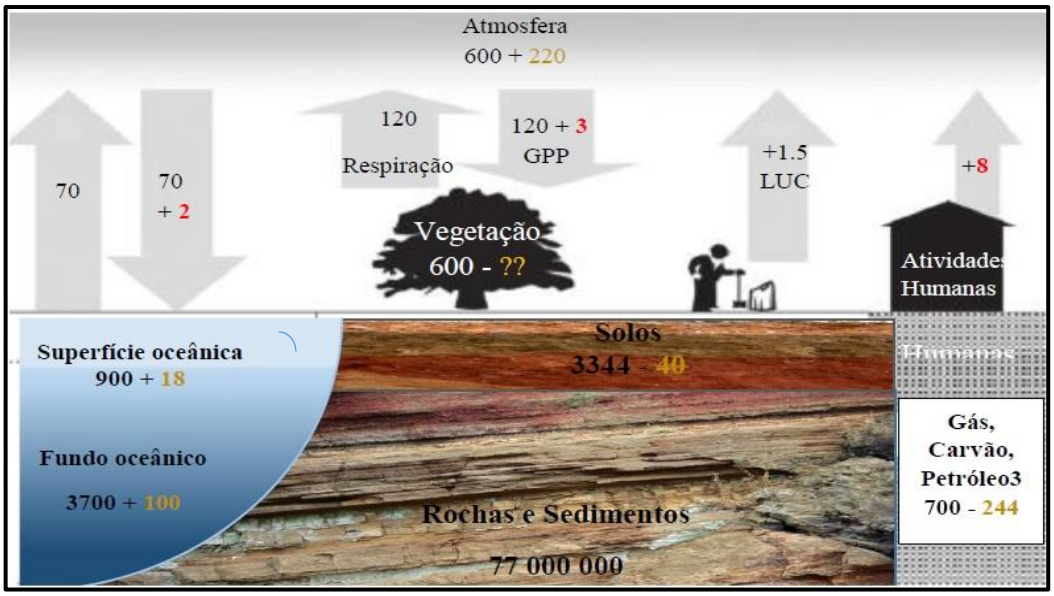
A dependência da vida humana em relação ao Ciclo de Carbono, se estende desde aos processos de produção de alimentos, fibras e combustíveis dos quais a vida na terra sem eles seria difícil, até ao ar que respiramos e aos solos que cultivamos. Portanto, é inevitável a nossa relação com o Ciclo de Carbono, e a necessidade do entendimento da contribuição dos ecossistemas terrestres é fundamental, para o estabelecimento do vínculo com a mudança de uso da terra (CHURKINA, 2013).

O Ciclo de Carbono ocorre em diferentes tipos de reservatórios, destacando quatro tipos dominantes e abrangentes, na atmosfera, nos oceanos, na superfície da terra e nos sedimentos ou rochas, sendo este último o mais antigo e o maior reservatório. Esses reservatórios estimados em cerca de 7713576,5 PgC distribuídos pelos quatros grupos principais já mencionados, ver figura 2, podem ser subdivididos pequenos grupos para a sua melhor compreensão. Segundo Siefert (2016, p27), a análise do,

> Ciclo do carbono pode ser descrito conceitualmente a partir de três compartimentos de origem terrestre (solo e vegetação), atmosférica e oceânica, sendo que o ecossistema terrestre abarca os processos físicos e químicos oriundos da interação entre as características biogeoquímicas entre solos, vegetação e água.

Estimam se que existam armazenados no ecossistema terrestre cerca de 4764 PgC, dos quais 3344 PgC encontram-se armazenados nos solos, 600 PgC na vegetação e cerca de 820 PgC estão presentes na atmosfera (CHURKINA, 2013), ver a figura 2.

Figura 2: Principais reservatórios globais de C (PgC) e fluxos (PgC por ano).



Fonte: adaptado de (CHURKINA, 2013).

- Magnitude dos fluxos de C naturais e reservatórios de C pré-industriais.
- Magnitude dos fluxos de C antropogenicamente controlados para 2000–200.
- Alterações cumulativas em conjuntos C a partir de valores pré-industriais.

LUC - Mudanças de uso e cobertura (Land Use Change).

GPP – produção primária bruta (gross primary production).

Neste contexto podemos observar que a forma como as atividades humanas tem sido levada a cabo no que se refere ao uso do solo e da exploração da vegetação aliados aos processos naturais do universo, de natureza climática e geológica são apontados como os principais fatores do controlo das entradas e saídas dos volumes de carbono estocado no complexo terrestre. No entanto as emissões globais líquidas anuais de C relacionadas ao uso da

terra e a mudança do uso dela tem tendência gradualmente crescente nos últimos 155 anos e provavelmente muito mais (KAPLAN et al., 2009 apud HOUGHTON, 2013).

As estimativas globais apontam que mais de 25% dos fluxos antropogênicos de dióxido de carbono, provem na sua maioria da cobertura da terra e das mudanças no uso da terra, perdendo apenas para a combustão de combustíveis fósseis (HOUGHTON E SKOLE 1993; IPCC 2001).

As reservas (piscinas) de SOC (Soil Organic Carbon), representam as maiores piscinas de carbono terrestre no orçamento líquido de carbono, com estoques globais entre 1500 e 2400 PgC, que é substancialmente mais do que é armazenado na vegetação (450-650 PgC) (CIAIS *et al*., 2013 *apud* LUTHER-MOSEBACH, 2017). Por essa razão, o entendimento dos padrões da dinâmica da espacialização do SOC em ambientes florestais e agrícolas é chave para estimar o potencial de sequestro de carbono nestes sistemas, assim como no desenvolvimento de modelos que mostrem o padrão espacial e a forma da transformação na paisagem (SIEFERT, 2016).

O SOC é um componente vital do solo com efeitos importantes no funcionamento dos ecossistemas terrestres, e seu armazenamento resulta de interações entre os processos ecológicos dinâmicos de fotossíntese, decomposição e respiração do solo (ONTL *et al*., 2012).

Uma parte importante das atividades humanas com elevando grau de mobilidade ocorre a superfície da terra, daí a sua relevância na dinâmica do C reservado no ecossistema terrestre, principalmente nos solos.

2.7 Relação paisagens e técnicas de mapeamento do carbono do solo

A análise da paisagem pode fornecer uma boa compreensão do seu relacionamento com a estrutura e funcionamento de um ecossistema, integrando seus elementos em diferentes escalas (MARTINS *et al*., 2004). Ela configura a forma e a influência cujo aspectos topográficos, como tipos e posição da superfície afetam a distribuição espacial do estoque do SOC, acumulação e disposição da matéria orgânica, bem com a sua interação com os microrganismos responsáveis pela atividade biológica de transformação dessa matéria em composto do solo, pela forma como a disposição da paisagem molda as características dos solos.

Além da importância da dinâmica do SOC nas emissões antropogênicas de gases de efeito estufa, a matéria orgânica em solos desempenha um papel importante na manutenção das propriedades do solo (FUJISAKI *et al*., 2018).

O SOC é a massa de carbono orgânico por área padrão e por um intervalo de profundidade específico, geralmente expresso em kg / m^2 ou t / ha (HENGL, 2018*)*. Para a sua representação e descrição é então necessário o uso de métodos espaciais adequados que tenham em consideração a dependência das variáveis explicativas e ainda considerar os possíveis erros associados. A consolidação de diversos conjuntos de dados de carbono no solo é cada vez mais importante para maximizar seu valor, particularmente com as crescentes pressões antropogênicas e de mudanças climáticas.

Segundo Yigini *et al*. (2018), DSM é a correlação ambiental que explora a relação quantitativa entre variáveis ambientais e propriedades do solo e pode ser usado para prever as outras propriedades inerentes aos solos através de técnicas de previsão multivariada.

O uso das estatísticas para a quantificação das relações entre os parâmetros dos solos e das paisagens, é uma herança que vem à década (MALONE *et al*., 2017). Portanto, o entendimento dos parâmetros dos solos a partir dos elementos da configuração da paisagem, vegetação, geologia, topografia, clima e fatores antropogênicos, é uma prática adotada por várias pesquisas, e tem se revelando ao longo tempo de importância extrema para o planejamento territorial e ambiental.

Pressupõem que a distribuição de um atributo do solo em um determinado domínio espacial, desenvolve uma correlação com os atributos ambientais do lugar que se encontra estabelecido, assim que existe uma ligação de dependência entre os fatores naturais e antropogênicos nos parâmetros dos solos. Houve a busca em correlacionar os elementos naturais e as atividades humanas com o intuito de classificar a paisagem da bacia a partir do estabelecimento das suas unidades ambientais, e relacionar a disposição dos estoques de carbono nos solos de cada uma das unidades de mapeamento.

As necessidades de um conhecimento mais profundo da forma como as mudanças no uso da terra afetam a dinâmica do carbono (C), e como esta impacta no uso e na mudança do uso da terra, e não menos importante seria a forma como à terra é gerenciada em relação ao ciclo de carbono (EVANS *et al*., 2013). Esse entendimento requer uma abordagem holística e integrada pela qual a gestão do C terrestre considera os aspectos sociais, econômicos, tecnológicos, políticos, culturais e fatores demográficos da mudança no uso da terra.

Para o Evans *et al*. (2013), a necessidade da integração da modelagem do uso da terra e do ciclo de carbono é de importância extrema, pois ela ajuda no desenvolvimento e na implementação de políticas de mudança climática.

Os estoques do carbono realizados pelos solos constituem uma fração importante do ciclo de carbono, pois pode armazenar e liberar quantidades consideráveis de carbono

através de processos naturais, incluindo deposição, decomposição e respiração das raízes (DREWITT *et al*., 2002).

Neste contexto, o papel do carbono do solo em relação ao efeito estufa torna-se uma preocupação mundial, uma vez que a liberação desse carbono representa uma alça de retroalimentação positiva (FEARNSIDE, 2008), ou seja, quanto mais carbono é liberado pelos solos, maior o aumento da temperatura devido ao efeito estufa.

Os parâmetros de solos, como o carbono, salinidade, etc. são condicionados por um grande número de variáveis ambientais e humanas, por essa razão o estudo e modelagem deles constituem um desafio enorme que se associa à falta de padrão único de comportamento, o que demanda o desenho de modelos capazes de entender os fenômenos da natureza heterogêneos. Tratando de fenômenos espaciais cuja variabilidade espacial é extremante importante para o estudo do mesmo, existe uma necessidade da escolha e adequação do modelo correto, principalmente tratando de variáveis ambientais que são bastante heterogêneos.

Existem vários modelos matemáticos desenhados para a estimação de valores desconhecidos de uma certa variável, mais nem todos eles olham para as variáveis como elementos integrados e com uma dependência espacial. Por isso que uma das fases da análise dos dados é a escolha adequada do modelo certo.

Alguns dos modelos são baseados na regressão linear simples ou múltipla, que segundo Barros (2013), o uso delas para inferência de dados espaciais é problemático pelo fato ferir a sua principal premissa, a independência das observações entre as variáveis, fato que não se observa nos dados geográficos pós elas são interdependentes uma das outras, particularmente as variáveis ambientais.

Modelos baseados em regressão linear tentam olhar para as variáveis como linhas (Linearidade) únicas e independentes, mas também tenta relacionar se os valores preditos seguem uma normalidade, portanto ela pode ser utilizada em variáveis homogêneas e com pouca dependência espacial. Segundo Barros (2013), modelos de regressão linear simples na situação podem ser aplicados à modelagem de dados geográficos, somente em situações de categorização do espaço geográfico. E ela toma a seguinte expressão matemática:

$$\boldsymbol{y_{i=}\beta_0 + \beta_1 X_I + \varepsilon_i}$$ Equação 1: Regressão linear simples

$$\boldsymbol{y_{i=}\beta_0 + \beta_1 X_I + \beta_2 X_2 + \cdots + \beta_n X_n + \varepsilon_i}$$ Equação 2: Regressão Multilinear

Onde: i=1, 2, 3, ... n

y = variável dependente (valores Estimados)

x = variável independente (variável explicativa)

β0 = intercepção de x em y (valores calculados pela ferramenta de regressão refletem o relacionamento e a força de cada variável independente com a variável dependente)

β1 = coeficiente de regressão (inclinação da reta)

ε = erro ou resíduo (a parte da variável dependente que não pode ser explicada pelo modelo).

Como já referido anteriormente os modelos de estimação baseados em regressão linear deixam muito a desejar, pelo simples fato de não considerar o caráter local de cada uma das variáveis o que influencia nos resultados finais. Essa suposição é aplicada a situações de múltiplas variáveis, que é conhecido com regressão múltipla que não muda o princípio mesmo que adéqua melhor a questão espacial, principalmente quando é mais contínua limitado no trato de dados altamente colineares como são as variáveis ambientais (BARROS, 2013). Segundo Yigini *et al*. (2018), a colinearidade (ou multicolinearidade) é um fenômeno no qual dois ou mais variáveis explanatórios em um modelo de regressão múltipla são altamente correlacionados.

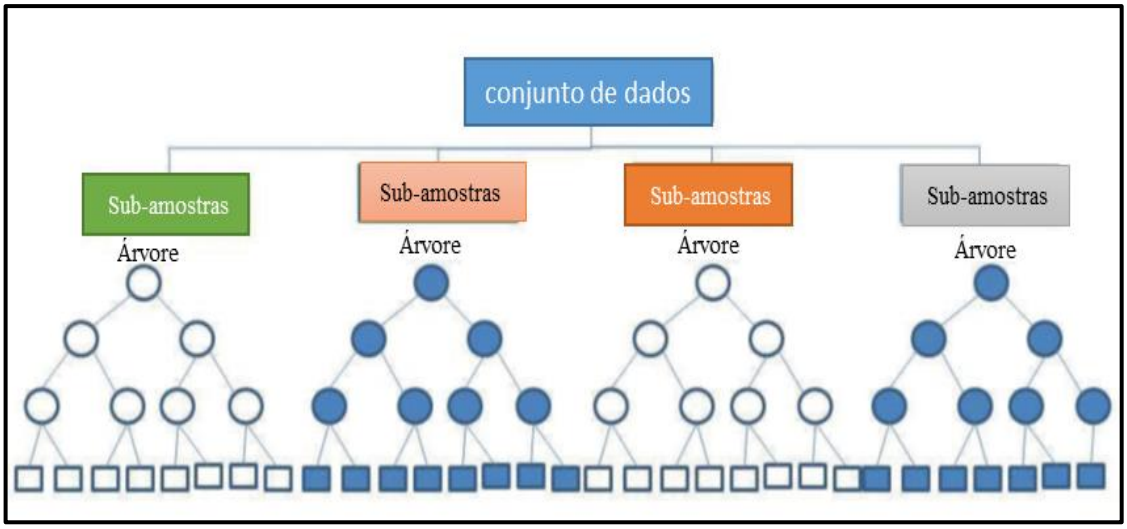
A escolha de um ótimo modelo de análise espacial é crucial para o tratamento integrado da paisagem, pois tende apresentar as melhores respostas do fenômeno em análise. O modelo de florestas aleatórias (Random Forest-RF), é um modelo baseado em árvores de decisão e combinando um conjunto maior de modelos.

O Yigini *et al*., 2018, define a RF como um conjunto de nós de tomada de decisão que vai descendo em formas de árvores com caule e consequentemente criando galhos e folhas de forma a chegar a melhor decisão.

A RF divide recursivamente os dados em grupos uniformes finais (classes) ou valores exclusivos com base em um conjunto de regras. O grande ganho do modelo baseado em florestas aleatórias e que ela é fruto de uma combinação de diferentes modelos para se obter um único resultado. Desse modo torna ele um modelo bastante complexo e robusto para a inferência estatística, bem como no trato de diferentes variáveis ambientais.

Pode-se observar de uma forma esquemática o modelo de floresta aleatória na figura 3, mostrando a floresta e as suas árvores na definição da classe final que é a média de todos os galhos.

Figura 3: O conceito de árvores aleatórias de decisão



Fonte: adaptado de Yigini *et al*. (2018).

O processo de construção do modelo de floresta aleatória é basicamente o mesmo da árvore de decisão, com a diferença de que muitas árvores são construídas, resultando em uma "floresta de modelos", sendo que as árvores de decisão são construções muito "naturais", especialmente quando as variáveis explicativas são categóricas (WIESMEIER *et al*., 2011; BREIMAN *et al*., 1984).

Cada árvore é criada por um conjunto de sub amostras extraídas das amostras originais que permite uma estimativa robusta de erros com o restante do conjunto de testes, e ela é chamada amostra (OOB) Out-Of-Bag (WIESMEIER *et al*., 2011).

A estimação de carbono do solo é acompanhada de outros elementos básicos para o seu cálculo e espacialização, como é a avaliação do peso específico. A densidade do solo tem efeito direto em algumas propriedades do solo, como porosidade, conteúdo de água disponível, conteúdo de matéria orgânica (MO) e condutividade hidráulica e efeito indireto em algumas outras propriedades, como crescimento de raízes e produção agrícola.

Existem várias equações de transformação para o cálculo da densidade aparente do solo, conhecidos como (Pedo-transfer functions-PTFs) que dependem das características do banco de dados dos solos usados para o seu desenvolvimento e pode apresentar desempenhos diferentes se aplicado em diferentes condições do solo (YIGINI *et al*., 2018; ABDELBAKI, 2016). No quadro 1 são apresentados exemplos de equações usadas para o cálculo da densidade aparente em dados com ausência desse.

Quadro 1: Exemplo de equações para PTFs para estimar DA, com base na MO e da textura.

Autor	Densidade Aparente (DA) em g/ cm^3
Saini (1966):	1.62 − 0.06 * OM
Drew (1973	1/ (0.6268 + 0.0361 - OM)
Honeysett e Ratkowsky (1989)	0.80806+ (0.823844* EXP (-0.27993 * CO) + (0.0014065 * areia%) – (0.001002299 * argila%)
J. M. H o l LIS, J. Hannamb e P. H. Bellamy (2012)	1/ (0.564 + 0.0556 - OM)
Vinícius M. Benites; Pedro L.O.A. Machado; Elaine C.C. Fidalgo; Maurício R. Coelho e Beáta E. Madari (2007)	1.5688-0.0005 * argila% - 0.0090 * CO.

Fonte: Yigin *et al*., 2018; J. M. Hollis *et al*., 2012 e Abdelbaki, 2016

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O método científico não deve ser tratado numa perspectiva disciplinar, ele pode transcender as exclusividades de algumas, assim como não há um único método a ser utilizado na Geografia (TRICART, 2006).

No que tange a estudos de fenômenos geográficos, naturalmente complexos dificilmente o método é já um elemento fixo e tangível, por essa razão ela sofre mutações ao longo da pesquisa, podemos sustentar essa observação com o discurso de Morin (2005), afirmando que o método só pode se construir durante a pesquisa e ele é ajustável ao fenômeno em análise e não ao contrário.

A busca por um método adequado de pesquisa nas diferentes temáticas tem sido umas das premissas da Geografia, mesmo com elevados obstáculos, dada a natureza complexa e heterogenia dos seus estudos e análises, o que aumenta os desafios a serem superados.

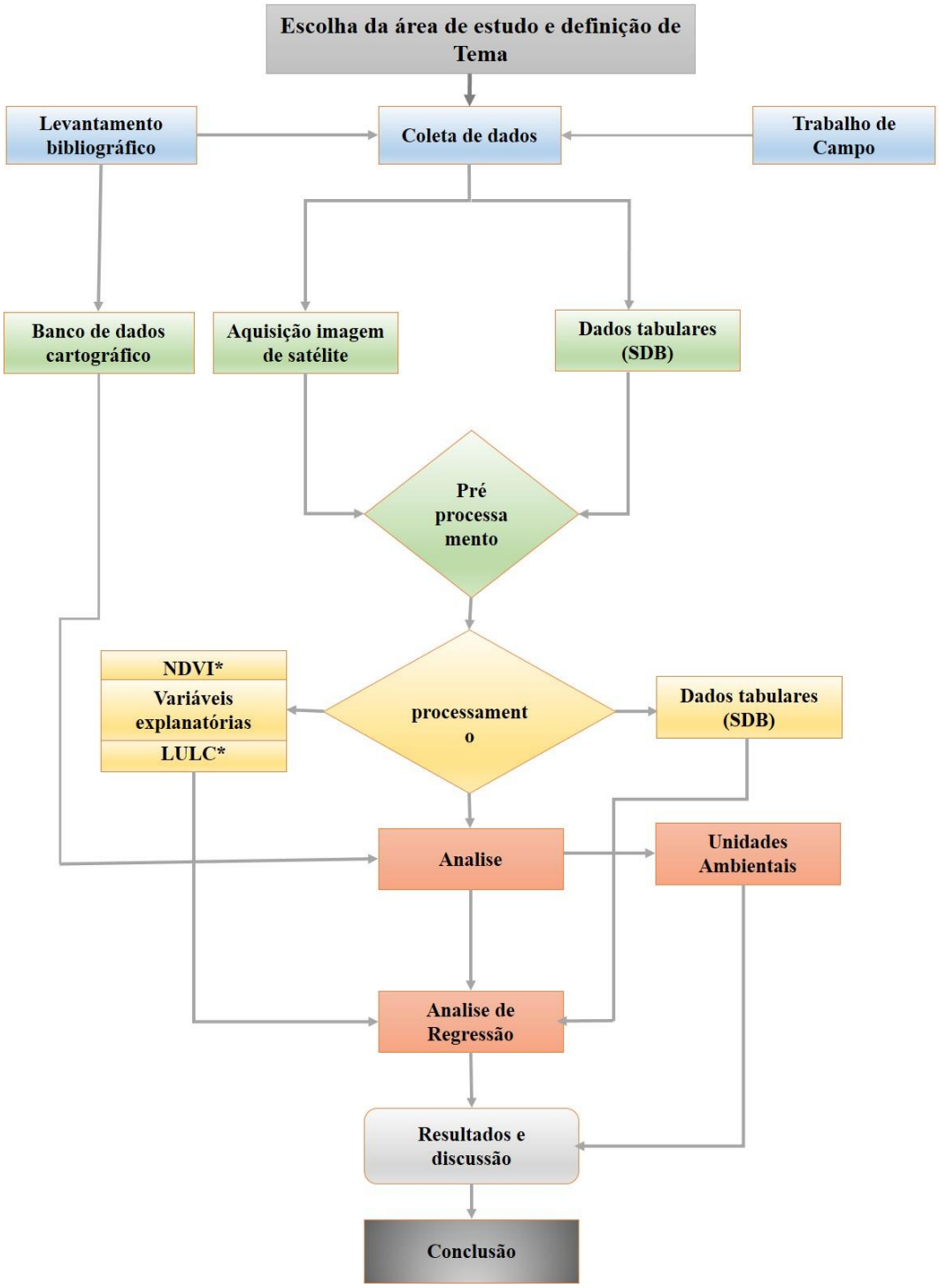
Para o alcance dos pressupostos dos estudos em Geografia é importante sempre considerar a sua diversidade temática e por essa razão o caráter heterogêneo metodologicamente com vista ao alcance de um consenso dentro de um complexo.

Neste capitulo são apresentados os procedimentos técnicos metodológicos empregados para o desenvolvimento da pesquisa de modo a lograr os objetivos propostos. Para o alcance dos objetivos propostos a pesquisa foi dividida em seis fases a saber: organização e inventário, organização do banco de dados primários, aquisição e processamento de imagens de satélite, análise e classificação, mapeamento integrado, validação e análise dos resultados.

A pesquisa foi operacionalizada com recurso a diferentes ferramentas de apoio como os SIG, que possibilitam o conhecimento mais detalhado da área da pesquisa e na produção de matérias que ajudam na tomada de decisão. Ainda se destacam o uso de técnicas geoestatísticas que se revelam de tamanha importância para os estudos relacionados a inferência de variáveis complexas e não linear.

A figura 4, apresentada abaixo, encontram-se ilustradas as etapas da pesquisa o que permitiu a atingir as metas propostas pela pesquisa.

Figura 4: Fluxograma metodológico



Fonte: Concepção do autor, 2020.

*NDVI - Normalized Difference Vegetation Index.

*LULC - Land Use and Land Cover.

3.1 A fase de organização e inventário

Consistiu na revisão da literatura, com vistas a um levantamento e avaliação da bibliografia e informação de dados históricos sobre a área de estudo, e sobre a caraterização geral do país.

Nesta fase basicamente recorreu-se a pesquisa bibliográfica para a sua materialização, e ela foi feita em diversos locais, com recurso a livros, artigos, publicações técnicas, mapas e cartas topográficos e outras matérias que permitiram a caracterização e conceptualização dos diferentes itens necessários para o desenvolvimento da pesquisa.

Foram levantadas e descritas de forma breve a história colonial e recente de Moçambique, no que se refere a organização social e econômico do país colônia e pós independência.

Ainda pode se destacar nessa fase a análise do contexto físico natural de Moçambique, que representa a unidade regional onde se encontra inserido a bacia hidrográfica em análise, no que se refere as condições naturais da mesma. A natureza internacional da bacia exigiu um olhar mais amplo, a sua inserção nos contextos nacional e regional e como se dispõem os principais elementos naturais.

A pesquisa bibliográfica foi a base da caraterização e conceptualização do embasamento teórico da pesquisa, que apare dos outros itens deram uma contribuição para a compreensão dos temas, no alcance dos objetivos propostos e dessa forma ajudar no entendimento da interconexão dos elementos da paisagem e a dinâmica do carbono no solo.

3.2 Fase de organização do banco de dados primários e secundários

Nessa fase efetivou-se a organização de bancos de dados primários disponíveis em diferentes formatos. Foram sistematizados dados do banco de dados de solos o SDB (Soil Data Base) do Instituto de Investigação Agrária de Moçambique (IIAM), e foi organizado em tabelas Excel em formato CSV (comma-separated-values) que é de fácil leitura e análise dos SIG e plataformas de Geoestatística.

3.2.1 Preparação dos dados locais da propriedade dos solos

Tratando-se de uma área bastante considerável e pouca disponibilidade de tempo e orçamento para um levantamento de raiz foram usados dados disponíveis mais recentes para a avaliação do carbono em diferentes ecossistemas da bacia, trata-se de dados de levantamentos de perfis de solos realizados no âmbito do zoneamento agroecológico nacional (RURAL CONSULT, 2014) e dados históricos dos perfis de solos, disponíveis no SDB.

As características físicas e químicas foram analisadas em laboratório para análises de solo e planta do departamento de agronomia e recursos naturais do IIAM. A matéria orgânica do solo foi obtida usando o método de Walkley-Black.

O interesse foi na parte superficial dos perfis, isso nos primeiros 30 cm, que se assume que é a parte que se encontra sobre a interação direita dos fenômenos e da ação antrópica, porque é onde a maioria das atividades biológicas ocorre portanto, onde o carbono do solo e os efeitos direitos sobre o solo é armazenada (GESSLER *et al*., 2000ª apud CAMBULE, 2013).

Com objetivo de complementar os perfis disponíveis e obter pares de pontos confiáveis para a validação dos resultados foi feito uma escolha aleatória de 20% de todas as amostras para o processo de validação do modelo, sendo que ela foi direcionada dentro 9 unidades de compartimentação ambiental da bacia e foram isolados dos restantes para o uso posterior. Parte dos perfis representativos dos solos da bacia encontra-se representados na tabela 9, do universo de 118 perfis distribuídos pelas diferentes unidades de solos e ecossistemas.

Deve-se salientar que essa é uma parte dos dados estimados no laboratório de IIAM, que inclui outros parâmetros importantes para a classificação e avaliação dos solos, como os casos do PH, sódio, Zinco, Magnésio, fosforo, cálcio, potássio, etc. uma parte dos pontos de amostragem de solos na profundidade 0 – 30cm é apresentado na tabela 1.

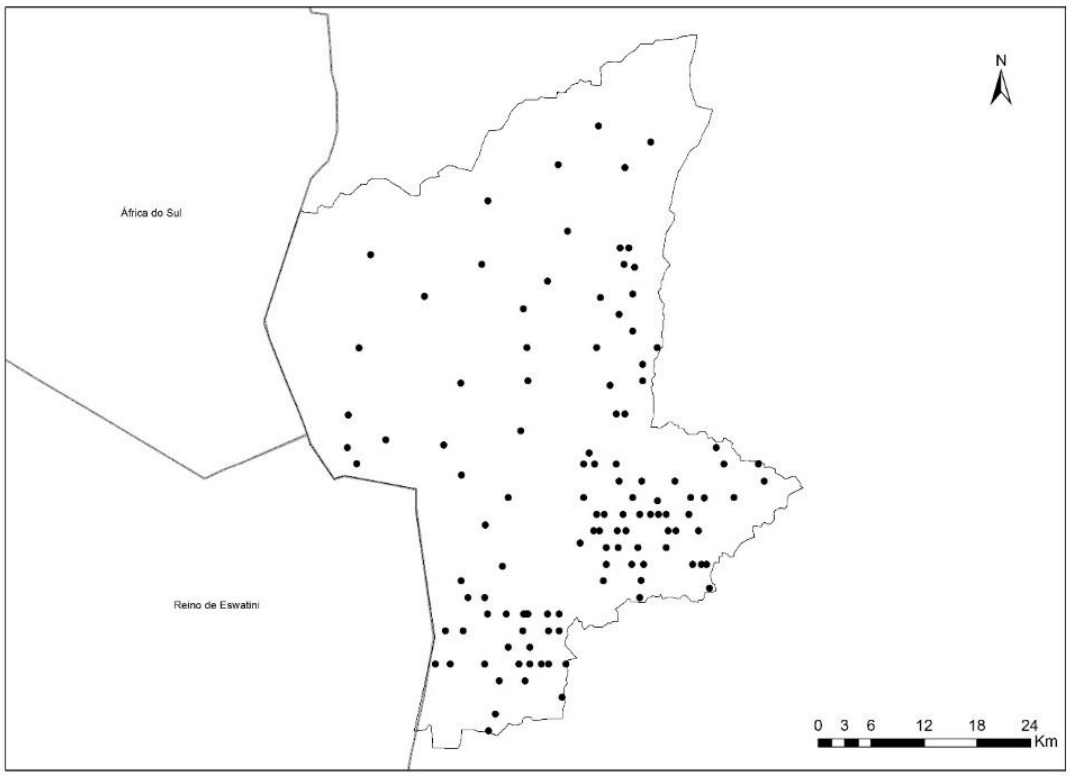
Tabela 1: Parte dos perfis estimados no laboratório do IIAM, e parte dos parâmetros dos solos.

Profile		Latitude	Longitude	Ca	Na	PH	MO	Sand	Silt	Clay
MA0342		-26.0847	32.319	0.8	0	6	0.28	87	3	11
MN0176		-26.1356	32.197	2.2	0.1	6.5	0.88	68	14	19
MA0216		-26.0678	32.342	3.15	0.25	6.45	0.88	70	8.5	21.5
MA0220		-26.1186	32.315	0.5	0.1	6.1	0.89	85.3	3	11.7
MN0170		-26.1525	32.196	1.2	0	6.1	1.05	76	8	16
MA0103		-25.8642	32.333	-1	-1	6.87	1.07	0	0	0
MA0101		-25.8472	32.308	-1	-1	6.87	1.07	0	0	0

Fonte: SDB – IIAM, 2018.

Os pontos de amostras recolhidas no SDB e que correspondem a área em estudo são exibidas na figura 5.

Figura 5: locais de amostragem de solos na BHRU



Fonte: elaborado pelo autor, 2020.

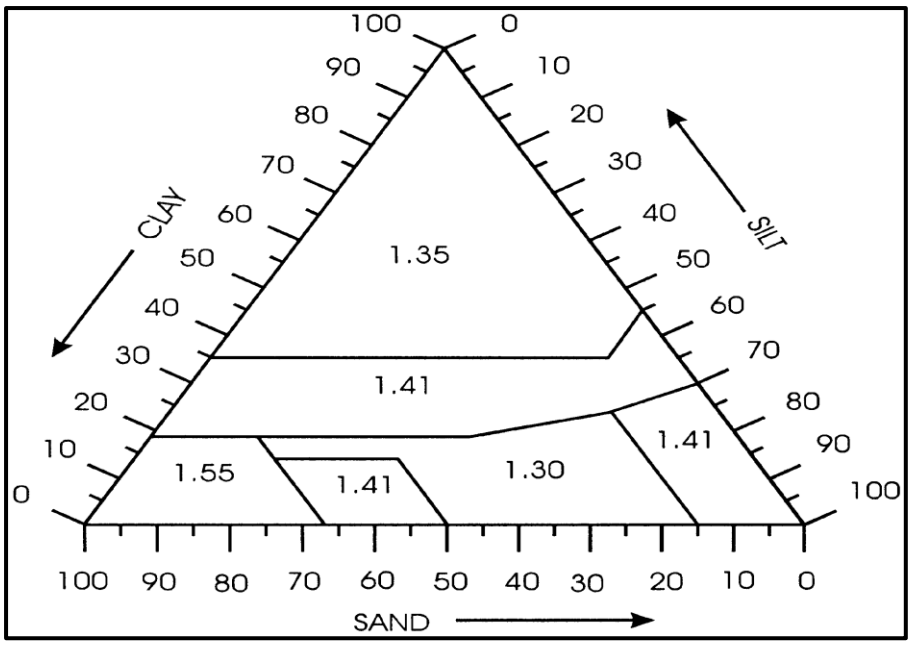
3.2.2 Densidade aparente

Para a obtenção dos dados pontuais necessários para a estimação dos estoques de carbonos dos solos, incluía a transformação de matéria orgânica em Carbono Orgânico de Solo (COS) a estimativa da densidade aparente (DA) do solo que não fazia parte dos dados disponíveis na base de dados foi alcançada através de funções de transformação Pedológica conhecidos como (Pedo-transfer functions-PTFs), que é basicamente a estimação e preenchimento de lacunas de dados existentes, para a inferência de outras variáveis em estudo (ABDELBAKI, 2016).

A determinação da densidade foi feita com o recurso a equação proposta por Honeysett e Ratkowsky (1989), pelo fato de ter se mostrado o valor médio de todas as outras PTF’s aplicados para a estimação em solos minerais e ainda incorporar outros dois elementos da textura, a percentagem da areia e argila, o que aumenta o grau de precisão dos dados obtidos,

mesmo. É possível verificar a proximidade dos valores obtidos analisando as médias da densidade aparente que é de 1.45 g/m^3, com a figura 6 da densidade em relação à classe de textura de solos.

Figura 6: Densidade aparente da fração mineral do solo (g/m3) por classe de textura.



Fonte: Adaptado de Boon (1984) apud Lettens at al (2004).

A variação real entre às cinco equações testadas não ultrapassa os 0.02 g/cm^3, o que indica que apresentam valores bem próximos uma das outras, mesmo que não usem os mesmos parâmetros para a estimação da densidade. Os intervalos médios da densidade aparentem encontrada através do cálculo pelo processo de PTF's ela é bastante consistente a dados divulgados pelo EUROCONSULT (1989), no estudo das áreas similares a este ambiente para as classes de textura do solo arenoso, argiloso e sub influência da rocha basáltica.

É possível verificar a proximidade dos valores obtidos analisando as médias da densidade aparente que é de 1,45 g/m^3, exposto na figura 6 da densidade em relação a classe de textura de solos.

3.2.3 Mapas temáticos

Os mapas gerados partir de dados cartográficos já disponíveis de diferentes órgãos governamentais, agencias privadas e outras fontes oficiais com a devida referência.

Todos os resultados gerados a partir dos mapas e cartas temáticos são apresentados em seguida. Apontando que todos eles foram sistematizados numa escala de trabalho de 1:250.000, que correspondia a escala possível para todos os itens necessários para a pesquisa.

Os mapas de partida como a localização da área de estudo e delimitação da mesma foi gerada como o recurso as cartas topográficas fornecidas pela Direção Nacional de Geografia e Cadastro (DINAGECA), que é a responsável pela cartografia geral do país, disponíveis na escala de 1:250.0000 no seguinte endereço eletrônico http://www.cenacarta.com.

Os dados dos solos constantes nessa pesquisa foram gerados com base nos levantamentos pedológicos do Instituto Nacional de Investigação Agronômica (INIA, 1993), na escala de 1:250.000, que cobrem a região sul do país, precisamente as províncias de Maputo, Gaza e os mapas do Zoneamento Agroecológico Nacional (ZAE) realizado pela Rural Consult-RMSI-IUCN, (2010 - 2014).

O uso e cobertura do solo, foi adaptado a partir dos mapas produzidos no âmbito do ZAE para a província de Maputo. Enquanto a geologia foi compilada com o recurso ao mapa da geologia produzido pela GTK Consortium (2006), das folhas 2032 – 2632 da província de Maputo.

3.3 Aquisição e processamento de imagens de satélite

A análise integrada é implícita no que se refere a um olhar conjunto de todas as variáveis que possam de uma forma condicionar o fenômeno em estudo.

As variáveis para a materialização da pesquisa foram sistematizadas a partir de diversas fontes, como mapas temáticos disponibilizadas por inúmeras instituições públicas e privadas que trabalham com os referidos temas, mas também existem variáveis que foram produzidos com recorrência a imagens de satélites, como os casos do índice de normalizado de vegetação (NDVI), dados climáticos obtidos através de WorlCLim e de uso e cobertura de solos da Globaland cover.

O NDVI foi gerado com o recurso a “software” ENVI versão 4.7, com o recurso as bandas 5 e 4 da imagem Landsat 8/OLI de 02/2018 e 07/2018 das cenas 168 linhas 078, representando as estações chuvosas e secas e foi calculado para os períodos secos e húmidos.

As imagens do Landsat 8/OLI foram adquiridas no site da United State Geologicaly Survey (USGS), que fornece alguns produtos orbitais de forma gratuita no seguinte endereço (https://glovis.usgs.gov/app).

Ainda no mesmo endereço da USGS foi adquirido uma imagem do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) na resolução de 30 m, que foi utilizado para gerar produtos como a inclinação, o índice de umidade topográfico (TWI) e altimetria ou DEM (Digital Elevation Model) com o recurso a ArcGIS 10.4.1.

O DEM neste caso representou o mapa hispsometrico da área, o que definiu as unidades geomorfológicos representados em intervalos altímetricos de 100 m.

Nos dados adquiridos com recursos a imagens de satélites constam ainda os dados climáticos, através do banco de dados da WorlCLim, no seguinte endereço (https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html). Os dados climáticos gerados pela interpolação dos dados mensais médios das estações meteorológicas em uma grade de resolução de 30 segundos de arco o que corresponde cerca de $1Km^2$ de resolução, e ela inclui valores históricos da precipitação média acumulada mensal e temperaturas medias mensais no intervalo de 1970 a 2000 (FICK *et al*., 2017).

As imagens obtidas pelo Globaland Cover estão na resolução espacial de 30 m disponível em seguintes endereços e http://www.globallandcover.com/home_en.html.

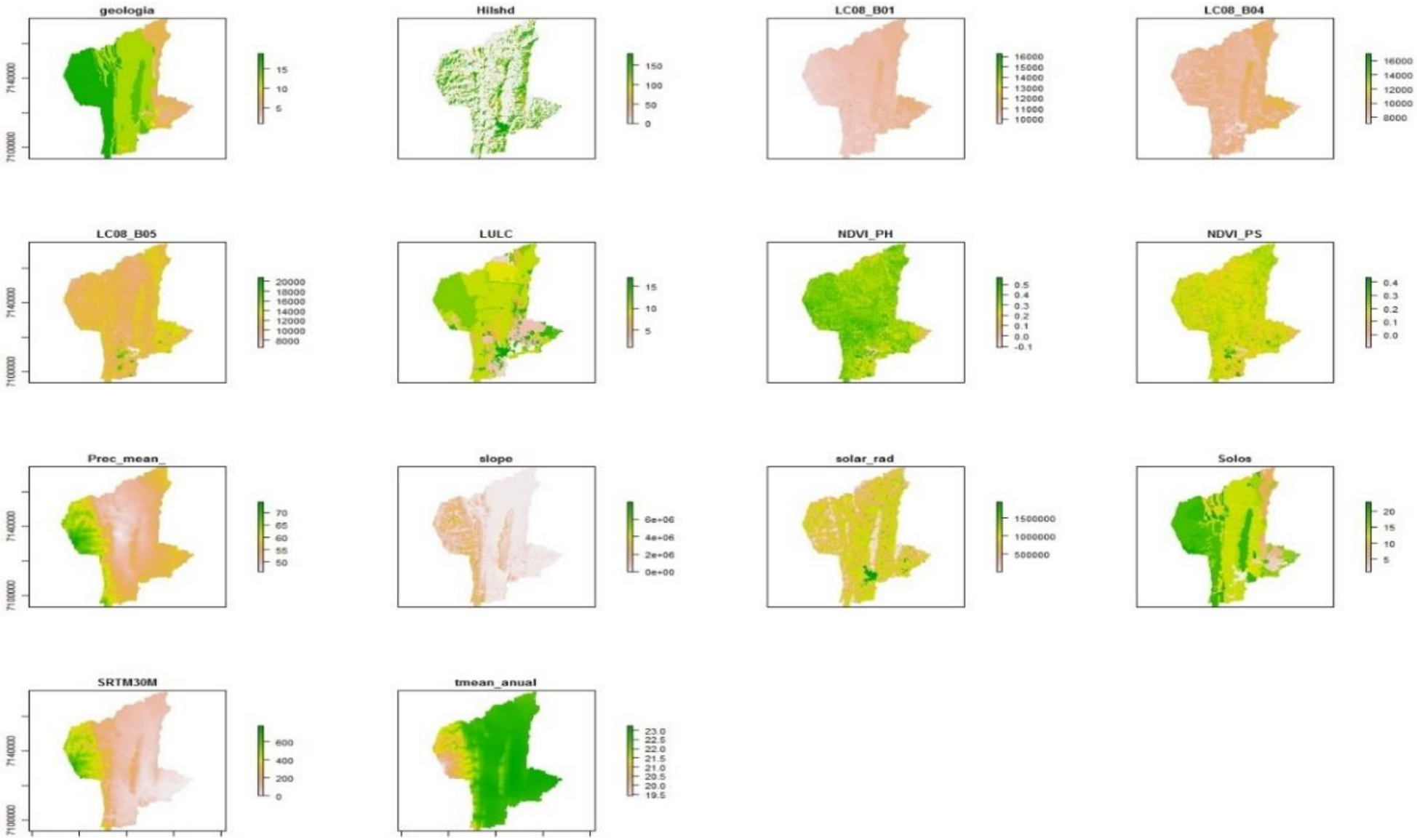
3.4 Análise e classificação

A escolha das variáveis ambientais para a calibração do modelo, se baseou no possível grau de importância que esses tinham na formação e definição das dinâmicas das paisagens, tanto naturais como antropogênicas, sendo selecionadas um total de 14 variáveis.

Foi definido uma resolução espacial de 30 m para todas as variáveis, que era a menor de todas as variáveis usados para a modulação, isso inclui os mapas que foram transformadas em dados matrizes como os casos de solos, uso e cobertura dos solos e as unidades ambientais. A transformação de todos os mapas de entrada na mesma resolução espacial e no empilhamento dos mapas em camada de modo a facilitar a sua interação com os dados pontuais.

Portanto, todas as variáveis foram empilhadas e analisadas de uma forma conjunta de modo a estudar as relações entre elas e o fenômeno em análise. Uma parte das variáveis ambientais e antropogênicos que foram usadas na calibração do modelo para a estimação de carbonos nos solos em diferentes ambientes estão representados na figura 7.

Figura 7: Variáveis ambientais e antropogênicos aplicadas na calibração do modelo para estimação dos estoques de carbono do solo.



Fonte: elaborado pelo autor, 2020.

Legenda das variáveis da esquerda à direita e de cima para baixo: Geologia, Hillshade, Banda 1 de Landsat 8, banda 4 de Landast 8, banda 5 de Landast 8 land use e Land cover, NDVI período úmido, NDVI período seco, precipitação média de 1970 a 2000, Slope, Radiação solar, unidades de solos, Modelo digital de elevação (SRTM30M) e temperatura média anual (1970 a 2000).

Apresentado as 14 variáveis que foram tomadas em conta para a elaboração do modelo explicativo e das possíveis relações entre as variáveis na dinâmica do carbono do solo dentro da Bacia Hidrográfica do Rio Umbelúzi.

Para a estimação e análise espacial do carbono do solo na bacia hidrográfica foi usado a técnica de mapeamento digital do solo (DSM), que é a criação e a estimação das características do mesmo através de sistemas de informação, com uso de modelos numéricos que inferem as variações espaciais e temporais dos tipos e propriedades do solo a partir da observação e do conhecimento de variáveis ambientais relacionadas (MCBRATNEY *et al*., 2016; apud MALONE *et al*., 2017).

Segundo Wiesmeier *et al*. (2011) apud Jenny (1941), a suposição básica do DSM é que o desenvolvimento do solo é uma função do clima, organismos, topografia, material parental e tempo. A premissa básica por trás de todo mapeamento digital do solo, é dado um conjunto de amostras do solo e um modelo adequado, podemos fazer previsões em locais não amostrados (MALONE, *et al*., 2011). Essa previsão só é possível com o uso de técnicas estatísticas aliadas ao fator geoespacial das nossas amostras.

3.5 Mapeamento integrado

Os mapas de carbono são o resultado da integração de todos os outros elementos analisados, como os casos do uso e cobertura, da pedologia, da hipsometria, mapas de vigor vegetal (derivados do índice espectral Normalized Difference Vegetation Index-NDVI) (ROUSE *et al*., 1984), geologia, clima e outros.

A espacialização do carbono na bacia foi feita com o recurso aos modelos matemáticos, através de técnicas de mapeamento digital dos solos, que se baseia no uso de inferência estatística para estimar os valores de locais desconhecidos, estabelecendo ligações entre fatores naturais e antropogênicos, que tentam simular a realidade do terreno para oferecer as melhores possibilidades de modo que os resultados estejam próximos da realidade local. Neste caso o uso da técnica de mapeamento digital do solo (DSM), foi uma das ferramentas para o alcance do objetivo central da pesquisa.

3.5.1 Compartimentação das unidades geoambientais

A compartimentação das unidades geoambientais da Bacia Hidrográfica do Rio Umbelúzi foi organizada de princípio, seguindo critérios geomorfológicos e geológicos, agrupadas por características homogêneas das propriedades naturais e de funcionamento da paisagem e a atividade humana que está associada de forma direta nas unidades de nível local, as quais servem de base para a exploração dos recursos como meio de subsistência (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2013).

A escala de análise das unidades e da bacia na sua generalidade foi definida em (1:150.000), que corresponde as escalas propostas para estudos ambientais regionais, nesse caso de um território de uma bacia hidrográfica. Por se tratar de uma área de dimensões regionais mais amplos e em virtude da indisponibilidade de material cartográfico abaixo da escala de 1:250.000, excetuando a unidades de solos que pode ser encontrada na escala de 1:50.000 até a nível local de 1:15.000 viradas a certas áreas de interesse.

3.5.2 Floresta aleatória (Random Forest –RF)

Para a estimação dos teores de carbono no solo, foi realizada recorrendo a técnicas estatísticas de que se baseiam na localização geográfica e a dependência espacial. A necessidade de obter um resultado fiel e fiável, foi realizado o teste t de Person com o objetivo de auferir a real relação entre as variáveis explicativas e como isso afeta a variação do carbono e a forma como se relaciona com paisagem.

Nesse estudo foi feito a análise baseada em um modelo conhecido como floresta aleatória (Random Forest-RF), que é basicamente um conjunto de nós de tomada de decisão que vai descendo em formas de árvores com caule e consequentemente criando galhos e folhas de forma a chegar a melhor decisão (YIGINI *et al*., 2018).

Segundo Wiesmeier *et al*., 2011, o RF é um modelo baseado em CART[2], pós os pressupostos dos dois modelos se assemelham, apenas deferido na quantidade de árvores construídas, que é bastante ampla no caso da RF o que resulta em uma floresta de modelos.

A CART (análise da Árvore de Classificação e Regressão) é uma técnica não paramétrica de mineração de dados que pode lidar com relacionamentos não lineares e não

[2] CART - Classification and Regression Tree analysis.

aditivos, como uso de subdivisões continua do conjunto de dados de modo a explorar as relações entre as variáveis de resposta e o predito (WIESMEIER *et al*., 2011).

A RF foi realizada com auxílio do software livre de natureza geoestatística, o R versão 4.1, incorporado no R Studio versão 1.2.5042. Foi executado com recurso a um algoritmo que vai desde a organização dos dados, definição do modelo a validação do modelo.

Foram estabelecidos um número de interações de 1000, o que equivale dizer 1000 árvores de sequência de decisão. O coeficiente de determinação (R^2) foi considerado para a análise dos resultados, pois possibilita ter uma noção até que ponto a nossa variável dependente é explicada pelas variáveis explanatórias.

A validação do modelo foi calculada com recurso a 20% da amostragem o que corresponde a 24 pontos, através de estimação de diferentes erros para os diferentes estoques elementares medidos e previstos.

Foram feitas as análises das diferentes categorias de medidores de erros para avaliar o nível de exatidão do mapa, como os casos do Erro Médio Quadrático (MSE na sigla em inglês), que representa ao quadrado dos erros esperados nos valores estimados. Segundo Hallak *et al*. (2011), o MSE é similar ao MAE (Erro Absoluto Médio) que é considerado preciso e robusto, porém mais sensível aos grandes erros, por elevar as diferenças individuais ao quadrado.

Outro parâmetro analisado ainda para a estimação dos erros é a raiz quadrada de MSE, ou Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE em Inglês), e que expressa a acurácia dos resultados numéricos e com a vantagem de apresentar valores do erro nas mesmas dimensões da variável analisada (HALLAK *et al*., 2011).

Equação 3: Erro médio

$$ME = n^{-1} \sum_{i=1}^{n} (z_i - z_i^*)$$

Equação 4: Raiz do Erro Quadrático Médio

$$RMSE = \sqrt{n^{-1} \sum_{i=1}^{n} (z_i - z_i^*)^2}$$

Onde z_i^* é o estoque elementar previsto, o ME indica se a previsão é tendenciosa, enquanto o RMSE mede a precisão das previsões. Formam calculadas também o MSE, porcentagem de Variância explicada e coeficiente de correlação (R^2) (WIESMEIER *et al*., 2010).

3.6 Fase da validação e análise dos resultados

Ocupou-se da validação dos resultados da pesquisa através dos trabalhos de campo e análise dos resultados. Tendo como suporte dos dados de entrada e a relação com o mapeamento integrado do qual se deriva o mapa da dinâmica do carbono do solo.

Com o objetivo de medir o peso da relação entre as variáveis explanatórias (ambientais) e a dinâmica do carbono do solo foi feito o teste de autocorrelação espacial, recorrendo aos resíduos normalizados do modelo da regressão.

Foram também computadas as estatísticas descritivas da população usada no desenho do modelo de previsão dos estoques de carbono nos solos e os respetivos pontos para a validação do mesmo.

4 CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA DE MOÇAMBIQUE

Moçambique é um país da costa oriental de África, com uma superfície espacial de 786.380 Km2, que são somados aos cerca de 13000 Km2 ocupados pelas águas interiores perfazendo um total de 799380 Km,2 dentro da placa continental africana, (MUCHANGOS 1999). Conta com uma linha de costa com cerca de 2470 Km sobre o oceano Índico, o que oferece ao país vantagens, na sua localização em relação aos seus vizinhos, sem acesso ao mar no que tange ao comércio internacional. Para além da grande linha de costa, Moçambique partilha uma grande fronteira terrestre com 6 países da região Austral de África membros da SADC[3], a norte com a República da Tanzânia, a sul com a África do Sul e o reino de Eswatini[4] (Suazilândia) e a oeste com a República de Malawi, Zimbabwe e Zâmbia.

Segundo Muchangos (1999), a área soberana total de Moçambique é de 919380 Km^2, essa estimativa é baseada na soma de todas as plataformas terrestre e aquáticas incluindo a parte marinha da costa Moçambicana, veja a tabela 2.

[3] SADC - Southern African Development Community, Comunidade para o Desenvolvimento da África Austral, é uma organização intergovernamental criada em 1992 e dedicada à cooperação e integração socioeconômica, bem como à cooperação em matérias de política e segurança, dos países da África Austral.

[4] Em abril de 2018 o rei da Suazi anunciou a mudança de nome do país para o antigo antes da chegada dos colonizadores ingleses “Eswatini”, nome de origem banto que significa Terra dos Suazi.

Tabela 2: Valores absolutos e relativos da superfície do território Moçambicano

Superfície	Área (Km^2)	% do total
Terra firme	786.38	85.53
Águas interiores	13	1.42
Superfície Marinha	120	13.05
Total	**919.38**	**100**

Fonte: Adaptado de Muchangos (1999).

Moçambique é administrado a partir de um sistema presidencialista desde a independência nacional em 1975 que se orientou numa abordagem socialista marxista com enfoque no mono partidarismo até 1992. Com assinatura dos acordos de paz e aceitação da pluralidade partidária se permitiu a realização das primeiras eleições gerais e multipartidárias do país, sem fugir da matriz presidencialista assumido desde a independência[5] do país.

Tem uma organização administrativa baseada numa hierarquia em escalões sendo os quatro níveis mais importantes os seguintes, província, distrito, posto administrativo e localidade. Nesta ordem, o país é composto por 11 províncias, incluindo a cidade de Maputo que tem a categoria de uma província, e sendo a mais diminuta espacialmente com apenas 602 Km^2.

O país tem vindo a sofrer reformas administrativas como a requalificação territorial, foi nesta vertente que o país aumentou o número de distritos de 128 em 2012 para 154[6] distritos para conferir melhor governabilidade do país. O enquadramento territorial de Moçambique no continente Africano é ilustrado pelo mapa 2, apresentado a seguir.

[5] O país alcançou a sua independência em junho de 1975, proclamada no dia 25.
[6] Lei 26/2013, de 18 de Dezembro, Artigo 3.

Mapa 2: Contexto geográfico de Moçambique

Fonte: DINAGECA,1995.

Universidade Federal do Ceará
Departamento de Geografia
Programa de Pós-Graduação em Geografia

CARBONO NO SOLO E CORRELAÇÕES COM A DINÂMICA DA PAISAGEM: CONTRIBUIÇÃO PARA O PLANEJAMENTO E GESTÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO UMBELÚZI - MOÇAMBIQUE

Autor: Orlando Inácio Jalane
Orientador: Prof. Dr. Edson Vicente da Silva
Co- orientador: Prof. Dr. Carlos Henrique Sopchaki

Mapa 2: CONTEXTO GEOGRÁFICO DE MOÇAMBIQUE

CONTINENTE AFRICANO

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Capital do país
- Capitais Provinciais
- Estrada Principal
- Estradas Secundárias
- Estradas Terciarias
- Ferrovia
- Corpos de Agua

INFORMAÇÕES CARTOGRAFICAS

Sistema de Projeção: Moznet
Elpsoide: Clark 1866
Datum: WGS84
Merdiano Central: 33

ESCALA

0 60 120 240 360 480 Km

4.1 Retrospectiva histórica

A retrospectiva histórica é uma tentativa de enquadramento a história de Moçambique que não de domínio de muitos. Conhecendo aos aspectos históricos de uma sociedade, guia-nos pelos caminhos percorridos em busca de uma sociedade justa e sustentável.

4.1.1 Antes da Colônia

O atual território designado de Moçambique, foi outrora um conjunto de pequenos reinos constituídos por povos provenientes da região Central de África, precisamente dos Grandes Lagos, isso nos séculos III e IV n.e. vindos através das planícies costeiras da África Oriental e pelos planaltos do Zimbabué. Esses povos denominados de Bantos ocuparam a região Austral de África no processo de expansão dos seus territórios e na procura de terras férteis para a prática de agricultura, feito alcançado pelo domínio da tecnologia de ferro. Este processo de expansão e ocupação de novos territórios coincidiu em alguns casos com terras ocupadas pelos Khoi-Khoi e os San (Khoisan),[7] que foram afastados mais para o interior e outros se integraram dentro das estruturas sociais dos povos bantos.

Foi com estabelecimento destes, na Região Oriental de África, que por volta do século X, que surgem os primeiros estados bantos, como o caso do estado do Zimbabwe e mais tarde o estado Monomotapa, de 1425 a 1884. Esses antigos reinos viviam na base da produção agrária e da atividade comercial, com os comerciantes árabes e indianos, que já haviam descoberto as rotas para o comércio junto a costa africana desde o século VIII. Os árabes comercializavam ao longo da costa moçambicana desde pelo menos o século IX, cerca de 500 anos antes da primeira chegada dos portugueses (HATTON *et al*., 2001).

O comércio entre os mercadores árabes e indianos com os reinos africanos tinham a sua grande base em Sofala, sendo que o comércio de marfim e ouro constituíam as mercadorias de interesse dos comerciantes árabes, e contrapartida estes traziam tecidos e roupas da Índia. O comércio se desenvolveu até a chegada dos primeiros colonos portugueses, depois da missão de Vasco da Gama que atracou pela primeira vez na costa moçambicana em 1498, na tentativa de descobrir o caminho marítimo em direção a Índia. Com tentativa de fixação

[7] Nome como são chamados os povos pastores e coletores, que presumivelmente foram os primeiros habitantes da região oriental de África incluindo Moçambique.

portuguesa no território e na busca de controle do comércio, desencadeou conflitos com os comerciantes árabes no início de 1506.

4.1.2 Moçambique Colônia

Os processos para a ocupação efetiva de Moçambique começam em 1520, com a tentativa portuguesa de ocupação das terras do reino Karanga do Monomotapa,[8] para o controle das minas de ouro. O verdadeiro controle efetivo de Moçambique por parte de Portugal só se efetivou no início do século XX, visto que durante uma grande parte da presença portuguesa foi feita através prazeiros ou das concessões às companhias estrangeiras. Além da falta de capacidade administrativa total da Colônia moçambicana, Portugal enfrentou grandes resistências à sua penetração por parte de vários reinos estabelecidos que se encontravam estabelecidos no território. Após a subjugação dos reinos africanos, os colonos mostraram não ter capacidade para administrar o território, Hatton (op.cit.), citando Newitt (1995) relata esse período da entrega do poder administrativo:

> "Nos séculos XVII e XVIII, o controle estatal português sobre a maior parte do interior de Moçambique era fraco ou inexistente, embora eles conseguissem conquistar os reinos de Karanga no interior do país, ao sul do rio Zambeze".

O controle e a administração de fato durante esse período, caíram para poderosas famílias afro-portuguesas (mestiças) que deveriam dominar os assuntos de Moçambique até o final do século XIX. Mais tarde foi usada a estratégia de concessão dos territórios às companhias majestáticas, que detinham o poder produtivo e administrativo, como os casos da Companhia do Niassa nas províncias de Niassa e Cabo Delegado, a Companhia de Moçambique na Região Centro de Moçambique (Tete, Manica, Zambézia e Sofala), enquanto no sul estabelecia uma administração direta portuguesa.

---

[8] O Império Monomotapa (também escrito Mwenemutapa, Muenemutapa, ou ainda Monomatapa, que era o título do seu chefe) foi um império que floresceu entre os séculos XV e XVIII na região sul do rio Zambeze, entre o planalto do Zimbábue e o Oceano Índico, com extensões provavelmente até ao rio Limpopo.

4.1.3 Moçambique Pós-independência

O país alcançou a independência nacional em junho de 1975, depois da queda do regime Salazarista em Portugal em 1974, após uma guerra de libertação nacional encabeçada pela FRELIMO[9], fato este que impulsionou as independências das ex-colônias portuguesas em África.

No rescaldo do golpe militar de 25 de abril de 1974, Moçambique dá os primeiros passos para a independência com a formação de um governo de transição chefiado por Joaquim Chissano. O país torna-se independente em 25 de junho de 1975 e Samora Machel assume a Presidência da República, IPCE (2005). Este período foi caracterizado por definição das ideologias políticas por parte dos partidos libertadores, tendo sido o marxismo-socialismo abraçado em Moçambique e Angola, às duas maiores colônias portuguesas em África.

O período pós-independência foi seguido de grandes transformações socias e econômicas, tais como as nacionalizações a adoção do sistema de partido único, fatos que foram precedidos por grandes revoltas internas e o surgimento de movimentos de contestações que levaram as guerras civis tanto em Moçambique como em Angola. A guerra civil moçambicana se deu de 1977 a 1992, finalizando com a assinatura do Acordo Geral de Paz (AGP), em Roma na Itália entre os partidos beligerantes a FRELIMO e a RENAMO[10].

Durante esse período de confronto, o país esteve mergulhado em uma sangrenta guerra civil que paralisou a economia nacional e levou a um desastre humanitário, fato que obrigou a FRELIMO em 1988 a mudar a sua ideologia marxista e se abrir para o Ocidente, a partir das suas instituições como o FMI (Fundo Monetário Internacional) e o Banco Mundial, em busca de apoios financeiros para o programa de reformas macroeconómicas.

---

[9] A FRELIMO (Frente de Libertação de Moçambique) foi constituída em 25 de Junho de 1962, na Tanzânia, durante uma reunião da CONCP, pela junção da UDENAMO, MANU e UNAMI com o objetivo de lutar pela independência de Moçambique do domínio colonial português.

[10] RENAMO - Resistência Nacional Moçambicana criada em 1977 na Rodésia do Sul, atual Zimbabué patrocinado pelo regime imperialista de Ian Smith.

4.2 Contexto Físico Natural de Moçambique

No contexto natural, apresentam-se os aspectos físicos naturais de Moçambique, para que ajudem a entender a inserção da Bacia Hidrográfica do Rio Umbelúzi, nas condições fisiograficas da região sul do país, como parte integrante da grande região da África Oriental.

4.2.1 Domínio paisagístico de Moçambique

Segundo Muchangos (1999), a sua grande extensão em latitude, permite que dessa forma, Moçambique, como país atravesse três grandes regiões africanas, a Região Austral de África a África Central e a Oriental, essa disposição favorece a uma riqueza paisagística e cenários geográficos diversos.

As características geomorfológicas, são de uma maneira geral, as do rebordo oriental do continente africano, onde se distingue uma faixa montanhosa que desce em degraus aplanados até a planície litoral conforme Muchangos (1999).

4.2.1.1 Domínio das Planícies

As planícies ocupam cerca de 1/3 da área total do território moçambicano, com cerca de 250 mil km^2. As planícies se orientam ao longo da zona costeira numa faixa estreita entre a foz do rio Rovuma até ao delta do rio Zambeze, onde começa a ganhar tendência de abertura à medida que vai ao sul do país até à Ponta de Ouro, onde chega a ocupar a totalidade do território a baixo do rio Save, à chamada grande planície moçambicana (MUCHANGOS, 1999; IEDA, 2012). A maior extensão encontra-se nas províncias de Sofala, Inhambane e Gaza, tornando se cada vez mais estreita a medida que se desloca para o norte.

Em termos hipsométricos, a planície moçambicana é muito homogéneo, sem grandes flutuações: a altitude não ultrapassa os 200 m, mas distinguem-se 2 faixas, designadamente uma no litoral tendo como máximo 100 m de altitude e outra a seguir a esta varia de 100 a 200 m.

Ainda existem as chamadas planícies depressionárias que se estendem ao longo dos vales dos principais rios, acabando por receber o nome das respectivas bacias hidrográficas, e elas geralmente assumem o nome, são os casos das planícies: planície do Incomáti, Planície do Limpopo, Planície do Limpopo, Planície do Save, Planície do Búzi, Planície do Lúrio, Planície do Lugela, Planície do Messalo e Planície do Zambeze.

As planícies depressionárias, representam a grande parte de terra explorada para agricultura, onde estão instalados os sistemas de irrigação do país aliado a disponibilidade de terras aráveis. Grande parte da população camponesa está concentrada nessas áreas, ficando sujeito aos eventos cíclicos das cheias que acontece em cada período chuvoso no país. Representando desafios para os setores de combate as calamidades naturais em Moçambique.

4.2.1.2 Domínio dos Planaltos

Os planaltos ocupam a maior parte do território nacional com cerca de 51% de toda a superfície do país, eles se desenvolvem em superfícies aplanadas de altitudes, com variação dos 200 a 1000 m, com estágios de desenvolvimento diferenciados, por isso é possível distingui-los segundo Muchangos (1999).

Na realidade, distingue-se em Moçambique, duas superfícies planálticas, que correspondem às duas superfícies pediplanicas talhadas em rochas metamórficas. A primeira, cujas altitudes variam entre 200 e 600 m, é designada por planaltos médios, está melhor representada ao norte do paralelo de 17º Sul. A segunda, designada por altiplanaltica, as altitudes são superiores a 600 m. A sua maior dispersão verifica-se no Norte e Centro do país sobretudo nas províncias de Niassa, Nampula, Zambézia, Tete e Manica.

Segundo o IPCE[11] (2005), os planaltos de Moçambique podem ser divididos em Zona de Planaltos Médios e Zona dos Altiplanaltos. Os planaltos médios estariam entre os 200 e os 500 metros de altitude, sendo que a sua zona engloba cerca de 17% do território e dela se destacam os Planaltos de Macondes, Nampula, Cheringoma, Maringué e Machaze e o sopé dos Libombos, onde pululam os inselbergues. Os antiplanaltos estão compreendidos entre os 500 e os 1000 metros de altitude, constituem cerca de 26% do território. Ao sul representa apenas uma pequena área dos Grandes Libombos, a sua larga extensão é representada nas áreas de Manica-Chimoio-Mungari, Milange-Malema-Mandinba-Marrupa e em retalhos a norte da linha definida por Zobué-Zumbo.

[11] Instituto Português da Conjuntura Estratégica

4.2.1.3 Montanhas e Depressões

As montanhas e as depressões representam a outra forma de relevo, formando paisagens naturais únicas. As zonas montanhosas são consideradas a partir dos 1000 metros de altitude, podendo ser encontradas em Moçambique, há cerca de 13% do território com essas características.

Em Moçambique as regiões montanhosas não constituem relevos uniformes, apresentam uma dispersão em manchas, onde pode-se destacar as áreas de Cobué, Maniamba, Lichinga, Gurue, Angónia, Manica, Macanga, Gorongosa e Libombos.

As principais formações são encontradas nas regiões Centro e Norte do país, com destaques para as cadeias de Chimanimani em Manica, onde se localiza o pico mais elevado do país (Monte Binga 2.436 m). Na província da Zambézia, se destacam a cadeia dos montes Namúli, onde se encontra o segundo pico mais elevado do país. Mais a Norte está a cadeia Maniamba-Amaramba,

Cortada pelo rio Lugenda encontra-se a cadeia que constitui "*The Livingstone – Nyassa Highlands*". Não menos importante se encontra ainda na região central do país uma cadeia montanhosa oriunda das falhas do grande *rift* vale. É o caso da cadeia montanhosa da Gorogosa na província central de Sofala, pode-se referir aos conjuntos de elevações nas províncias de Niassa e Tete que completam as regiões de relevo elevado.

As depressões representam a pequena extensão do território nacional se destacando os vales dos rios sendo o vale do rio Zambeze o mais expressivo e o maior de África Oriental. O relevo rebaixado encontra sua expressão em algumas regiões dos pais, como são os casos das depressões de Niassa na sua maioria de origem tectônicas oriundos de estruturas de falhas, principalmente do grande vale do Rift, onde se destacam os lagos Niassa, Chirua, Chiúta e Amaramba, para além das depressões Chire-Urema e Espungabera. As lagoas constituem uma grande diversidade junto a regiões costeiras das províncias do sul do país (Maputo, Gaza e Inhambane), elas se estabeleceram na sua maioria nas depressões intra-dunares.

4.3 Principais Bacias Hidrográficas de Moçambique

Moçambique pela sua localização junto a costa na Região Oriental de África e pela extensão do seu território de norte ao sul do país se estende desde a latitude 10º 27' Sul a latitude 26º 52' com mais de 2400 km de costa, é atravessado por vários rios vindo dos países a montante e outros nascendo nas serras localizadas no seu interior de altitudes altas, que correm em direção ao Oceano Indico.

O país é drenado por várias bacias hidrográficas identificadas, vindo do planalto da África Central para o Oceano Índico, destes sistemas de rios, poucos nascem em Moçambique, sendo a maioria originária em países vizinhos, Milhano (2008). A maioria deles tem um regime irregular, torrencial, altamente sazonal, com três a quatro meses de caudais elevados, e fluxo reduzido ou quase inexistente durante o resto do ano, correspondendo às estações húmida e seca.

Muchangos (1999), sistematiza e ordena pela sua importância, as bacias hidrográficas que atravessam e drenam o país do norte ao sul, apontando para 25 as principais bacias, dando um maior realce a 18 deles, a destacar de norte em direção sul as seguintes: Rovuma, Messalo, Montepuez, Lúrio, Monapo, Ligonha, Licungo, Zambeze, Pùngué, Búzi, Save, Govuro, Inharrime, Limpopo, Incomati, Umbelúzi, Tembe e Maputo.

Pelo fato de a maioria dos rios que compõem as bacias moçambicanas serem compartilhadas com países vizinhos mais para o interior e influenciado pela fisionomia própria da região Oriental de África, faz com eles sejam direcionados no seu escoamento de oeste a este. Na região Norte do país, encontram-se os rios formando as bacias de natureza exclusivas de Moçambique. As bacias hidrográficas moçambicanas têm os seus caudais influenciados por fatores meteorológicos e não meteorológicos que condicionam os níveis dos rios durante o ano, registrando os máximos na estação chuvosa e sujeitos a cheias cíclicas muitas vezes com efeitos catastróficos durante o período de maior escoamento, os mínimos são observados na estação seca que traz consigo as secas prolongadas com consequências ainda mais graves do que as cheias, Muchangos (1999).

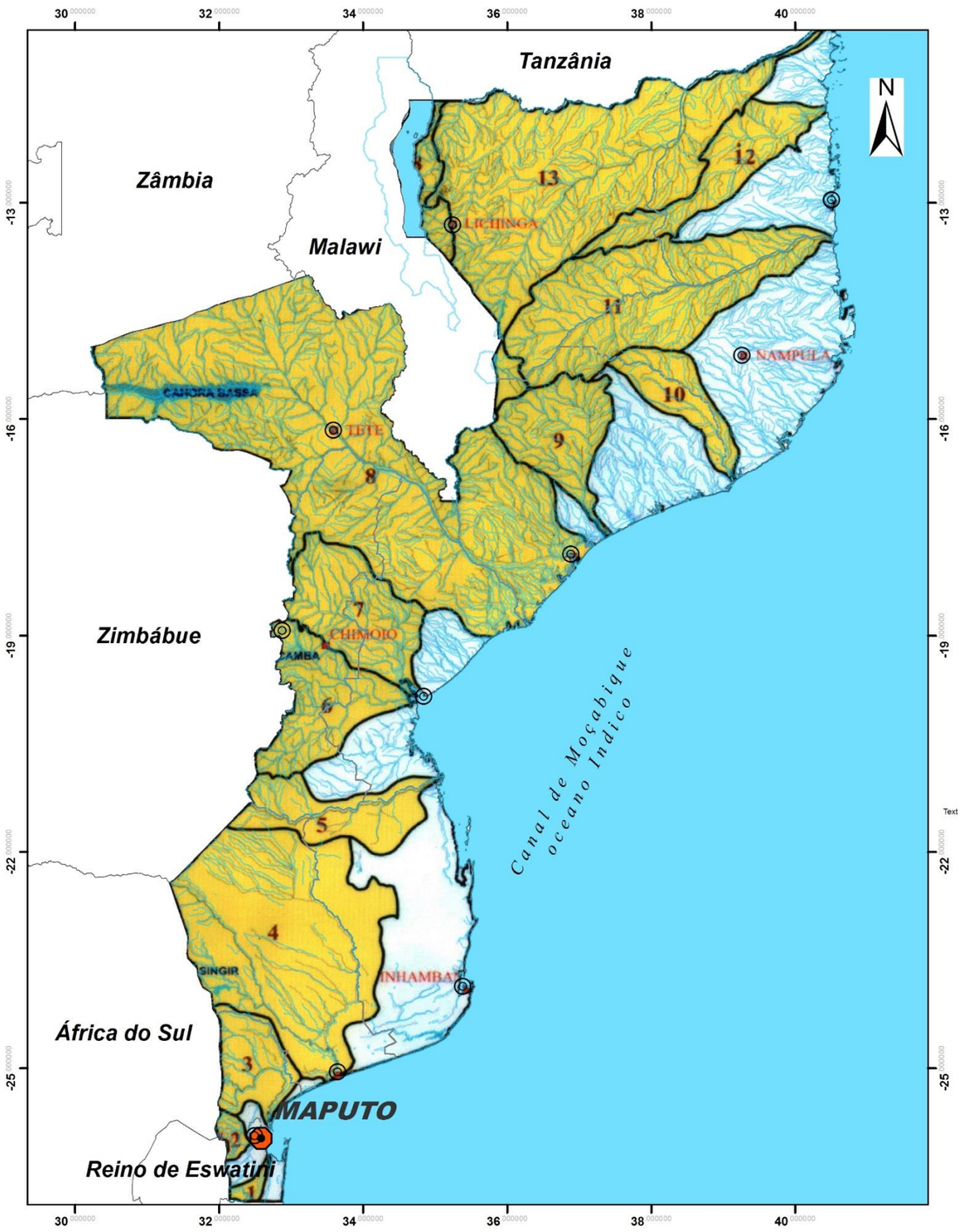
Segundo IPCE (2005) há que destacar apenas cinco como as mais importantes bacias do país, pela sua localização e caraterísticas físicos:

- Limpopo que se extende por 390.000 km^2, nasce no planalto de Witwatersrand, sendo navegável até Xai-Xai (50 km);
- Save com 87.400 km2, nasce em Maranelas no Zimbabué, atravessando o território numa extensão de 270 km;

- Zambeze que se alarga por uma área superior a 1.400.000 km^2, provindo dos Montes Coamba na República Democrática do Congo, a 1600 metros de altitude. Depois de entrar no território moçambicano no Zumbo, estende-se por 850 Km até à foz. É neste rio que está construída a barragem hidroelétrica de Cahora Bassa, permitindo a navegação a embarcações médias por cerca de 420 km;
- Lúrio, nasce no território moçambicano a 1280 m de altitude, no monte Malena, e estende-se ao longo de pouco mais de 1000 Km até ao Índico; praticamente não é navegável;
- Rovuma, que nasce na Tanzânia, planalto de Ungone, e constitui a fronteira setentrional numa extensão de 630 km. É navegável em cerca de 200 km por pequenas embarcações, IPCE (2005).

Estas cinco bacias apresentam caraterísticas distintas, mas com uma certa relevância dentro do território moçambicano, a título de exemplo, o Zambeze alberga a HCB que um dos motores vitais na geração de energia para país e na sua economia e drena a maior área de todas as bacias em solo moçambicano. Já o Limpopo pela sua natureza como rio de planícies e aluviões se desenvolveu o maior sistema de regadio do país, o regadio de Chókwè que serve uma área irrigada total de cerca de 28000 hectares, incluindo 2200 por bombeamento, segundo Samo (2015). As principais bacias hidrográficas de Moçambique estão apresentadas no mapa 3.

Mapa 3: Principais bacias hidrográficas de Moçambique.



Fonte: MOPH, DNA, Mapa de Bacias 1:2.000 000

Universidade Federal do Ceará
Departamento de Geografia
Programa de Pós-Graduação em Geografia

CAPES

CARBONO NO SOLO E CORRELAÇÕES COM A DINÂMICA DA PAISAGEM: CONTRIBUIÇÃO PARA O PLANEJAMENTO E GESTÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO UMBELÚZI - MOÇAMBIQUE

Autor: Orlando Inácio Jalane
Orientador: Prof. Dr. Edson Vicente da Silva
Co- orientador: Prof. Dr. Carlos Henrique Sopchaki

Mapa 3:Principais bacias Hidrográficas de Moçambique

Código	Bacia
1	Maputo
2	Umbelúzi
3	Incomati
4	Limpopo
5	Save
6	Búzi
7	Púngue
8	Zambeze
9	Licungo
10	Ligonha
11	Lúrio
12	Messalo
13	Rovuma

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- capitais Provinciais
- Maputo Capital do país
- Rede Hidrográfica
- Corpos de Agua

INFORMAÇÕES CARTOGRAFICAS

Sistema de Projeção: Moznet
Elpsoide: Clark 1866
Datum: WGS84
Merdiano Central: 33
ESCALA

0 62.5 125 250 375 500 Km

4.4 Contexto socioeconômico atual de Moçambique

Moçambique é um país altamente dependente da agricultura e da exploração mineira e energética, o que coloca desafios enormes ao país, devido à crescente crise e queda dos preços das matérias-primas, nos mercados internacionais. Segundo o WB (2019), Moçambique tem sofrido efeitos adversos na sua economia, devido aos efeitos combinados das calamidades naturais, como foram os casos dos ciclones tropicais IDAI e Kenneth, em 2019, que causaram impactos devastadores no tecido agrícola do país, que se somam aos fatores acima descritos.

4.4.1 População

Como já foi referenciado nesse trabalho sobre Moçambique, a população moçambicana é resultado de união de vários grupos étnicos linguísticos, quase que na sua totalidade de origem Banto, vindo das migrações desses povos da região central de África através das planícies até a região oriental onde dispuseram ou subjugaram Khoisan, povos de caçadores e pastores que ai viviam desde os séculos III a.C.

A história dos censos populacionais em Moçambique, datam desde o sistema colonial, que visava na altura a criação de um mecanismo de controle do imposto de palhota[12] e mão-de-obra para o Xibalo[13].

Após a independência nacional a população moçambicana foi estimada em cerca de 11,85 milhões em 1980 e passou para 16,7 milhões em 1997, no segundo recenseamento geral da população e habitação (RGPH). Isso é, 17 anos depois do primeiro censo geral da população, fato derivado do aumento da instabilidade político e social devido à guerra civil moçambicana que quebrou a periodicidade intervalar de 10 anos. Desde então, os processos censitários no país têm sido realizados de uma forma regular e dentro do intervalo de 10 anos, tendo já se realizados mais dois censos, em 2007 e 2017.

---

[12] No caso das colónias portuguesas, onde a participação do capital público no total do investimento estava então acima dos 60%, diminuir a transferência fiscal para as administrações coloniais tornou-se, como esperado, um objetivo permanente dos capitais metropolitanos. Mas como instalar o aparelho metropolitano de Estado, com os respetivos equipamentos sociais, nos novos territórios sem taxar os lucros que teriam que financiar a despesa pública? Para todas as administrações coloniais, um financiamento alternativo só podia ser encontrado na tributação dos rendimentos não capitalistas das populações que tutelavam, Santos (2013).

[13] Xibalo - regime de trabalho forçado temporário instituído pela administração colonial portuguesa para garantir mão-de-obra barata para a exploração agrícola, construção de infraestruturas, etc.

O IV Recenseamento Geral da População e Habitação (IVRGPH), como é conhecido o censo geral da população de 2017, apresentou um número estimado da população em cerca de 28 milhões, com uma taxa anual de crescimento de cerca de 2.8% segundo o INE (2019). Moçambique apresenta uma das taxas de crescimento populacionais mais altas da África, tem a quarta maior concentração população da SADC, atrás apenas da República Democrática do Congo (DRC), com cerca de 81,1 milhões, Tanzânia 57,34 e da África do Sul com cerca de 56,68 milhões. Dos 28 milhões de habitantes cerca de 52% da população corresponde ao sexo feminino e 48% são do sexo masculino. Nos últimos anos, desde III RGPH tem havido uma conversão lenta da população urbana no país, estimado em cerca de 29,6%. Em 2007 (INE,2008) apresentou um incremento na ordem de 4% passando para os 33,3% da população urbana do país em 2017, no entanto, a população rural continua em maior número, representando cerca de 66,7% e a maioria da população mais pobre de Moçambique (INE,2019). O incremento da população urbana em Moçambique não é acompanhado de políticas urbanas sustentáveis, daí que houve um aumento da pobreza nas cidades, principalmente das grandes cidades do país.

Os níveis de analfabetismo[14] no país continuam bastantes altos em relação à média mundial, em 2017 ainda apresentava uma taxa de 39,3% de analfabetismo, apesar de constituir uma baixa em relação aos 50.4% estimados no censo de 2007. Não obstante, continua bastante elevado em relação à média mundial de 13,8%[15], sendo ela ainda mais concentrada na população feminina do país com cerca de 49,4%, INE (op. cit.) apesar de apresentar uma baixa significativa do censo de 2007 que se situava nos 64.2%. A área rural apresenta os níveis mais elevados de falta de alfabetização, chegando aos 50.7% do universo nacional.

Moçambique como muitos dos países da África, apresenta uma estrutura etária com uma faixa bastante larga na sua base e bastante afunilada no seu topo, o que lhe confere uma população extremante jovem por essa razão demanda muitos investimentos na educação. Os dados do censo de 2017 indicam que 46,6% da população encontra-se na faixa etária dos 0 - 14 anos, 50,1% dos 15 – 64 anos e 3,3% dos 64 ou mais anos, houve uma tendência de alargamento no topo da pirâmide, mas ainda contínua com uma base bastante pesada, INE (2019).

Apesar de um avanço nas condições de vida dos moçambicanos, desde a independência nacional, dificuldades de várias ordens ainda prevalecem atualmente, como os

---

[14] Taxa de Analfabetismo é a percentagem de pessoas com 15 anos e mais de idade que não sabem ler nem escrever (INE,2019).

[15] Mais de três quartos dos 750 milhões de adultos analfabetos do mundo são encontrados no sul da Ásia e na África subsaariana; de todos os adultos analfabetos do mundo, quase dois terços são mulheres (2016) - https://www.cia.gov/library/publications/resources/the-world-factbook/fields/370.html

casos de acesso à energia elétrica, as estatísticas apontam para apenas 22% da população, estimada em 28 milhões de habitantes (INE,2019), sendo em grande escala nas cidades e vilas sedes. A percentagem de população sem acesso à água tratada continua bastante elevada, como também sistemas de saneamento e de esgotos tratados.

Estes indicadores analisados aqui colocam Moçambique com os piores índices de Desenvolvimento Humano, entre os países da SADC, com 0,418 é o oitavo pior no total de 189 países avaliados pela UNESCO (UNESCO, 2017).

4.4.2 Agricultura, pecuária e outras atividades econômicas

Moçambique é um dos países mais pobres do mundo, segundo o Relatório de Índices de Desenvolvimento do PNUD (2010), apesar das impressionantes taxas de crescimento econômico e do encorajador progresso em termos de desenvolvimento alcançado pelo governo nos últimos anos, a pobreza continua a ser grave e generalizada (ALBINO, 2012).

De acordo com o censo demográfico de 2017, o país tem cerca de 27.909.798 habitantes e mais da metade dessa população vive nas zonas rurais e consequentemente depende da agricultura para a sua sobrevivência. As estimativas apontam que estejam disponíveis cerca de 36 milhões de hectares de terras aráveis, dos quais estão em uso apenas cerca de 15%, e 46,8 milhões de hectares de florestas, dos quais 8,8 milhões em parques e reservas. Mais de 99% da área agrícola é constituída por explorações de menos de 10 hectares e a maior parte da terra é administrada segundo normas costumeiras (CARRILHO et al., 2015).

A principal atividade econômica do país é agricultura ou é aquela que mais ocupa a maioria da população economicamente ativa do país, representando cerca de 70%, no entanto, ela tem a menor participação na geração da riqueza dos moçambicanos. A economia moçambicana alcançou um feito único dos países importadores de petróleo, ao registar um crescimento na ordem dos 8% ano desde 1996 a 2006, colocando se como um dos países que mais cresceu no mundo neste período. Mas a base do crescimento econômico de Moçambique esteve baseada nas exportações de matérias-primas primárias, tais como o carvão mineral, o gás natural e o alumínio.

5 ASPECTOS FÍSICOS NATURAIS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO UMBELÚZI

A Bacia Hidrográfica do Rio Umbelúzi fica localizada no extremo sul da província de Maputo, onde está inserido o seu rio principal, que nasce no reino do Eswatini (antigo reino da Suazilândia), perto da fronteira ocidental com a África do Sul. Entra para Moçambique através de uma garganta cortada na cordilheira dos Pequenos Libombos, no distrito da Namaacha (MUCHANGOS 1999). O rio flui na direção leste e desemboca no Oceano Índico através do estuário do Espírito Santo, no sul de Maputo.

Segundo Droogers (2014), a bacia hidrográfica total do rio Umbelúzi é de cerca de 5400 km^2. Sendo que cerca de 42% da área está em Moçambique, isso corresponde a cerca de 2240 Km^2, 56% na Eswatini e apenas 2% na África do Sul. A bacia do rio Umbelúzi tem dois grandes afluentes, o Umbelúzi Branco na Suazilândia e o Movene em Moçambique, que se juntam ao rio principal.

O rio Umbelúzi nasce numa altitude máxima de 1800 metros, junto à fronteira ocidental do reino Eswatini e a África do Sul, sendo que cerca de 20% da sua área está localizada acima dos 500 metros de altitude, o que corresponde as zonas atiplanaticas. A maior altitude em Moçambique é de 801 m no monte Ponduíne.

Os principais afluentes em Moçambique são os rios Calichane e Movene, respectivamente a montante e a jusante da barragem dos Pequenos Libombos. O rio Umbelúzi tem um escoamento médio de cerca de $490x10^6$ m^3 na foz e de $360x10^6$ m^3 com um regime permanente. A precipitação média anual é de 736 mm. O rio tem duas obras hidráulicas de vulto, nomeadamente a barragem de Mnjoli na Suazilândia e a barragem dos Pequenos Libombos em Moçambique (DROOGERS, 2014).

O extremo Oeste da bacia é montanhoso seguindo-se uma zona plana onde se concentra a produção de cana de açúcar (Figura 5), depois segue uma pequena cordilheira montanhosa (Pequenos Libombos). Finalmente a leste, há uma zona mais plana entre os Pequenos Libombos e Estuário do Espírito Santo, em Maputo.

5.1 Geologia

A extensão Oeste-Este, cortando toda a largura de quase 50 km desde a fronteira da Namaacha ao estuário do Esperto Santo na baia de Maputo, deu condição natural ao rio Umbelúzi de atravessar às três formações geológicas que caracterizam a região sul do país. A Bacia Hidrográfica do rio Umbelúzi encontra-se localizada na região sul de Moçambique, que é caracteriza pela ausência de afloramentos do Pré- Karroo, sendo ela composta por três principais formações geológicas, Sistema do Karroo Superior-grupo Stormberg, Cretáceo e Quaternário.

Karroo tem a origem da sua terminologia derivado da região Sul Africana de Karroo, onde apresentação estrutural desse tipo de geologia se encontra otimamente representado em camadas e sequência geológicas bem caracterizadas por fósseis, o que permitiu dividi-lo em escadaria: Dwyka (Carbónico Superior), Ecca, Beaufort e Strormberg (AFONSO et al., 1998; *apud* Macie, 2007). Segundo Cumbe (2007), Karoo Superior compreende formações compostas principalmente por sedimentos terrestres com rochas (sub) vulcânicas inter-estratificadas ou intrusivas do Triássico Inferior a Jurássico Inferior. A sedimentação Karroo começou na Suazilândia e Transvaal Lowveld, com a fragmentação da Gondwanalândia.

Para o INIA (1993), a cadeia dos Libombos é a mais impressionante e mais representativa de todas as estruturas de Karroo em Moçambique. Ela se estende do Norte a Sul, numa extensão de mais de 450 km de comprimento do Natal na África do Sul ao vale do Limpopo (Mapai em Moçambique) e formando uma estreita faixa de 20 a 25 km de rochas vulcânicas inclinadas para este. Sendo que ela é formada de riolitos e andesitos na sua principal escarpa a oeste de Moçambique, as lavas basálticas intercaladas também tomando a direção este são menos resistentes a erosão e por essa razão uma cuesta riolitica foi formada e estabeleceu no distrito da Namaacha onde serve de entrada do rio Umbelúzi em Moçambique, o monte Imponduine, a maior elevação da região sul do país com 801 m acima do nível do mar.

A Formação do Cretáceo, é talvez a mais representada na região sul de Moçambique através dos depósitos de sedimentos acumulados por cima das lavas do Karroo e das terras baixas, estende-se desde a Zululândia subindo até 160 km ao Norte do rio Zambeze. A última descarga de lava basáltica ocorrida durante o Cretáceo está situada no vale de Movene, a Este dos Pequenos Libombos e a Oeste da bacia sedimentar. Atinge uma extensão máxima de 440 km no sentido Oeste-Este; o comprimento de Norte a Sul é de 1200 km (INIA, 1993). Ela é

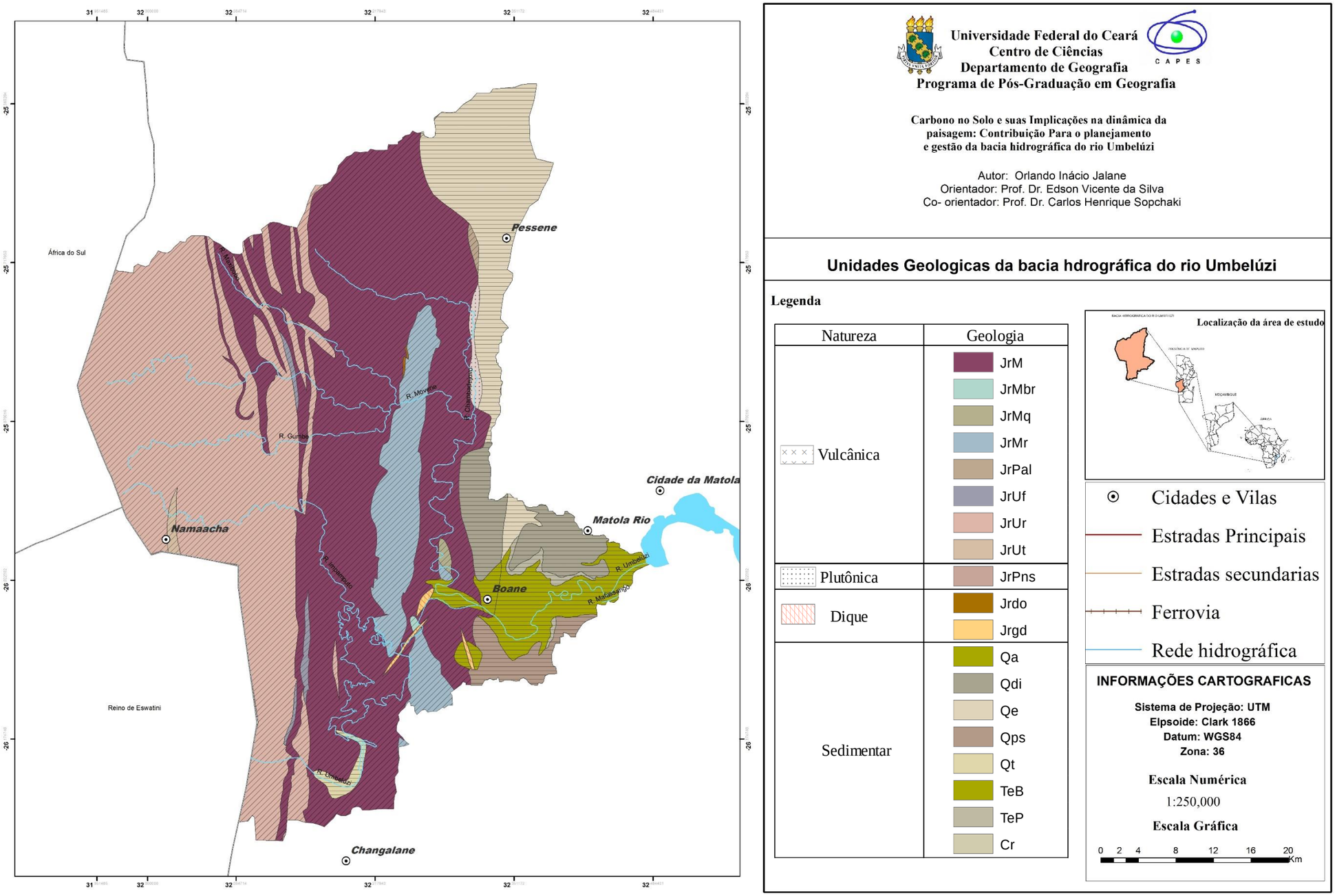
normalmente composta de depósitos de natureza continental e marinho com sedimentos do tipo: arenitos finos, verdes oliváceos, margas arenosas, com camadas ocasionais de areia calcária (FÖRSTER, 1975, *apud* INIA, 1993).

A principal unidade da paisagem quaternária é um manto com mais de 20 m de espessura de cor castanho-amarelada, salino-sódico, calcário, franco-argilo-arenoso, formando largas áreas de ligeira inclinação denominadas "Mananga"[16]. Loureiro (1967, *apud* Macie, 2007) distinguem ainda dois grupos importantes na Formação do Quaternário: grés de Boane de grãos finos a grosseiros e por vezes argiloso e mal estruturados e conglomerados de Changalane, constituído quase exclusivamente por elementos da rocha dos Libombos e cimento calcário sobre aluviões e coluviões.

A geologia da BHRU apresenta uma grande predominância da unidade geológica do Karoo Superior na maior extensão da área de estudo. Ela obedece a um agrupamento formado por várias formações, dispostas em diferentes unidades geológicas, e se destacam as seguintes: a formação de rochas intrusivas do Karoo Superior (JrPns, Jrdo e Jrgd), ainda pode se encontrar no grupo do Karoo Superior às formações de Movene (JrM, JrMbr, JrMr, JrPal e JrMq) e formações de Umbelúzi (JrUf, JrUr e JrUt). A geologia da bacia ainda se comporta formações com origem a partir das rochas sedimentares do quaternário, que se caracteriza pelos depósitos aluvionares (Qa, Qdi, Qe, Qps e Qt) e do Paleocene-plioceno, reresentado pelas formações de Boane (TeB), formação de Maputo (TeP) e a Formação de Tembe (GTK, 2006). As classes geológicas são representadas no mapa 4, referente a área de estudo, acompanhada pela descrição das unidades descrito no quadro 2.

[16] Mananga constitui um manto espesso de sedimentos do Pleistocênico, pardo-amarelados, no geral, sódico-salinos, em áreas relativamente planas, designadamente planícies e fundos de vale (Beernaert, 1987, citado em Wijnhoud, 1998). Os sedimentos de Mananga são normalmente bastante duros e mais ou menos impermeáveis (Dijkshoorn, 1993).

Mapa 4: Unidades Geológicas da Bacia Hidrográfica do Rio Umbelúzi



Fonte: Adaptado de GTK, 2012.

Quadro 2: Unidades geológicas em Km^2 e percentual ocupado por unidade de mapeamento.

Unidade de Mapeamento	Formação	Designação	Área (Km^2)	Área (%)
JrM	Karoo superior de Movene	Membro Basáltico	924.16	41.24
JrMr		Membro riolitico dos PL*	140.64	6.28
JrMbr		riolitico brecia	1.95	0.04
JrPal		Lavas alcalinas de Pessene	4.78	0.21
JrMq		Quartzo Latite	3.18	0.14
JrUf	Karoo superior de Umbelúzi	Membro do Tuff	10.41	0.46
JrUr		Tufos e cinzas riolíticas	695.24	31.02
JrUt		Rochas dacíticas	5.54	0.25
JrPns	Karoo Superior Rochas intrusivas	Sienito de nefelina de Pessene	9.10	0.41
Jrdo		Diques e soleiras Máficas	2.63	0.03
Jrgd		Diques gabroicos	4.72	0.21
Qa	Aluvião	Aluvião, areia, lodo, cascalho	88.87	3.97
Qdi	Dunas Interiores	Dunas Interiores	87.06	3.88
Qe	Areia Eólica	Areia Eólica	197.57	8.82
Qps	Areia argilosa de várzea eluvial	Areia argilosa de várzea eluvial	36.37	1.62
Qt	Cascalho e areia do terraço fluvial	Cascalho e areia do terraço fluvial	10.44	0.47
TeB	Formação de Boane	Formação de Boane	12.69	0.57
TeP	Formação de Maputo	Formação de Maputo	8.61	0.38
Cr	Cretáceo (indiferenciado)	Cretáceo (indiferenciado)	1.91	0.01
Total			**2241.16**	**100.00**

Fonte: Adaptado de GTK (2006).

Legenda – PL -Pequenos Libombos

O quadro 2 evidencia o Grupo do Karoo Superior Formação de Movene, membro basáltico com 41.247%, como a geologia mais representativa na área da bacia, seguido pela Formação de Umbelúzi com litologia riolitca com 31.02%. A sequência quaternária formada pelas formações (Qa, Qdi, Qe, Qps e Qt) ocupa a terceira maior cobertura geológica como cerca de 18.29% da área total, que é maioritariamente ocupado por atividades humanas, como a implantação de edifícios (Qdi e Qt) e a agricultura (Qa e Qps).

5.2 Geomorfologia

A geomorfologia investiga formas de relevo e os processos que as modelam, passando pelos processos e as inter-relações de modo a entender a origem e o desenvolvimento de formas de relevo (HUGGETT, 2011). A sua evolução é influenciada por diversas forças geológicas que emanam de dentro da Terra (processos endógenos), e originadas na superfície da Terra e na atmosfera (processos exógenos) outras vindas de fora da Terra (extraterrestres, como impactos de asteroides).

Em relação as unidades geomorfológicas, a localização estudada integra os vastos depósitos sedimentares quaternários que dominam a maior parte da região sul de Moçambique e se sobrepõem à Bacia Sedimentar Moçambicana que resultou da dispersão do Gondwana.

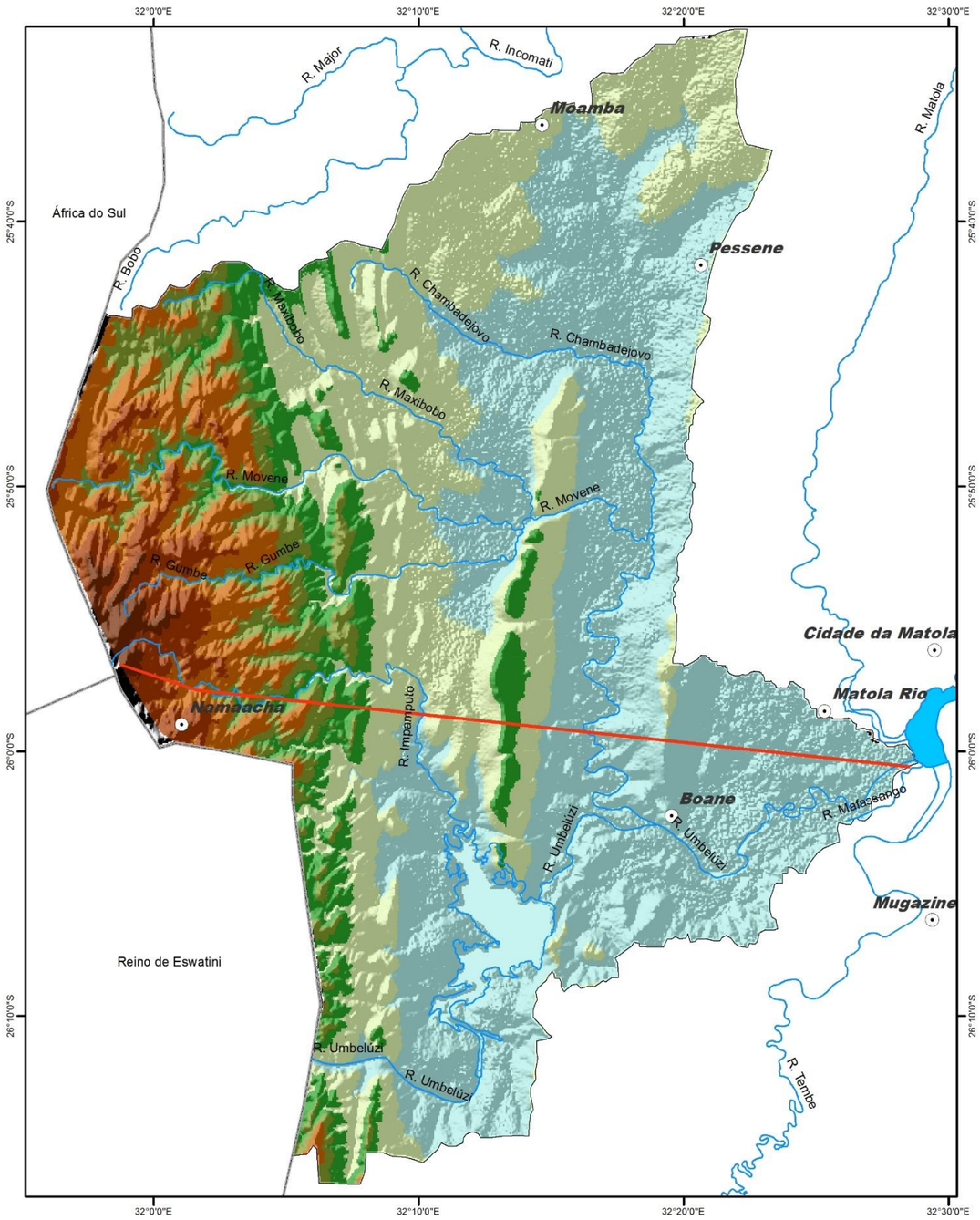
Segundo o MAE (2014), a área da BHRU pode ser dividida de acordo com as seguintes unidades geomorfológicas: terras altas - o Complexo da Cadeia dos Libombos, marcado pela cordilheira dos Libombos, que se estende no sentido Norte-Sul, tendo o seu ponto mais alto com cerca de 800 m, o monte Mponduíne, que se inclina ligeiramente em direção a leste.

Planaltos médios – adjacentes as terras altas da serra da Namaacha, geralmente com altitudes entre 200 e 400 metros, que constituem um alongamento da cadeia dos Libombos, que se estende até as terras do distrito de Moamaba, designadas de superfícies pediplánicas (MAE, 2005; MUCHANGOS, 1999)

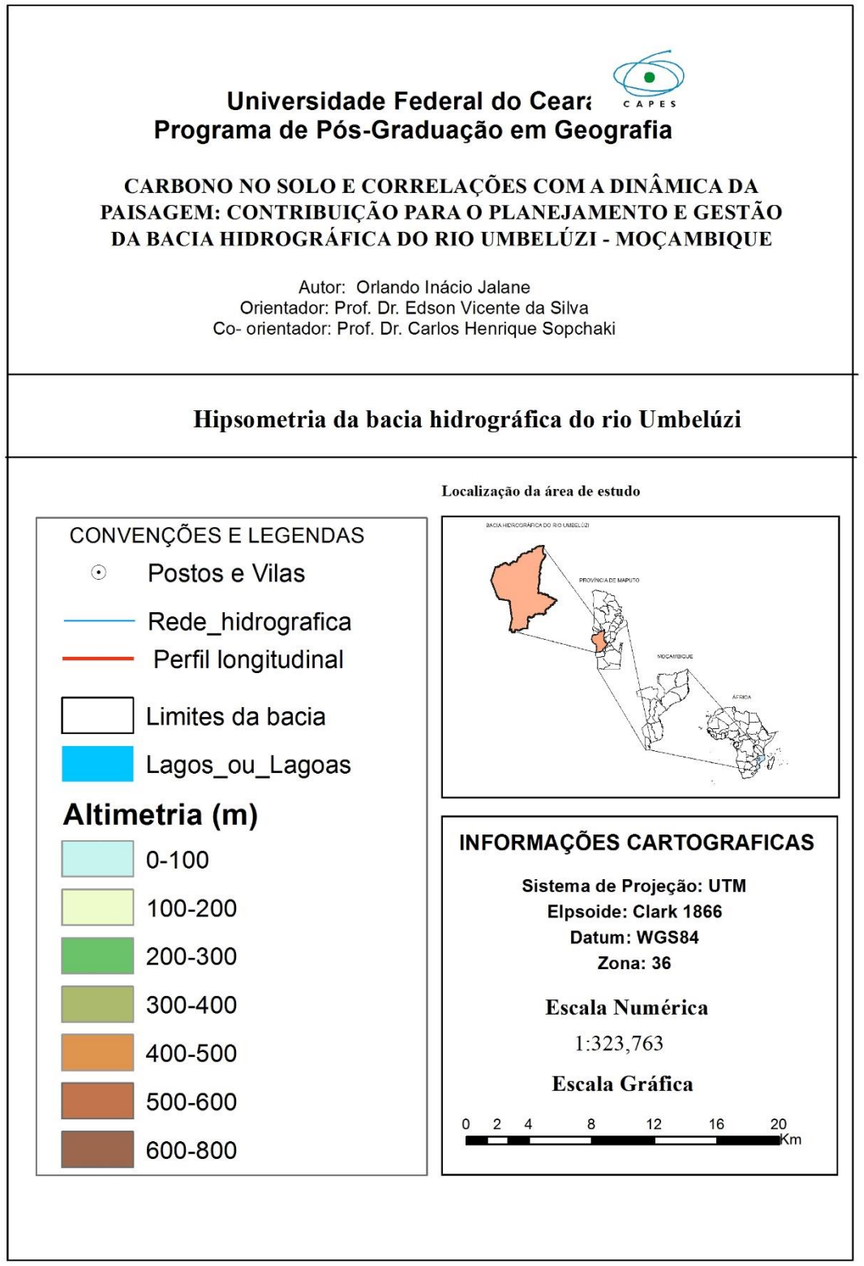
A outra unidade geomorfológica generalizada é composta por pequenas planícies de 100 – 200 m junto aos vales aluvionares ao longo dos rios, isso na parte mais elevada da bacia. Nas terras baixas possui extensas planícies situadas maioritariamente a cotas inferiores a 100m, sendo o monte Corumana com 275 m o único destaque do relevo. Podem-se observar três zonas distintas: Vales e planos ligeiros com altitudes médias de 60 a 80 metros.

As planícies constituem a unidade geomorfológica mais representativa da bacia, distribuído nos três distritos drenados pela mesma, sendo nos distritos de Boane e Moamba onde a unidade ganha maior expressividade. Em Boane ela intercala em pequenas unidades os icebergs, onde se encontram instaladas as pedreiras em Movene e a colina formada pelo grés vermelhos, justamente onde está localizada a vila sede de Boane. No mapa 5 é possível ver a disposição geomorfológica da bacia, com uma área bastante representativa nas altitudes inferiores a 200 m em reação ao nível médio das águas do mar.

Mapa 5: Hipsometria da Bacia Hidrográfica do Rio Umbelúzi



Fonte: Imagem ASTER GDEM (https://glovis.usgs.gov/,2019)
Elaborado Orlando Jalane, 2020.

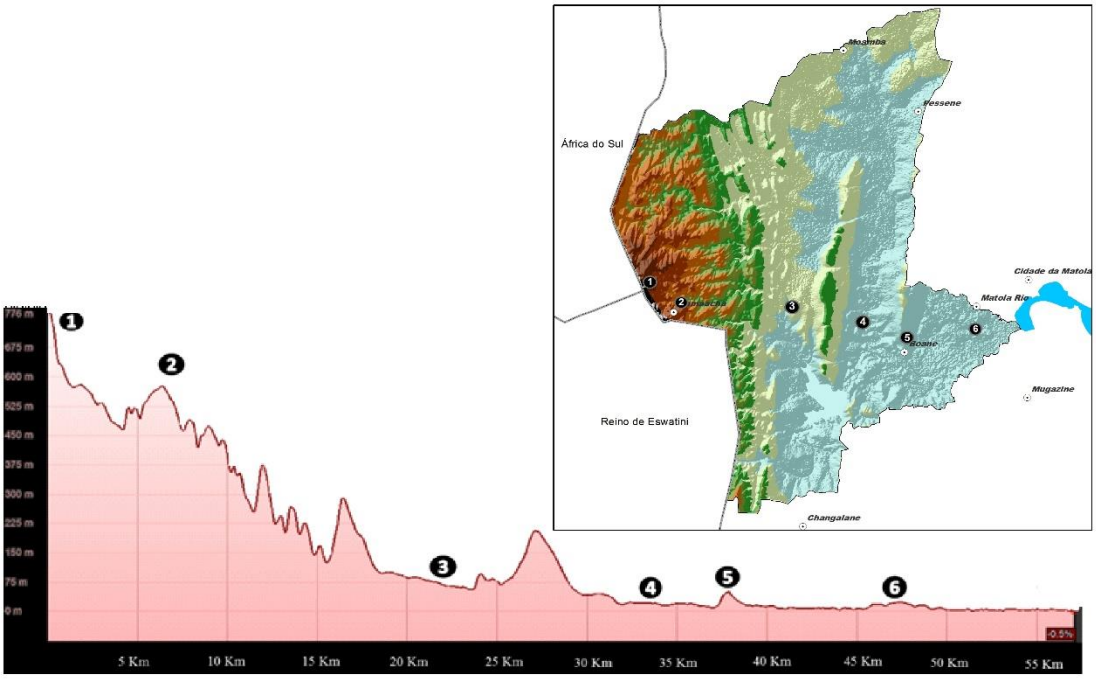


A planície inferior que corresponde as áreas abaixo dos 100 m de altitude ocupa a maior parte da bacia, seguido de planície superior entre os 100 a 200 metros de altitude. Os planaltos acima de 400 a 500 metros corresponde a terceira maior unidade das mais representativas dentro da área da bacia.

Ainda no quisto geomorfológico representou-se o perfil longitudinal da bacia desde o topo mais alto as áreas mais baixas da planície fluviomarinha, que ilustra de forma esquemática, das áreas mais elevadas até as zonas baixas e o devido sequenciamento dos mesmos.

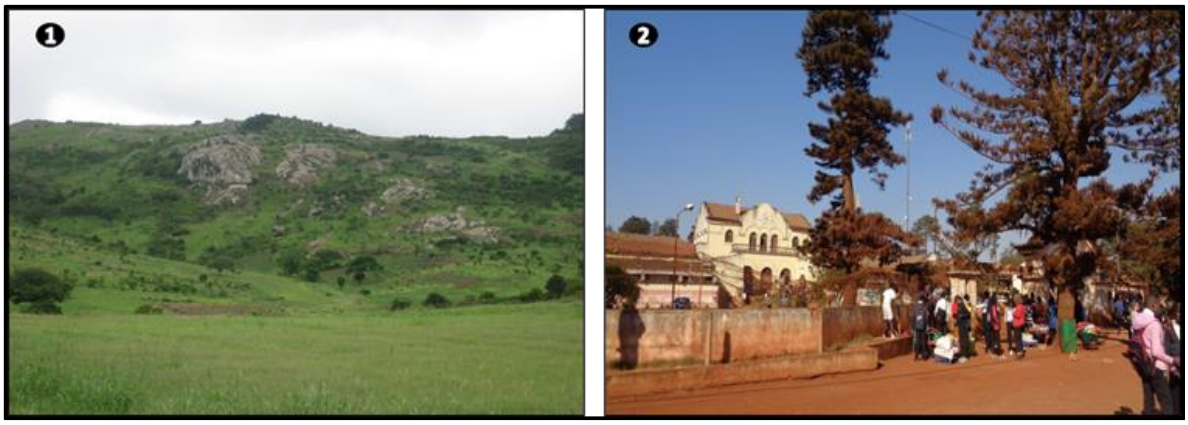
O perfil topográfico da bacia (Figuras 8 e 9), ilustra a disposição em um relevo com uma taxa de inclinação bastante acentuada desde o pico do monte Ponduíne até as proximidades da baixa de Mafuiane no distrito da Namaacha, numa extensão de aproximadamente 35 km. De Mafuiane ao estuário de Espirito Santo, destacam se apenas duas pequenas elevações, precisamente nos locais onde se encontram a vila sede de Boane, estabelecido em solos arenosos vermelhos derivados de grés vermelho e o posto administrativo de Matola Rio, esse último acento em uma duna interior já consolidada.

Figura 8: Perfil longitudinal partindo do monte Ponduíne a Estuário do Esperto Santo.



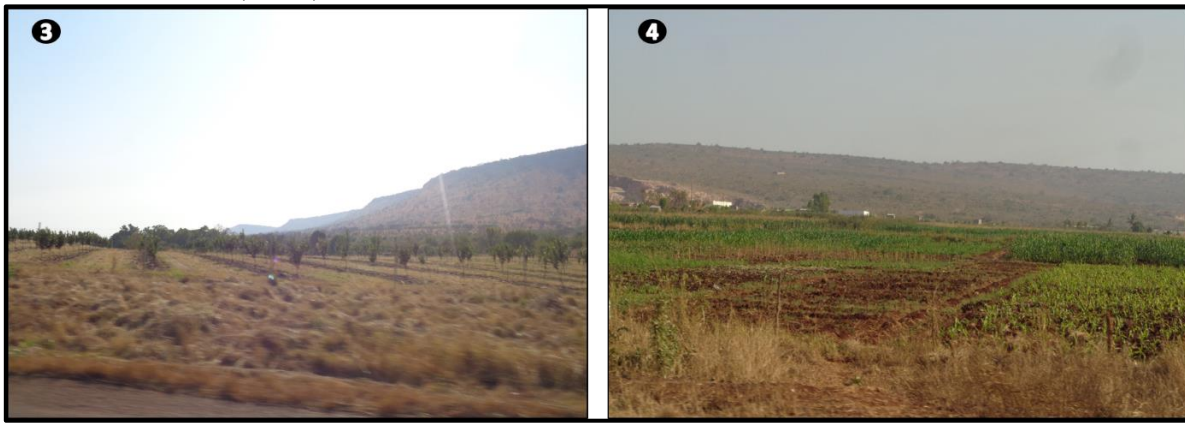
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 9: Compilação de imagens representativos do perfil



Monte Mponduíne - O ponto mais alto dos Montes de Libombos (801 m).

Vila sede do distrito da Namaacha



Baixa do Imapaputo – Distrito da Namaacha.

Baixa de Mafuiane – Distrito da Namaacha.

Vila sede do distrito de Boane

Posto Administrativo da Matola rio - distrito de Boane

Fonte: Https://www.flickr.com/photos/47108884@N07/4402548529 (Imagem 1), coleção própria (Jalane, 2019), imagens 2,3,4,5,6.

O perfil da área de estudo, permite compreender a variação topográfica e auxilia na determinação das unidades estruturais e compartimentação geomorfológica (MACIE, 2009, p.71), e ajuda no entendimento da variação de outras caraterísticas naturais de formação e

dinâmica das paisagens. A coleção fotográfica representando pela figura 9, é o representativo das diferentes unidades geomorfológicos da bacia, desde o seu topo montanhoso e acidentado do monte Mponduíne até a planície fluviomarinha do estuário de Espirito Santo junto a baia de Maputo.

5.3 Pedologia

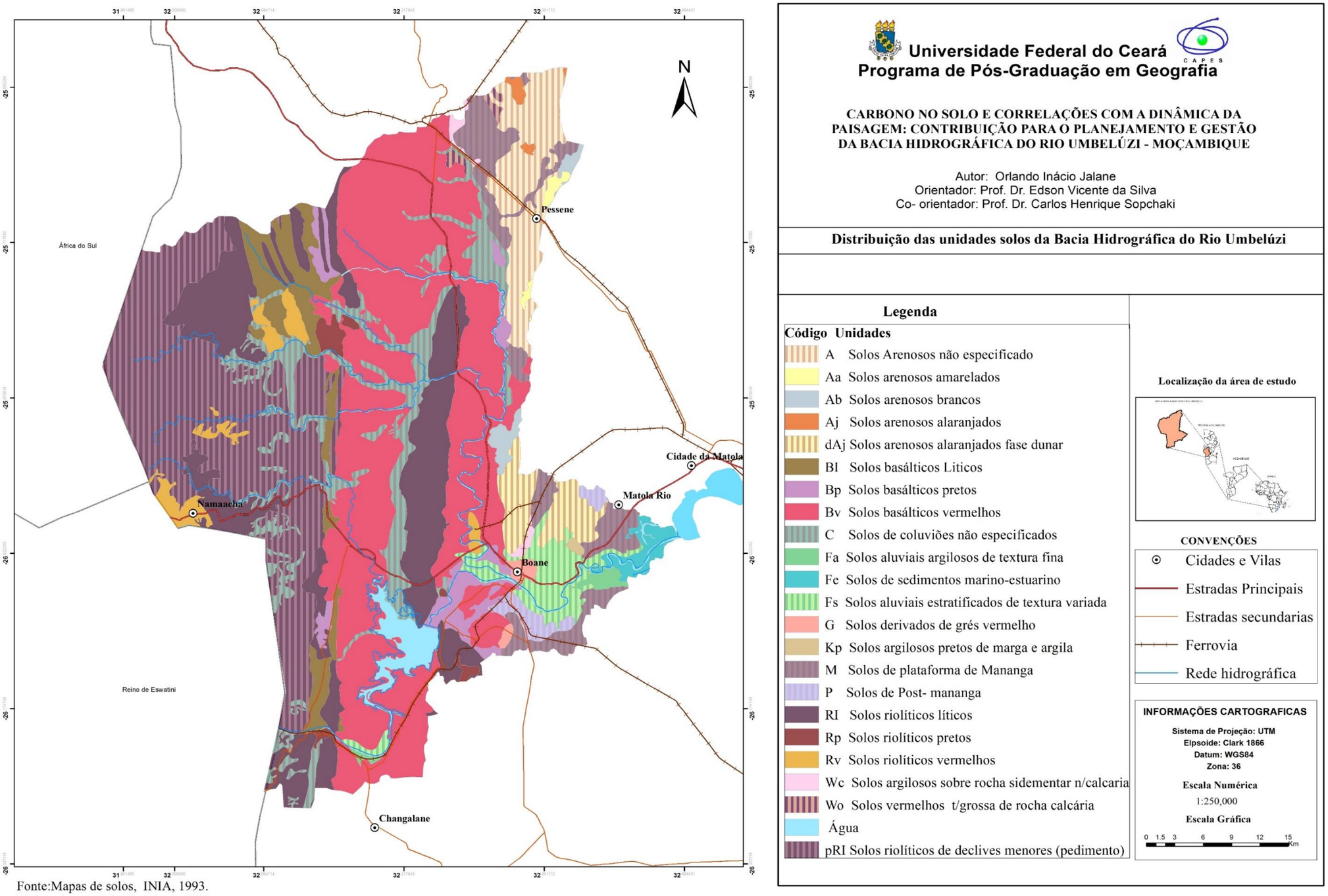
Os mapas dos solos são baseados nos levantamentos pedológicos do Instituto Nacional de Investigação Agronômica (1993), na escala de 1:50000, que cobrem a região sul do país, precisamente as províncias de Maputo e Gaza. Existem vários entendimentos sobre o conceito de solo, conforme os contextos, assim, para o nosso entendimento genérico; solo, é corpo natural da superfície terrestre, constituído de materiais minerais e orgânicos resultantes das interações dos fatores de formação.

Os levantamentos levados acabo pelo INIA (1993), foram realizados com base geológica e geomorfológico para a classificação das grandes unidades de mapeamentos dos solos.

Dos agrupamentos se destacam os solos formandos com a influência da cadeia vulcânica dos Libombos que contribuiu na formação dos solos basálticos (Bv), basálticos pretos (Bp), basálticos líticos e solos rioliticos líticos. A que destacar os solos formados por deposições coluvionares, onde se destacam os agrupamentos dos (coluviões) junto aos sopés da cuesta riolitica (Cs), os agrupamentos dos solos coluvionares sobre os basaltos (Cc, Ccf) e os agrupamentos dos solos coluvionares derivados das rochas sedimentares do Cretáceo e Terciário (Cw).

A medida que se afastam da cadeia rochosa dos Libombos em direção a bacia sedimentar, desponta um pedeplano com solos caraterísticos da região austral de África, o manto com mais de 20 m formando largas áreas de ligeira inclinação denominadas de plataforma de “Mananga”. Os solos de mananga variam a sua classificação deferindo do tamanho superficial da areia que os cobre, podendo ser agrupados em 4 grupos (M1, M2, M3 e M4) e outros 4 agrupamentos da transição dos manangas conhecidos por post mananga (P1, P2, P3 e P4), encontrados invariavelmente sobre os basaltos. No mapa 6 segue a descrição das unidades de mapeamento usados na carta de solo.

Mapa 6: Unidades de solos da Bacia Hidrográfica do Rio Umbelúzi



Fonte:Mapas de solos, INIA, 1993.
Elaborado por Orlando Jalane, 2020.

Há ainda que destacar os solos de natureza aluvionares junto aos vales dos rios, riachos e nos estuários dos rios principais (Fa), enquanto nas planícies arenosas se destacam os agrupamentos de solos arenosos (Aa) com tendências amarelados na sua matriz de cor. A plataforma de solos com a aglomeração de seixos, designados seixos rolados, encontrando os seguintes agrupamentos (Sl, Sv e Sc), de natureza lítica e de coluviões sobre seixos rolados.

Esta classificação dos solos é baseada nas cartas de solos desenvolvidos pelo INIA (1993), para as regiões de Maputo e Gaza que continua as únicas províncias do país com a cartografia dos solos na escala de 1:50.000.

5.3.1 Descrições das unidades de mapeamento

Na descrição das unidades de mapeamento são apresentadas as características mais importantes que possam servir para distinguir as classes dos solos uma das outras, como a cor, a textura e a paisagem peculiar da sua ocorrência. Essa descrição ajuda a conhecer os ambientes naturais de ocorrência de cada uma das unidades de solos.

5.3.1.1 Solos de Cobertura Arenosa

Areias grosseiras a finas cobrem o Mananga e Pós-Mananga; são referidas como solos de cobertura arenosa (INIA, 1993). É um agrupamento de diversos solos arenosos que assumem designações variadas baseadas na cor do solo (agrupamentos Aa, Ab, Aj) e na base das características hidromórficas (agrupamento Ah), sendo que na área de estudo ocorrem apenas os agrupamentos (Aa, Aj, Ab e dAj).

Solos Arenosos Amarelados (Aa), **(**Luvic Arenosols, Ferralic Arenosols ou Cambic Arenosols): Estes solos são formados em planícies arenosas pouco profundas, na parte Este das dunas longitudinais, geralmente formandos por solos de granulometria grosseira, mas as areias finas podem ser encontradas próximo (ou em cima) dos mantos de Pós-Mananga, franco-arenoso fino ou arenoso-franco fino (INIA, 1993).

Os solos arenosos amarelados são encontrados em terrenos com declive plano a quase plano 0 - 2%. A sua principal limitação para as práticas agrícolas se deve a baixa capacidade de retenção de água, associada a baixa fertilidade devido à pouca acumulação da matéria orgânica.

Solos Arenosos Brancos (Ab), Albic Arenosols: segundo o INIA (1993), estes solos são encontrados em duas posições topográficas:

- Quando uma camada arenosa pouco profunda (< 3 m), cobre o de manto de Mananga quase impermeável;
- Nas baixas inclinações, que conduzem a uma depressão de duna ou um rio, nas dunas longitudinais. Em ambos os casos a cor esbranquiçada é resultado duma forte lixiviação[17] ("leaching") e longos períodos de saturação (redução).

Este agrupamento de solos é constituído de uma forma dominante por solos de textura grosseira, geralmente esbranquiçados com um lençol freático presente a uma superfície de 1m de profundidade. São solos geralmente profundos dos 50 - 120 cm de profundidade, portanto com poucas limitações relacionadas a profundidade. Quando seco eles se expandem originando as fendas a superfície e contrai-se com húmidos, portanto, com drenagem imperfeita a má quanto interna, assim como a externa.

5.3.1.2 Solos argilosos

Solos argilosos pretos derivados das rochas sedimentares cretáceas (Kp) - Calcic Vertisols: Solos argilosos pretos com mais de 50 cm de espessura, cobrem os depósitos geológicos originais de argilas acastanhadas e marga cretácea**.**

5.3.1.3 Solos Vermelhos Derivados do Grés Vermelho (G)

Solos Vermelhos Derivados do Grés Vermelho (G), Ferralic Arenosol: Solos vermelhos, arenosos de granulometria grosseira, com um subsolo homogêneo; cascalho de arenito, vermelho, angular e sub-angular pode ser encontrado a mais de 1 m de profundidade. Apresentam relevos ondulados em colina de grés vermelho, geralmente com uma ótima drenagem o externa devido à topografia e bastante excessiva a interna influenciado pela sua textura. A grande representatividade desses solos é encontrada no distrito de Boane, exatamente onde está edificado a vila sede do distrito, sobre a colina de um arenito. A Figura 10 mostra o perfil característico dos solos de textura arenoso derivado de grés vermelho, nas proximidades da vila de Boane.

[17] Na agricultura, a lixiviação é a perda de nutrientes vegetais solúveis em água do solo, devido à chuva e irrigação.

Figura 10: Perfil característico de grés vermelho na Vila de Boane

Fonte: Coleção própria (Jalane, 2019).

5.3.1.4 Solos Basálticos

Distinguem-se três agrupamentos de solos: os solos formados, em situ, bem drenados, argilosos e vermelhos são classificados no agrupamento de solos Bv (Basaltos Vermelhos); as argilas pretas e vertisolos estão agrupados no agrupamento de solos Bp (Basaltos Pretos) e os solos líticos (de profundidade < 30 cm) na categoria de solos BI (Basaltos Líticos), (INIA, 1993).

Solos Basálticos Vermelhos (Bv) - Ferralsols: Os solos argilosos vermelhos estão situados nos declives suaves dos planaltos basálticos, a Este da cadeia dos Libombos. Os solos são comuns no baixo planalto, dissecado pelo rio Impamputo, entre o Libombos e o Pequenos Libombos.

São geralmente solos pouco profundos, encontrando-se a rocha meteorizada a uma profundidade inferior a 1,20 metros. Devido à variação na sua profundidade, estes solos são subdivididos em três fases:

- Bv 1: > 100 cm de solo vermelho acima de basalto meteorizado.
- Bv 2: 50 - 100 cm de solo vermelho acima de basalto meteorizado.
- Bv 3: 30 - 50 cm de solo vermelho acima do basalto meteorizado (fase deligada).

Estes solos possuem uma textura franco-argilosa a argilosa. Apresentam uma cloração castanho-avermelhada escura. São moderadamente bem drenados e em certos lugares pode-se encontrar rochas superficiais de composição Quartzosas, principalmente nas

subunidades Bv2 (Macie, 2007). Apresentam uma fertilidade elevada a alta, por essa razão bastante explorada por pequenas e medias ocupações.

Os solos basálticos pretos (Bp) - Calcic Vertisols: Os solos basálticos pretos são comuns na planície ao sul da Moamba. A água proveniente das terras altas, drena em direção as terras da planície basáltica mal drenada e suavemente inclinada para Este onde a evaporação agrava localmente as condições dos solos com elevado grau de salinidade e sodicidade, (INIA,1993). O basalto meteorizado pode atingir uma profundidade de 2 m, é mais profundo, que no caso dos solos argilosos vermelhos. Este agrupamento é também dividido em três fases, correspondentes a profundidade dos seus solos:

- Bp 1: > 100 cm de profundidade; fase profunda
- Bp 2: 50 - 100 cm de na fase moderadamente profunda.
- Bp 3: 30-50 cm de profundidade; fase delgada.

Solos Basálticos líticos (Bl - Eutric Leptosols): São solos dos planaltos baixos em inclinações íngremes, onde a paisagem é ligeiramente ondulada de 1 a 8%. Menos de 30 cm de solo cobre os basaltos meteorizados. Trata-se de um solo delgado e pedregoso que é influenciada pela eluviação de argila dos antigos horizontes de solo acima. O teor de matéria orgânica varia de baixo a médio (1,0-4.6%). A Figura 11 representa uma paisagem típica das áreas basálticas de solos escuros designados na nomenclatura nacional do IIAM de solos basálticos pretos com profundidade superior a 100 cm.

Figura11: Área de solos basálticos pretos preparados para sementeira na planície de Movene.

Fonte: Coleção própria (Jalane, 2019).

5.3.1.5 Os solos aluviais e estuarinos

Este agrupamento é composto por cinco subgrupos de solos de origem por ação de depósitos fluviais e marinhos:

- Ft: Solos aluvionares turfosos; Fta: com subsolo argiloso;
- Fs: Solos aluvionares estratificados, textura media-grosseira;
- Fe: Solos aluvionares estuarinos;
- Fc: Solos aluvionares calcários, sódicos, argilosos;
- Fa: Solos aluvionares argilosos.

Apenas três subgrupos são encontrados na área da Bacia Hidrográfica de Umbelúzi, os solos aluvionares argilosos, estuarinos e estratificados.

Solos Aluvionares Argilosos (Fa – Calcaric Fluvisols, Calcaric Vertisols ou Mollic Fluvisols): são solos típicos das bacias de decantação, nos vales largos junto aos rios principais. Eles se desmembram e outros subgrupos, condicionados pela sua drenagem, assumido outra designação ou prefixos. Solos aluvionares com drenagem imperfeita (Fa), má (Fag) de textura argilosa, algumas vezes salinos e sódicos (Faz) ou podem ficar inundados por muito tempo (Fah), (INIA,1993).

Os solos aluvionares estratificados, de textura grosseira a média (Fs - Eutric Fluvisols): são solos que geralmente encontram se nos diques naturais, nos terraços baixos e nas faixas estreitas de aluviões recentes ao longo dos rios. Os seus terraços estão atualmente livres de inundação permanente, formando planícies com uma aptidão alta para a prática agrícola, através do sistema de irrigação. A sua grande característica é estratificação ao longo do seu perfil, e a abundância de bastante material grosseiro, podendo apresentar uma grande variabilidade de textura da mais fina a grossa. O solo geralmente consiste em camadas sedimentares arenosos a franco, bem definidos e com baixo conteúdo de matéria orgânica.

Solos aluvionares estuarinos (Fe – Salic ou Eutric Fluvisols): cobrem áreas extensas nas secções da jusante dos maiores rios junto as planícies estuarinas. São naturalmente sódicos e salinos dependendo da sua distância de aproximação ao mar, elevação e a sua exposição aos processos de lavagem pelas chuvas, sendo que a associação engloba uma vasta variedade de solos salinos estuarinos argilosos. Os solos aluvionares estuarinos apresentam geralmente um lençol freático quase a superfície, por volta de 60 cm de profundidade, portanto uma drenagem externa e interna má.

5.3.1.6 Plataforma de Mananga

As plataformas de Mananga suavemente inclinadas são cobertas com una camada arenosa de espessura variável. Nas áreas com uma espessa camada de areia, a erosão tem removido a cobertura arenosa e a superfície de Mananga, exposta em forma de vale ou uma superfície de drenagem de fundo (INIA; 1993). Essa é uma plataforma com uma representação local e regional, desde a África do Sul a Eswatini e que assume classificações diferenciadas, ao ponto de serem indicados como sendo um subtipo dos solos arenosos da Zululândia. Originalmente, essas áreas tinham uma vegetação de floresta, porém a pastagem excessiva, queimadas e rotação das culturas tem destruído maior parte desta. São solos bastante duros quando secos, mesmo com a presença da cobertura arenosa já descrito.

As plataformas de Mananga são classificadas de acordo com a cobertura arenosa nelas disponível:

- Ml - Os solos de cobertura arenosa superficial (< 25 cm);
- M2 - Os solos de cobertura arenosa (25 - 50 cm);
- M3 - Os solos de cobertura arenosa (50 - 100 cm);
- M4 - Os solos de cobertura arenosa (100 - 180 cm).

Os solos de Mananga com cobertura arenosa superficial (M1) - Haplic Luvisolos: Os solos estão situados numa superfície plana a suavemente ondulada, com quase nenhuma cobertura arenosa. A inclinação é inferior a 2 %, geralmente, com fraca erosão laminar e localmente erosão em sulcos, de modo geral são solos com pouca cobertura arenosa não alcançando 25 cm em locais onde ela se faz presente. É notável o desenvolvimento da salinidade mesmo na camada superficial e presença de calcário e material sódico.

Os solos Mananga com cobertura arenosa pouco espessa (M2) - Haplic Luvisols: são solos semelhantes ao M1, no entanto está apresenta uma cobertura arenosa superior a 25cm, podendo alcançar os 50cm de textura arenosa.

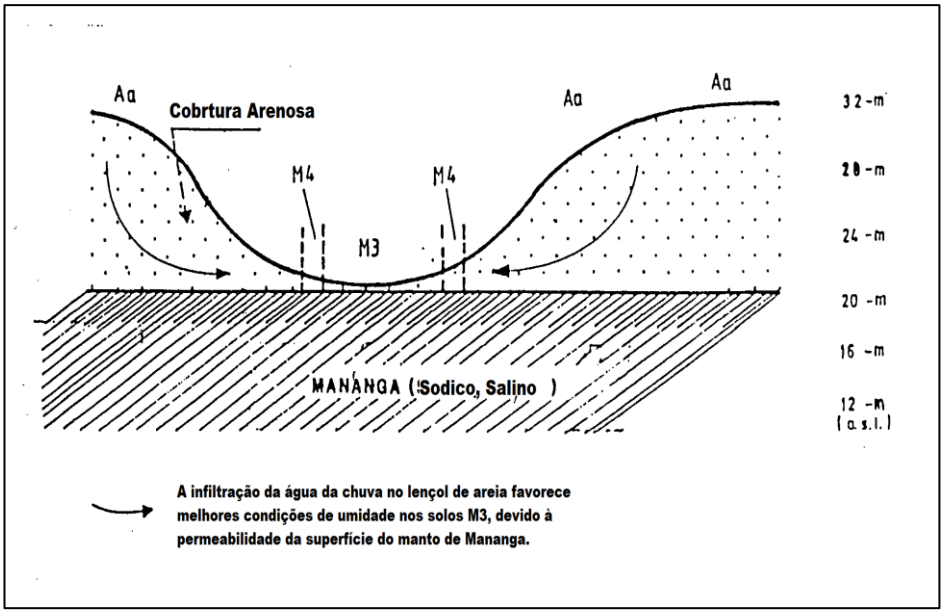
Os solos de Mananga com cobertura moderadamente espessa (M3 – Ferralic, Cambic, Albic Arenosols): A superfície é plana a suavemente ondulada, com uma cobertura arenosa pouco profunda. Depressões circulares, com profundidade de vários metros e um diâmetro de centenas de metros (INIA;1993). Na maioria dos casos apresentam solos com uma cobertura arenosa superior a 50 cm mais não ultrapassando os 100 cm de profundidade, geralmente com uma mudança abruta de textura. Estes solos são, na superfície, semelhantes aos solos do agrupamento Aa (cobertura arenosa), mas tem uma melhor disponibilidade de água, porque a água não se filtra a baixo da zona de enraizamento. A infiltração da água é muito lenta,

duma maneira que a camada dura está molhada, só no fim da época chuvosa ela perde lentamente essa disponibilidade.

Os solos de Mananga com cobertura arenosa espessa (M4) – estes solos apresentam caraterísticas similares ao M3, se distinguindo pela camada arenosa mais expressiva que normalmente é superior aos 100 cm de profundidade mais não alcançado os 180 cm. Devido a elevada cobertura arenosa são moderadamente bem drenados a bem drenados comparados com os outros agrupamentos.

Todos os agrupamentos de Mananga são duros embora tenham areia e pesados quando úmidos. Tem uma estrutura fraca, portanto, instável. Nos terrenos mais íngremes, ocorre neles a erosão em sulcos. O teor de matéria orgânica varia de 0,5 a 4,7 %, e a drenagem varia de imperfeita a boa. Podemos ilustrar todos os processos dos quatros sub grupos da plataforma de Mananga, observa a Figura 12.

Figura 12: Vale com cobertura arenosa moderadamente espessa cobrindo a Mananga.



Fonte: Adaptado de INIA (1993).

Pode se ver uma redução da cobertura arenosa das unidades M4 a M1, com tendências de formação de vales que pode serem planos ou fundos. No caso de formação de vales fundos os solos encontrados nesta unidade são designados de Coluviões de Mananga, que é um dos critérios de separação dessa grande unidade de solos da plataforma de Mananga.

5.3.1.7 Solos Post – Mananga

São solos vermelhos ao lado dos vales e desenvolvem-se em material coluvial transportado e derivado de Mananga, cobrindo a Mananga, rocha meteorizada ou misturada. Estes depósitos avermelhados das encostas dos vales nas diferentes paisagens tem uma boa aptidão agrícola e apenas poucas limitações. Segundo INIA (1993), os solos Pós – Mananga estão divididos em quatro agrupamentos, sendo que apenas os agrupamentos P2 e P3 ocorre na área da bacia, portanto só esses serão descritos. Os agrupamentos de solos são distinguidos na base da textura, cor e influência do substrato, como seguintes:

- Solos de Pós-Manangas sobre basaltos (P1);
- Solos de Pós-Mananga de textura média (P2);
- Solos de Pós-Mananga de textura grosseira (P3;
- Solos de Pós-Mananga, de textura "limosa" (P4).

Solos de Pós-Mananga de textura média (P2) - Haplic Lixisols: Sao solos franco-argilo-arenosos, castanho-avermelhado cobrindo, os Mananga ou o arenito meteorizado a uma profundidade de mais de 1 m, e tem a textura do subsolo muito próximo a que rodeia os de mananga.

Solos de Pós-Mananga de textura grosseira (P3) - Estes solos cobrem o planalto e os declives perto dos vales principais na área de Mananga. Geralmente são solos bastantes profundos, alcançando mais de 10 m.

5.3.1.8 Solos Riolíticos

Os solos rioliticos segundo INIA (1993), se sub dividem em 3 agrupamentos a saber:

- Solos Rioliticos Liticos (RI);
- Solos Rioliticos Vermelhos (RV);
- Solos Rioliticos Pretos (RP).

Os solos rioliticos Líticos (Rl) - Leptsols: Os solos riolíticos ocorrem no planalto dos Libombos, em paisagem dissecada às vezes aparecem misturados com os basaltos. São solos franco-argilo-arenosos, desenvolvem-se numa topografia escarpada de colinas e encostas com declives superiores a 4%. São moderadamente ácidos, não salgados e não sódicos sendo o conteúdo de matéria orgânica moderado a alto, a superfície encontra-se pedras irregulares e

laminar (rochas de riolito) e ocorrência de afloramentos rochosos ao longo de toda a unidade. Destes solos deriva os solos pRI que cobrem os pediplano remanescente nos declives de 3 - 6%.

Estes solos possuem menos de 30 cm de profundidade, de textura franca argilosa, são solos pedregosos e alguns casos com concreções de óxido de ferro ou uma camada endurecida com óxido de ferro.

Os solos rioliticos vermelhos (RV) - Ferric Lixisols: Estes são solos profundos, castanho-avermelhado, argilosos, com características de Nitosolos, mas sem a espessura necessária e com propriedades férricas (FAO,1974). Os solos riolticos vermelhos cercam a vila da Namaacha, no alto planalto dos Libombos, onde a erosão tem vindo a remover uma parte importante dos mesmos.

5.3.1.9 Solos Coluvionares

Solos Coluvionares sobre Seixos (Sc) - Luvis chernozems: São solos restritos para o sopé das montanhas ou colinas de riolitos e basaltos, onde se acumulou uma camada argilosa de colúvio. São de textura franca a argilosa, estendem-se sobre os seixos rolados em condições de uma drenagem má a moderada. O subsolo é geralmente salino, sódico e calcário. O teor de matéria orgânica é médio e a CTC é alto.

Solos Líticos sobre o Solo Vermelho (Sv) - Chormic luvisols: São solos francos, que estendem sobre os seixos rolados, geralmente com descontinuidade abrupta entre o solo e o cascalho. São solos de profundidade inferior a 1(um) metro e estão integrados entre os agrupamentos SI e os agrupamentos P4, P3 e P2. O seu teor de matéria orgânica e CTC são baixos.

5.4 Vegetação e cobertura da terra

A vegetação é um dos mais importantes componentes dos ecossistemas, e cobre aproximadamente 70% da superfície terrestre, sendo que o conhecimento sobre variações de espécies e dos padrões de distribuição das comunidades vegetais, alterações dos ciclos fenológicos e na morfologia da planta é de extrema importância pelas informações por ela fornecida sobre características climáticas, edáficas, geológicas e fisiografias da referida área (JENSEN, 2009).

Segundo Van der Maarel (2013), define a vegetação como uma comunidade de plantas que possuem uma composição florística consistente, certa fisionomia uniforme, que

ocorrem em um ambiente específico e geralmente ocorrendo em vários locais. FAO (2016), conceitua a cobertura da terra como cobertura (bio) física observada da superfície da terra e ela e a síntese dos muitos processos que ocorrem na terra, refletindo a ocupação do solo e sua modificação por vários sistemas naturais, alterados ou artificiais e como esses sistemas afetam a terra.

Segundo Robinson et al (2013) a cobertura do solo refere-se às características biofísicas da superfície do solo, constituídas principalmente por componentes naturais ou construídos pelo homem, ela determina parcialmente variáveis da superfície da terra, interagem diretamente com os processos do sistema terrestre, como transferência de energia, água e ciclos de nutrientes. Enquanto O uso da terra descreve o propósito para o qual à terra é usada pelos seres humanos, e é definido pela atividade humana e deriva seu significado da ação humana e da valorização da terra

Moçambique é um dos poucos países da África Austral que ainda detém uma considerável área de florestas nativas e outras formações lenhosas, compostas principalmente por Miombo, Mecrusse e Mopane. De acordo com o INIA (1993), as planícies costeiras do sul de Moçambique e da região da Zululândia, se encontram cobertas de vegetação do tipo semi-caducifólias.

Ela se relaciona as matas de folhas largas, bosques, florestas secas, matas e savanas do Kalahari, indicando que durante períodos glacias secos houve um corredor entre a planície costeira e o sul de Kalahari que facilitou a troca das espécies faunística e florestais (INIA, 1993).

A cobertura vegetal de Moçambique rodava em volta de cerca de 62 milhões de hectares o que correspondia a cerca de 78% da área total do país, durante e o momento após o término da guerra civil (SAKET, 1994).

A guerra (1976 - 1992), pode ter desempenhado um papel passivo na conservação das florestas, dificultando a acessibilidade as áreas de maior cobertura vegetal, levando a uma migração massiva em direção aos países vizinhos e aos centros urbanos com melhores condições de segurança, fato que se alterou após os acordos de paz em 1992 (SITOE et al., 2012). Se a proximidade aos grandes centros urbanos representou um sentimento de segurança para as comunidades residentes nesses locais durante o período de guerra civil, não foi um ganho para a natureza circundante pela demanda dos recursos para o sustento.

Na análise de Saket (1994), a taxa de desmatamento ou da conversão da cobertura vegetal por não vegetal no período de 1972 a 1992 situava-se em 4.75% em todo o país, mais com a taxa bastante alta a província de Maputo representava o epicentro da devastação florestal, com uma estimativa de conversão acima dos 19.86% da sua área, Maputo apresentava uma taxa

de redução média da cobertura vegetal muito além dos 0.27% da média todo território moçambicano no período de análise.

O cenário mais recente da cobertura vegetal, foi apresentada no estudo de Marizoli (2007), no qual as florestas apresentavam um decréscimo acima de 20 milhões de hectares, convertidos em outros tipos de cobertura desde as formações lenhosas, pradarias e agricultura. Portanto no, inventário de Marizoli (2007) a cobertura florestal representava cerca de 40,1 milhões de hectares, dos quais 820,7 hectares estão localizados na província de Maputo (onde se encontra inserido a BHRU), a mais diminuta de todo o país representando menos de 1% de toda área coberta no entanto, em termos relativos é a que apresenta a maior a taxa anual de desflorestamento (-1.67%).

Segundo Saket (1994), as mudanças verificadas na cobertura vegetal na grande parte das florestas do país se enquadravam nas necessidades de expansão das áreas agrárias através do desmatamento e outros relacionados as necessidades energéticas, as práticas de queimadas ao pousio temporário.

A grande parte da vegetação nativa remanescente em volta da área da BHRU, encontra-se nos locais mais íngremes portanto, com muito pouca acessibilidade, enquanto as florestas remanescentes em solos mais profundos e acessíveis estão ameaçadas tanto pela produção de carvão quanto pela necessidade de terras para a agricultura de subsistência, ver as figuras 13 e 14.

Figura 13: Madeira preparada para produção de carvão vegetal

Fonte: Osborne, 2018.

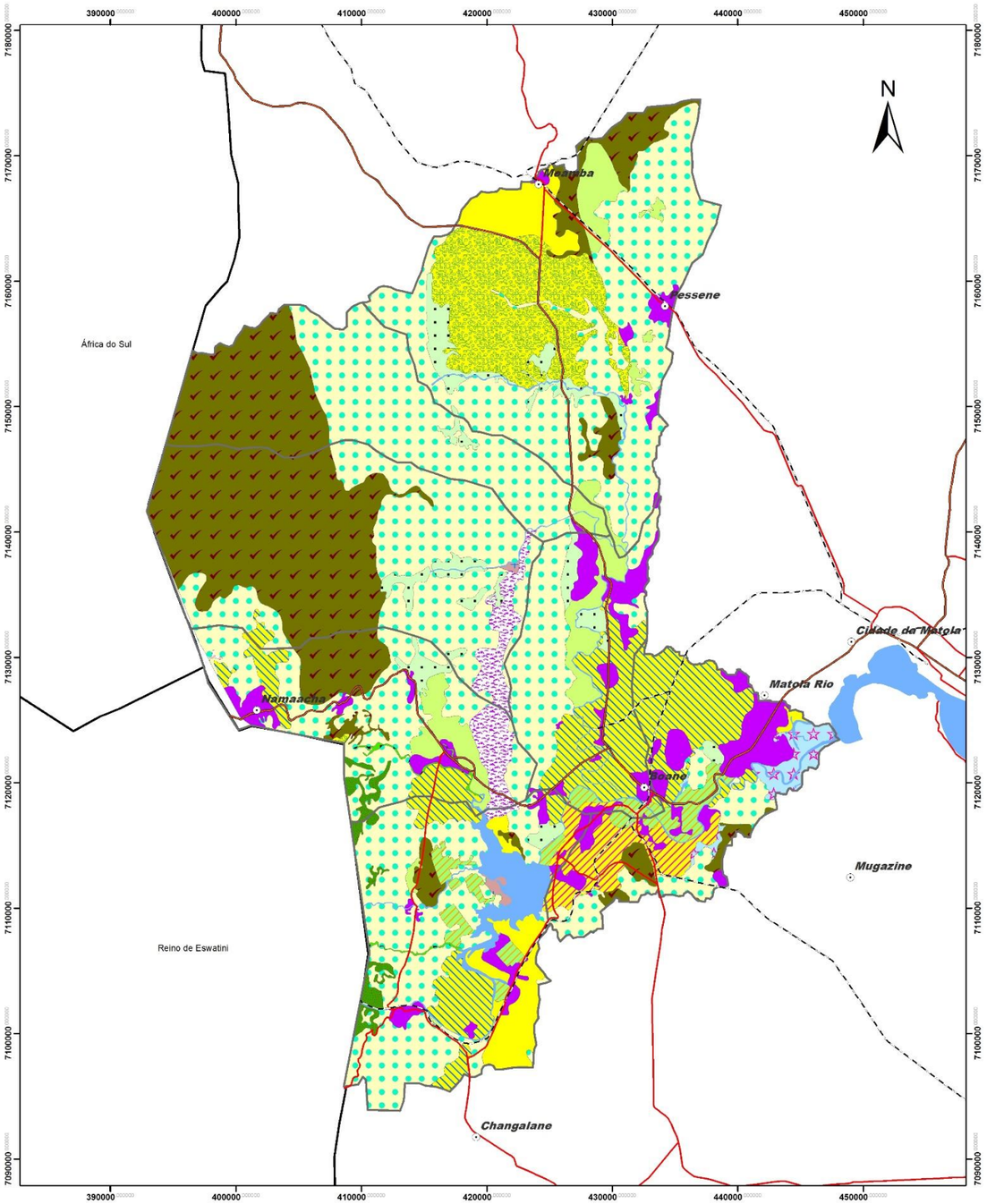
Figura 14: Colinas perto de Goba mostrando áreas abertas onde a floresta foi desmatada para a produção de carvão.

Fonte: Osborne, 2018.

Como nenhuma vida existe no vácuo, cada organismo vivo precisa depende e interage com diferentes componentes não vivos (abióticos) e componentes vivos (bióticos) ou com o meio ambiente (SINGH, 20006). Portanto, a disposição da vegetação e composição florística de uma certa região tende a desempenhar um papel crucial na manutenção e continuidade do ambiente ecologicamente saudável pela minimização dos impactos dos fenômenos naturais que ocorrem na natureza (CAPPI & PINTO, 2003 *apud* MACIE, 2009).

O mapa 7, ilustra a disposição da vegetação natural e não natural na área da bacia, fato que irá oferecer subsídios em como a distribuição de cada uma das unidades se interconecta no arranjo e espacialização do carbono no solo.

Mapa 7: Uso e cobertura do solo da Bacia Hidrográfica do rio Umbelúzi



Fonte: Rural Consult-RMSI-IUCN, 2013.
Elaborado por: Orlando Jalane, 2020.

Universidade Federal do Ceará
Programa de Pós-Graduação em Geografia

CARBONO NO SOLO E CORRELAÇÕES COM A DINÂMICA DA PAISAGEM: CONTRIBUIÇÃO PARA O PLANEJAMENTO E GESTÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO UMBELÚZI - MOÇAMBIQUE

Autor: Orlando Inácio Jalane
Orientador: Prof. Dr. Edson Vicente da Silva
Co- orientador: Prof. Dr. Carlos Henrique Sopchaki

Uso e Cobertura do Solo da bacia hidrográfica do rio Umbelúzi

Legenda

Categoria de cobertura da Terra

Domínio	Cobertura da terra	Nome Completo	Código	Simbolo
Floresta	Floresta densa decidua	Floresta densa decidua	2FD	
	Floresta de galéria	Floresta de galéria	2FEG	
Floresta aberta	Floresta aberta	Floresta decidua aberta	2WD	
Pradarias	Pradarias	Pradaria arbórea	2GCT	
	Pradarias	Pradaria arbustiva	2GCS	
Matagal	Matagais	Matagal deciduo	2TD	
Arbustos	Arbustos	Arbustos deciduos	2SD	
Vegetação Herbácea	Pradarias	Vegetação herbacea temporariamene inudada	4HVT	
Arbustos	Arbustos inundaveis	Áreas arbustivas abertas temporariamente inundadas	4SET	
eas descobertas consolidad	Sem vegetação	Rochas sem vegetação	6BR	
Corpos de água natural	Água	Corpos de água natural	8WB	

Uso da Terra

Dominio	Uso de Terra	Nome Completo	Código	Simbolo
Cultivos arbórias	Agricultura permanente	Plantações agricolas (Pomares)	1TCF	
Cultivos mistos	Agricultura permanente	Cultivos de sequeiros	1FCR	
Cultivos mistos	Agricultura permanente	Cultivos de regadios	1FCI	
Classe mista	Agricultura de subsistência	Agricultura itinerante/ Florestas	1CXF	
Classe mista	Agricultura de subsistência	Florestas com agricultura itinerante	2FXC	
Áreas construidas	Sem vegetação	Áreas habitacionais	5BU	

CONVENÇÕES

- Cidades e Vilas
- Estradas Principais
- Estradas secundarias
- Ferrovia
- Rede hidrográfica
- Oceano

Albufeira, Lago, Lagoa, Rio

INFORMAÇÕES CARTOGRAFICAS

Sistema de Projeção: UTM
Elpsoide: Clark 1866
Datum: WGS84
Zona: 36

Escala Numérica

1:250,000

Escala Gráfica

0 1.5 3 6 9 12 15 Km

Localização da área de estudo

De acordo com os dados do Zoneamento Agroecológico Nacional (ZAEN), realizado em Moçambique de 2010 a 2014 a região da BHRU apresenta uma cobertura vegetal maioritariamente dominada por arbustos, floresta decídua aberta e por pequenas machas de pradaria arbórea, arbustiva e matagal. O seguimento de uso do solo é particularmente dominado pelas várias variantes agrarias encontradas no local em pareceria com as áreas habitacionais.

Em seguida são apresentadas algumas unidades representativas do uso e cobertura da terra dentro da unidade de mapeamento do BHRU, com as suas respetivas discrições, baseados nos relatórios de levantamentos do ZAEN. De salientar que de acordo com esses relatórios, representado na tabela 3, as unidades de mapeamento 2SD, 2WD, 1FCR e 5BU são as de maior representatividade na área de estudo em torno de 77.19% da cobertura total.

Tabela 3: Dados de cobertura da terra e do uso do solo no BHRU.

Código	**Designação**	**Área (hectares)**	**Área (%)**
2FD	Floresta densa decídua	1845.599	0.73
2FEG	Floresta de galeria	627.7073	0.25
2WD	Floresta decídua aberta	50719.76	20.00
2GCT	Pradaria arbórea	11735.94	4.63
2GCS	Pradaria arbustiva	5231.119	2.06
2TD	Matagal decíduo	6355.607	2.51
2SD	Arbustos decíduos	108810	42.91
4HVT	Vegetação herbácea temporariamente inundada	3690.789	1.46
4SET	Áreas arbustivas abertas temporariamente inundadas	308.9139	0.12
6BR	Rochas sem vegetação	65.69659	0.03
8WB	Corpos de água natural	5032.132	1.98
1TCF	Plantações agrícolas (Pomares)	4030.281	1.59
1FCR	Cultivos de sequeiros	22405.49	8.84
1FCI	Cultivos de regadios	6036.7	2.38
1CXF	Agricultura itinerante/ Florestas	4419.636	1.74
2FXC	Florestas com agricultura itinerante	5947.314	2.35
5BU	Áreas habitacionais	16335.89	6.44

Fonte: Rural consult-RMSI-IUCN, 2013.

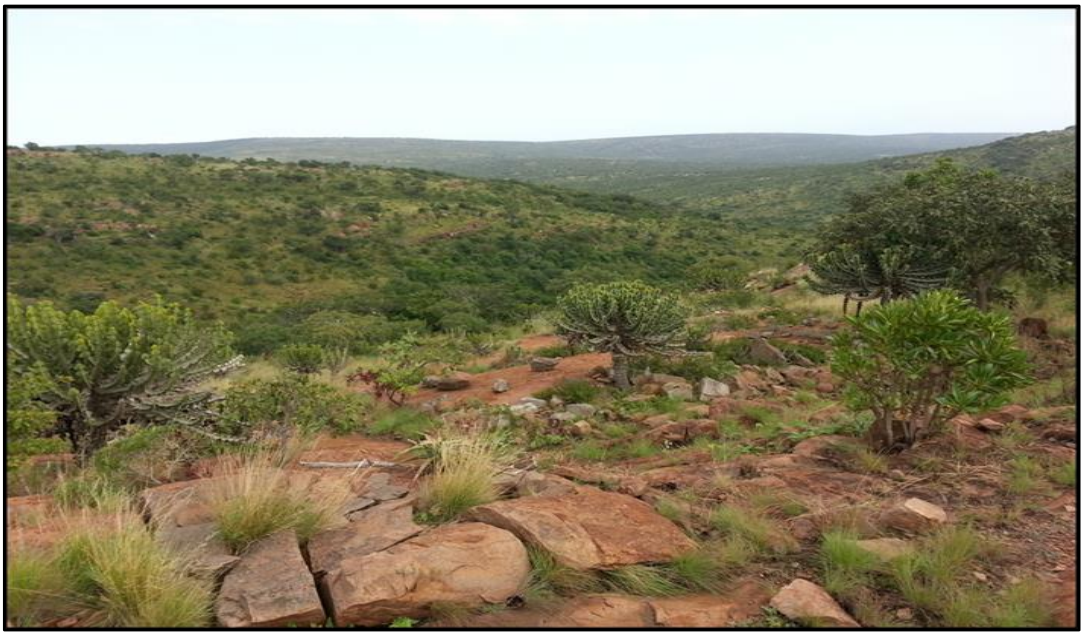
A unidade de Mapeamento 2SD (Arbustos decíduos), representa a maior área de cobertura com cerca de 42,91% e ela se caracteriza pela concentração de árvores de pequeno porte, variando dos 60 cm a menos de 6 metros, com pouca influência humana. A vegetação é constituída essencialmente por gramíneas e arbustos semi-caducifólios dispersos ou em pequenos grupos florísticos (DINIZ et al., 2012). Tem como as espécies mais comuns as Aloe marlothii, Acacia kraussiana, Albizia adianthifolia, Dialium schlechteri, Garcinia livingstonei, Sclerocarya birrea subsp. Terminalia sericea e Xylotheca kraussiana além das gramíneas Cymbopogon caesius, Hyperthelia dissoluta e Trachypogon excavatus.

A segunda maior representação de cobertura se destaca a unidade 2WD (Floresta decídua aberta) que ocupa 20% da área total da bacia, sendo caracterizada na sua maioria por ser vegetação das regiões mais altas do Cristalino e com tendência a perda momentânea das folhas na generalidade das árvores durante os períodos mais secos do ano.

Encontra-se geralmente situada em altitudes dos 300 aos 800 metros acima do nível do mar. A sua vegetação é geralmente seca e semicaducifólia, equiparando-se as savanas com espécies lenhosas as mais salientes, sendo distinta na sua composição florística (DINIZ et al., 2012). A outra caraterística relevante dessa vegetação reside nos seus solos normalmente secos, rasos e rochoso, onde se desenvolvem árvores com alturas entre os 20 a 30 metros, principalmente em regiões onde os solos são poucos profundos.

As espécies comuns desse ambiente são as Acacia nigrescens, Afzelia quanzensis, Androstachys johnsonii e Sporobolus indicus, entre outras que podem ser observadas na figura 15.

Figura 15: Composição ao fundo de uma floresta aberta no monte Libombos – Namaacha.



Fonte: Coleção Própria (Jalane, 2019).

A categoria de uso de solos, representados pelas unidades 1FCR e 5BU são os outros dois destaques pela percentagem das áreas ocupadas dentro da região da BHRU. A unidade 1FCR (Cultivos de sequeiros), é o terceiro tipo de cobertura (neste caso de categoria de uso) que pode ser observado, mostrando a relevância das atividades agrícolas para as comunidades

inseridas na área e ela é exemplificada na figura 16 (A e B), que mostram diferentes estágios de trabalho agrícola.

Figura 16: Área recém lavrada, nas encostas de Mafuiane na parte sul de Namaacha (**A**) e produção de hortícolas nos vales do distrito de Namaacha Sede (**B**).

Fonte: Coleção Própria (Jalane, 2019).

Por último a unidade 5BU (Áreas habitacionais), representa a grande pressão socioeconômica e ambiental que a área está exposta pela demanda das necessidades das comunidades que vivem dentro e fora da área da BHRH. Ela está espalhada ao longo de toda a área da bacia é caracterizada pelos diversos formas de assentamentos, desde rurais, semiurbanos e urbanos. Os assentamentos rurais apresentam uma mistura nas técnicas de construção desde os materiais convencionais e típicas casas de barro cobertas de capim designados localmente por palhotas e elas são na sua maior encontradas em áreas rurais, podem ser observadas na Figura 17 (A e B).

Figura 17: Casas de palhotas (A) e construção convencional coberta a chapa de zinco (B).

Fonte: Coleção Própria (Jalane, 2019).

5.4.1 Índice de Vegetação da Diferença Normalizada e o Uso Atual da Terra

Para complementar e entender a cobertura e uso do solo e a distribuição espacial da vegetação foi gerado através da classificação de imagens do satélite o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), correspondente às duas estações climáticas vigentes na região Austral de África, que são divididas em período seco (março – setembro) e húmido (outubro – fevereiro). Essa distribuição nos permite o melhor entendimento da forma como o clima pode influenciar as formas de cobertura do solo e consequentemente o uso que é feito dela e como isso pode impactar nas paisagens.

Segundo Huete (1997), o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) permite entender e avaliar o comportamento qualitativo da biomassa, nos diferentes ecossistemas. Ela é gerada através pelo seguinte algoritmo matemático [NDVI = (NIR - red)/(NIR + red)], usando imagens de diferentes satélites de monitoramento da terra. Onde NIR representa a banda do infravermelho próximo e red a banda do vermelho, visto que são as duas bandas onde a vegetação sadia tem a sua maior refletância.

Para materializar o NDVI foram empregadas as imagens do satélite Landsat 8 OLI/TIRS C1, com 9 imagens no sensor OLI (Operational Land Imager), incluindo um

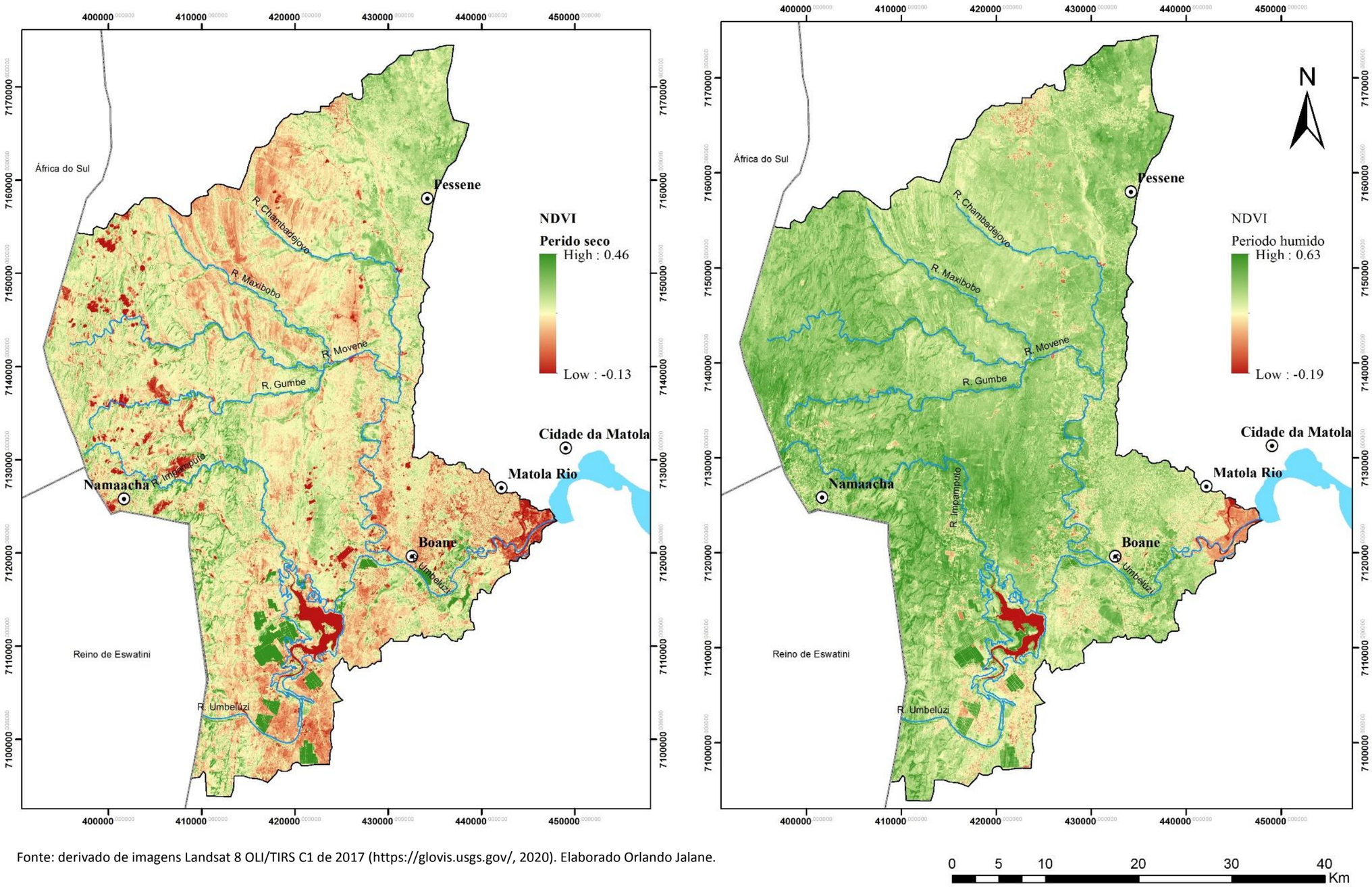
pancromático com resolução espacial de 15 m sendo o resto de 30m, ainda disponibiliza duas imagens no sensor Thermal Infrared Sensor (TIRS) de 100 m.

O NDVI do período seco foi gerado a partir de uma imagem de 05 de Julho de 2017, que representa segundo os dados climáticos o momento auge da estiagem no sul de Moçambique, enquanto a húmida recorreu se ao mês de fevereiro do mesmo ano.

Em ambas as situações, os valores mais elevados de NDVI são observados ao longo das principais linhas de drenagem e em terrenos mais altos da serra dos Libombos, junto à fronteira este de Moçambique com o reino de Eswatini e a República da África do Sul. Essa faixa representa as poucas concentrações densas de floresta e a floresta decídua aberta com árvores superiores a 8 metros de altura dentro da área da bacia.

O mapa 8 ilustra essa variação da biomassa entre os dois períodos, representando a escassez e a disponibilidade de chuvas na bacia, onde pode ser vista pequenas áreas verdes na época seca.

Mapa 8: NDVI para estação seca e chuvosa do BHRU derivado de imagens do Landsat 8 OLI/TIRS.



Fonte: derivado de imagens Landsat 8 OLI/TIRS C1 de 2017 (https://glovis.usgs.gov/, 2020). Elaborado Orlando Jalane.

O mapa 8 mostra uma variação bem mais ampla de NDVI durante a estação mais seca, sendo que os valores mais baixos são encontrados nos topos das rochas nuas e junto as regiões com solos de cobertura arenosa nas dunas interiores isso a medida que nos afastamos do interior continental, enquanto os valores mais elevados são observados nas baixas ao longo das linhas naturais de drenagem. No período húmido a vegetação ganha vida se espalha ao longo de todas as áreas altas de Namaacha e junto as depressões, resultando em uma distribuição espacial mais ampla e quase que cobre na totalidade as linhas naturais de drenagem.

Há um aumento substancial de áreas com níveis de NDVI superior a 0,5 e atingindo o valor máximo observado de 0,63, anunciando uma vegetação mais viva e vigorosa. Esse aumento exponencial das características se deve em grande parte da chegada da estação chuvosa, que é geralmente quente e disponibilidade da luz solar é mais ampla.

5.5 Clima

O clima se revela como um dos componentes extremamente importante para a análise dos fenômenos naturais, sendo um dos grandes fatores de condicionamento das atividades humanas, por essa razão acaba influenciando na dinâmica dos ecossistemas. O estudo do clima compõe um importante capítulo da ciência moderna, pois a atmosfera influencia diretamente as atividades humanas, e vista como um fenômeno que regula o sistema natural, aberto às entradas de energia provindas das pelas mesmas atividades, resultando na estrutura espacial (MENDONÇA, 2007 apud BELIZÁRIO, 2014; ELY, 2006, p. 166).

Analisando o clima da BHRU, começamos pela sua integração em relação ao o clima da África Austral que é maioritariamente árido a semiárido com tendência a seca, se não recebesse considerável chuva orográfica em alguns locais. É dominado por 3 sistemas de circulação atmosférica, que são dispostos numa sequência meridional:

- O sistema solstício de verão associado com a zona de convergência intertropical (ITCZ);

- As zonas de anticiclones de altas pressões subtropicais, que tem um constante efeito de secagem nas áreas centrais;

- A Zona de Ventos de Oeste, de média latitude, traz chuva ciclônica para a área do Cabo (Van Zinderen Bakker, 1976 apud INIA, 1993).

O sul de Moçambique está situado na zona dos anticiclones e é influenciado pela Corrente Quente do Oceano Indico. A corrente provoca altas temperaturas comparadas com as

de Costa Atlântica situadas na mesma latitude. Existem 2 estações: quente e chuvosa, e uma fria e seca. Um anticiclone subtropical está situado acima do Oceano Indico entre 25° e 3 8° Sul. Depressões formam-se próximo da costa ou no interior entre os 25° e 30° Sul a partir de outubro a dezembro. Existe uma depressão térmica na estação quente acima da África Austral.

Em seguida são apresentadas as tabelas 4, 5 e 6, mostrando valores históricos climáticos de três estações, localizados em cada um dos distritos que compõem a BHRU. Os dados são referentes a uma série climática de 30 anos compilados em um banco de dado e publicados pela FAO (1984). Para os fins propostos se escolheu apresentar apenas 7 variáveis que se mostram importantes para sua interpretação, merecendo destaque apenas quatro dos mesmos (precipitação, temperatura média, evapotranspiração e a humidade relativa).

Tabela 4: Dados da estação de Namaacha

Distrito da Namaacha (Altitude 523m)													
	Jan	Fev	Mar	Abri	Mai	Jun	Jul	Agos	Set	Out	Nov	Dec	Anual
P (mm)	150.6	117.1	116.6	70.8	28.8	24.3	22.1	21.6	42.6	80.3	115	105	894.8
T média	23.8	23.6	23	21.6	19.8	19.6	17.8	20	21.3	22	23.3	21.1	21.1
ET P (mm)	128.6	111.8	105.6	4.9	69.5	56.6	61.5	79	102	119	119	130	1168
H. R (%)	76	77	78	75	70	70	65	65	66	69	72	74	71

Fonte: FAO, 1984 (médias mensais de 1960 a 1990).

Tabela 5: Dados da estação de Moamba

Distrito de Moamba (Altitude 110m)													
	Jan	Fev	Mar	Abri	Mai	Jun	Jul	Agos	Set	Out	Nov	Dec	Anual
P (mm)	125.8	96.7	59.9	49.3	15.5	13.6	5.5	9.2	24	46.2	60.8	80.8	587.3
T média	27.4	27	26.7	24.8	21.4	19	19	20.8	23.2	24.6	25.7	26.8	23.9
ET P (mm)	170.3	142.9	136.4	109	89.6	74	79.2	106	132	154	162	173	1528
H. R (%)	67	69	68	67	65	64	65	62	62	65	65	67	65.5

Fonte: FAO, 1984 (médias mensais de 1960 a 1990).

Tabela 6: Dados da estação de Umbelúzi - Boane

Posto de Umbelúzi (Altitude 12m)													
	Jan	Fev	Mar	Abri	Mai	Jun	Jul	Agos	Set	Out	Nov	Dec	Anual
P (mm)	126.5	118.7	69.1	59.9	16.6	17.5	17.6	13.6	34.1	54.5	71.1	79.4	678.6
T média	26.6	26.5	25.6	23.6	20.5	18	17.8	19.8	21.7	23.6	24.6	26.2	22.9
ET P (mm)	166.1	139.1	121.7	102	82	60.5	69.2	100	123	140	150	162	1415
H. R (%)	69	71	72	72	71	72	70	65	65	66	66	66	68.8

Fonte: FAO, 1984 (médias mensais de 1960 a 1990).

P(mm) – precipitação média mensal em milímetros, T média – temperatura média mensal em graus Celsius.

ET P (mm) – Evapotranspiração potencial em milímetros, H.R (%) – humidade relativa.

A temperatura média do ar mais baixa é registada no alto da cadeia dos Libombos, na Namaacha (17,8°C) no mês de julho, e a mais alta temperatura média é encontrada ao Norte da área de estudo (27,4° C) na estação de Moamba. É em Moamba que se regista a temperatura

ambiental mensal máxima do mês mais quente que é de 34,1ºC. A temperatura ambiental mínima mensal do mês mais frio é de 9° no interior do planalto dos Libombos, isso no distrito da Namaacha. A variação da amplitude da temperatura média anual é mais alta na parte central do que na costa ou nos Libombos, sendo respectivamente 8°C e 6° C.

As precipitações acumuladas anuais nas três estações localizadas na BHRU são inferiores a 1000 mm e superior a 500 mm, e se encontra concentrada nos meses de novembro a fevereiro e a menor concentração pluviométrica se estende do período de junho a setembro, que concede com o inverno moçambicano.

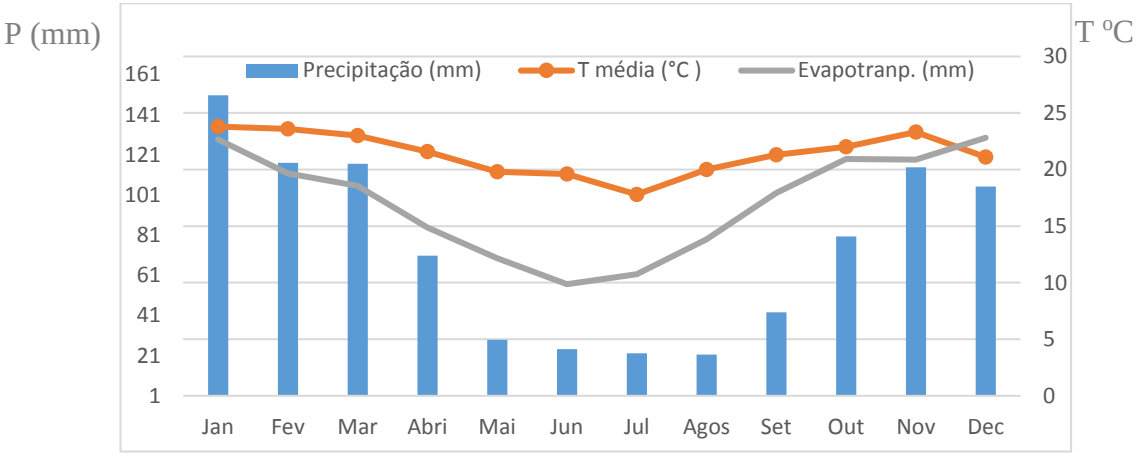
Salientar que a umidade relativa do ar nas três estações climáticas analisadas na área da bacia, apresentavam variações acima de 55% e não superior 80%, sendo que os valores mais altos são encontrados no distrito da Namaacha, anunciando condições especificas do clima influenciado pela altitude e de acordo com a classificação Köppen, o clima é Tropical Húmido (AW), modificado pela altitude, sendo a Norte e Leste, o clima é Seco de Estepe (BS) (MAE, 2005). A precipitação média anual é de 894,8 mm, ocorrendo cerca de 60% desta precipitação entre novembro e março.

O distrito da Moamba apresenta dois subtipos de clima segundo a classificação de Koppen, que são os tipos BS (Clima de estepe), com uma temperatura média anual de 24°C e pluviosidade anual entre 580 a 590 mm e, também, junto à fronteira com Ressano Garcia e o clima do tipo BSW, Clima de estepe com invernos secos, e baixa pluviosidade em comparação ao resto do distrito, mais que não se encontra inserido na área coberta pela BHRU, portanto está fora da nossa análise.

Em última análise a estação de Umbelúzi que representa uma grande parte da área banhada pelo rio Umbelúzi no distrito de Boane, apresenta um clima do tipo sub-húmido e com deficiência de chuva na estação fria. A pluviosidade média anual é de 752 mm variando entre os valores médios de 563,6 mm para o período húmido e os 43,6 mm no período seco, concentrados como o caso dos outros distritos de novembro a março (MAE, 2005).

As condições climáticas exercem influências de diversas formas no ambiente, a radiação solar, velocidade do vento, temperatura e umidade relativa do ar podem influenciar a evapotranspiração, o que afeta na disponibilidade de água nos solos afetando o desenvolvimento de plantas. Aqui são apresentados os três gráficos, Figuras (18, 19 e 20) que combinam dois desses elementos em relação a evapotranspiração potencial para análise da sua disposição e como isso pode influenciar no ambiente em estudo.

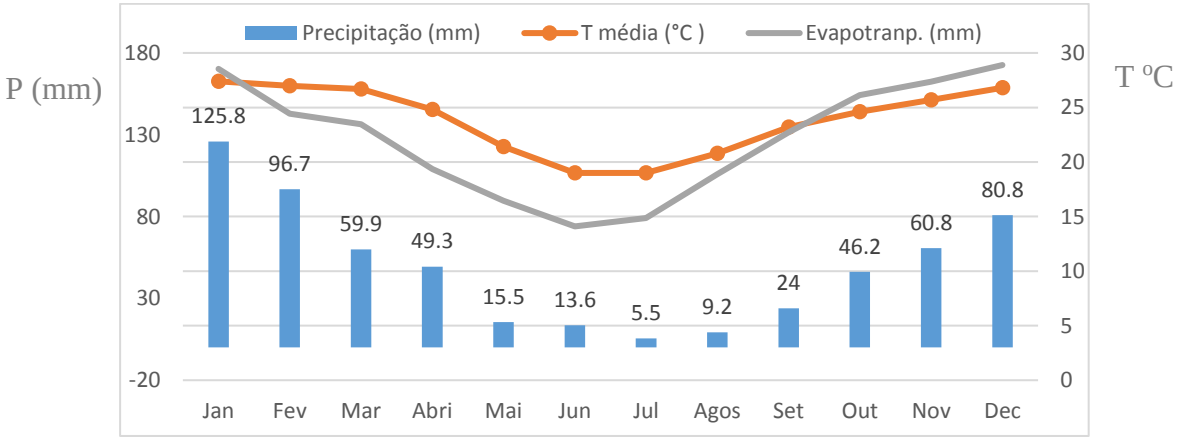
Figura 18: Gráfico termo pluviométrico X evapotranspiração de Namaacha.



Fonte: Adaptado dos dados da FAO (1984).

O distrito de Namaacha apresenta uma variação térmica média mensal não superior a 25ºC, isso em todos os meses do ano, influenciando pelo sub clima de montanha e com a maior parte da precipitação acumulada no período de verão Austral de outubro a março, sendo que o inverno é seco e vai de abril a setembro. A evapotranspiração potencial é quase superior em quase todo o ano excetuando o mês de janeiro, fato que anuncia as deficiências hídricas da região em grande parte do ano.

Figura 19: Gráfico termo-pluviométrico X evapotranspiração de Moamba.

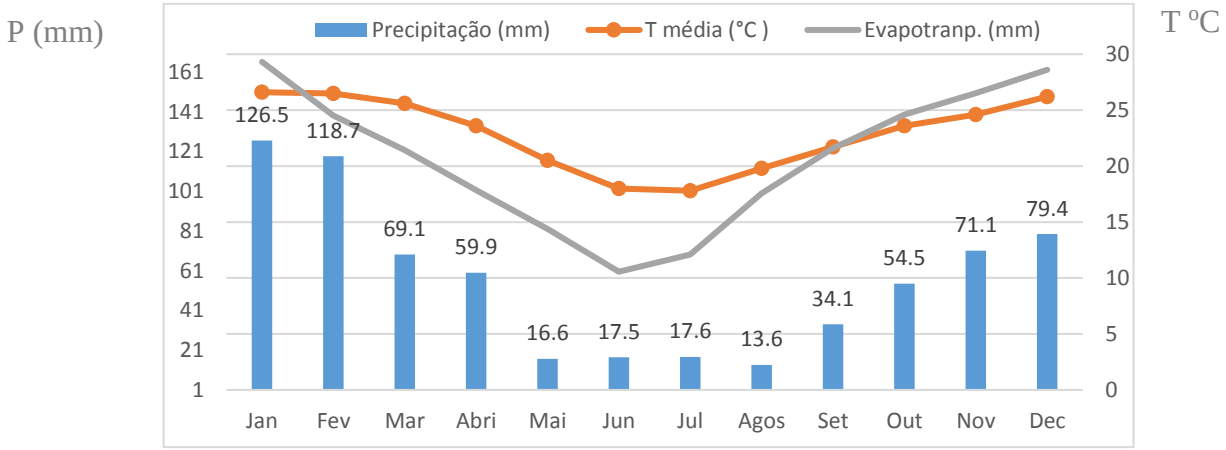


Fonte: Adaptado dos dados da FAO (1984).

Moamba é um dos distritos mais áridos da província de Maputo, caraterizado por um verão bastante quente com temperaturas médias mensais acima de 25ºC e um inverno bastante seco com precipitações médias a não ultrapassar os 50 mm durante esse período. As

precipitações de uma forma geral estão situadas abaixa a evapotranspiração potencial, a semelhança.

Figura 20: Gráfico termo-pluviométrico X evapotranspiração de Umbelúzi-Boane



Fonte: Adaptado dos dados da FAO (1984).

Em suma todas as estações localizadas na bacia, tem um verão húmido e um inverno seco sendo que período chuvoso vai de outubro a março e a precipitação média não ultrapassa os 900 mm, em toda área drenada pela bacia.

5.6 Recursos Hídricos

Moçambique é um país a jusante de todo o sistema de movimento das águas na região austral de África, por essa razão enfrenta grandes dificuldades no quesito, disponibilidade de água.

A área em estudo é drenada por 8 pequenas bacias integradas em três micro bacias, a de Movene, Impampaputo e de Umbelúzi no extremo sul. As micros bacias com exceção da micro bacia de Umbelúzi tem a sua nascente na serra dos Libombos junto à fronteira de Moçambique e África do Sul, veja o mapa 9.

A região do Sul de país onde está localizada a bacia em causa, apresenta outros fatores condicionantes ao potencial hidro geológico da região, como os níveis pluviométricos muito baixos a grande parte da geologia dessa área e do tipo cristalino com capacidade de armazenamento bastante limitada.

O fato mais preocupante está aliado ao escoamento superficial que é maioritariamente dependente da abundância das chuvas na região, pois a fraca precipitação obriga os países a montante a racionar o fluxo da água que chega a Moçambique no período

úmido, visto que os rios dessa região são de regime periódico como um intervalo de 3 a 5 meses de escoamento.

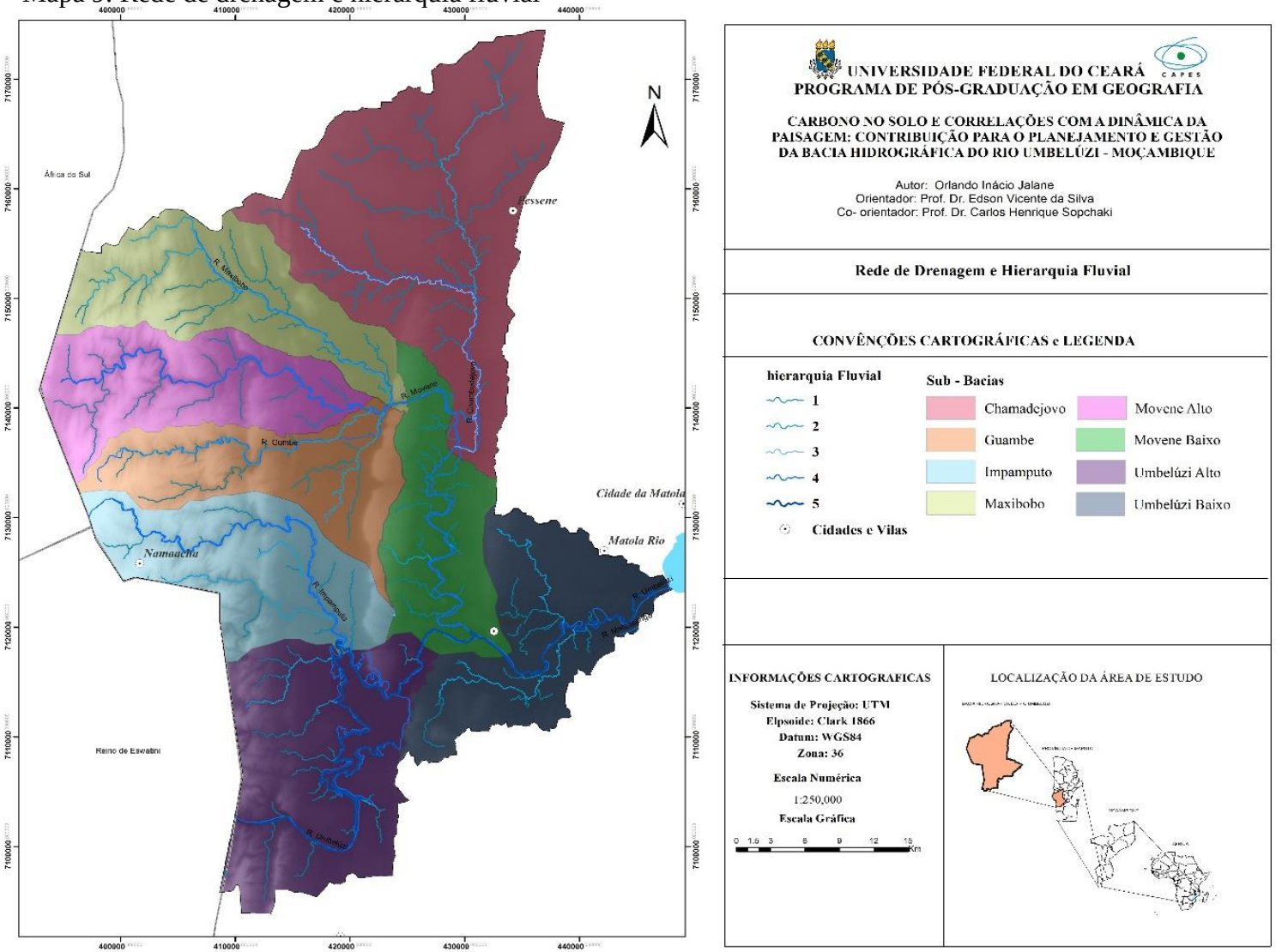
O que agudeza a escassez de água na região sul e em particular nas áreas da bacia, é associada a baixa capacidade de armazenamento do seu excedente no período de maior disponibilidade, divido a falta de infraestruturas adequadas para esse racionamento. Nos períodos de disponibilidade ela constituiu outro fator de preocupação para as comunidades, abaixo da conta de 100 m de altitude, portanto são áreas baixas suscetíveis as cheias cíclicas que alternam com secas severas em períodos de 2 a 4 anos.

Esses choques climáticos de alternância dos excessos de disponibilidade e falta severa tem acarretado grandes prejuízos financeiros e sociais na débil economia moçambicana que se tem ressentido do mesmo ao ponto de causar situações de insegurança alimentar no seio das famílias camponesas (OLLIVER et al., 2009, apud MACIE, 2009).

Com os aumentos frequentes na demanda hídrica da agricultura comercial, camponesa e de uso humano exige desenho de políticas de racionamento das águas da bacia, principalmente em períodos de maior vazão que constituem fator de risco devido às inundações e cheias que provocam destruição de infraestruturas de vária natureza.

A distribuição da rede de drenagem na BHRU, apresenta uma densidade maior nas sub – bacias de Umbelúzi alto e Movene Alto, onde são encontradas a maior parte das suas nascentes conforme mostra o mapa 9 da rede de drenagem e hierarquia dos rios.

Mapa 9: Rede de drenagem e hierarquia fluvial



Fonte: Elaborado pelo autor, com recurso ao SRTM (2020).

As áreas mais planas tendem apresentar uma densidade reduzida devido a elevada taxa de infiltração das águas favorecida pela textura mais arenosa dos solos que são encontrados nestas áreas, por essa razão com uma fraca capacidade de escoamento superficial. As maiores ramificações são observadas nas áreas mais elevadas da bacia, facilitado pelo rápido escoamento superficial do maciço e declividade bastante acentuada.

6 ASPECTOS REGIONAIS DA BACIA HIDROGRAFICA DO RIO UMBELUZI

A Bacia Hidrográfica do Rio Umbelúzi compreende três distritos da província de Maputo, os distritos de Namaacha, Boane e Moamba. O distrito de Namaacha no extremo sudoeste de Maputo a 76 km^2 da cidade de Maputo, a capital do país. Na bacia desse rio está em mais de 80% do território de Namaacha, é por onde o rio Umbelúzi faz a sua entrada no território moçambicano junto ao reino do Eswatini. O distrito de Boane, a sudeste da mesma província, tem acima de 50% do seu território pertencente à bacia, e finalmente o distrito de Moamba, que localizado na parte norte da província de Maputo, apenas é drenado por essa bacia cerca de 10% da sua área.

A bacia hidrográfica é atravessada por uma rede de estradas que facilitam a sua integração em relação aos mercados consumidores que depende dos produtos agrícolas que daqui a provem. Uma característica do relevo a analisar, é a sua importância estratégica na captação de água para grande Região Metropolitana de Maputo, que depende do armazenamento hídrico feito nessa bacia para os consumos industriais e residenciais.

Portanto, para o estabelecimento das ações de planejamento e gestão territorial através da água, foi aprovada a Política Nacional dos Recursos Hídricos, conhecida com a lei de águas (a lei nº 18/91) que apresenta três pontos principais no seu artigo número 1 no que refere a propriedade de água:

1 - As águas interiores, as superficiais e os respectivos leitos, as subterrâneas, quer brotem naturalmente ou não, são propriedade do Estado, constituído domínio público hídrico:

2. Constituem ainda domínio público hídrico, as obras, equipamentos hidráulicos e suas dependências realizadas pelo Estado ou par sua conta com o objetivo de utilidade pública.

3. O domínio público hídrico é inalienável e imprescritível e o direito ao usa e aproveitamento será concedido de modo a garantir a sua preservação e gerenciamento em benefício do interesse nacional.

Segundo a mesma lei era competência das Administrações Regionais de Águas (ARA), através da Direção Nacional de Águas atualmente designado por Direção Nacional de

Gestão de Recursos Hídricos (DNGRH) titulados pelo Ministério de Construção e Água, também mudou de designação para Ministério das Obras Públicas, Habitação e Recursos Hídricos (MOPHRH), zelar pela preservação, conservação das áreas banhadas pelas águas sobre a sua jurisdição, com o foco para administração dos recursos hídricos da região.

As ARAs são divididas em cinco regiões nomeadamente a região Norte, Centro, Zambeze, Centro-Norte e Sul, representando o braço mais longo do estado na administração da água. O outro instrumento usado na governança das águas em Moçambique é a Estratégia Nacional de Gestão de Recursos Hídricos (ENGRH) aprovado em 2007.

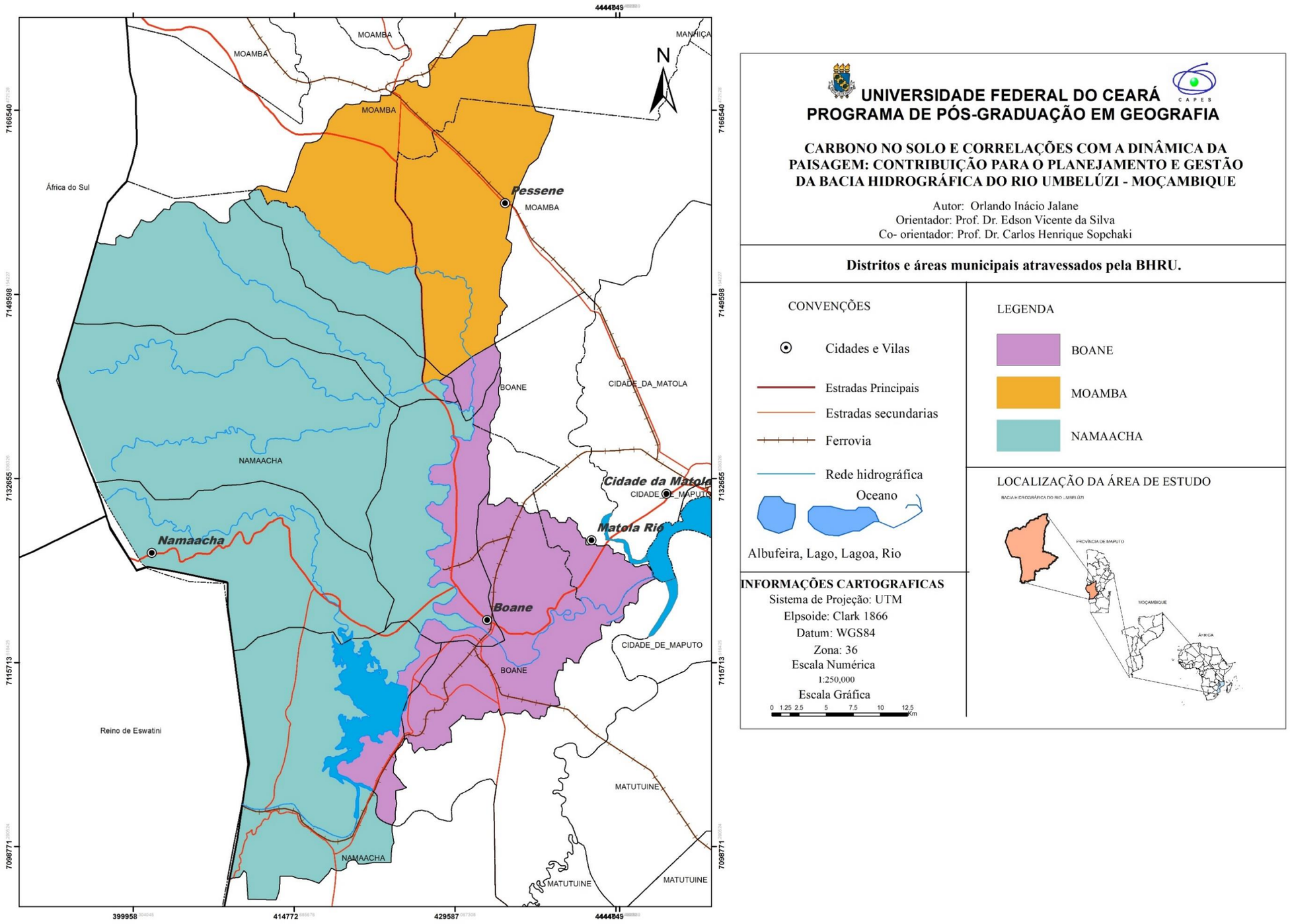
> O principal objetivo da Estratégia Nacional de Gestão de Recursos Hídricos é a implementação efetiva da Política de Águas, cuja meta compreende a satisfação das necessidades básicas de abastecimento de água para o consumo humano, melhoramento do saneamento, utilização eficiente da água para o desenvolvimento económico, água para conservação ambiental, redução da vulnerabilidade às cheias e secas, e promoção da paz e integração regional, bem como garantir os recursos hídricos para o desenvolvimento de Moçambique.

A gestão das bacias hidrográficas foi delegada as Unidades de Bacias Hidrográficas (UGB's), sendo que cada unidade de gestão, tem um Comité que é constituído pelos principais intervenientes, representantes dos grandes, médios e pequenos utentes de água, associações de agricultores, instituições públicas, privadas e autoridades locais.

Segundo a ARA-SUL, Os Comités de Bacia são órgãos consultivos que funcionam como ferramentas de coordenação entre os utentes de uma bacia, entidades gestoras dos perímetros de rega e outras instituições relacionadas com o uso e aproveitamento da terra e água. O objetivo central dos comitês de bacias é conjugar esforços para otimizar o uso de água, minimizar riscos de prejuízos e conservar o equilíbrio ambiental, propondo medidas a serem adotadas em casos de secas, cheias e acidentes, através da definição de prioridades de uso de água. Ela é ainda responsável em promover a compatibilização dos planos anuais de agricultura e produção de energia em harmonia com a disponibilidade de água para a salvaguarda da estabilidade ambiental.

A Bacia Hidrográfica do Rio Umbelúzi é gerida pela Administração Regional das Águas do Sul (ARA SUL), administrando as águas da região sul de Moçambique, desde o rio Save até ao limite sul do país. Tendo sendo está a primeira a ser criado no país no âmbito da lei 16/91, conhecido como a lei de águas. A gestão da Bacia está encarregue a Unidade de Gestão da Bacia do Umbelúzi (UGBU), observar o mapa 10.

Mapa 10: Distritos e áreas municipais atravessados pela bacia do rio Umbelúzi



Fonte: DINAGECA,1995.
Elaborado: Orlando Jalane, 2020.

6.1 Distrito de Namaacha breve descrição

Segundo o MAE (2005), o distrito da Namaacha, situa-se no setor sudoeste da província de Maputo, fazendo limite a oeste com republica da África do Sul e o reino de Eswatini, a norte com o distrito de Moamba, a este com o distrito de Boane e a sul com o de Matutuine.

A designação Namaacha provém de Lomahacha, nome de um antigo soberano (régulo) que governou a região dos Pequenos Libombos antes da fixação dos colonos. Foi desmembrado em dois (Namaacha e Lomaacha), após o tratado de 1869, assinado em Pretória, que reconheceu aos portugueses direitos do território até ao paralelo 26° 30' Sul, e que estabeleceu os Montes Libombos como fronteira de Moçambique com o Reino de Eswatini e o Transvaal, MAE (2005).

É neste distrito que o rio drena a sua maior área no território moçambicano, sendo alimentado a partir de pequenos cursos de água ao longo das várias depressões que se formam no relevo acidentado de rochas basálticas do Complexo dos Libombos. O distrito de Namaacha é composto por dois postos administrativos, o posto administrativo de Namaacha sede e o posto de Changalane. É no posto administrativo da Namaacha sede onde ocorre a entrada do rio Umbelúzi, em território moçambicano, formando a bacia hidrográfica de mesmo nome.

A bacia no distrito, tem uma superfície[18] de 2.196 Km^2, na sua maioria em terras altas e medias isso junto ao Complexo dos Libombos e as terras adjacentes ao complexo, é possível ainda vislumbrar encostas e pequenas planícies nas altitudes de 100 a 200 m. O distrito marca de forma imponente a região Sul do país, através das suas altitudes elevadas. Com uma orientação norte-sul a serra dos Libombos comporta o ponto mais elevado do sul do país, o monte Mponduíne acima dos 800 m, cujo a serra vai diminuindo a sua altitude e aplanado na direção leste, MAE (2005).

Todos os rios abrem vales em forma de V de Oeste a Este no planalto. A escarpa oriental da cadeia, desce para os planaltos basálticos (Impamputo) a menos de 150 m acima do nível do mar, estes são separados a Este pelas montanhas riolíticas dos Pequenos Libombos, levantando-se abruptamente até os 300 m acima do nível do mar.

[18] Centro Nacional de Cartografia e Teledetecção (CENACARTA), Cadastro Nacional de Terras http://www.cenacarta.com/

6.1.1 População

A população do distrito tem apresentado um ritmo de crescimento bastante alto assim como as tendências do resto do país, mesmo sendo esse distrito de imigração por sua natureza principalmente dos jovens em idade produtiva com o destino ao reino do Eswatini e a república Sul Africana em busca das melhores condições de vida. Foi registrado um aumento de cerca de 33.4% desde o censo de 1997 para o terceiro censo da população de 2007 dos 31 441 para os 41 954, que tiveram um acréscimo de 10513 pessoas vivendo no distrito. Observar a tabela 7 referente a distribuição da população por faixas etárias e sexo.

Tabela 7: População do distrito de Namaacha (idade, sexo e percentagem).

Grupos etários	População Absoluta			Percentual (%)		
	Mulheres	Homens	Total	Mulheres	Homens	Total
0 - 4	2 825	2 852	5 677	11.72	12.38	12.05
5 - 9	3233	3238	6 471	13.42	14.06	13.73
10 - 14	3028	3123	6 151	12.57	13.56	13.05
15 - 19	2592	2637	5 229	10.76	11.45	11.1
20 - 24	2122	2057	4 179	8.81	8.93	8.87
25 - 29	1784	1660	3 444	7.4	7.21	7.31
30 - 34	1646	1430	3 076	6.83	6.21	6.53
35 - 39	1363	1318	2 681	5.66	5.72	5.69
40 - 44	1139	1044	2 183	4.73	4.53	4.63
45 - 49	915	749	1 664	3.8	3.25	3.53
50 - 54	920	690	1 610	3.82	3	3.42
55 - 59	725	688	1 413	3.01	2.99	3
60 - 64	598	573	1 171	2.48	2.49	2.48
65 - 69	427	367	794	1.77	1.59	1.68
70 - 74	271	253	524	1.12	1.1	1.11
75 - 79	216	155	371	0.9	0.67	0.79
80 e +	293	198	491	1.22	0.86	1.04

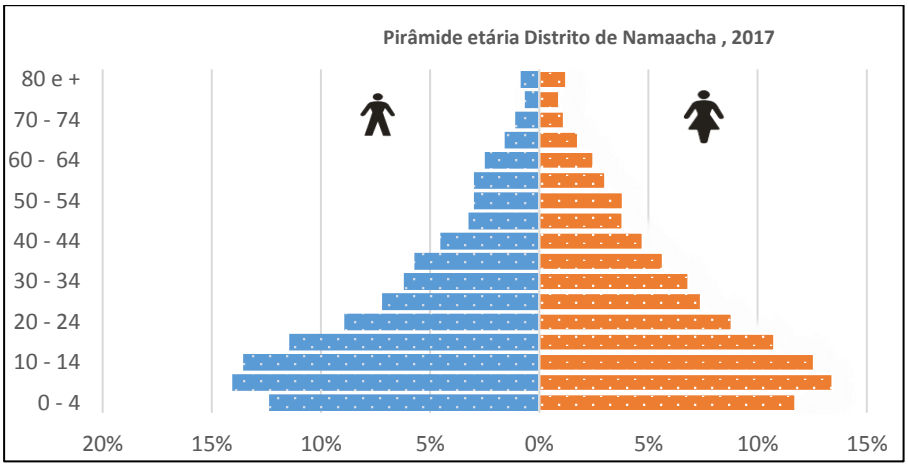
Fonte: Dados do INE (2019)

Segundo o INE (2019), a população do distrito foi estimada em cerca de 47 129 indivíduos no IV RGPH de 2017, dos quais cerca de 51,1% são de sexo feminino. Avaliando a pirâmide etária do distrito (figura 21) é possível constatar que ela tem uma base bem mais larga e um topo muito fino assim como as características da população no seu todo em Moçambique, o que advoga a existência de bastante população jovem ainda em idade escolar, o que eleva a taxa de dependência demográfica[19], visto que a população dos 0 -16 anos está na ordem dos 37% da população total do distrito.

[19] Em cada 100 pessoas existem cerca de 99 pessoas a espera de outras para lhes suportar em todas as suas despesas - Taxa de dependência é a razão entre população inativa (0 – 14 anos e 65 anos e mais de idade) e a população economicamente ativa (15 a 64 anos de idade na data de referência do Censo INE (2019).

De salientar que o distrito apresenta na sua estrutura uma região tipicamente rural, apesar possuir uma vila sede com infraestruturas básicas que pode configurar na categoria de cidades, aliás é a existência dessa estrutura básica que desde 2008 a vila de Namaacha passou a ser um território municipal. A pirâmide etária da sua população apresenta característica exclusiva de países em vias de desenvolvimento, com uma base larga e um topo fino.

Figura 21: Pirâmide etária da população de Namaacha



Fonte: INE (2019).

Apesar dessa estrutura rural a existência da vila de Namaacha acabou conferindo alguma natureza urbana, que se pode encontrar no distrito de Namaacha com uma taxa de urbanização de 29.7% totalmente concentrada na vila sede e nos seus arredores.

6.1.2 Agricultura e outras atividades econômicas.

A agricultura é a principal atividade de rendimento econômico no país, com uma representação superior de 65% de toda a população ativa do país. No distrito da Namaacha ela representa mais de 68% da população ativa, sendo na sua maioria em inciativas próprias sem nenhum vínculo com algum empregador, destes a grande maioria são mulheres. O distrito possui boas terras, clima adequado e recursos hídricos abundantes, fatores que potenciam o desenvolvimento desta atividade MAE (2005). Porém, a produção agrária no distrito é feita maioritariamente em terras com áreas não superiores a1hectare e por agricultores familiares, em sistema de sequeiro, com grandes dependências de fatores naturais como a disponibilidade de água através da abundância das chuvas. Esses produtores familiares que na sua maioria destina a sua produção para o consumo familiar, constituem a segurança alimentar da população

do distrito e de outros ao seu redor, através da comercialização dos excedentes da sua produção agraria.

São muitas as razões para o pouco aproveitamento das potencialidades agrárias do distrito de Namaacha, sendo que a maior de todas ela se centra na falta de capacidade do Estado em desenhar politicas agrárias que torna agricultura atrativa, gerando poucos riscos para os seus intervenientes, essa é uma visão extremamente partilhada por vários especialistas econômicos.

A produção agrícola familiar e a pecuária dominam as atividades econômicas de rendimento no distrito, vide figura 22.

Figura 22: Atividades agrárias praticadas nas depressões de Namaacha

Fonte: Coleção própria (Jalane, 2019).

As atividades de corte e comercialização de derivados de árvores, e a indústria extrativa constituem as poucas atividades da economia agrária do distrito, existindo ainda uma indústria de turismo baseado em pequenos operadores turísticos implantados na vila sede da Namaacha que também contribuem como fonte de renda para a pacata economia do distrito. O desmatamento para a produção de combustíveis lenhosos e carvão tem sido a maior causa dos problemas ambientais em curso no distrito e sem solução à vista ainda devido ao elevado número de populações dependentes dessas fontes de energia, veja as figuras 23 (A e B).

Figura 23: Venda de carvão vegetal produzido em Namaacha.

Fonte: Coleção própria (Jalane, 2019).

O carvão vegetal e o material lenhoso, são as maiores fontes de energia da população do distrito de Namaacha, mas também para cerca de 60% da população moçambicana, que vive dessa dependência energética, fato que tem contribuído para uma grande pressão sobre os recursos florestais do país no seu todo. A exploração florestal para a produção de combustíveis lenhosos foi o maior fator de conversão das florestas no sul de Moçambique, principalmente nas províncias de Maputo e Gaza, pela sua grande proximidade aos maiores centros consumidores destes recursos, precisamente as cidades de Maputo e Matola, Jalane (2019).

Os dados históricos do Terceiro Inventário Florestal Nacional mostram que Moçambique tinha uma área florestal, total estimada em 40 milhões de hectares e que no período compreendido entre 1991 a 2002 perdia em média 220 000 hectares por ano, segundo Nhanengue et all, (2017).

O distrito de Namaacha foi desde os períodos da Guerra Civil em Moçambique um dos maiores fornecedores do carvão vegetal para as cidades de Maputo e Matola, a partir do seu posto de Chagalane. É por essa é outras causas que o distrito tem enfrentado problemas ambientais, devido aos incêndios ateados pelas populações locais que tem devastados as poucas áreas verdes ainda disponíveis MAE (2005).

6.2 Distrito de Boane, uma breve descrição.

O distrito de Boane está localizado a sudeste da província de Maputo, sendo limitado a Norte pelo distrito de Moamba, a Sul e Este pelo Distrito da Namaacha, e a Oeste pela cidade da Matola e pelo distrito de Matutuine MAE (2005). O distrito conta com um território superficial com cerca de 815 Km^2, sendo caracterizado, pela existência de três unidades distintas: a planície costeira, que ocorre entre os intervalos altimétricos de 0-200 metros e ocupa uma área bastante reduzida do distrito, de 200 a 500 metros encontram-se os planaltos médios e entre os 500 a 1000 metros os altiplanaltos, Mubai (2014). As planícies costeiras são dominadas por extensas planícies de solos arenosos alternadas por plataformas de mananga e cordões de aluvião, enquanto os planaltos médios e altiplanaltos são superfícies de erosão e fortemente dissecadas, situados a sudeste do distrito.

O distrito de Boane a semelhança de Namaacha é composta por dois postos administrativos, os postos de Boane Sede e Matola Rio.

6.2.1 População

É no posto administrativo de Boane Sede onde vive a maioria da população do distrito com mais de 70% da população total que foi estimada segundo os dados do censo demográficos de 2017, em cerca de 210 367 habitantes. Constitui um incremento na ordem de 107 812 habitantes, o que corresponde um crescimento em cerca de 105% isso representou os incríveis 10,5% de taxa de crescimento ao ano de 2007 a 2017. A população do distrito, segundo esses dados do INE (2019) mais do que duplicou, apresentando uma taxa de crescimento bastante elevado e isso não foi condicionado a apenas as elevadas taxas de natalidade, mais sim taxa de ocupação de terrenos de pessoas oriundas das cidades de Maputo, Matola e nos arredores do distrito de Boane.

A população do distrito de Boane, é maioritariamente composta por mulheres com cerca de 108 374, representado cerca de 51,5% da população do distrito e compõem a maior taxa de mão de obra nos sectores primários da economia do distrito.

Um grande número da sua população é composto maioritariamente por jovens, representado cerca de 38.5% da população com idade inferior a 16 anos o que demanda muito a necessidade de criação de salas de aulas o que representa grande esforços econômicos nos ramos da educação, que também levanta outros debates relacionado ao número de alunos afetos

a um professor dentro da sala de aula. Pode-se ver estes comportamentos na tabela 8 e na figura 24 que ilustram a distribuição etária da população do distrito e o seu percentual representativo.

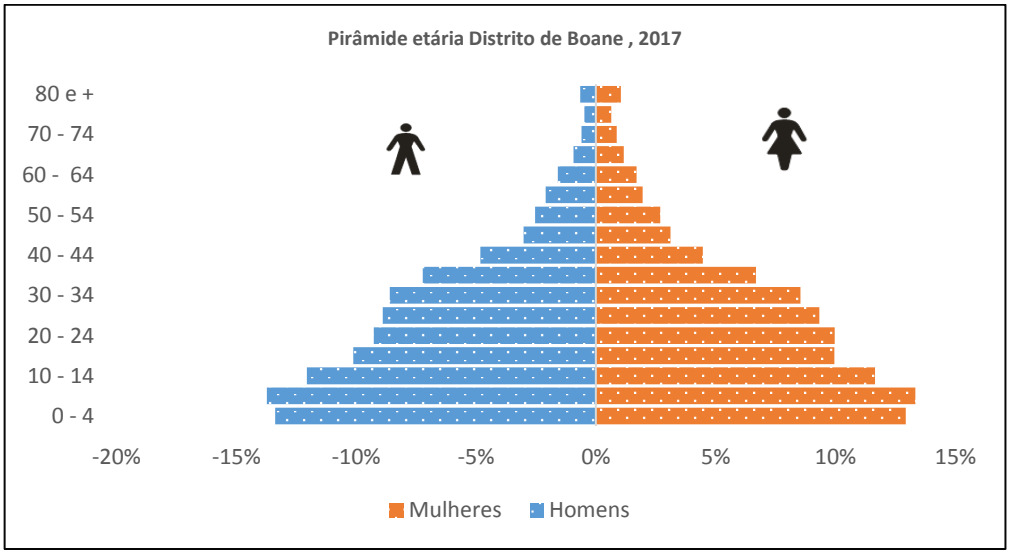
Tabela 8: População do distrito de Boane (idade, sexo e percentagem).

Grupos etários	População Absoluta			Percentual		
	Total	Homens	Mulheres	Total	Homens	Mulheres
0 - 4	27 653	13 645	14 008	13.15	13.38	12.93
5 - 9	28 456	14005	14451	13.53	13.73	13.33
10 - 14	24 925	12305	12620	11.85	12.07	11.64
15 - 19	21 115	10329	10786	10.04	10.13	9.96
20 - 24	20 250	9449	10801	9.63	9.26	9.97
25 - 29	19 170	9071	10099	9.11	8.89	9.32
30 - 34	18 028	8776	9252	8.57	8.60	8.54
35 - 39	14 606	7361	7245	6.94	7.22	6.69
40 - 44	9 747	4910	4837	4.63	4.81	4.46
45 - 49	6 448	3076	3372	3.07	3.02	3.11
50 - 54	5 492	2580	2912	2.61	2.53	2.68
55 - 59	4 255	2141	2114	2.02	2.10	1.95
60 - 64	3 457	1619	1838	1.64	1.59	1.70
65 - 69	2 208	948	1260	1.05	0.93	1.16
70 - 74	1 560	614	946	0.74	0.60	0.87
75 - 79	1 189	493	696	0.57	0.48	0.64
80 e +	1 808	671	1137	0.86	0.66	1.05

Fonte: Dados do INE (2019)

Na tabela é possível observar que a população ativa dos 15 – 64 anos corresponde a cerca de 58,26% da população total o que indica uma taxa de dependência de cerca de 1:1.42, isto é, por cada 10 crianças ou anciões existem 12 pessoas em idade ativa.

Figura 24: Pirâmide etária do distrito de Boane em Moçambique.



Fonte: Instituto Nacional de Estatística, Dados do Censo de 2017.

O distrito de Boane apresenta uma pirâmide etária similar ao distrito da Namaacha, na sua base, mas ao contrário deste ela é estacionária nos intervalos intermédios, isso pela grande entrada populacional vinda das cidades de Maputo, Matola e arredores do distrito e geralmente são pessoas em idade ativa em fase de formação de nova família.

6.2.2 Agricultura e Outras Atividades Econômicas

Em Matola, a agricultura predomina como no restante dos distritos de Maputo com exceção da capital da Província, é a atividade que ocupa a maior parte da população ativa da província, com cerca de 67% da população ativa dos quais 55% trabalham por conta própria e 30% em regime de exploração familiar, agricultura familiar ocupa cerca de 7500 hectares, o que corresponde a 9,1% da superfície total do distrito e é aquela que mais emprega, sendo que no total dos agricultores da agricultura familiar mais de 55% de são sexo feminino.

As atividades agrárias e pecuárias são as bases da economia do distrito, sendo a agricultura praticada nas diferentes baixas e regadios instalados no distrito, enquanto a pecuária predomina mais a sul do distrito que não beneficia da drenagem natural dos rios que formam a bacia do rio Umbelúzi. As hortícolas e as culturas de milho, mandioca, feijão, bananas e cítricos constituem os principais produtos da agricultura de Boane, que conta ainda com espécies de gado, como os bovinos, ovinos e aves, os que merecem destaque.

A Bacia Hidrográfica do rio Umbelúzi banha este distrito em quase 60% do seu território, atravessando as planícies e baixas úmidas com solos bastantes férteis, o que a torna uma potência agrária na província de Maputo, por isso é a maior fornecedora de produtos frescos as cidades de Maputo e Matola. Os principais regimes de agricultura praticados são o de sequeiro, dependente das precipitações pluviais e praticado pela maior parte da população, o regadio é mais comum no setor privado e associações do setor familiar, MAE (2005).

Boane é o distrito que apresenta a maior infraestrutura de irrigação da província e das áreas drenadas pela bacia, com uma capacidade potencial de 1760 hectares, mas apenas 1108 hectares são explorados, a existência de infraestruturas, boas condições hídricas e solos bastantes ricos, aumentam significativamente o potencial agrário do distrito, (observar Figura 25).

Figura 25: Principais culturas agrarias ambos, com sistema de irrigação, gota a gota a esquerda e por aspersão a direita.

Fonte: Coleção Própria (Jalane, 2019).

Como já foi referido, a economia do distrito é basicamente agrária, apesar da existência de grandes indústrias que quase ou pouco pesa na economia local com são os casos do Complexo Industrial de Beleluane, na Matola Rio, onde se encontra instalada a maior fábrica de Fundição do Alumínio na África e a maior exportador de Moçambique. A existência dessa grande empresa que não se encontra integrada com a economia local, daí que a sua existência não esteja a desempenhar o peso desejado dentro da economia distrital.

Além das atividades agrárias, o distrito de Boane vive da indústria extrativa, como a exploração de areia grossa e pedras, destinadas à construção civil nas províncias a sul de Moçambique, bem como dos grandes centros urbanos de Maputo e Matola. O comércio é uma atividade bastante concorrida no seio do distrito, particularmente na vila sede, sendo constituído na sua maioria por pessoas que o fazem por conta própria. A economia é impulsionada pela aproximação de grandes centros urbanos do país e dos países vizinhos. A atividade comercial é basicamente dominada por pequenos comerciantes e por comércio ambulante de venda de pequenos produtos manufaturados, na sua maioria provenientes do mercado chinês.

As bancas estão concentradas na parte exterior do mercado e normalmente em espaços abertos e o material expostos no chão o que pode ser observado na figura 26.

Figura 26: Bancas de venda de produtos chineses no mercado municipal de Boane.

Fonte: Coleção Própria (Jalane, 2019).

Há que salientar que atividade de comércio é o que ocupa mais a população economicamente ativa do distrito, em relação à população que se encontra fora das esferas de produção agrária, com mais de 65% da população ativa com alguma ocupação produtiva dentro do distrito.

Um dos maiores desafios da economia do distrito de Boane, ainda se prende com a elevada dependência em relação às fontes energéticas tradicionais como os casos do carvão e da lenha, que continuam sendo os de maior uso energético até nos dias atuais. Considerando que a exploração florestal foi uma das atividades de vulto dentro do distrito, a dinâmica de exploração dos recursos florestais deixou o distrito quase que desprovido de florestas, mesmo que a grande parte da sua população ainda é dependente dos combustíveis resultantes de fontes energéticas de origem florestal.

6.3 Distrito da Moamba: breve descrição

O distrito da Moamba está situado na parte norte da província de Maputo, a 75 Km da capital do país, e está posicionado entre os paralelos 24° 27’ e 25°50’ Sul e os meridianos 31° 59’ e 32° 37’ Este. Tem como limites geográficos a Norte, o rio Massintonto que o separa do distrito de Magude, a Sul os distritos de Boane e Namaacha, a Este os distritos da Manhiça e Marracuene e a Oeste uma linha de fronteira artificial com a província Sul-Africana do Transvaal MAE (2005).

Moamba conta com uma superfície de 4 628 km², dividido administrativamente em 4 postos administrativos e 10 localidades. Este distrito tem uma particularidade de ser drenado por duas bacias hidrográficas, sendo a bacia do rio Incomati que nasce na África do Sul e entra em Moçambique através da Vila de Ressano Garcia, é aquela que drena a maior parte do território do distrito, sua utilização é intensiva no seu curso inferior havendo cerca de 30 000 ha de solos aluvionares submetidas a regadio Muchangos (1999). A bacia do rio Umbelúzi constitui a segunda bacia hidrográfica que drena os solos deste distrito, através de um dos seus afluentes, mas com uma influência em apenas uma porção do mesmo. Ela fica com um papel extremamente irrelevante no que concerne a sua importância em relação à bacia do rio Incomati, em comparação aos outros dois distritos banhados pelas suas águas.

O posto administrativo de Moamba sede é a capital do distrito, que juntamente com o posto da Ressano Garcia concentram as infraestruturas econômicas e socias em melhores condições no distrito, por essa razão encontram-se nestes postos as maiores concentrações populacionais.

O distrito da Moamba faz parte da rede natural da bacia do rio Umbelúzi, através de um dos seus afluentes o rio Movene, a bacia drena as suas águas em cerca de 9% do território do distrito, precisamente nos postos administrativos de Moamba Sede e Pessene.

Ele é composto por imensas planícies maioritariamente localizadas em áreas de cota não superior a 100m, ainda pode-se destacar, segundo o MAE (2014):

- Vales e planos ligeiros com altitudes médias de 60 a 80 metros;
- Pequenas elevações de 80 e 170 metros que vão subindo no sentido Oeste e
- Zonas acidentadas com cotas que se elevam abruptamente a altitudes entre 200 e 400 metros, que constituem um alongamento da cadeia dos Libombos.

6.3.1 População e sua dinâmica

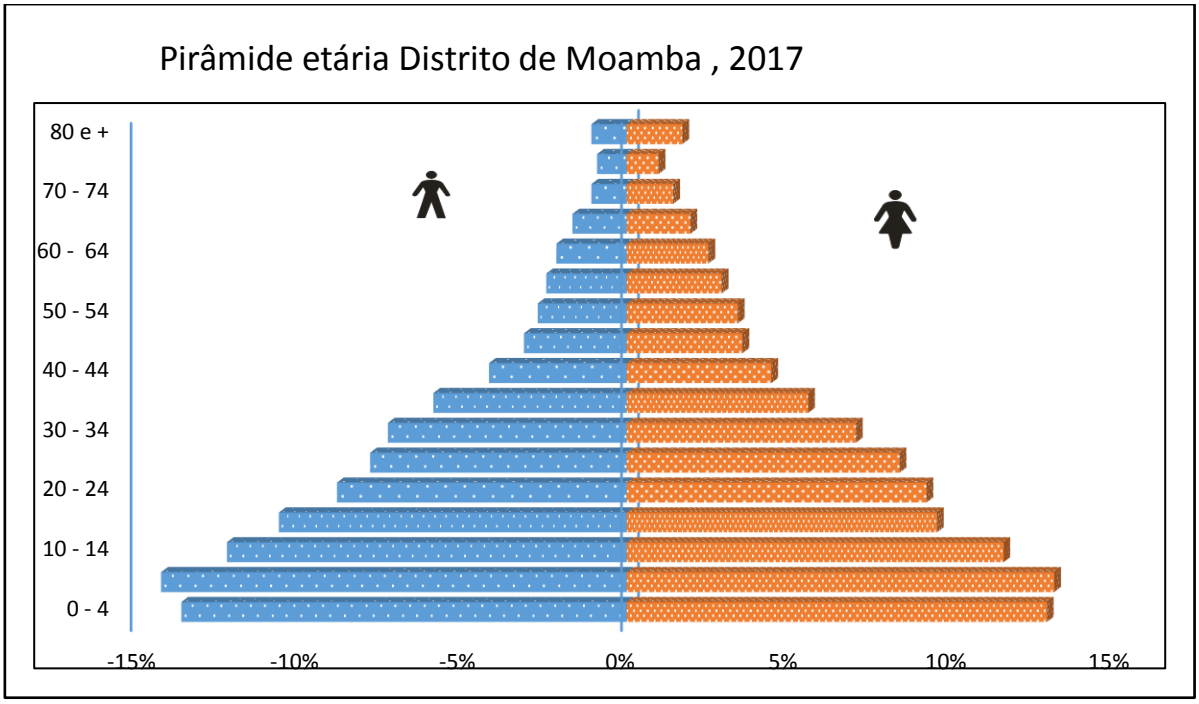
Segundo o INE (2019), o distrito de Moamba tinha em 2017 cerca de 88 583 habitantes, o que correspondia uma densidade aproximada de 19,14 hab/km^2 (habitantes por quilometro quadrado), constituindo uma das ocupações com as mais baixas densidades populacionais da província de Maputo, mesmo enfrentando uma pressão bastante alta vinda das cidades de Maputo e Matola por demanda de novos espaços para construção de moradias.

Os postos administrativos de Moamba Sede e de Sabíe, concentram a maior parte da população com mais de 54%, enquanto o posto administrativo de Pessene é aquele que mais apresenta a densidade populacional mais alta do distrito, com cerca de 24,8 hab/km^2. Este fato se deve a dois motivos, primeiro apresenta a área mais baixa de todos os postos do distrito e o segundo se prende com a demanda de terra para moradia, que se agrava por ser o vizinho mais próximo da cidade da Matola, que lidera as estatísticas de pessoas saindo para as áreas periféricas mais próximas.

A estrutura etária do distrito não é diferente dos outros dois analisados aqui e em relação a do país de uma base bem larga e com tendências de afunilamento à medida que vai ao topo da pirâmide, uma característica bem clara dos em vias de desenvolvimento. Como nos outros dois distritos, a população feminina é superior a masculina, representado cerca de 52,1% da população total do distrito, observar Figura 27. O distrito tem uma matriz rural bastante elevada, e associado ao fato da falta de infraestruturas educacionais suficientes e em qualidade, faz deste o distrito o que apresenta as taxas de analfabetismo mais elevadas na província de Maputo, e principalmente entre as mulheres. É neste segmento da população que se concentram as taxas de desemprego e analfabetismo mais elevadas do distrito, pois segundo o INE (2007) a taxa de analfabetismo da população feminina era superior à 64,5% contra os 44,5% dos homens.

As elevadas taxas de analfabetismo influência na alocação da mão de obra no mercado de trabalho, empurrando os menos qualificados ao desemprego ou ao subemprego, maioritariamente na agricultura familiar e de subsistência da família sem grandes perspectivas econômicas.

Figura 27: Pirâmide etária do distrito de Moamba.



Fonte: Instituto Nacional de Estatística, Dados do Censo de 2017.

Como nos exemplos anteriores a população do distrito de Moamba é composta na sua maioria por jovens com idades inferior a 19 anos, totalizado cerca de 48,8% da população.

A população desse distrito é quase que na sua totalidade de origem banto, do grupo dos Tsonga das etnias Chaganas e Ronga, povos que habitam o sul de Moçambique desde as invasões Nguni liderados por Manicusse entre 1810 a 1816. Os Changanas formam a maioria da população residente no distrito com mais de 59% e seguido por Rongas, com misturas de povos Suazis completam a composição dos habitantes de Moamba.

6.3.2 Agricultura e outras atividades econômicas

O distrito de Moamba apresenta um potencial agrário bastante baixo, devido aos seus solos bastantes pobres, com exceção aos das bacias dos rios Incomáti e do Sabiè, com boa aptidão agrícola. É uma região com aptidão marginal para a prática de agricultura de sequeiro, embora seja a mais praticada pela população, com baixa produtividade e alto risco, em explorações familiares de menos de 1 hectare e dependentes das condições de pluviosidade, MAE (2005).

O setor da pecuária é a atividade agrária mais importante do distrito, com condições de solos e clima bastante propícios para a criação de gado bovino, ovino e caprino. A pecuária

assume assim, um lugar estratégico na geração de rendimento para as populações através de atividades do ramo agrícola. O distrito da Moamba é o segundo maior criador do gado bovino da província de Maputo, que é visto com uma das principais do distrito, já que não possui terras férteis para a agricultura. Existem cerca de 6 320[20] cabeças do efetivo bovino distribuído por mais de 1000 criadores, em todo o distrito e com pouco mais de 4000 famílias ligadas à criação de gado caprino, todos baseados em regime familiar.

A limitação das atividades de cultivos da terra, devido aos baixos resultados agrários derivados a baixa qualidade dos solos tem colocado grandes desafios a este distrito, visto que grande parte da sua população com capacidade produtiva que se encontra inserido neste setor de atividade e ocupa essas terras de pouca produtividade.

A pesca é outro setor de fonte de renda agrária do distrito, sendo que ela se resume na sua totalidade no açude de Corumana e apresenta uma base artesanal com uso de técnica de secagem dos peixes para conservação devido à falta de sistema de refrigeração do pescado. As explorações pesqueiras são significativamente reduzidas ao consumo local e familiar dos integrantes da comunidade de pescadores.

Há uma economia basicamente agrária impulsionada por médios e grandes produtores de cana-de-açúcar, que exploram os mais de 2 500 hectares de solos juntos às terras baixas da bacia de Incomati. É o único grande potencial agrário do distrito, e tem remetido à grande parte da população a ocupara as áreas mais afastados e relativamente mais pobres para as práticas do cultivo ou a se dedicar aos trabalhos de corte e queima das florestas (exploração do carvão) para o sustento, ou a terceirizar a sua força de trabalho nessas plantações e monoculturas.

A produção da cana-de-açúcar deste distrito vai em sua totalidade para o distrito vizinho da Manhiça, onde existe duas unidades de processamento de açúcar em Xinavane[21] e Margara.

O fabrico de carvão vegetal e a exploração lenhosa com o objetivo central de abastecer as demandas energéticas das cidades de Maputo e Matola, constituem as outras formas de ocupação da mão de obra do distrito, apesar dessa atividade de rendimento ser o maior contribuinte para o aumento dos problemas de desertificação do distrito e acrescer os impactos negativos sobre a agricultura local.

---

[20] Instituto Nacional de Estatística, Censo agropecuário, 1999-2000.

[21] Açucareira de Xinavane e Maragra são as maiores usinas de produção de açúcar no sul de Moçambique, com as maiores extensões de terras cultivadas do sector privado nas províncias de Maputo e Gaza.

7 COMPARTIMENTAÇÃO GEOAMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO UMBELÚZI

A compartimentação geoambiental trabalha com a diferenciação paisagística e a sua funcionalidade através do entendimento das unidades geoecológicas (ou geoambientais), por meio da individualização, diferenciação topológica e morfológica da paisagem. Ela é determinada pela homogeneidade das suas condições naturais, no seu caráter estrutural e funcional, o que é fundamental na análise paisagística e regional (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2013).

Distribuídas por setor de ocorrência, agregando informações referentes ao uso e ocupação do solo e as características naturais predominantes, que resultam as subunidades geoambientais. As unidades delimitadas foram divididas em quatro zonas baseadas na formação geológica, Zona da Bacia Sedimentar, Zona de Dambos (Depressões do Embasamento Cristalino) e Zona de Embasamento Cristalino, e cada uma delas é caracterizada por subunidades que se baseiam na geomorfologia da área.

A seguir são apresentadas todas as características relevantes de cada uma das unidades e subunidades mapeadas, e se destaca a sua capacidade de carga ou suporte e a ecodinâmica do ambiente em análise.

7.1 Zona da Bacia Sedimentar

A Bacia Hidrográfica do Rio Umbelúzi, drena na sua maioria áreas de bacia sedimentar, que se subdividem em:

7.1.1 Planícies Arenosas

De acordo com sua estrutura, a bacia de Umbelúzi é constituída pela planície arenosa com altitudes inferiores a 200 m. Esta planície, que se desenvolve ao longo dos deltas do rio principal e dos seus afluentes e limita a bacia com as partes da entrada do embasamento cristalino, e ela se estende até quase as áreas mais baixas, abrangendo a quase totalidade da superfície a sul dos rios Maputo, constituindo a Grande Planície.

As planícies arenosas se destacam pela fraca capacidade de retenção de água, fertilidade muito pobre e pouca cobertura vegetal.

Capacidade de Suporte (Potencialidades e Limitações)

- A planície arenosa é bastante usada em alguns casos para a produção agrária como da cultura do amendoim, mas em um sistema de produção deficitário;
- Terrenos relativamente planos, ótimas condições para edificação urbana e ampliação da rede viária;
- Baixa capacidade de retenção de água o que favorece ao uso urbano e não agrícola;
- Solos bastantes pobres em nutrientes.

Apresenta uma caracterização ecodinâmica dos seus sistema e subsistemas com impactos e recuperações no equilíbrio. Predominam na planície arenosa, ambientes de transição com tendência a estabilidade com impactos e recuperação ao equilíbrio moderado a alta. É uma unidade ambiental que por estar muito exposta a atividades humanas pesadas, perde facilmente a cobertura vegetal protetora.

Cenários tendências do contexto socioambiental dos sistemas e subsistemas, indicam que a maior tendência socioambiental neste tipo de sistema, são as ocupações desordenadas, que tem levado a degradação dos solos através da aceleração dos processos erosivos.

7.1.2 Dunas Interiores

As dunas interiores, também designadas de dunas anteriores, são paisagens dunares que sobressai meio a imensidades das planícies. Esse é um dos subsistemas menos representativos dentro da área total da bacia com cerca de 53 km^2, composto por solos arenosos, portanto com baixa capacidade de retenção de água, ela tem sido usada em quase toda bacia para a edificação das cidades.

Capacidade de Suporte (Potencialidades e Limitações)

- São áreas relativamente estáveis para o estabelecimento de infraestruturas sócias e econômicas;
- Há terrenos como muito boa aptidão para a atividade extrativista, como exploração das areias para a construção;
- Disponibilidade de águas subterrâneas é um fator preponderante a sua ocupação ao longo de toda bacia.
- Os grandes desafios na exploração desse tipo de ambientes se relacionam com o alto risco de contaminação das águas subterrâneas, visto que grande parte dos residentes destes não possuem o sistema de esgoto funcional;

- O ordenamento territorial é inexistente, daí que se desenvolvem grandes problemas de degradação dos solos e posterior erosão.

A ecodinâmica do sistema e subsistemas é constituída predominantemente por impactos e recuperações no equilíbrio. Portanto, as dunas interiores entram na mesma perspectiva das planícies arenosas, são ambientes de transição com tendência a estabilidade com impactos e recuperação ao equilíbrio de moderada a alta.

Quanto aos cenários e tendenciais no contexto socioambiental do sistema, apresenta uma maior tendência socioambiental às ocupações desordenadas, que tem levado a degradação dos solos através da aceleração dos processos erosivos. Os maiores assentamentos urbanos em Moçambique ocuparam essas áreas de dunas relativamente estáveis e somando a falta de saneamento básico, sistema de esgotos não funcionais e deficiente recolha dos resíduos sólidos tem contribuído para elevado índice de contaminação dos lençóis freáticos que abastecem a mais da metade das populações urbanas e suburbanas.

7.2 Zonas Aluvionares e Fluviomarinhas

A zonas aluvionares e fluviomarinhas, corresponde as planícies fluviais e a planície fluviomarinha presentes no território da Bacia Hidrográfica do Rio Umbelúzi. Elas ocupam uma área combinada entre as suas duas subunidades de 92.6km^2 sendo a grande parte da mesma ocupada pela planície fluvial com cerca de 73,6 km^2.

7.2.1 Planície Fluvial

A planície fluvial corresponde a áreas de atuação direta dos cursos dos rios e riachos, onde os mesmos depositam sedimentos trazidos pela força das águas fluviais formando solos recentes e de maior fertilidade em relação aos demais em sua volta. Pacheco (2014) diz que é possível caracteriza-las como constituídas de relevos planos assentes sobre rochas inconsistentes de formação sedimentar quaternária, com superfícies planas e/ou declives suaves, altimetrias inferiores a 100 metros.

As planícies fluviais ocupam uma pequena porção da área e ficam próximo à parte mais baixa da desembocadura do rio Umbelúzi no estuário de Espírito Santo e outra pequena unidade está localizada entrada ao açude dos pequenos Libombos. A planície ocupa uma área limitada em território moçambicano devido à sua localização em grande parte da região mais elevada, isso em zonas de predominância do cristalino.

Na sua grande maioria com solos extremamente férteis e disponibilidade de terras rasas o que facilita o processo de mecanização. As planícies fluviais normalmente apresentam solos de características distintas, dependendo da força e da ação da água sobre elas e o material trazido. Neste caso, pode-se encontrar áreas de solos turfosos isso se a concentração de matéria orgânica for superior a 10% e são normalmente depositados e vales planos formadas ao longo das planícies. Se destacam ainda, os depósitos de solos argilosos formando aluviões argilosos e os chamados solos aluvionares estratificados, que se dispõem em estratos obedecendo à ordem sequencial das deposições.

A Bacia Hidrográfica do Rio Umbelúzi comporta duas áreas de planícies fluviais, e elas se encontram junto ao rio principal que forma a bacia. A primeira encontra-se junto a entrada da barragem dos pequenos Libombos e a segunda é a mais ampla em teremos da área ocupada, é encontrada na baixa do distrito de Boane e se estende de forma paralela à planície fluviomarinha ao encontro do estuário de espirito Santo onde o rio deposita as suas águas.

De salientar que a grande parte da área apresenta condições e potencial de irrigação, e são exploradas por unidades agroindustriais da banana. As margens dos rios tem sido os lugares preferenciais dos pequenos agricultores, sem acesso às tecnologias agrárias de ponta. Por esta razão as planícies fluviais da bacia são das áreas mais exploradas, com um uso cada vez mais intensivo.

Capacidade de Suporte (Potencialidades e Limitações)

- A grande disponibilidade de água e de solos férteis fazem desses ambientes bastantes atrativos;
- Relevo relativamente plano favorece as atividades agrárias sem recurso a grandes tecnologias;
- São áreas bastante procuradas e isso intensifica o seu uso, às vezes desordenado e sem ter em conta as questões de sustentabilidade;
- Conflitos entre seres humano e animais pelo acesso aos melhores recursos, principalmente nas bordas dos rios;
- Poluição das águas pela agroindústria pelo uso excessivo dos agroquímicos.

Ecodinâmica dos sistemas e subsistemas: impactos e recuperações no equilíbrio

As planícies fluviais correspondem os ambientes de transição com tendência a estabilidade e com vulnerabilidade moderada, com impactos e recuperação ao equilíbrio forma moderada. Tem um grau de recuperação dos seus ambientes relativamente médios.

Quanto aos cenários e tendências do contexto socioambiental do subsistema, pode-se afirmar que devido a sua elevada fertilidade os solos das planícies fluviais são explorados de

forma cada vez mais intensa e o uso dos agroquímicos já não são da exclusividade das agroindústrias. Estes fatos têm acrescentado os riscos de salinação dos solos bem como da contaminação das águas superficiais e subterrâneas.

7.2.2 Planície Fluviomarinha

As planícies fluviomarinhas se distribuem junto ao estuário do Espirito Santo, com uma interação constante com as marés. Segundo Souza (2000), as planícies fluviomarinhas compõem o quadro morfológico do litoral e são dotadas de características que a individualizam. Apresentam solos indiscriminados de mangues continuamente afetados pela preamar. Formando naturalmente de solos constantemente inundados e salinos, por isso são geralmente argilosos profundos e saturados.

Moçambique de uma forma particular é um dos poucos países com áreas de manguezais bastante significativas, ocupado a 3ª posição nos países africanos e o 13º no mundo com maiores áreas desse ecossistema. Na bacia do Umbelúzi, são contabilizados cerca de 18,3 km^2, chegando em alguns casos a ser encontrado em superfícies bastantes afastados do mar.

Capacidade de Suporte (Potencialidades e Limitações)

- Disponibilidade de diversidade biológica sem comparação;
- Os recursos hídricos abundantes são um atrativo;
- Solos bastantes salinos e sem aptidão a mecanização, isso é um entrave;
- São áreas que estão na maior parte das vezes protegidas pela lei ambiental;
- O corte da floresta de mangue tem sido um dos grandes impactos sobre esses ambientes, o que desequilibra o ecossistema.

A ecodinâmica dos sistemas e subsistemas de planície fluviomarinha tendem a apresentar impactos e recuperações no equilíbrio. As planícies fluviomarinhas correspondem a ambientes instáveis a fortemente instáveis, com alta vulnerabilidade, com impactos e recuperação, e um equilíbrio de moderada a alta instabilidade. São ambientes que quando submetidos a muito estresse podem colapsar.

Cenários e tendências do contexto socioambiental destes subsistemas, são os cortes descontrolados do manguezal para o uso na construção de casas, a destruição de áreas naturais de desova de diversas espécies marinhas.

7.3 Zona de Dambos (Depressões do Embasamento Cristalino)

Representa as depressões e dambos (áreas rebaixadas) dentro do embasamento cristalino, ela ocupa uma superfície combinada de aproximadamente de 907,8 km^2, sendo a mais expressiva dentro da bacia.

7.3.1 Depressões Interplanálticas

O domínio das depressões representa a segunda menor faixa dentro das áreas de embasamento cristalino, comparado ao resto das unidades do cristalino, e ela se distribui precisamente nas formações designados localmente como os montes Libombos junto às bifurcações dos sistemas de drenagem dos principais rios que cortam essas áreas. Apresenta uma área de cerca de 177,2 km^2, sendo a quarta mais representativa na bacia. Os solos dessa unidade são usados na sua maioria por pequena agricultura de sustento familiar.

A Capacidade de Suporte (Potencialidades e Limitações):

- São geralmente formados por solos argilosos de boa fertilidade;
- Formação de pequenas ilhas aluvionares;
- Áreas suavemente onduladas a ondulados, o que pode criar dificuldades de acessibilidade,
- Difícil mecanização.

Quanto a ecodinâmica dos sistemas e subsistema, predominam impactos e recuperações no equilíbrio ambiental. As depressões inter-planálticas correspondem a ambientes de transição com tendência à estabilidade e vulnerabilidade moderada a alta e recuperação ao equilíbrio entre moderado a baixa.

Cenários e tendências do contexto socioambiental dos sistemas e subsistemas, estão reservadas as explorações da agricultura familiar, estando enquadrados na reserva de terra agrícola no período de estiagem.

7.3.2 Superfícies Aplanadas

As superfícies aplanadas representam a maior extensão territorial dentro da bacia com mais de 730 km^2. Ela fica entre às duas elevações dos planaltos do Libombos, formada por uma combinação dos solos argilosos vermelhos e pretos derivados da rocha basáltica, representa a maior extensão rebaixada da bacia.

Essas áreas planas entre elevações das rochas balísticas, comportam solos basálticos vermelhos de profundidade variadas a medida que se afastam da rocha, podendo chegar a mais de 100 cm.

É uma região de predominância de rochas basálticas, de onde deriva a maior parte dos seus solos vermelhos e pretos, bastantes férteis. Nos vales fundos do rio Umbelúzi e Maputo, com solos ricos em nutrientes, desenvolve-se uma vegetação frondosa nitidamente delimitável pela fotografia aérea. Tratam-se de solos basálticos férteis de superfícies aplanadas, tal como sucede nas proximidades da barragem dos Pequenos Libombos (Muchangos,1999). Essas regiões são bastantes procuradas pelos produtores agrícolas para o estabelecimento das suas machambas (campos agrícolas), fazendo desta região a zona mais disputada pela posse da terra, este fator se associa a uma elevada disponibilidade de água.

Capacidade de Suporte (Potencialidades e Limitações)

- Solos com fertilidade natural bastante elevada;
- Áreas aplainadas e com elevada disponibilidade de água;
- Em alguns casos existe elevada pedrogosidade a superfície.

Destaca-se uma ecodinâmica dos sistemas e subsistemas, com impactos e recuperações não equilibradas, presença de ambientes de transição com tendência à estabilidade e vulnerabilidade moderada a baixa e recuperação ao equilíbrio moderado a baixa.

Os cenários tendenciais do contexto socioambiental dos sistemas e subsistemas, destacam-se por uma maior procura de terra agrícola dentro desta zona de solos basálticos bastante férteis e próximos de pontos de capitação de água para a irrigação tem sob carregado esse subsistema, levando a salinização do solo, na sua maior parte por falta de sistema de drenagem funcional. Ela é responsável de mais da metade dos produtos agrícolas consumidos na cidade de Maputo a capital do País. Este é o único ambiente dentro da zona do embasamento cristalino onde encontra uma demanda maior de terras agricultáveis apesar de alguns casos ter muita pedrogosidade a superfície.

7.4 Zona de Embasamento Cristalino

O embasamento cristalino é representado pela região a montante da bacia hidrográfica do Rio Umbelúzi, é composta por três subunidades representados por planaltos tabulares pouco dessecados, planaltos dessecados em colinas, topos e encostas de montanhas. Representa cerca de 38.6% da área total da bacia com mais de 860 km^2 coberto pelo maciço da serra dos Libombos que se estende em comprimento e largura em três países do sul de África.

7.4.1 Planaltos Tabulares Pouco Dissecados

A maior representação desta unidade é encontrada nas elevações quase que tabulares, desde o local onde está edificada a barragem dos pequenos Libombos no distrito da Namaacha e se estende de numa orientação sul –norte em direção ao distrito de Moamba.

As formações geológicas do Libombos são datadas na carta geológica provisória disponível, como sendo Karroo-Stormberg. Elas assentam sobre sedimentos continentais (MUCAHNGOS, 1999). São zonas de predominância do maciço cristalino ainda com solos esqueléticos e pouco profundos.

Capacidade de Suporte (Potencialidades e Limitações)

- Tem um topo plano por isso com poucas restrições ao uso e ocupação;
- Solos com fertilidade natural bastante elevado;
- Os solos apresentam um limitante natural muito importante, a profundidade dos mesmos (solos rasos);

A ecodinâmica dos sistemas e subsistemas, seus impactos e recuperações no equilíbrio, são representadas por ambientes de transição com tendência à estabilidade e vulnerabilidade moderada a baixa e recuperação ao equilíbrio moderado a baixo. Com tendências a estabilidade no topo mais plano, baixando os processos morfogênicos.

7.4.2 Planaltos Dissecados em Colina

A parte ocidental da região é constituída por rochas ígneas vulcânicas, que constituem uma parte do planalto de Limbobos. Esta subunidade é quase que totalidade desiscada, com poucas áreas planas

Capacidade de Suporte (Potencialidades e Limitações)

- Ocupação moderada nas regiões mais planas e com um pouco de solos;
- Procurado para a atividade mineira;
- Solos rasos ou esqueléticos não, permitindo qualquer desejo de mecanização avançada excetuando nas suas baixas;
- Riscos de desmoronamentos e queda de blocos;
- Acessibilidade complicada.

Quanto a ecodinâmica dos sistemas e subsistemas com relação aos impactos e recuperações ao equilíbrio, estes são considerados ambientes de transição com tendência à

estabilidade e vulnerabilidade moderada a baixa e recuperação ao equilíbrio moderado a baixo. Com tendências a estabilidade no topo mais plano, baixando os processos morfogênicos, sendo as áreas mais inclinadas ainda com relativa atividade morfogênica.

7.4.3 Topos e Encostas Montanhosas

Correspondem a áreas com predominância de solos esqueléticos que suportam somente uma vegetação herbácea com algumas espécies arbóreas. É nesta subunidade que encontramos os montes pontuais vistos dentro da bacia, ocupando uma área pouco expressiva com aproximadamente 17 km^2, sendo esta a parte mais alta da região sul do país com o Monte Imponduine a Norte da Vila de Namaacha (809 m).

Eles ressaltaram de um vulcanismo do tipo fissural com emissão de lavas dispostas em camadas tabulares, alternadamente ácidas (riolitos) e básicas (basaltos), localmente intercaladas por piroclásticos tufosos e brechóides (MUCHANGOS,1999). Os Libombos são descritos como montanhas mesmo que na classificação nacional, elas não se enquadrem dentro deste padrão visto que não atinge os 1000 m de altitude, isso deve se ao destaque no relevo da região sul do país que tem as planícies como a paisagem dominante.

Os Grandes Libombos são atravessados por imensos rios nos seus 900 km de extensão longitudinal, podem ser vistos inúmeras fissuras no setor correspondente a bacia do rio Umbelúzi. Essa unidade atravessa toda a bacia se prologando do norte ao sul com cerca de 768,02 km^2.

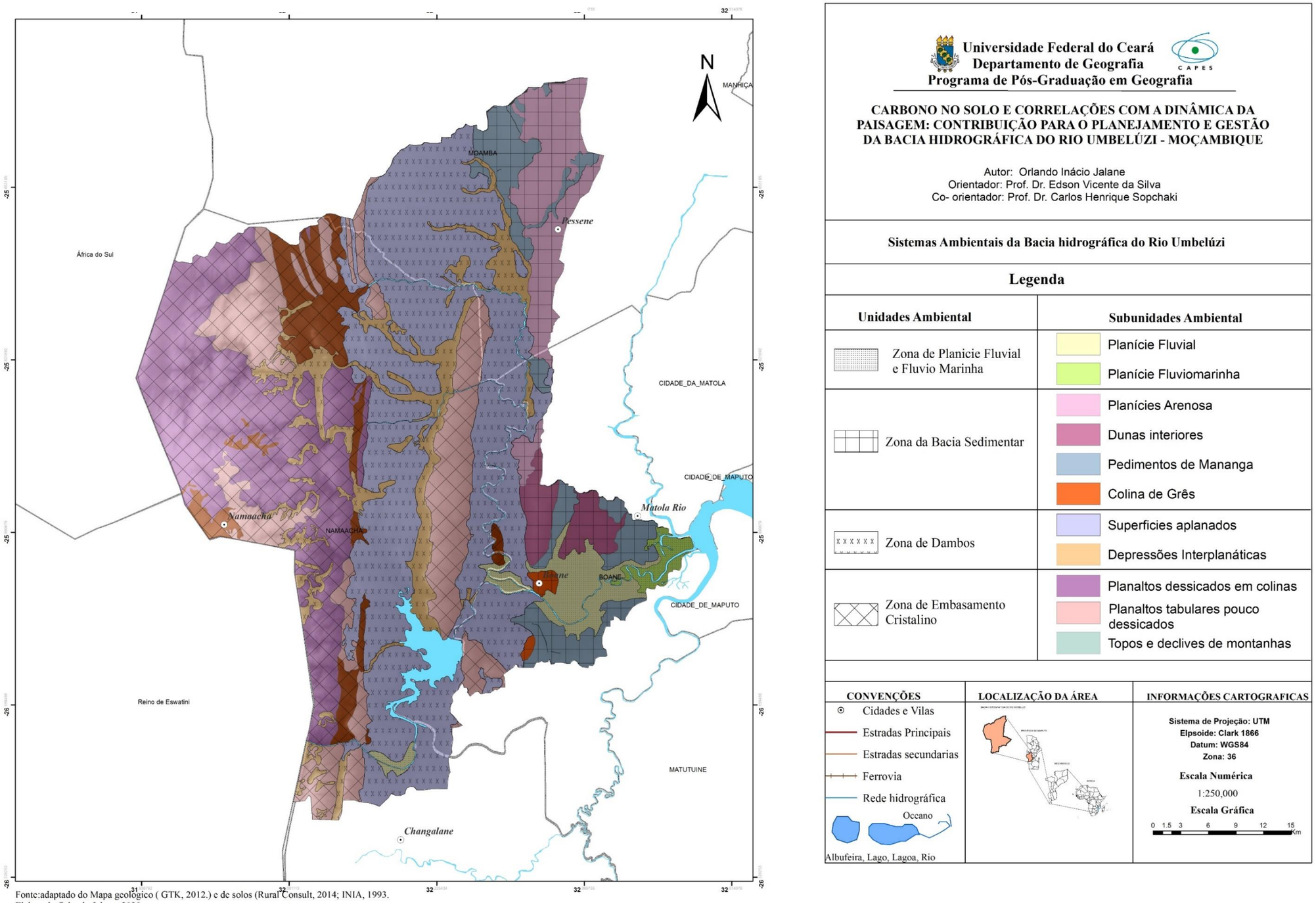
Capacidade de Suporte (Potencialidades e Limitações)

- Uso quase que exclusive para a mineração
- Bastante atrativo para o turismo de montanha e nascentes de água
- Solos bastantes rasos ou quase que inexistentes;
- Área Impróprio para edificação ou ocupação humana.
- Riscos de desmoronamentos e queda de blocos.
- Acessibilidade complicada.

Na ecodinâmica dos sistemas e subsistemas, seus impactos e recuperações no equilíbrio, denota-se a dominância de ambientes de transição com tendência à estabilidade e vulnerabilidade moderada a baixa e recuperação ao equilíbrio moderado a baixo. Há tendências a estabilidade no topo mais plano, baixando os processos morfogênicos.

Cenários tendências do contexto socioambiental dos sistemas e subsistemas, correspondem ao restante dos subsistemas do embasamento cristalino, que durante a Guerra Civil viram a grande parte da sua cobertura vegetal ser cortada para a fabricação de carvão vegetal, que servia de combustíveis para as cidades de Maputo e Matola. Por essa razão esses ambienteis se encontram agora em um processo de recuperação da sua vegetação nativa. Vinde o mapa 11 com a delimitação das unidades geoecológicas da bacia e o quadro 3 representando as principais características ambientais das unidades e subunidades da bacia.

Mapa 11: Sistemas Geoecológicos da Bacia Hidrográfica do Rio Umbelúzi



Fonte:adaptado do Mapa geologico (GTK, 2012.) e de solos (Rural Consult, 2014; INIA, 1993.
Elaborado Orlando Jalane, 2020.

Quadro 3: Quadro síntese das unidades e subunidades geoecológicas na bacia hidrográfica do rio Umbelúzi

Unidades Geoambienatis	**Subunidades**	**Uso/ocupação e impactos associados**	**Área em Km^2**	**Imagem representativa**
Zona Aluvionar e Flúvio marinha	Planície Fluvial	Agricultura empresarial e familiar/ pressão sobre os solos, degradação da vegetação	73.6	
	Planície Fluviomarinha	Salinas, pesca artesanal/ degradação do manguezal, diminuição da área produtiva dos crustáceos; pressão urbana	18.8	
Zona da Bacia Sedimentar	Planícies Arenosa	Áreas habitacionais e agricultura de subsistência/ degradação e erosão dos solos	134.7	
	Dunas interiores	Edificação urbana, áreas de expansão/ pressão, degradação dos solos, corte de vegetação nativa	53.4	
	Pedimento de Mananga	Agricultura itinerante, ocupação de pequeno peso/ erosão e degradação dos solos	138.5	
	Colinas de Grés	Ocupação urbana, área comercial/ erosão dos solos,	8.2	
Zona de Dambos (Depressões do Embasamento Cristalino)	Depressões interplanaticas	Agricultura familiar/ risco elevados de erosão dos solos, perda da vegetação nativa	177.2	
	Superfície aplanada	Agricultura intensiva e pastos/ degradação e salinização dos solos	730.7	
Zona de Embasamento Cristalino	Planaltos dissecados em colina	Agricultura familiar, corte de madeira/ perda de biodiversidade e desertificação	425	
	Planaltos tabulares pouco dissecados	Mineração, Produção de carvão/ perda de biodiversidade	311.9	
	Topos e declives montanhosos	Turismo de montanha/ Degradação geral do solo, incluindo a erosão do solo	127.7	

Fonte: elaborado pelo autor

O Quadro 2, oferece uma síntese informativa sobre as unidades e subunidades geoecológicas da Bacia Hidrográfica do Rio Umbelúzi, destacando seus impactos associados, enquanto a figura 9 expõem o mapa de unidades geoecológicas da bacia. Nele estão descritos os tipos de uso e ocupação encontrados em cada uma das unidades e subunidades presentes na bacia.

8 ESTOQUES DE CARBONO NO SOLO

Aqui são apresentadas uma parte das estatísticas geradas no processo da definição do modelo e da sua validação, assim como elementos que exploram os níveis de precisão do mesmo, e a sua importância para a validação e explicação do fenômeno da concentração dos estoques de SOC na área da bacia. As estatísticas são um elemento auxiliar de avalição de quanto um fenômeno em análise é efetivo e pode estar relacionado entre si (causa efeito), (CIRAUDO, 2015). A tabela 9 apresenta as estatísticas descritivas gerais, composto por 118 amostras e 16 variáveis.

Tabela 9: Estatísticas descritivas dos estoques das variáveis de teste e validação do modelo usado (Min – mínimo, Max – máximo, DP – desvio padrão).

	Amostras usadas no modelo (N= 96)				Validação (n = 22)			
	Min	Max	Média	DP	Min	Max	Media	DP
SOC (Kg/m^2)	1.94	13.81	6.7	3.2	0.77	12.26	6.47	3.35

Fonte: elaborado pelo autor

As estatísticas descritivas revelam valores muito próximos tanto das amostras usadas para a calibração do modelo, assim como as da validação do mesmo em relação aos valores médios e os desvios padrão.

Os erros e os indicadores da avaliação do nível de precisão do modelo formam estimados a partir da RF, resultante da previsão dos estoques de carbono no solo. O resumo dos erros e indicadores para essa verificação da acurácia é apresentado na tabela 10.

Tabela 10: Erros e indicadores de qualidade do modelo.

	ME	MSE	RMSE	$R2 = Var_{expl}$
SOC (Kg/m^2	-0.014	1.42	1.19	58.7

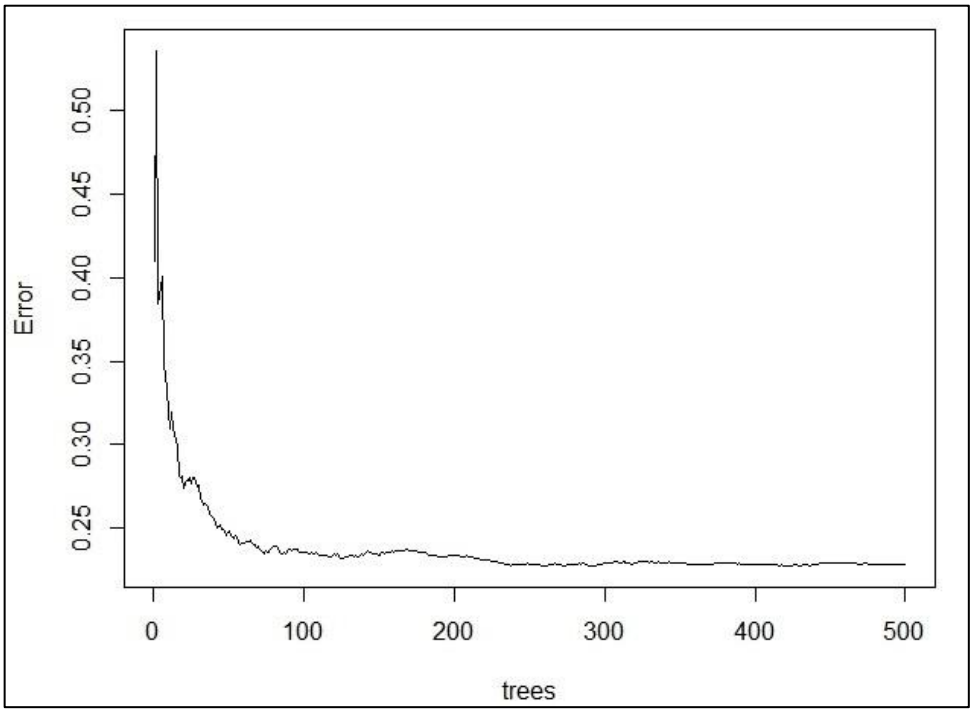
Fonte: elaborado pelo autor

Onde, ME representa o erro médio, MSE o erro quadrado médio, RMSE indica a raiz do erro médio quadrático e Porcentagem de variância explicada (Var_{expl}) ou coeficiente de determinação (R^2) do conjunto de validação.

O erro médio observado tive uma variação negativa de -0,014, a MSE e a RMSE não apresentaram valores superiores a 2, tendo se situado nos 1,42 e 1,19 respetivamente. Já a parte explicada do modelo através das variáveis e de 58,7%, pode ser considerado valor aceitável para o número e tipo de variantes usados para sustentar o modelo.

Uma vantagem das florestas aleatórias é a estimativa de erro de generalização incorporada para cada observação, prevendo a resposta sobre o conjunto de árvores que não foram treinadas com essa observação específica (EHRLINGER *et al*., 2015). Sendo que essas estimativas de erro de previsão OOB mostram se idênticas a uma n vezes validação cruzada (HASTIE, 2009, EHRLINGER *et al*., 2015).

Figura 28: Erro aleatório de generalização de floresta. Convergência de erro OOB ao longo do número de árvores na floresta.

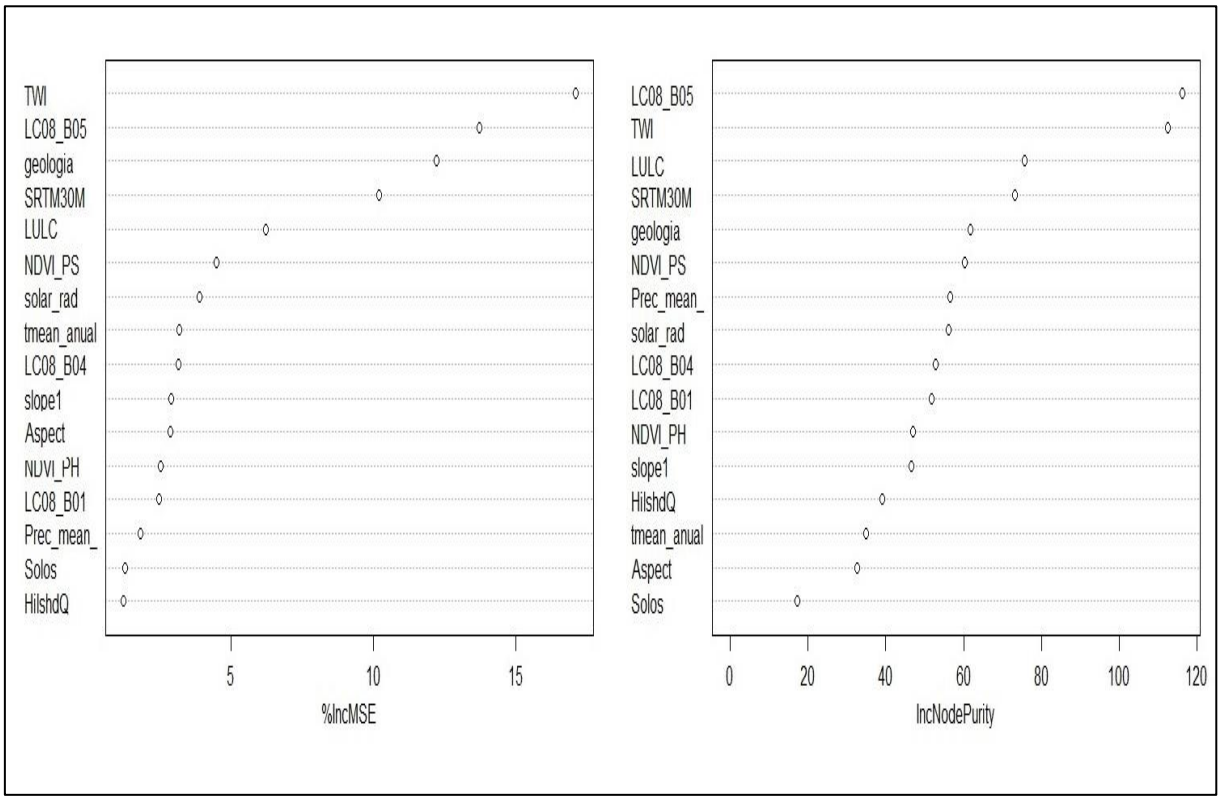


Fonte: elaborado pelo autor.

A figura 28 mostra que após cerca de 200 árvores ela estabiliza a estimativa de erro de previsão da floresta. No entanto, para garantir que cada variável tenha uma oportunidade suficiente de ser incluída no processo de previsão da floresta, criou-se uma floresta aleatória bastante grande de árvores. Ela demostra um grau elevado de erros nas primeiras ramificações e à medida que a floresta cresce o erro associada na estimação se aproxima a zero.

A importância das variáveis derivada de modelos florestais aleatórios mostrou-se pelo aumento do inMSE (%), no desenho do modelo adequado para o objetivo proposto. Na Figura 29 estão representadas as 14 variáveis usadas para a explicação da variabilidade de carbono nos solos em diferentes unidades ambientais e agrupamentos de solos.

Figura 29: Importância das variáveis medidas em% InMSE



Fonte: elaborado pelo autor (Jalane, 2020).

TWI – Topographic Wetness Index, LC08_B05 – landast 8 banda 5, Gelogia, SRTM30 – digital elevation model, LULC – land use, land cover, NDVI_PS – periodo seco, NDVI_PH – periodo húmido, Solar_rad – Solar radiomtion, team_anual – temperatura média anual, LC08_B4 – Landsat banda 4, Slope1, Aspect – Aspect map, LC01_B01 – Landsat banda 1, Solos, HilshdQ – Hilshd map.

As variáveis ligadas ao uso e cobertura do solo e as variações relacionadas com a disposição do relevo, elas mostraram-se de maior importância para a explicação das concentrações de carbono nos solos. O TWI e o modelo digital de terreno (SRTM30M), nesse caso representando as variáveis de natureza topográfica estão entre as cinco 5 variáveis mais importantes, como elementos explicativos da dinâmica do SOC na BHRU, sendo que a geologia é uma das outras três variáveis juntamente com as imagens do satélite Lansdast 8 da banda 5, que representa a faixa de maior resposta dos processos fotossintéticos da vegetação e por último neste grupo das cinco variáveis mais influentes está o uso e cobertura do solo.

8.1 Compartimento dos estoques de carbono no solo em diferentes unidades ambientais

A análise estoques de carbono no solo nos diferentes ambientes, mostra uma tendência um pouco contraditório em relação ao encontrado em estudos relacionados a estoques de carbono nos diversos tipos de paisagens e solos. Isso varia dependendo das mudanças climáticas, distúrbios naturais e história humana e as escolhas de âmbito de amostragem. Portanto, não foi um processo linear, contínuo ou uniforme, mas sofreu encolhimento e regressões. Essas tendências podem ser analisadas de ponto de vista das diferenças no relevo observado na bacia com grandes diferenças, que Segundo Marques Júnior (2009 *apud* OLIVEIRA *et al*., 2015), o relevo é um agente integrador nas mais diversas propriedades do solo na paisagem, além de ter correlação direta com o estabelecimento e a produtividade das culturas.

8.1.1 Zonas Aluvionares e Flúviomarinhas

As planícies fluviais são apontadas com áreas de transição a estáveis, apresentam uma diversidade de solos apesar de na classificação corrente seja todos designados de fluviosolos FAO (2015), eles apresentam características distintas segundo a deposição.

A distribuição do carbono nesse ambiente revela uma certa diferenciação das áreas próximas ao leito do rio e das mais afastadas, bem como solos mais argilosos em relação aos solos arenosos. Nos vales quase planos onde fica localizado a estação agrária de Umbelúzi a concentração do carbono está abaixo do esperado, sendo o valor mais alto não superior a 6,4 Kg/m^2. As planícies fluviais são alvos de bastante pressão por parte dos produtores dos setores

empresarial, assim como os agricultores familiares, este fato pode estar a influenciar a capacidade de captura dessa unidade. A subunidade de planícies fluviais apresenta a menor média das duas que compõem essa unidade com cerca de 4,88 kg/m^2 e uma variação entre o valor mínimo e máximo de 5,49, sendo a concentração mais baixa de 2,8 Kg/m^2.

A planície fluviomarinha ocupa uma pequena extensão junto ao estuário do Espírito Santo onde os rios Maputo, Matola e Umbelúzi esse último o principal da bacia em análise deságuam. As áreas baixas constantemente inundadas ou sobre influência dos mares são tidas como altamente produtivas e, porque formam o solo como uma resposta dinâmica à elevação do nível do mar (CAMBULE, 2013).

Esta subunidade alberga a floresta de mangue que é conhecida pelo seu papel importante no ciclo do carbono e nos orçamentos na paisagem costeira, contribuindo com 10 a 15% do sequestro costeiro de carbono, apesar de ocupar apenas 0,5% dos ecossistemas costeiros globais (SASMITO *et al*., 2020). Ainda Sasmito *et al*. (2020), diz que os ecossistemas manguezais acumulam biomassa orgânica via produção primária líquida (NPP), semelhante aos valores típicos para florestas tropicais perenes e decíduas tropicais, mais que estes armazenam maiores quantidades de carbono orgânico, principalmente nos solos.

A proximidade aos centros urbanos de Maputo e Matola representou um grande desafio a resistência desse ecossistema pela grande pressão exercida pela população no corte do mangue em forma de estacas para construção de casas. Este fato pode ter representado o peso atual na quantidade de carbono disponível nos solos, que foge um pouco a hipótese de um grande acumulador de carbono.

Os pressupostos inicias apontam para existência de uma grande concentração de carbono nos solos nesta subunidade de floresta manguezal, fato que não é observado apesar de apresentar uma média superior a grande parte das subunidades com cerca de 5,47 kg/m^2, mais abaixo das unidades a montante com presença de florestas densa de decídua e matagais abertos que apresentam médias superiores a 6 Kg/m^2.

Mesmo com a homogeneidade na sua distribuição espacial do carbono no solo, estes níveis estimados levantam uma inquietação com relação à sustentabilidade do ecossistema a longo prazo e as cargas que ela tem estado a receber, para além de que as planícies fluviomarinhas formam ambientes mais dinâmicos e de alta vulnerabilidade no funcionamento da paisagem.

8.1.2 Zona das Bacia Sedimentar

Esta unidade de mapeamento ambiental corresponde as planícies arenosas, dunas do interior, pedimentos de mananga e uma pequena subunidade de grés, que são formados basicamente por solos arenosos amarelados a esbranquiçados, excetuando os solos dos pedimentos que em algum momento são argila-arenosas e bastante duros quando secos, mas que apresentam em certos lugares, cobertura arenosa superior a 50 cm de profundidade e os solos do grés que é composto por colinas de Sandstone e supõe-se que sejam do Paleoceno, em idade, são siltstone vermelho-acastanhado profundo, friável e siltstone levemente arenoso (GTK, 2006).

Essa é a unidade ambiental que apresenta a menor variabilidade de armazenamento do carbono e os valores mais baixos de toda área. Isso deve-se a fatores vários, mais podemos apontar principalmente a forma com as comunidades usam à terra nessa unidade, bem como a pouca cobertura vegetal algo que é característico da mesma e ainda alta permeabilidade, a baixa capacidade de retenção de água a superfície e baixa atividade biológica.

A grande parte dessa unidade é explorada pelas edificações de casa, pastagem e a pequena agricultura de sequeiro, que explora a cultura do amendoim que se dá bem em solos de ambiente arenoso e brancos. O uso da terra e as práticas de manejo de plantas e solo influenciam a taxa de sequestro de C, portanto a forma como cada unidade paisagística vai reagir a esses estímulos externos (ZIRKLE *et al*., 2012), por essa razão nesse tipo de paisagens formando por áreas planas e com elevada concentração de solos de textura arenosa, vegetação escassa apresentam os níveis mais baixos de captura do C, e consequentemente estoques baixos de carbono nos solos a superficial.

A concentração de carbono por unidade de área não é superior à média registrada na BHRU que é de 6,61 Kg/m^2, e ela concentra os valores mais baixos encontrados em toda a área entre os 2,74. Sendo que as áreas com maior disponibilidade residencial são as que apresentam a menor taxa de concentração e variação de carbono nos solos, com um ligeiro aumento a medida que o afastamento em relação a essas explorações residências cresce, portanto favorecendo ao desenvolvimento de uma vegetação rasteira.

Zirkle *et al*. (2012), aponta que o uso da terra e as práticas de manejo de plantas e solo influenciam a taxa de sequestro de C, a falta de vegetação e o tipo de uso dos solos que as comunidades desenvolvem nessa unidade ambiental composto por planícies arenosas, dunas interiores e pedimentos de mananga tem influenciando em grande medida a fraca concentrarão do SOC, mais a maior dinâmica da paisagem devido a elevada atividade antrópicas.

A variação dos estoques de carbono nos primeiros 30 cm do solo de todas as subunidades que definem a unidade não ultrapassa o valor de 5 kg/m^2, com as planícies arenosas a registrarem a média mais elevada com 4,96 kg/m^2, apesar de a amplitude mais elevada seja encontrado nos pedimentos de Mananga com cerca de 9,07, fato que se deve a grande variabilidade na profundidade da cobertura arenosa e na topografia dos pedimentos de mananga que lhe permite uma maior variação temporal da disponibilidade de agua e formação de deferentes tipos de vegetação temporária.

As colinas de grés é a menor subunidade em termos espaciais e a que apresenta o menor valor médio de toda a unidade e no restante de todas as outras quando comparado as demais unidades ambientais com uma concentração média de 4,30 Kg/m^2.

Essa é a unidade com maior concentração das atividades antrópicas, desde os serviços econômicos a residências, portanto a que apresenta uma maior diversificação dos usos, que podem constituir um fator determinante da concentração dos estoques de carbono superficial dos solos sem apontar as caraterísticas física-naturais que exerce a influência.

8.1.3 Zona de Dambos (Depressões do Embasamento Cristalino)

A maior concentração de estoques de carbono nos solos é observada nesta unidade, constituído por duas subunidades (depressões e as superfícies aplanadas). As depressões correspondem a pequena porcentagem de concentração desta unidade, apresentam valores médios superiores à média geral dos 6,61 Kg/m^2. Ela é caracterizada por depressões formadas junto as linhas naturais de drenagem e nas encostas do relevo ligeiramente elevado da cadeia dos pequenos Libombos.

As depressões dessa região são áreas que naturalmente dispõem de humidade ao longo das faixas mais baixas, o que a prior é uma característica benéfica à disponibilidade da vegetação mais sandia e mais dispersa. Mais a disposição dos estoques de carbono nos solos mostra concentrações medianas em relação que se esperaria de áreas baixas e úmidas, que possam ter mais cobertura vegetal natural por mais tempo. Apesar de apresentar uma menor concentração comparada a outra subunidade da mesma unidade, observa nela valores muito próximos dos valores máximos observados em toda a área da bacia.

As superfícies aplanadas foram formadas partir do aplanamento e rebaixamento das vertentes Este e Oeste da cadeia dos Libombos. Elas compõem duas dimensões distantes, a vertente a Este mais elevada que a Oeste. Elas são caracterizadas por solos derivados da rocha basáltica de cor avermelhados, o que lhes confere a designação de solos basálticos vermelhos.

A vertente Este dessa unidade apresenta a maior concentração de estoques de carbono nos solos comparados a vertente Oeste. A vertente Este encontra-se pouco explorada pela agricultura e, portanto, ela apresenta a inda uma maior disponibilidade da vegetação, é nela onde há o registo do valor mais elevado do estoque de 10,10 Kg/m^2, a média de valores registrados e de 7,34 Kg/m^2.

Essa subunidade apresenta no declive Este uma ligeira homogeneidade na distribuição da concentração quando comparado com a vertente Oeste que corresponde os solos junto a baixa de Mafuiane bastante ocupada por atividades antrópicas como os casos da agricultura e uma grande concentração de áreas residenciais ao longo de toda a faixa que forma essa vertente, que por essa razão a variação dos depósitos de carbono nos solos é bastante baixa para as condições similares de solos e clima.

A diferença observada nas duas vertentes pode ser vista pelos níveis de dispersão entre os valores estimados que tem o desvio padrão mais elevado de todas as subunidades analisados, influenciando na média geral da unidade.

A atividade agrícola influenciou bastante os padrões de uso e cobertura local da terra e da paisagem. O armazenamento de carbono do solo na faixa dos 0 -30 cm nos locais foi influenciado por um grande número de variáveis em interação, sendo as mais importantes que explicam a pouca concentração dos estoques nessa vertente as formas de uso e maneio dos solos impostos pelas atividades instaladas nessa área, as condições climáticas e os fatores topográficos. Por seu uma vertente mais plana em comparação a Este ela apresenta melhores condições favoráveis para a exploração da terra, como a mecanização agrícola, fato que concorre para o seu amplo uso pelo agronegócio e da agricultura familiar.

Os registros mais elevados a ela associada não ultrapassam a média total dos estoques de carbono, avaliados em 6,6 Kg/m^2 e o valor mais baixo está entre os 4,2 kg/m^2. Portanto as atividades antrópicas nessa parte da vertente têm influenciado a dinâmica do estoque do carbono do solo. Sendo esse é um exemplo claro de como uma mesma unidade ambiental expostas a diferentes formas e pressões resultante da intervenção humana, tem respostas diferenciadas, mesmo que as condições climáticas e geológicas sejam similares.

8.1.4 Zona de Embasamento Cristalino

A unidade do embasamento cristalino, compõem as áreas elevadas da bacia, composto maioritariamente por solos rasos e um clima sub, influência de montanha, com temperaturas médias mais baixas em relação as outras já analisadas. É nessa unidade onde se

observa os valores mais elevados da precipitação média dos últimos 30 anos, mais que apresenta um desenvolvimento capilar bastante limitado que se associa a baixa capacidade de retenção de água subterrânea devido ao escoamento superficial rápido.

Segundo Lautenschlaeger *et al*. (2018), os ecossistemas de montanhas são geralmente espaços bastante isolados e de difícil acesso, com características e dinâmicas particulares de acordo com a sua própria natureza, topografia e condições climáticas. Que apesar disso são bastante atrativos devido à alta biodiversidade, que apresentam e uma ampla riqueza de recursos que atendem aos requisitos humanos.

As interações observadas nestes ecossistemas desencadeiam mudanças contínuas nas paisagens montanhosas, que geram estratégias adaptativas, levando a uma coevolução paralela com as sociedades humanas (LAUTENSCHLAEGER et al., 2018). Dessa forma as paisagens configuram de diferentes formas para responder às necessidades das sociedades humanas que atuam sobre elas.

O ecossistema montanhoso que forma a unidade do embasamento cristalino é subdividido em três subunidades de acordo com a sua disposição e evolução, são os planaltos dissecados em colina, planaltos tabulares pouco dissecados e declives montanhosos, todos eles localizados em altitudes superiores a 250 metros.

A variação dos SOC disponíveis nas diferentes subunidades é pouco dispersa, apresentando um relativo equilíbrio na sua distribuição, com exceção das áreas com caraterística de um relevo mais plano, que favorece o estabelecimento de ocupação antrópica relativamente desenvolvido, como são os casos das edificações e práticas agrícolas. O exemplo mais flagrante disso é a vila sede de Namaacha estabelecido no topo do planalto dos Libombos numa área relativamente plana em relação ao seu entorno.

Pela natureza da topografia e da grande concentração de solos pouco profundos e rocha exposta à resposta da cobertura vegetal apresenta situações peculiares na sua composição e diversificação, sendo os topos e as áreas mais acidentadas as que apresentam uma maior concentração da biomassa.

Essa concentração acima do pressuposto ou esperado, nas áreas de montanha podem ser explicadas por uma mineralização reduzida devido às condições climáticas mais frias e um aumento da quantidade de Matéria Orgânica do Solo (MOS) estabilizada associada a minerais em solos de textura fina e a baixa atividade de pastos que permite uma maior entrada de matéria orgânica nos solos (WIESMEIER *et al*., 2011).

Os mapas que tratam do crescimento de plantas mostram em ambas as estações climáticas a maior concentração da biomassa nas áreas mais íngremes dessa grande unidade,

que podem ser explicadas para além das condições naturais, mas também pela dificuldade de acesso que as populações têm para alcançar esses extratos vegetais.

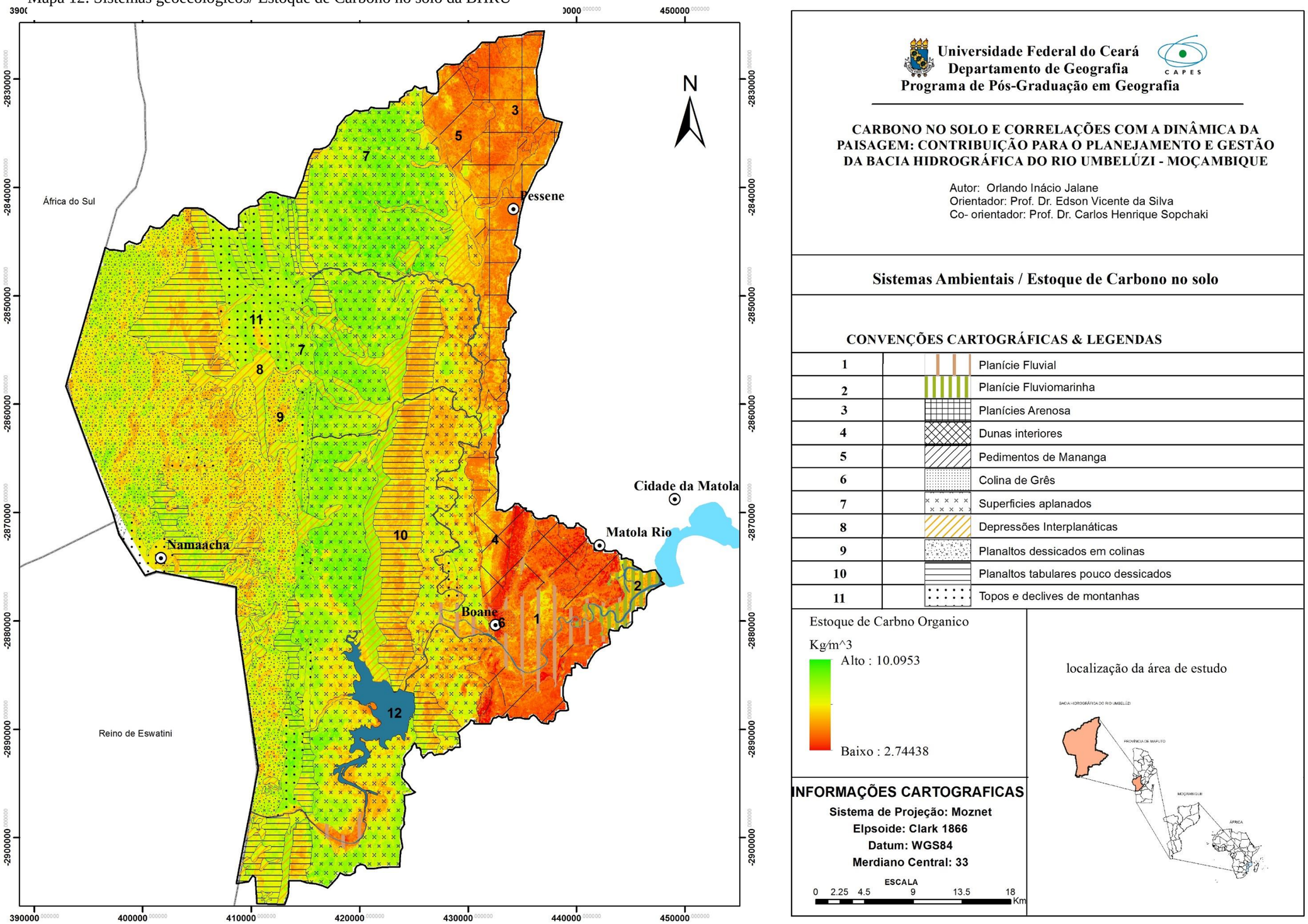
A variação dos estoques de carbono no solo nesta unidade concentra nos valores médios dos previstos pelo modelo de estimação utilizado. A capacidade de captura dessa unidade apresenta uma relativa segmentação devido, as caraterísticas já exposto anteriormente influenciados pela ocupação e a forma de uso do solo nas diferentes subunidades de solos.

Em locais com maior densidade de atividades antrópicas se nota uma concentração de estoques mais dispersa e ocorrência dos valores mais baixos, sendo que as com menor ocupação registram valores mais elevados e maior disponibilidade espacial.

As áreas suscetíveis de uma ocupação humana como são os casos de planaltos tabulares apresentaram a média mais baixa de 6,37 Kg/m^2, e as outras duas subunidades mostram médias mais altas com 6,81Kg/m^2 para os planaltos tabulares.

Os topos e declives montanhosos registaram a média mais elevada das três subunidades de e 7,53 kg/m^2, corroborando com teoria de maiores entradas de matéria orgânica no solo e a provável inacessibilidade da mesma possa estar a contribuir para um aumento nos estoques de carbono. A representação da distribuição espacial das unidades ambientais e a distribuição espacial do carbono do solo, estão apresentadas no mapa 12.

Mapa 12: Sistemas geoecológicos/ Estoque de Carbono no solo da BHRU



A tabela 11 apresenta as estatísticas básicas da variação de carbono no solo em diferentes subunidades ambientais da bacia.

Os valores de SOC eram geralmente baixos nos ambientes montanhosos, com valores de SOC geralmente aumentando abaixo de 200 m acima do nível do mar, e a inclinação da variável topográfica não se correlacionou com as mudanças na quantidade dos estoques de carbono.

Tabela 11: Subunidades ambientais e distribuição das estatísticas de estoque do carbono no solo na profundidade 0 -30cm em Kg/m^2.

Unidades Ambientais	Subunidades	Min (X)	Max (X)	Média (X)	Desvio Padrão
Zonas Aluvionares e Fluviomarinhas	Planície Fluvial	2.80	8.29	4.88	0.78
	Planície Fluviomarinha	3.06	7.55	5.47	0.68
Zona da Bacia Sedimentar	Planície Arenosa	3.54	8.33	4.96	0.55
	Dunas Interiores	3.06	8.02	4.73	0.93
	Pedimentos de Mananga	2.92	9.07	4.63	0.74
	Colina de Grés	2.74	6.94	4.30	0.67
Zona de Dambos (Depressões do Embasamento Cristalino)	Depressões Interplanálticas	3.71	9.92	7.13	0.79
	Superfícies Aplanadas	3.27	10.10	7.39	1.08
Zona de Embasamento Cristalino	Planaltos Dissecados em Colinas	4.10	9.52	6.81	0.61
	Planaltos Tabulares pouco dissecados	4.08	9.37	6.37	0.81
	Topos e Declives de Montanhas	4.00	9.73	7.53	0.79
GERAL		2.74	10.10	6.61	1.31

Fonte: elaborado pelo autor (Jalane, 2020) com base no mapa 12.

A média mais elevada do carbono no solo foi observado na subunidade de topos e declives com 7,53 e a mais baixa na zona formada por bacias sedimentares na subunidade, formado pela colina de grés, precisamente onde está localizada a vila sede de Boane.

8.2 Relação das mudanças nos estoques de carbono do solo com o efeito de diferentes agrupamentos de solos

Na análise efetuada para a determinação dos estoques de carbono no solo nos diferentes agrupamentos de solos que definem as paisagens da bacia, se notou que ela apresenta uma variação de acordo com a natureza da unidade, mas também a forma de uso e ocupação do mesmo. Na mesma unidade de solo foi constatando diferentes níveis de captura e armazenamento dos estoques de carbono no solo.

Agrupando as unidades de solos pelas características próprias, como a textura, o material de origem, etc. foram sistematizados em 9 grupos principais de solos, assim designados: Solos de Textura Arenosa, Mananga, Aluviões Argilosos (textura fina), Aluviões Estratificados (de textura fina a grossa), Sedimentos Marinhos Estuarinos, Argilosos Diferenciados, Coluviões, basálticos e solos Rioliticos.

A comparação dos estoques de carbono no solo da mesma unidade ou tipo de solo mostram que as parcelas com a vegetação nativa ou pouco explorada apresentam níveis de concentração altos e locais com uso intensivo e de longo período para a produção de alimentos, nota-se um declínio dos estoques de carbono no solo, o que foi mais pronunciado nos campos agrícolas de áreas secas em uso por algumas décadas.

Consta que os solos mais rasos localizados na região mais alta da bacia tem a tendência de apresentar a menor concentração de estoques de carbono, quando comparada a solos mais profundos com a mesma textura.

ONTL *et al*. (2012), refere que na escala de uma bacia hidrográfica, a capacidade de sequestro de carbono do solo pode ser influenciada por controles locais nos processos do ecossistema, isso devido à heterogeneidade da paisagem. Fato que afeta os processos de entrada e perda do carbono no solo. Pode-se então assumir essa afirmação como parte da explicação das grandes variações de SOC no mesmo agrupamento de solo, que aparentemente sofrem as mesmas influências humanas e naturais.

A combinação dos agrupamentos de solos, unidades ambientais e a distribuição espacial do SOC, pode ser observado no mapa 13, onde podemos analisar os estoques em diferentes grupos. É perceptível que os estoques de carbono no solo têm tendência de aumentar dos extremos para o centro da área onde encontramos a maior disponibilidade de solos argilosos ricos em matéria orgânica.

Mapa 13: Unidades de solos / Unidades Geoambientais/ Estoque de Carbono no solo da BHRU

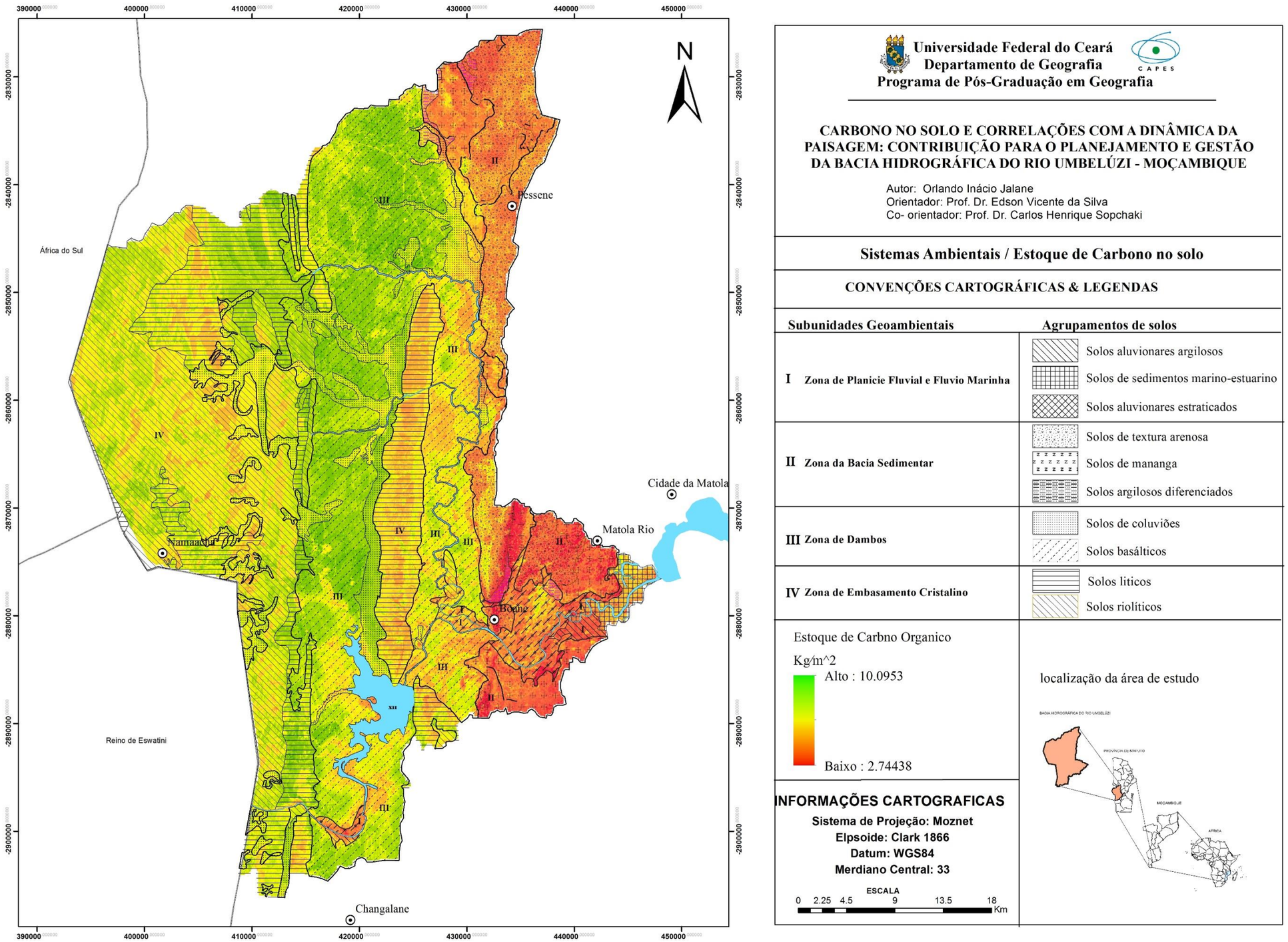


Tabela 12: Unidades de solos e distribuição das estatísticas de estoque do carbono no solo na profundidade 0 -30cm em Kg/m2.

Unidades Ambientais	**Agrupamentos de solos**	**Min (X)**	**Max (X)**	**Média**	**Desvio Padrão**	**Área (Km2)**
Zonas Aluvionares e Fluviomarinhas	Solos de Aluviões Argilosos	3.3	8.04	4.42	0.64	9.1
	Solos de Sedimentos Marinhos Estuarinos	3.06	7.55	5.48	0.63	8.8
	Solos de Aluviões Estratificados	2.80	8.29	4.94	0.8	62.50
Zona da Bacia Sedimentar	Solos de textura Arenosa	2.74	8.33	4.87	0.71	196.3
	Solos argilosos diferenciados	3.17	9.1	4.9	0.97	14.6
	Solos de Mananga	2.92	7.5	4.6	0.7	126.0
Zona de Dambos (Depressões do Embasamento Cristalino)	Solos de Coluviões	3.71	9.92	7.13	0.78	177.1
	Solos Basálticos	3.27	10.1	7.4	1.1	715.3
Zona de Embasamento Cristalino	Solos Rioliticos	4.0	9.73	6.83	0.81	879.9
GERAL						

Fonte: elaborado pelo autor (Jalane, 2020) com base no mapa 13.

8.2.1 Solos de Aluviões

Os solos de aluviões subdividem-se em solos de Aluviões Argilosos e solos de Aluviões Estratificados. Os solos de Aluviões Argilosos fazem parte das Zonas Aluvionares e Fluviomarinhas, são holocênicos, profundos geralmente escuros e castanhos acinzentados encontrados normalmente em planícies e vales planos (INIA, 1993). Solos de Aluviões Argilosos apresentam geralmente uma concentração de matéria orgânica alta, o que se supõem ter uma alta concentração de Carbono no solo.

Na BHRU esses solos se encontram sobre uma relativa pressão, suportam várias atividades agrárias de diversos níveis de sofisticação e maneio, portanto bastantes explorados o que pode explicar a pouca concentração dos estoques de carbono nos mesmos. A variação dos SOC neste Agrupamento de solos é baixa e homogênea com o valor médio de 4,42 Kg/m^2, constituindo o valor médio mais baixo observado em todos os agrupamentos.

Esse agrupamento é composto por solos de textura franco arenoso a argiloso que quando são submetidos regularmente aos processos de preparo da terra para o cultivo, o que envolve a inversão do solo com um arado de disco, decomposição dos torrões, mistura e pulverização com cultivadores e grades, expondo o solo ao impacto do pingo de chuva, liberando matéria orgânica do solo (SOM), até então protegido contra processos microbianos por encapsulamento, o que aumenta mineralização de SOM e liberação de CO_2 na atmosfera (LAL, 2007).

Existe uma grande concentração de atividade agrária irrigada próximo em quase toda a área onde é encontrado este agrupamento de solos, fato que aumenta os processos de lavagem constante dos mesmos. A concentração máxima desses solos de aluviões argilosos está estimada em cerca de 80,4 t/ h (toneladas por hectare) de SOC e ela é registada na subunidade próximo ao açude.

Nas planícies e vales formandos por solos aluvionares ainda se destacam o agrupamento de solos aluvionares estratificados, que se dispõem em diferentes estratos indicadores das várias deposições do rio durante as suas cheias mais ativas. Ela constituiu um aglomerado de unidades diferenciados pela profundidade e disposição das camadas arenosas sendo que ela apresenta texturas diferenciadas desde arenosa a franco argilo-arenosa. São também holocênicos e encontrados em vales e planícies quase planos, com diferentes níveis de acumulo de matéria orgânica que vai de baixa a alta, influenciado pela disposição das texturas do solo superficial por conta da atividade do rio (INIA,1993).

Os níveis de concentração desse nesses solos se deferem um pouco aos argilosos, pelo fato de apresentar maiores níveis de textura arenosa na sua composição. Fato que pode ser observado nos apêndices 1 e 2, e pela análise dos dados da tabela 12 que mostram a maior dispersão entre os valores observados do SOC na unidade apesar de apresentar os valores mais altos entremos de máximos e média.

O mínimo geral do SOC é encontrado justamente nestes solos, isso pela natureza variada da concentração de matéria orgânica influenciada pela textura diferenciada dos mesmos somado as diferentes atividades antropogênicas nelas feitas.

8.2.2 Solos de Sedimentos Marinhos Estuarinos

São solos Argilosos cinzento, profundos e frequentemente saturados, encontrados regularmente em planície estuarina com textura que varia de franco arenoso a argiloso, geralmente com uma drenagem má a muito má (INIA, 1993).

A concentração da matéria orgânica é considerada moderada a alta neste agrupamento de solos, que estão sob influência direita dos mares e dos rios que desembocam carregando sedimentos junto aos ecossistemas de mangues. Por essa razão é considerado um dos ecossistemas de elevada dinâmica, controladas por forças físicas (rios, marés e ondas) e geomórficos processos evolutivos (a taxa e fonte de entrada de sedimentos e taxa de variação relativa do nível do mar) (ROVAI, *et al*., 2018). Solos úmidos tendem a ter mais carbono do que seus pares mais secos. Solos alagados ou em depressões úmidas tendem a ter mais carbono.

O mapa da concentração de carbono no solo em relação ao agrupamento dos solos Marinhos Estuarinos mostra uma concentração homogênea em toda a área coberta por essa unidade de mapeamento com uma dispersão abaixo de 0,63 Kg/m^2. Apesar de apresentar valores quase homogêneos este agrupamento mostra valores médios abaixo do se espera nesse ambiente de grandes entradas de sedimentos e disponibilidade de matéria morta.

Mesmo estando a baixo do esperado, este ambiente ainda apresenta uma média superior a grande parte dos outros agrupamentos de solos dentro da área da bacia. O SOC médio desta unidade foi estimado em 54,8 t/h muito baixo do que é realmente esperado para esse tipo de solos nesse ecossistema. Ver o apêndice C, com a variação do SOC nos solos de sedimentos marinhos estuarinos.

8.2.3 Solos de Textura Arenosa e Solos de Mananga

Este agrupamento é formando por diferentes unidades de textura arenosa, com coloração diferenciada, mais que de uma forma geral responde de forma semelhante ao sequestro de Carbono. Este agrupamento é compôs de solos arenosos amarelados, esbranquiçados, acastanhados e avermelhados derivados de grés vermelho.

Segundo o INIA (1993), são solos de Cobertura arenosa formada por Areias eólicas pleistocênicas e Grés constituindo por areias grossas do fim do Terciário, que podem ser encontrados em planícies arenosas, depressões arenosas hidromórficas e colinas baixas orientadas de norte para o sul. Geralmente esses solos apresentam níveis de matéria orgânica muito baixa a baixa, por essa razão com baixos níveis de fertilidade natural.

Tratando de um agrupamento bem mais extenso entremos das unidades que a forma temos uma distribuição na concentração um pouco diferenciado, pois estes solos estão rodeados por diversos usos ao longo da bacia, desde o uso agrícola, pastagem e a residencial que é a mais expressiva forma de ocupação dos solos. Ainda que seja considerado o agrupamento com menos capacidade de sequestro apresenta a média menos baixa de concentração de carbono nos solos na bacia que é de 4,89 KG/m^2, fato que só é explicado pelos diferentes usos observados nestes solos.

Já os solos de Mananga e um agrupamento de textura média com cobertura arenosa variada, caraterísticas usadas para a separação das subunidades, este grupo é formando por Sedimentos de Mananga que são depósitos sódicos duros do Pleistoceno encontrados em Planícies e fundos de vales na zona da cobertura arenosa e em áreas de topografia quase plana (INIA, 1993).

A sua cobertura superficial de textura arenosa define em alguns casos a sua capacidade de sequestro de carbono e a dinâmica da paisagem. Ela apresenta caraterísticas de solos arenosos que em alguns casos pode ser classificado como tal, principalmente em regiões com uma cobertura arenosa superior a 50 cm de profundidade.

Os níveis de concentração de carbono por metro quadro nestes solos apresenta características quase similares ao agrupamento de solos de textura arenosa com uma média de 4,6. Ela apresenta níveis de concentração mais baixa na unidade de solos mais a sul da bacia e próximos aso grandes centros de aglomeração residencial junto ao posto administrativo de Matola Rio, com os valores a não ultrapassarem o valor médio do agrupamento. O comportamento dessas duas unidades similares pode ser visto nos apêndices D e E.

8.2.4 Solos de Coluviões

Solos de coluviões são na sua maior de textura argilosos localizados no sopé das encostas de montanha, linhas de drenagem e nas planícies do basalto, geralmente são solos de cor castanho muito escuro de profundidade variável e alta concentração de matéria orgânica (INIA, 1993).

Este agrupamento de solos está inserido entre as elevações da serra dos Libombos e nas linhas de drenagem formandos nas baixas da BHRU, ela é caracterizada na sua maior extensão por pouca atividade humana devido ao acesso nas partes mais altas e muita procura junto as planícies basálticas.

Os solos de coluviões registam a segunda maior média de concentração de carbono de todos os agrupamentos com cerca de 7,23 kg/m^2 acima do valor médio geral de 6, 61. Os valores mais altos são observados na parte rebaixada nas vertentes oeste e este das duas elevações da serra dos Pequenos Libombos, entre as altitudes abaixo de 200 m, enquanto os valores mais baixos juntos as encostas do lado mais elevado da serra e na parte afastada dentro das planícies do basalto.

A natureza da textura dos solos e a elevada concentração da matéria vegetal ainda em estado de conservação natural bastante ótimo, permite que este agrupamento apresente uma capacidade bastante alta de sequestro de carbono, mostrado pelos valores mínimos e máximos principalmente nas partes mais baixas, onde tem a influência de solos basálticos, como podemos reparar no apêndice G.

8.2.5 Solos Basálticos

Os solos basálticos estão localizados na mesma unidade geoambiental dos solos de coluviões, são argilosos de cor castanho-avermelhado escuro e pretos ou castanho acinzentado escuro, com profundidade variável o que define as outras subdivisões desse agrupamento. Essa unidade é composta por solos de elevada concentração de matéria orgânica a superfície, principalmente em áreas com pouca ou sem nenhuma intervenção da sociedade humana.

Os solos basálticos são bastante ricos em argila e por essa razão tendem a reter mais matéria orgânica do solo do que os solos de textura arenosos. O uso da terra teve um efeito significativo no carbono armazenado nos solos em toda a paisagem do basalto, visto que as áreas de maior intervenção humana através do cultivo da terra apresentam os valores mais baixos observados.

Isso pode ser corroborado segundo Wilson e Lonergan, (2013), que afirmam que os sistemas agrícolas geralmente apresentam concentrações e quantidades menores de carbono do solo em comparação com os sistemas florestais nativos, sendo ela amplamente relacionada à intensidade do uso da terra, ao grau de remoção do produto e ao histórico de cultivo e manejo de pastagens. Além disso, as diferenças na matéria orgânica do solo dependem das condições climáticas, tipos de solos, práticas de preparo, estratificação do solo e atividades antropogênicas.

Os solos basálticos analisados na bacia apresentam duas formas distantes de SOC, uma com níveis bastantes elevados onde se registram os valores mais altos do carbono no solo de 10,1 K/m^2 equivalente a 101 t/h (toneladas por hectare), ver apêndice H. Em contraste com

valores elevados na margem direita da unidade a esquerda se verifica os níveis mais baixos o que coincide com área dos basaltos extremamente explorados pela agricultura e outras atividades antropogênicas diversas.

Na margem esquerda e no sul da margem direita junto a barragem dos pequenos Libombos dessa unidade dos basaltos ficam localizados os campos de produção de banana, citrinos e vários campos de pequena agricultura irrigada através dos sistemas instalados sob o rio Umbelúzi e das águas do seu afluente o Rio Movene. É nestas parcelas dos solos basálticos onde são observados os valores baixos da unidade com o mínimo a atingir os 3,27 kg/m^2 de SOC. Isso demostra o impacto que as atividades antropogênicas pouco regradas sobre a paisagem influenciam na sua disposição e dinâmica.

Apesar da grande pressão exercida sobre essa unidade de solos ela ainda mantem uma grande parte da sua área pouco explorado o que tem sido um desafio para sua manutenção nesse estado seminatural, por esse fato ela influenciou a média geral da unidade que está com valores próximos de 74 t/h de concentração de estoques de carbono no solo.

8.2.6 Solos Rioliticos

Esse é um grupo que apresenta três subdivisões de acordo com o (INIA, 1993), de solos avermelhados, líticos encontrados nos planaltos altos a uma altitude superior a 500 m em uma topografia acidentada, sendo os líticos pouco profundos e os pretos localizados nos planaltos baixos e médios na cota superior a 100 m, em zonas quase planas.

Devido a essa subdivisão dos solos ela apresenta características distantes no que tange a forma como o sequestro e armazenamento do carbono é distribuído na unidade. A parte dos solos mais rasos com profundidade não superior a 30 m a disponibilidade da matéria orgânica é baixa a alta dependendo de quão profundos são os solos. Os solos mais profundos dispõem de mais matéria orgânica, mais devido a sua localização as vezes nas encostas são afetados por erosão por sulcos o que empobrece os solos pela remoção da matéria orgânica.

O apêndice I, mostra a forma com está disposta a concentração do SOC, com os solos mais rasos e por vezes presença apenas da rocha descoberta a apresentar os níveis de carbono mais baixos não ultrapassando a média da unidade de cerca de 6.61 Kg/m^2. Enquanto isso a parte mais elevada composta por solos rioliticos vermelhos a concentração do SOC é estimada um pouco acima do valor médio da unidade.

Os valores mais elevados de SOC estão distribuídos nos solos rioliticos pretos localizados na parte média e baixa do planalto junto a separação dos de natureza basáltica, onde

se registra o valor máximo do agrupamento com 9.73 kg/m^2 distribuído em faixa orientada de norte a sul.

De modo geral os ecossistemas localizados na parte mais elevada da bacia armazenam maior quantidade de SOC comparada aos ecossistemas próximos à costa, influenciado pelo clima fresco que vai esquentando em direção ao mar, assim como pela precipitação elevada na parte mais alta da bacia.

Mas também houve diferenças observadas nos ecossistemas dentro das mesmas unidades que só puderam ser explicadas pela natureza das atividades antropogênicas realizadas e pela forma de ocupação dos solos.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo da natureza é bastante complexo, e aliada aos fatores sócio econômicos, fica cada vez mais complexa deste modo ela requere a união de diversos conhecimentos de distintas áreas das ciências para o seu melhor entendimento. Isso acontece quando analisaremos elementos da natureza que a sua dinâmica não se explica só por si, como os casos do carbono do solo e as suas diretrizes na dinâmica das paisagens.

A discussão aqui se centra na importância de influenciar o entendimento dos seres humanos, que todas as ações sobre o meio natural estão interligadas e conectadas, e devem ser pensados e analisados de forma integral. Como as escassezes de chuva no sul de Moçambique afetam os excessos da mesma chuva na região centro e norte do país, pois é não são acontecimentos desconexos do mesmo fenômeno.

A falta de água para agricultura e para o consumo humano, a diminuição de terras férteis, falta de áreas de pastos para os animais, todos eles podem ser influenciados pela disponibilidade do carbono no solo, portanto não são eventos desconexos. O planejamento das ações humanas sobre território deve sem dúvida, olhar para todos esses fatos e outros que se configuram como elementos de influência sobre o meio.

A descrição detalhada de todos os passos seguidos em uma pesquisa permitiu um melhor entendimento de todos os procedimentos seguidos para a obtenção dos resultados. Facilitando a sua avaliação e adopção para estudos similares que possam a vir se realizar.

Compreender as causas da variação e mapeamento do SOC na bacia hidrográfica do rio Umbelúzi é um primeiro passo que permite avaliar a sustentabilidade do manejo da terra em escala local, o que pode ajudar não apenas a aumentar a resiliência das paisagens regionais

da bacia, mas também a resolver questões em a escala global, como mudanças climáticas, desertificação e conservação da biodiversidade.

A mudança no uso da terra leva a uma perda na cobertura vegetal e subsequente perda de C orgânico nos solos e na qualidade do mesmo.

A análise das paisagens a partir da dinâmica dos SOC pode contribuir na resolução de desafios ecológicos e socioeconômicos regionais no uso sustentável dos ecossistemas nativos. Com a melhor gestão dos ecossistemas pode impulsionar o armazenamento do carbono nos diferentes ambientes como florestas, pântanos e matagais, podendo contribuir para a produtividade dos mesmos.

O SOC como componente principal da MOS não é apenas essencial para solos férteis e portanto, para a produção de alimentos e bem-estar humano, mas também representa uma fonte massiva de gases de efeito estufa que promove mudanças climáticas, caso os solos não sejam manejados com sabedoria (LUTHER-MOSEBACH, 2017).

O planejamento abrangente da terra pode fazer bom uso da orientação ampliada que o pensamento holístico e integrado fornece. Acreditando que o planejamento físico e gerenciamento de paisagem possa se beneficiar do melhor conhecimento da dinâmica dos SOC, no que se refere as ações a seguir.

Os estoques de carbono são geralmente estudos de médio a longo prazos, o que exige uma rede bem articulada para o seu melhor entendimento, esse pressuposto leva a existência de parcelas prementes nos diferentes ecossistemas para os estudos mais pormenorizados e profundas com vista a desenvolver as bases teóricas e práticas dos efeitos naturais e das atividades humanas sobre o carbono e esse na dinâmica da paisagem. E como isso pode ajudar a mitigar os desafios ecológicos e socioeconômicos locais no uso sustentável dos ecossistemas nativos.

Da análise dos dados obtidos é possível observar uma variação caractistico do SOC em diferentes tipos de unidades da paisagem. No entanto, vários fatores afetam a potencial mudança de carbono do solo no futuro, incluindo controles climáticos, padrões históricos de uso da terra, estratégias atuais de gestão da terra e heterogeneidade topográfica.

No entanto, o potencial real para o sequestro de carbono do solo terrestre não é conhecido devido à falta de banco de dados confiável e entendimento fundamental da dinâmica do SOC nas escalas molecular, paisagística, regional e global (Metting; Smith e Amthor, 1999).

Existe ainda uma necessidade de estudos localizados em cada um dos diferentes tipos de unidades (ambientais, solos), com vista a estabelecer uma base de dados fiáveis para a análise da paisagem a partir dos elementos de solos.

O estabelecimento de parcelas e cada uma das unidades paisagísticas poderá responder muitas questões que não foram respondidas na pesquisa, como quais as práticas antrópicas e em que intensidades elas afetam a dinâmica de carbono nos diferentes ecossistemas. Mas está claro que o aprimoramento do Sequestro de carbono em terras agrícolas degradadas pode trazer benefícios ambientais, econômicos e sociais diretos para a população local.

Dessa forma todas as pesquisas que possa contribuir no melhor entendimento do sequestro do C são bem-vindas, pois podem contribuir para a melhoria da qualidade dos solos degradados, no aumento da produtividade das plantas e a consequente segurança alimentar e o alívio da pobreza.

REFERÊNCIAS

ABDELBAKI, A.M. **Evaluation of pedotransfer functions for predicting soil bulk density for U.S. soils**. Ain Shams Eng J, 2016.

ANTUNES, R. L. S. **Análise integrada da paisagem com a aplicação do sensoriamento remoto, na Bacia Hidrográfica do Rio Botucaraí - Rio Grande do Sul**. USP, 2017. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-13042017-091655/pt-br.php. Acesso em: 26 set. 2019.

ALBINO, Adolfo José. **Bases geoambientais para a gestão da bacia hidrográfica do rio Umbelúzi - Moçambique**. 2012. 162f. Dissertação de (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geociências. Universidade federal do rio de janeiro, 2012.

ARONOFF, Stan. **Geographic Information Systems**: A Management Perspective. WDL publication. Ottawa, Canada, 1993.

BARROS, H. S. **Mudanças nos estoques de carbono do solo em fragmentos e florestas contínuas de terra-firme na Amazônia Central**. 2013. 66f. Dissertação de (mestrado em Ciências de Florestas Tropicais (CFT)) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, Manaus, 2013.

BATIONO, A; WASWA, Boaz S; KIHARA, Job. Soil Carbon and Agricultural Productivity. In: BANWART, Steven; NOELLEMEYER, Elke; MILNE, Eleanor (org.). **Soil Carbon**: Science, Management and Policy for Multiple Benefits. CAB International. Oxfordshire UK, 2015.

BERTALANFFY, L. Von. **Teoria geral dos sistemas.** Petropolis. Vozes, 1973.

BOSSEL, Hartmut. National Research Council Board on Sustainable Development. **Our common journey, a transition toward sustainability**. Ecology and Society. 4. 10.5751/ES-00153-040117, 2000.

BRENNING, A. Statistical geocomputing combining R and SAGA: The example of landslide susceptibility analysis with generalized additive models. In: BÖHNER, J; BLASCHKE, T; MONTANARELLA, L (org.). **The adaptive water resource management handbook**. UK, London: Earthscan, 2010.

BRIENEN, R. J. W; PHILLIPS, O. L. et al**. Long-term decline of the amazon carbon sink**. Nature, 2015.

CAPRA, F**. A teia da vida.** 11. ed. São Paulo: Cultrix, 1996.

CARRILHO, J; ABBAS, M.; JÚNIOR, A; CHIDASSICUA, J; MOSCA, J. **Desafios para a segurança alimentar e nutrição em Moçambique.** Maputo. Observatório do Meio Rural, 2016.

CIRAUDO, R. M. **O uso da Estatística como ferramenta de análise de resultado de avaliação**. Dissertação (Mestrado Profissional em Matemática) - Instituto Nacional de Matemática Pura e Aplicada. Rio de Janeiro, 2015.

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

CHURKINA, G. An Introduction to Carbon Cycle Science. In: BROWN, D; ROBINSON, D; FRENCH, N; REED, B (org.). **Land use and the carbon cycle:** Advances in integrated science, management, and policy**.** Cambridge University Press, 2013. p. 24-52.

CAMBULE, A. H. **Assessment of soil organic carbon stocks in the Limpopo national park**: From legacy data to digital soil mapping.2013. 161f. Tese (The degree of doctor). – ITC, University of Twente, The Netherlands, 2013.

COLMAN, D; NIXON, F. **Desenvolvimento econômico**: uma perspectiva moderna. Rio de Janeiro: Campus, 1981.

CUMBE, A. N. F. **O Património geológico de Moçambique:** Proposta de Metodologia de Inventariação, Caracterização e Avaliação.2007. 273f. Dissertação (Mestrado em Património Geológico e Geoconservação) – Escola de Ciências, Departamento de Ciências da Terra, Universidade do Minho, Braga, Portugal, 2007.

DINIZ, M. A.; BANDEIRA, S; MARTINS, E.S. **Flora e vegetação da província de Maputo**: sua apropriação pelas populações. IICT – JBT/Jardim Botânico Tropical. Lisboa, 2012.

DIRECÇÃO NACIONAL DE GEOGRAFIA E CADASTRO - DNGC. **Carta topográfica de Namaacha, escala 1:50 000, folhas 1196 e 1197**. Maputo: MINAG, 1998.

DIRECÇÃO NACIONAL DE GEOLOGIA - DNG. **Carta geológica da província de Maputo, escala 1: 250 000.** Maputo: Ministérios dos Recursos Minerais, 2005.

DREWITT, G.B. et al. **Measuring forest floor CO2 fluxes in a Douglas-fir forest**. V.110. 299-317. Agricultural and Forest Meteorology, 2002.

DROOGERS, Peter et al. **Water allocation models for the Umbelúzi River Basin, Mozambique**. The Netherlands, Wageningen, Future Water, 2014. Report Future Water: 132. Disponível em: https://www.futurewater.nl/wpcontent/uploads/2015/01/WAM_ARASul. Acesso em: 12 set. 2019.

EVANS, T.P et al. Limitations, Challenges, and Solutions to Integrating Carbon Dynamics with Land-Use Models. In: BROWN, D.; ROBINSON, D.; FRENCH, N.; REED, B. (org.). **Land use and the carbon cycle**: Advances in Integrated Science, Management, and Policy. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. p. 52-76.

EHRLINGER, J; CLINIC, C. **GgRandomForests:** Random forests for regression. ArXiv, 2015. Disponível em: https://arxiv.org/abs/1501.07196. Acesso em: 21 mar. 2020.

FAO. **Land cover classification system - classification concepts**. Rome, 2016.

FAO. **World reference base for soil resources 2014 - International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps**. Roma, 2015.

FAO**. Carbon sequestration in dryland soils**. Rome, 2004.

FERREIRA, C.C; SOMÕES, N. N**. A Evolução do pensamento geográfico.** 9.ed. Portugal, Lisboa: Grávida, 1994.

FEARNSIDE, P.M. Mudanças climáticas e conservação na Amazônia Brasileira. In: LOIOLA, I.G. et al. (org.) **Atualidades, desafios e perspectivas na botânica do Brasil**. Anais do 590 Congresso Nacional de Botânica. Imagem Gráfica, Natal, Rio Grande do Norte, 2008. p. 247-150.

FICK, S.E; HIJMANS, R.J. **WorldClim 2**: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology, V. 37. n. 12, 2017.

FREITAS, M. W. D. **Estudo integrado da paisagem no Sertão Pernambucano (NEBRASIL) com o uso de sistemas de informação geográfica e sensoriamento remoto**. São José dos Campos: INPE, 2006.

FREITAS, Carlos Machados de. **Um equilíbrio delicado:** crise ambiental e a saúde no planeta. Rio de Janeiro: Garamond, 2011. p.152.

FRENTE DE LIBERTAÇÃO DE MOÇAMBIQUE - FRELIMO. **In Artigos de apoio Infopédia**. Portugal, Porto Editora, 2009. Disponíve em: https://www.infopedia.pt/apoio/artigos/$frelimo-(frente-de-libertacao-de-mocambique). Acesso em: 16 out. 2019.

FUJISAKI, K et al. **Soil carbon stock changes in tropical croplands are mainly driven by carbon inputs**: A synthesis. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2018.

GTK Consortium. **Geology of degree sheets, Espungabera/Chibabava, Nova/Mambone, Massangena, Chidoco, Save/Bazaruto, Chicualacuala, Machaila, Chigubo, Mabote/Vilanculos, Rio Singuédzi/Massingir, Rio Changana, Funhalouro/Inhambane, Chilembene, Chókwè, Zavala/Inharrime, Maputo, Xai-Xai/Zavala and Bela-Vista**. Volume 1. Mozambique, Maputo, Ministério dos Recursos Minerais, Direção Nacional de Geologia, Map Explanation, 2006.

HALLAK, R; FILHO, A. J. P. **Metodologia para análise de desempenho de simulações de sistemas convectivos na região metropolitana de São Paulo com o modelo ARPS**: sensibilidade a variações com os esquemas de advecção e assimilação de dados. Revista Brasileira de Meteorologia, 2011. v.26, n.4, 591 – 608.

HATTON, J.; COUTO, M.; OGLETHORPE. J. **Biodiversity and war:** a case study of Mozambique. Washington, D.C.: Biodiversity Support Program, 2001.

HONEYSETT, J. L; RATKOWSKY, D. A. **The use of ignition loss to estimate bulk density of forest soils**. Hobart, Australia, Journal of Soil Science, 1989.

HOUGHTON, R. A. The Contribution of Land Use and Land-Use Change to the Carbon Cycle. In D. Brown, D. Robinson, N. French, & B. Reed (org.), **Land use and the carbon cycle:** advances in integrated science, management, and policy. Cambridge: Cambridge University Press. 2013. p. 52-76.

HENGL, T; SANDERMAN, J. **Spatial prediction and assessment of Soil Organic Carbon**. OpenGeoHub foundation, Wageningen, the Netherlands, 2018. Disponível em: https://soilmapper.org/SOC-chapter.html#ocs-3d-approach. Acesso em: 04 mai.2020.

HUETE, A.R. A **soil-adjusted vegetation index (SAVI).** Remote Sensing of Environment, v.25, p.295-309, 1988.

HUGGETT, R. J**. Fundamentals of Geomorphology.** 3 Edition. Abingdon: Routledge, 2011.

INSTITUTO DE EDUCACAO ABERTA E À DISTANCIA. **Programa do ensino secundário a distância – Modulo 5:** Geografia. Moçambique, Maputo: CEMOQE, 2017.

INSTITUTO HUMANITAS UNISINOS. **Edgar Morin e o pensamento complexo**. Edição 402. São Leopoldo, 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGAÇÃO AGRONÓMICA. **Carta e legenda explicativa de solos de Changalane e Porto Henrique, 1:50 000, Maputo.** INIA-DTA, 1993.

THE INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Climate change 2001**: the scientific basis. In: HOUGHTON, J.T; DING, Y; GRIGGS, D.J; NOGUER, Vander Linden; DAI, X; MASKELL, K; JOHNSON, C.A. Cambridge University. Cambridge, 2001.

THE INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Climate Change and Land:** In: SHUKLA, J.R. et al (org.). IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. In press. 2019.

INSTITUTO PORTUGUÊS DA CONJUNTURA ESTRATÉGIA - IPCE. **Atlas da Lusofonia – Moçambique**. Portugal, Lisboa: Prefácio, 2005. ISBN 972-8816-36-7.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. 2ª Ed. INPE. São Paulo: Parêntese. 2009.

MENSAH, Justice. **Sustainable development: Meaning, history, principles, pillars, and implications for human action**: Literature review. Cogent Social Sciences, 2019.

LAL, R. Soil Physical Properties and Erosion. In: KIMBLE, J. M; RICE, C. W; REED, D; MOONEY, S; FOLLETT, R.F; LAL, R. (org.). **Soil Carbon Management: Economic, Environmental, and Societal Benefits**. New York, Taylor & Francis Group, LLC, 2007. p. 165 – 176.

LUTHER-MOSEBACH, J. **Soil carbon stocks and dynamics in soils of the Okavango catchment**. Department of Earth Sciences - Universität Hamburg, 2017. p. 123.

LAUTENSCHLAEGER, R. L; DIAZ, S.P; SANCHEZ, F.A; SCHAAD, D.A; SÁEZ, J. A. L. Vegetation History in the Toledo Mountains (Central Iberia): Human Impact during the Last1300 Years. In: MERCURI, A. M.; FLORENZANO, A. (org.). **The long-term perspective of human impact on landscape for environmental change and sustainability**. Switzerland, Basel, Sustainability, 2019. p.7-28.

MACIA, C. J. **Avaliação de terras da Província de Maputo (Moçambique): O caso das bacias Hidrográficas de Changalane e Mazimunhama**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geociências. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.
MALONE, B. P; MINASNY, B; MCBRATNEY, A.B. **Using R for digital soil mapping**. Springer International Publishing Switzerland, 2017.

MINISTERIO DE ADMINISTRACAO ESTATAL – MAE. **Perfil do distrito de Moamba província de Maputo**. Maputo, 2005.

MINISTERIO DE ADMINISTRACAO ESTATAL – MAE. **Perfil do Distrito do BOANE, Província de Gaza**. Maputo, 2005.

MINISTERIO DE ADMINISTRACAO ESTATAL – MAE. **Perfil do Distrito do Namaacha, Província de Gaza**. Maputo, 2005.

MATTAR NETO, J et al. **Análise de indicadores ambientais no reservatório do Passaúna. Curitiba**. Eng Sanit Ambient, v.14 n.2, 2009. p. 205-214.

MARTINS, E.; REATO, A et al. **Ecologia de paisagem: conceitos e aplicações no Brasil**. Brasilia: Planatina, Embrapa, 2004. p. 1-33.

MEADOWS, D.H; MEADOWS, D.L; RANDERS, J; BEHRENS, W.W. **The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind**. New York, Universe Books, 1972.

METTING, F; SMITH, J; AMTHOR, J. **Science needs and new technology for soil carbon sequestration**. Netherlands, Kluwer Academic Publishers, Climatic Change 51: 11–34, 2001.
MARZOLI. A. **Inventário florestal nacional. Relatório final. Direção Nacional de Terras e Florestas**. Moçambique. Maputo. Ministério da Agricultura, 2007. p.1-74.

MILHANO, Ana Paula, F. **Gestão dos recursos hídricos em Moçambique:** Gaza – rio Limpopo. Dissertação (Mestrado em Estudos Africanos) - Instituto Universitário de Lisboa, Lisboa, 2008.

MORIN, E**. Introdução ao pensamento complexo**. Lisboa: Instituto Piaget,1990.
MUCHANGOS, A. **Moçambique:** Paisagens Regiões Naturais**.** Maputo, Tipografia Globo Lda. 1999.

MUBAI, B. A. **Os serviços de extensão agrária pública ao pequeno agricultor familiar do distrito de Boane – Moçambique**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual de Maringá. Paraná: Maringá, 2014.

NEPA. **The National Environmental Policy Act of 1969**. Disponível em: https://www.energy.gov/nepa/downloads/national-environmental-policy-act 1969. Acesso em: 12 jun. 2020.

NAVEH, N; LIEBERMAN, A. S. **Landscape ecology - theory and application**. Springer – Verlag, New York, Inc, 1994. p. 452.

OLIVEIRA, E.S; REATTO, A; ROING, H.L. **Estoques de carbono do solo segundo os componentes da paisagem.** Brasília. Cadernos de Ciência & Tecnologia. v. 32, n.1/2, 2015. p. 71-93.

NHANENGUE, Alismo et al. **Desmatamento em Moçambique (2003 –2016**). Direção Nacional de Florestas. 2017.

OLIVEIRA, J.M. **Ecodinâmica e vulnerabilidade ambiental da zona estuarina do Rio Zumbi, litoral oeste do Ceará**. Fortaleza, 2011. p. 87.

ONTL, T. A; SCHULTE, L.A. **Soil Carbon Storage. Nature Education Knowledge**. Nature Education Knowledge, 2012. Disponível em: htpps//www.nature.com/scitable. Acesso em: 25 jun. 2020.

OSBORNE, JO. **Summary report**: Lebombo mountains reconnaissance expedition. IIAM-RGB kew, 2018.

PNUD. **A Verdadeira Riqueza Das Nações**: Vias Para O Desenvolvimento Humano. New York, PNUD, 2010. Disponível em: https://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/library/idh/relatorios-de-desenvolvimento-humano/relatorio-do-desenvolvimento-humano-200010.html. Acesso em: 2 out. 2019.

ROUSE, J. W et al. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. In: FREDEN, S. C; MERCANTI, E. P; BECKER, M. A (org.). **Third Earth Resources Technology Satellite (ERTS) Symposium**. Washington, DC. NASA Goddard Space Flight Center, 1984. p. 309–317.

RURAL CONSULT; RMSI-IUCN. **Zoneamento agroecológico nacional 2010 -2014**. Moçambique – Maputo, MASA, 2014.

SACHS, JEFFREY. **The Age of sustainable Development**. NEW YORK. Columbia University Press, 2015.

SASMITO, S. D. et al. **Organic carbon burial and sources in soils of coastal mudflat and mangrove ecosystem**s. Catena, Volume 187, 2020.

SAKET, M. **Reporting on the updating Exploratory National Forest Inventory**. Maputo: DNFFB, 1994.

SIMÕES-MEIRELLES, M. P. **Análise integrada do ambiente através de geoprocessamento - uma proposta metodológica para elaboração de zoneamentos**. 1997. Tese (Doutorado em ciências). Programa de Pós-graduação em Geografia - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1997. p. 192.

SOUZA, MARCOS J. N. Bases geoambientais e esboço do zoneamento geoambiental do estado do Ceará. In: LIMA, Luiz Cruz. **Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará**. Fortaleza: FUNCEME. 2000.

TRICART, J. **Ecodinâmica.** Rio de Janeiro, SUPREN/IBGE, 1977.

ROBERTSON, F. A.; THORBURN, P. J. **Management of sugarcane harvest residues: consequences for soil carbon and nitrogen**. Australian Journal of Soil Research, v.45, p.13-23, 2007.

ROBINSON, D; BROWN, D, FRENCH, N; REED, B. Linking Land Use and the Carbon Cycle. In: ROBINSON, D; BROWN, D, FRENCH, N; REED, B. (org.). **Land Use and the Carbon Cycle: Advances in Integrated Science, Management, and Policy**. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. p. 3-23.

CONSELHO DE MINISTROS - CM**. Estratégia Nacional de Gestão de Recursos Hídricos**. República De Moçambique. Aprovado na 22ª Sessão do Conselho de Ministros de 21 de agosto de 2007.

RODRIGUEZ, J. M. M; SILVA, E. V. **Planejamento e gestão ambiental: subsídios da Geoecologia das Paisagens e da Teoria Geossistêmica**. Fortaleza: Edições UFC, 2018.

RODRIGUEZ, J. M. M; SILVA, E. V; LEAL, A. C. Planejamento ambiental de bacias hidrográficas desde a visão da Geoecologia das Paisagens. In: FIGUEIRÓ, A. S; FOLETO, E. (org.). **Diálogos em geografia física. Santa Maria**. UFSM, 2011.

RODRIGUEZ, J. M. M; SILVA, E. V; CAVALCANTE, A. P. B. **Geoecologia das Paisagens:** uma visão geossistêmica da análise ambiental. Fortaleza: Edições UFC, 2013.

WMO. **Statement on the State of the Global Climate in 2018**. Geneva, Switzerland, 2019. Disponível em: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=5789. Acesso em: 24 nov. 2019.

ROMEIRO, A.R. **Desenvolvimento sustentável: uma perspectiva econômico-ecológica. Dossiê sustentabilidade**. Estud. av. vol.26 no.74 São Paulo, 2012.

ROVAI, A. S. et al. **Global controls on carbon storage in mangrove soils**. Nature Climate Change, 2018.

World Bank. **Moçambique:** aspectos gerais 2019. UNESCO. Moçambique - Relatório Anual, 2017.p.1-40.Disponível em: https://www.worldbank.org/pt/country/mozambique/overview. Acesso em: 9 fev. 2020.

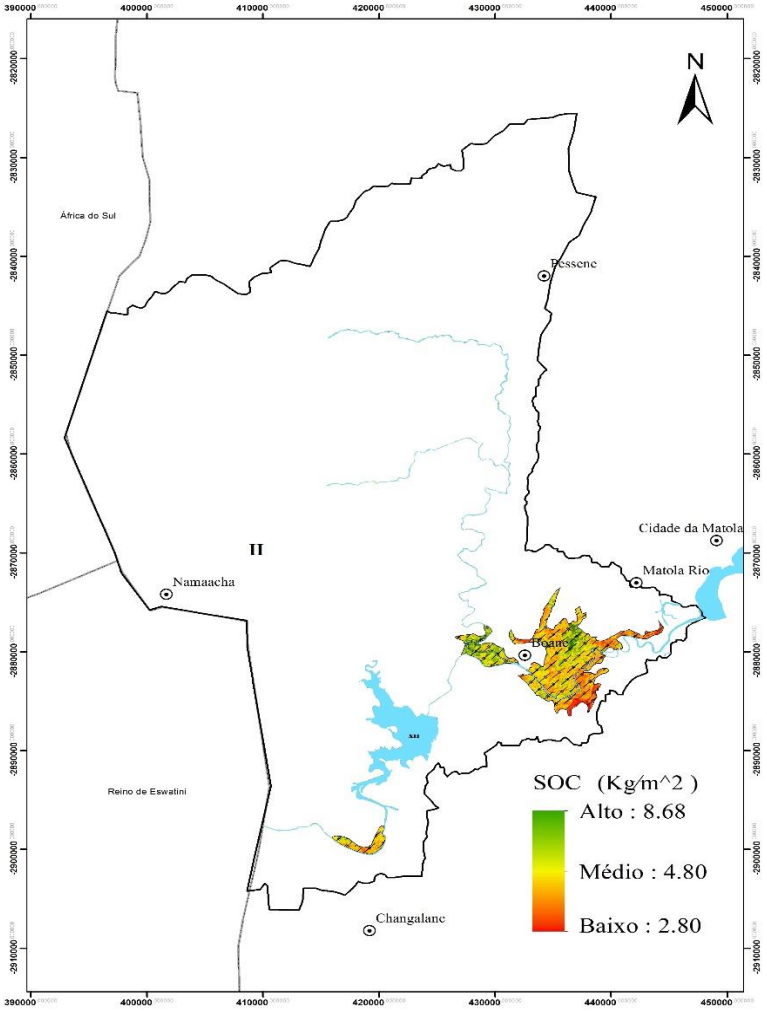
UNITED NATIONS CONFERENCE ON ENVIRONMENT & DEVELOPMENT - UNCED. **Agenda 21**. Rio de Janeiro, Brasil, 1992.

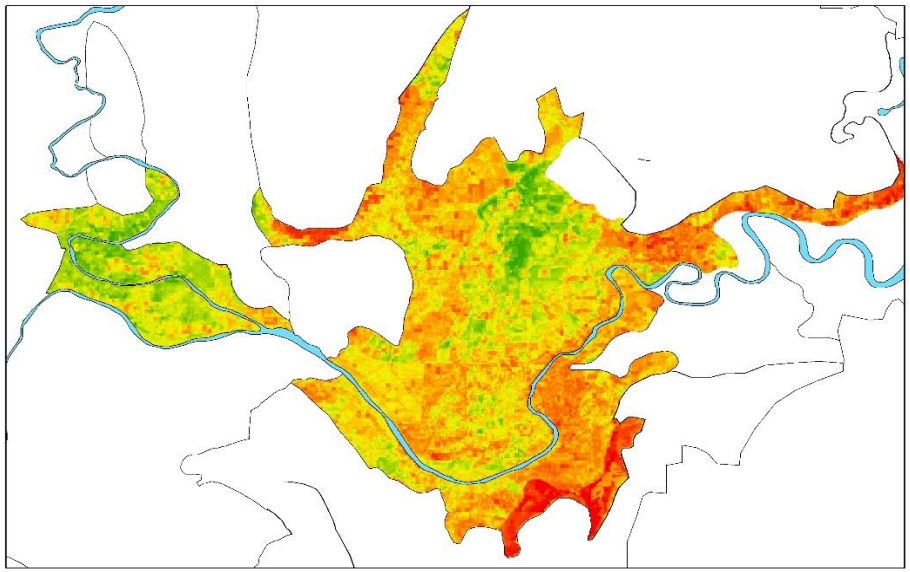
WIESMEIER, M; BARTHOLD, F; BLANK F.B; KÖGEL-KNABNER, I. **Digital mapping of soil organic matter stocks using Random Forest modelling in a semi-arid steppe ecosystem**. Plant and Soil, V. 20 N. 201, 2011. p.7-24.

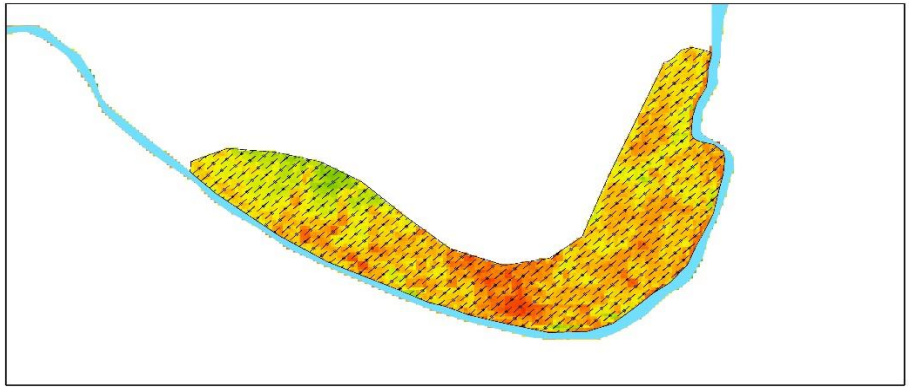
WILSON, B.R; LONERGAN, V. **Land-use and historical management effects on soil carbon in grazing lands of the Northern Tablelands of NSW**. Australia. Soil Research, 2013.

YIGINI, Y.; OLMEDO, G.F.; REITER, S.; BARITZ, R.; VIATKIN, K. ANDVARGAS, R. (org.). **Soil Organic Carbon Mapping Cookbook.** 2ª ed. Rome, FAO, 2018. p. 220.

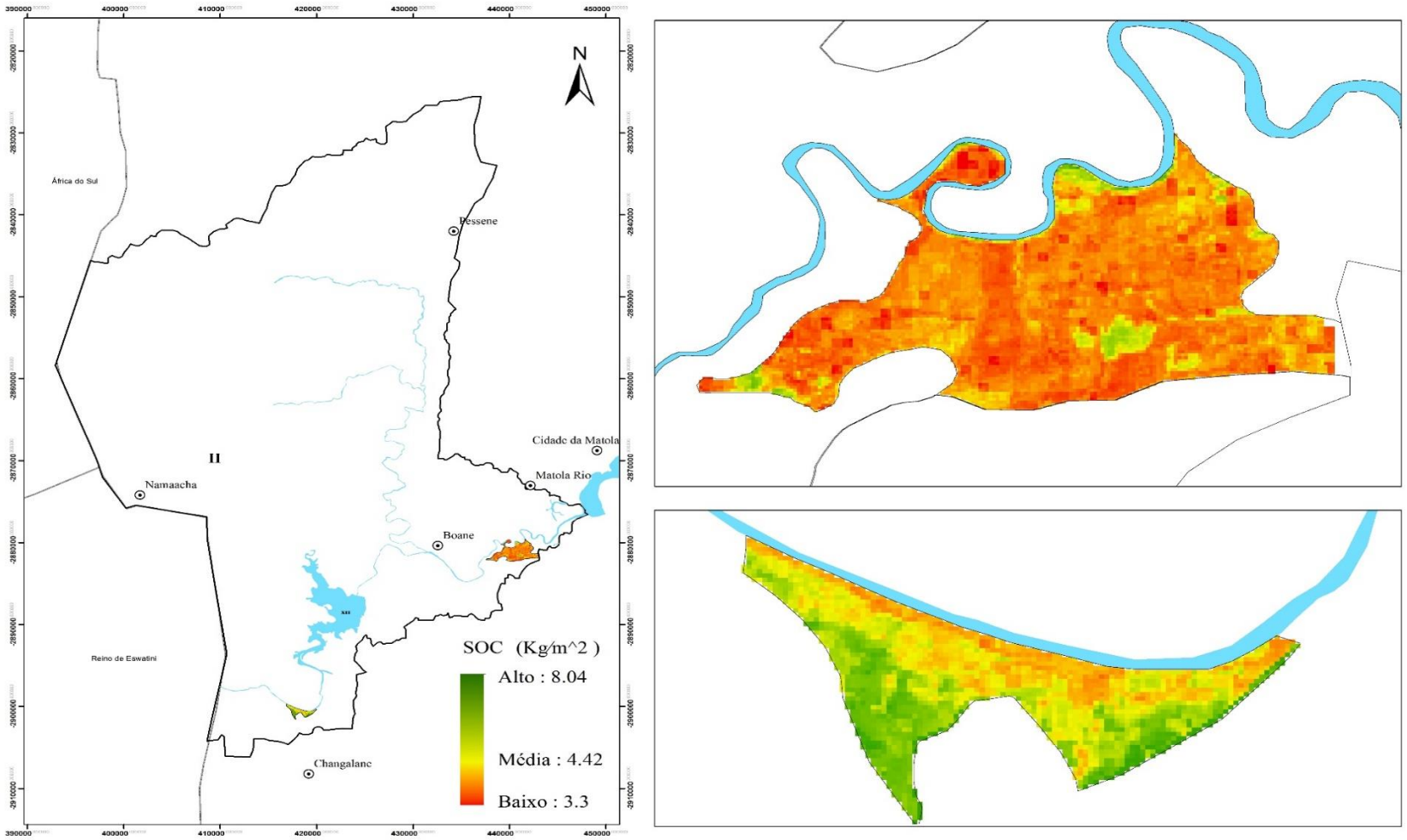
APÊNDICE A - ESTOQUE DE CARBONO NOS SOLOS DE ALUVIÕES ARGILOSOS.



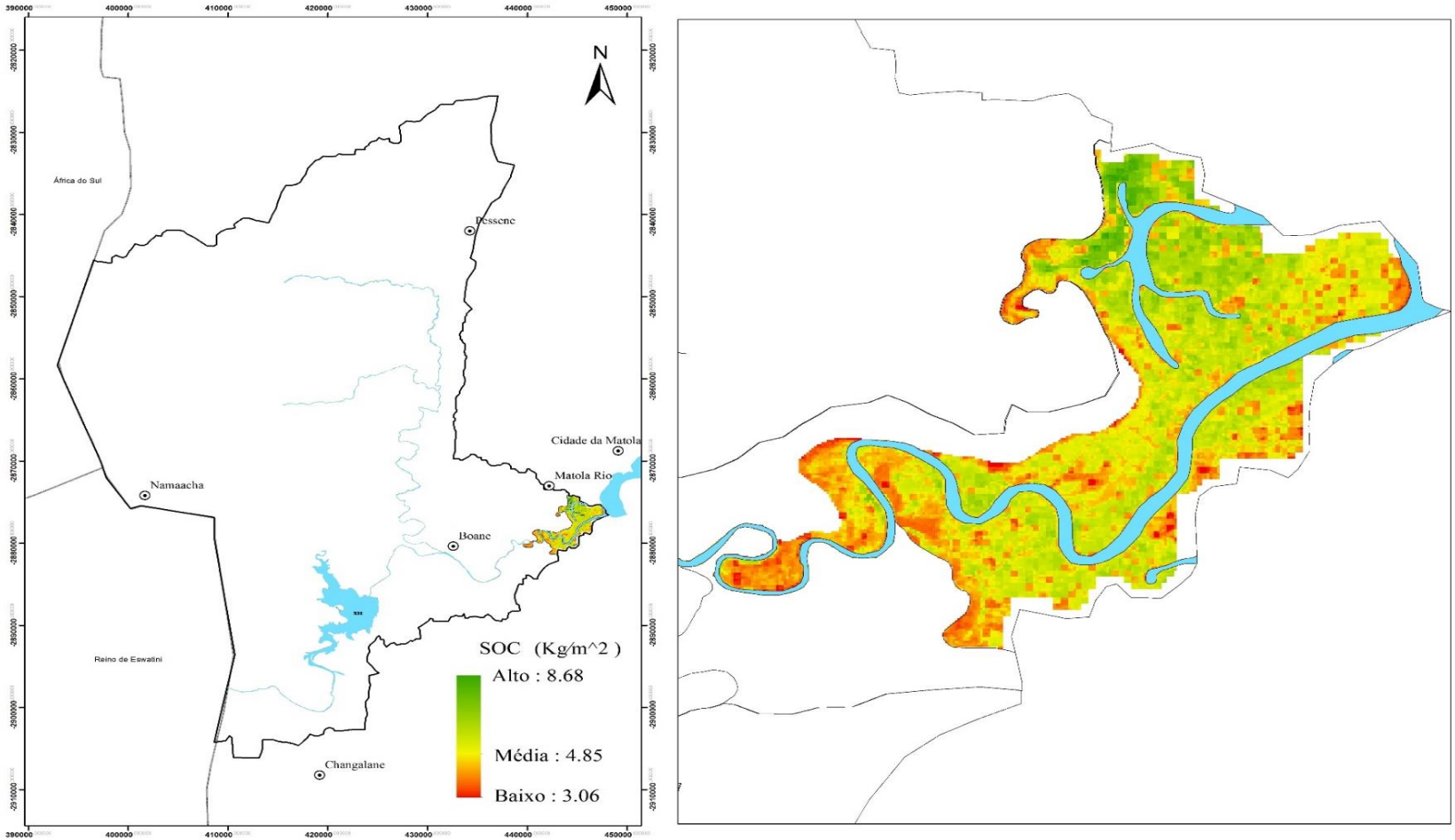




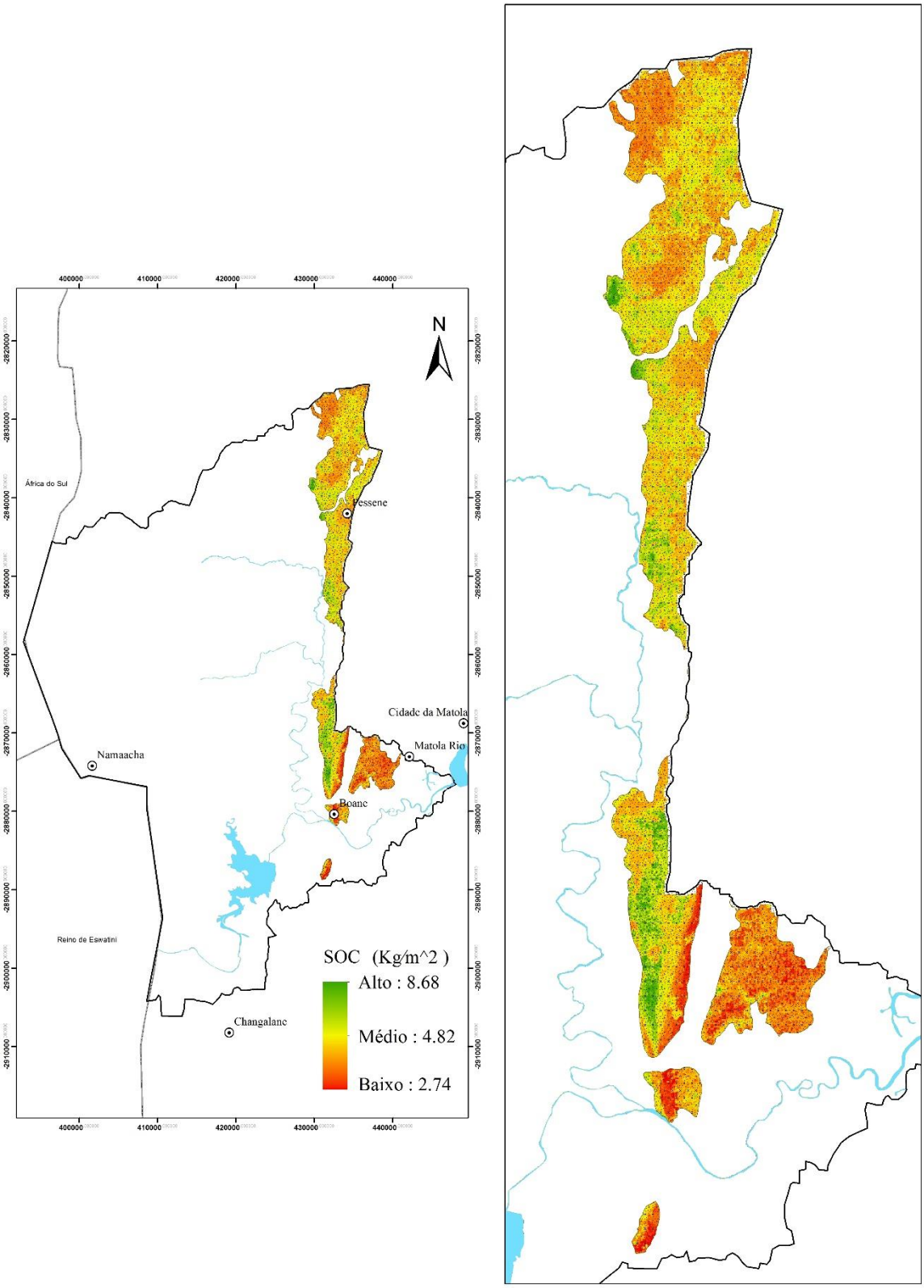
APÊNDICE B - ESTOQUE DE CARBONO NOS SOLOS DE ALUVIÕES ESTRATIFICADOS.



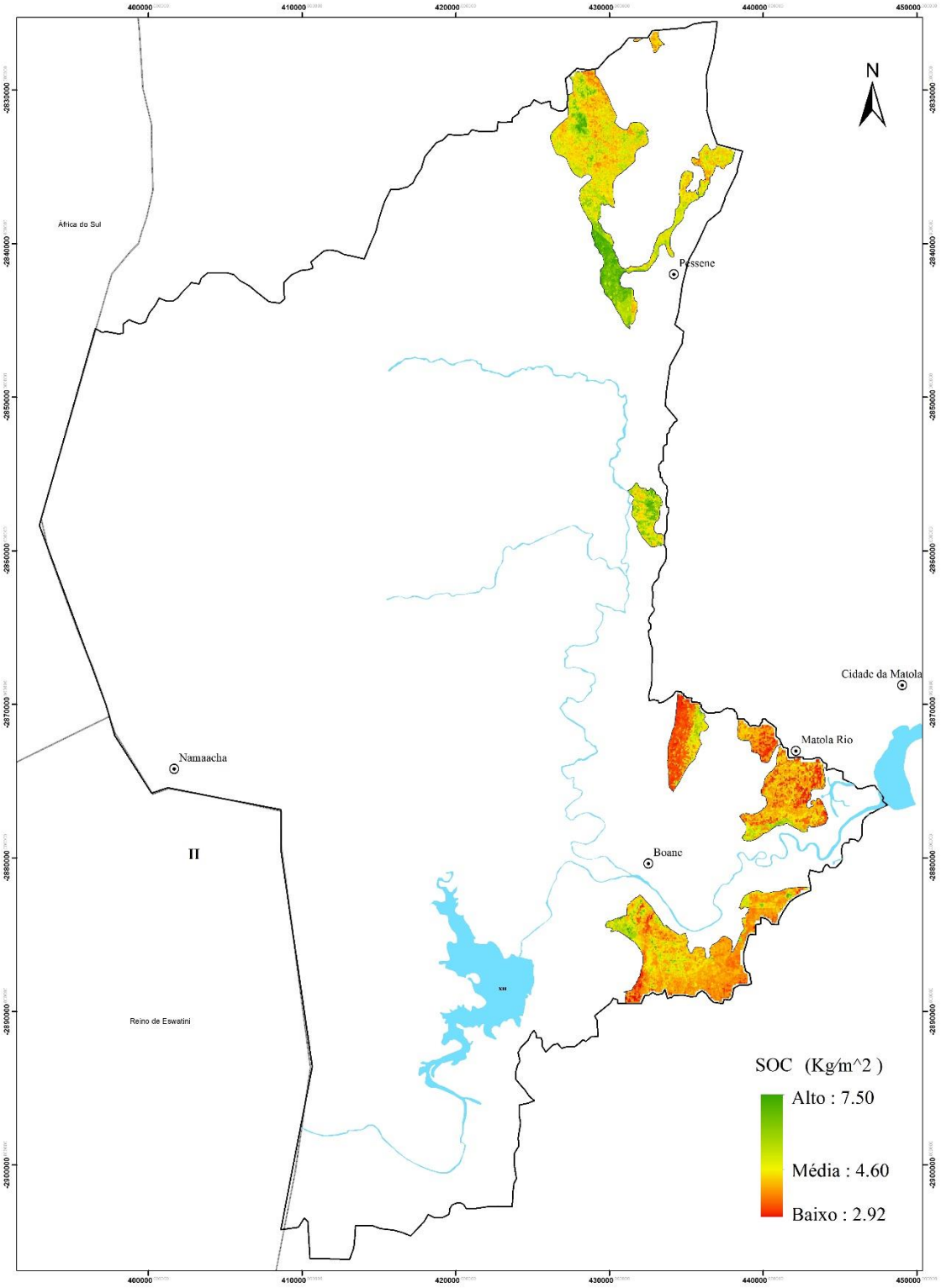
APÊNDICE C - ESTOQUE DE CARBONO NOS SOLOS DE SEDIMENTOS MARINHOS ESTUARINOS.



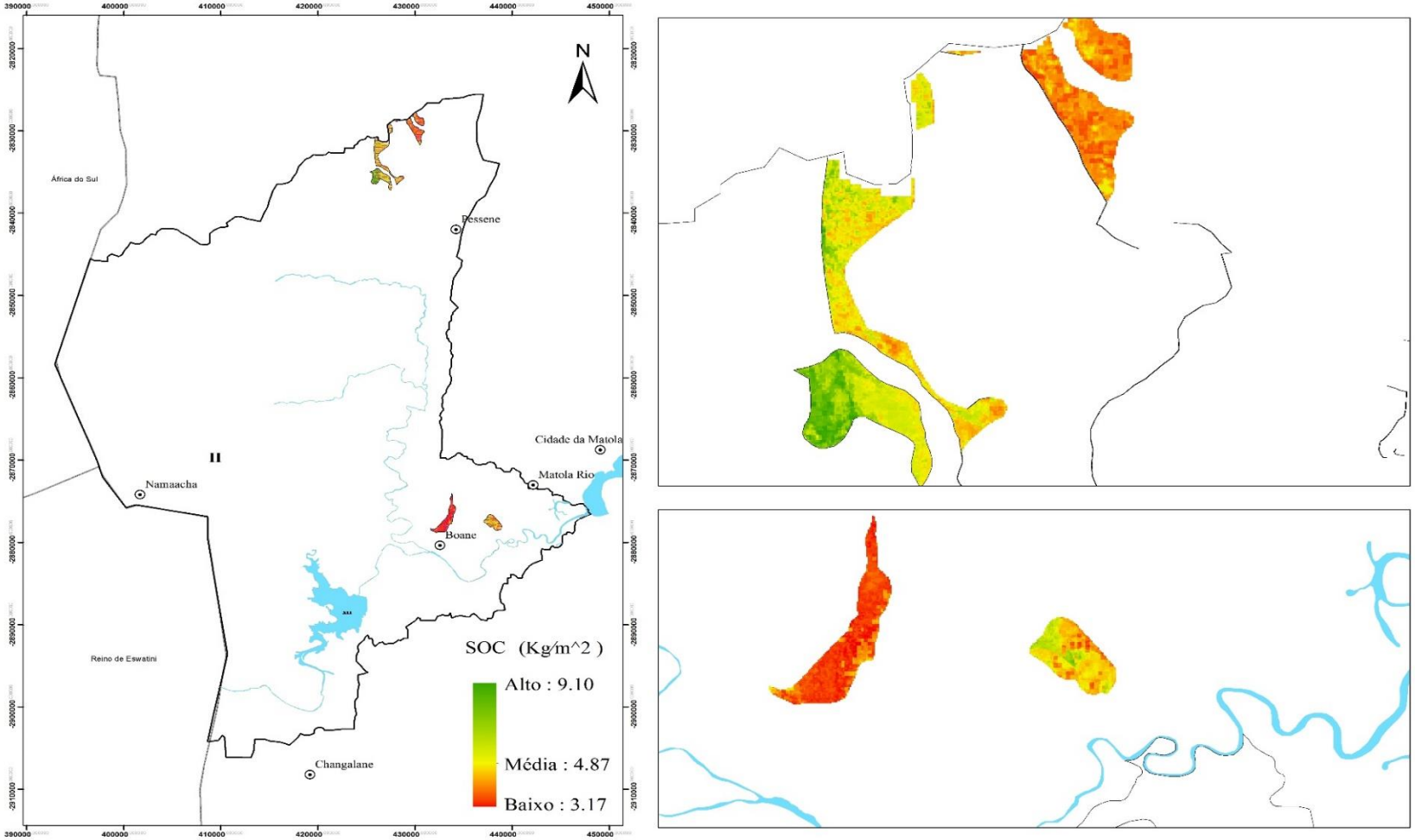
APÊNDICE D - ESTOQUE DE CARBONO NOS SOLOS DE TEXTURA ARENOSA.



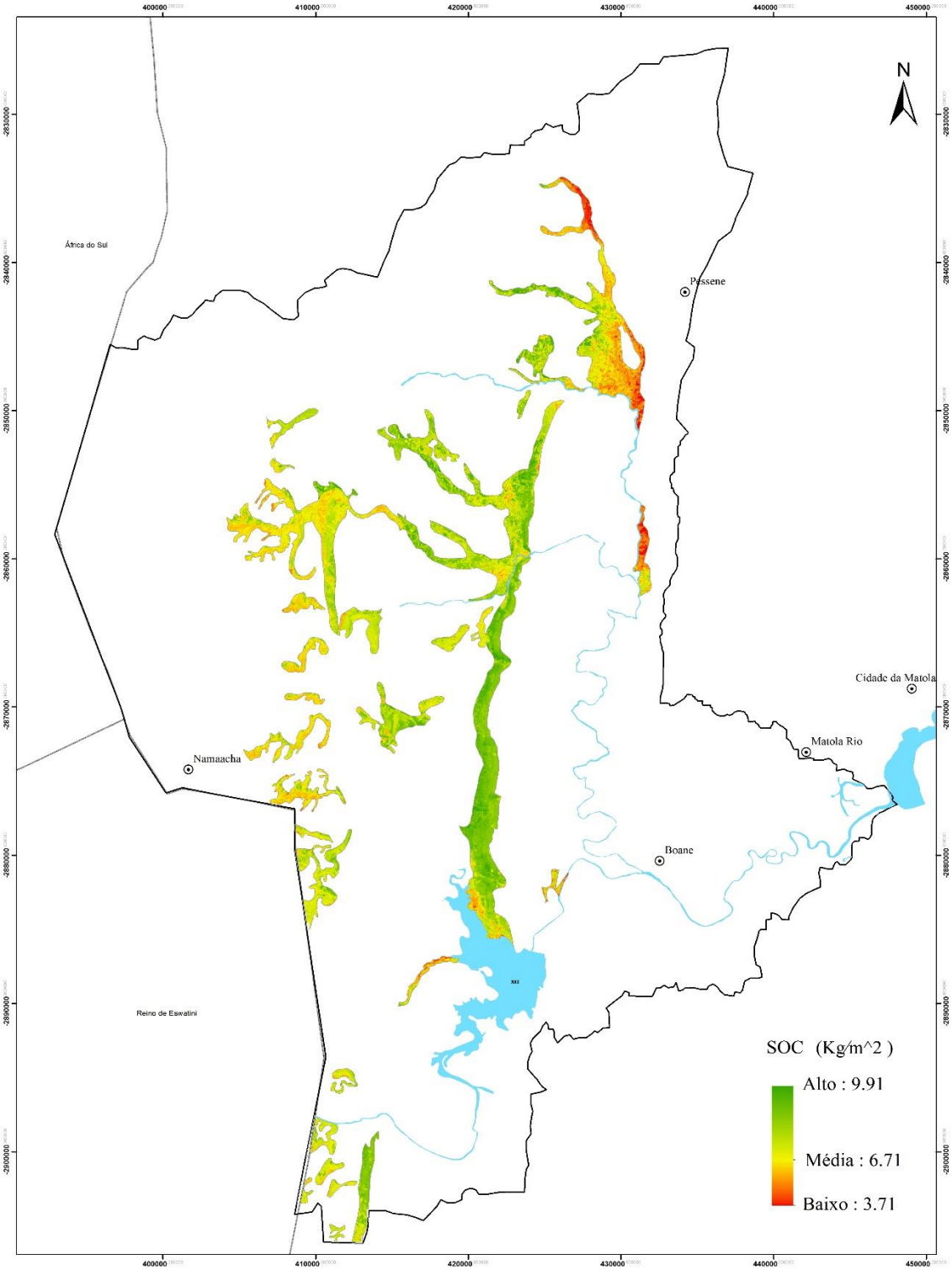
APÊNDICE E - ESTOQUE DE CARBONO NOS SOLOS DE MANANGA.



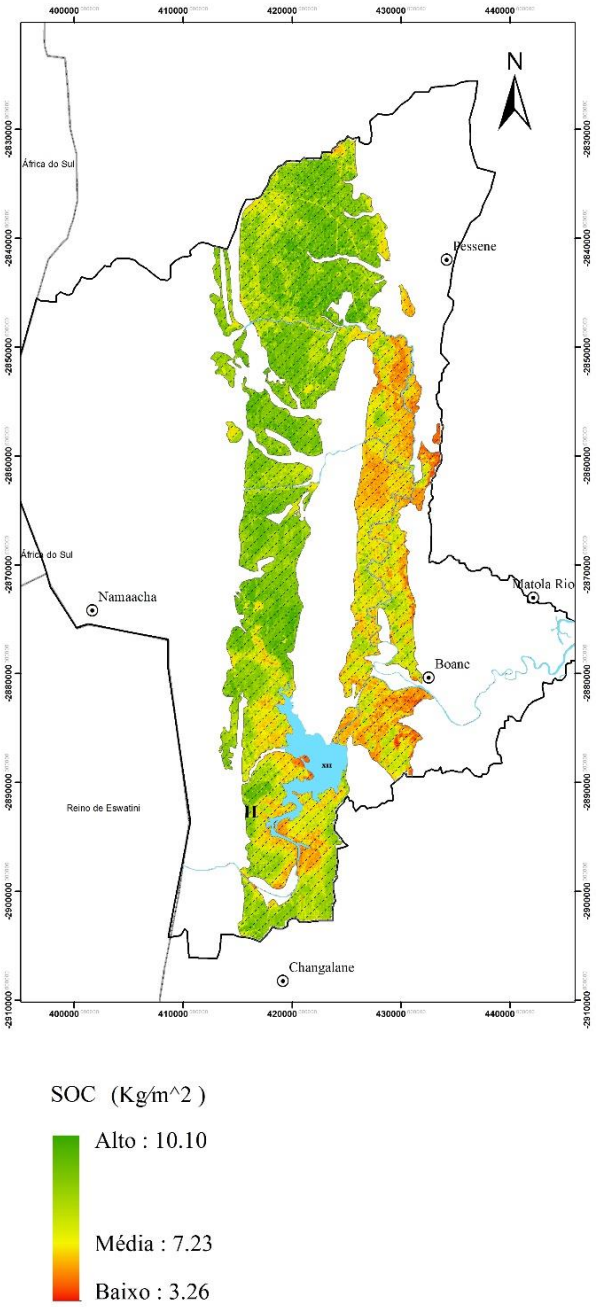
APÊNDICE F - ESTOQUE DE CARBONO NOS SOLOS DE ARGILOSOS NÃO ESPECIFICADOS.

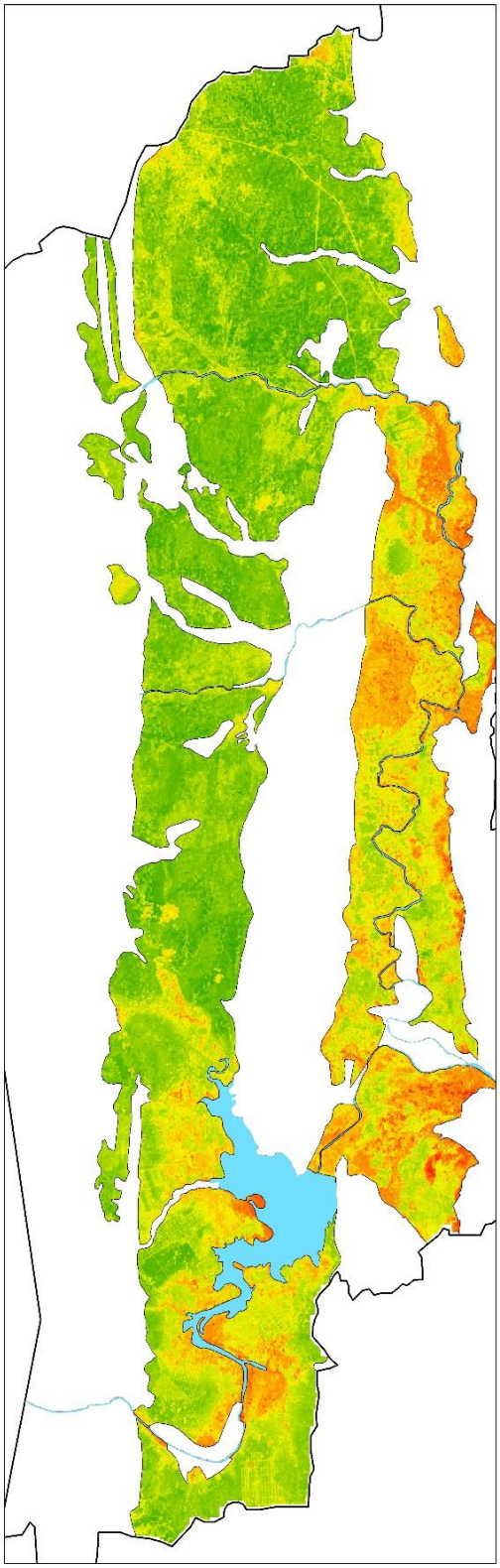
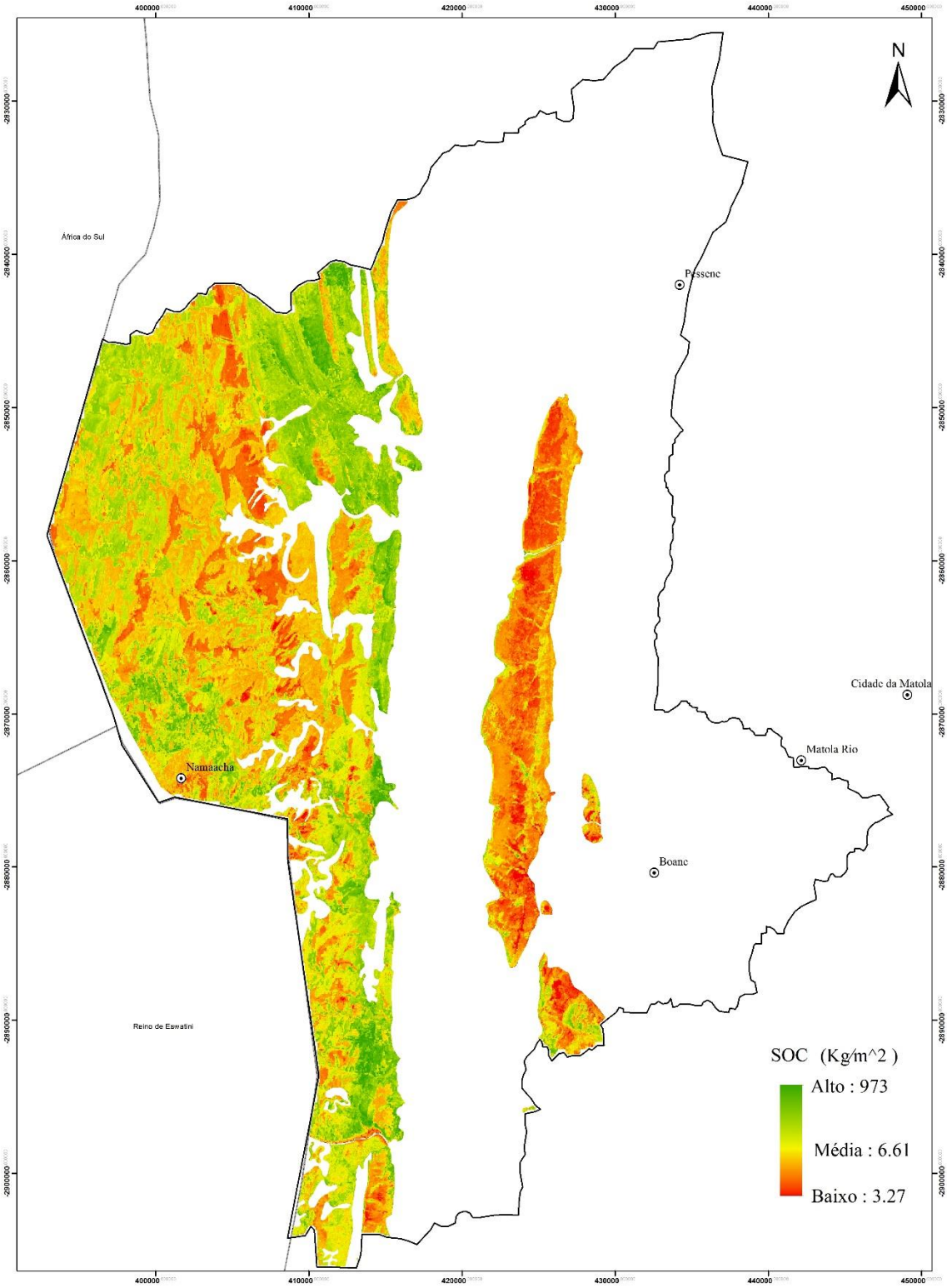


APÊNDICE G - ESTOQUE DE CARBONO NOS SOLOS DE COLUVIÕES.



APÊNDICE H - ESTOQUE DE CARBONO NOS SOLOS BASÁLTICOS.





APÊNDICE I - ESTOQUE DE CARBONO NOS SOLOS RIOLTICOS.