



FACULDADE DE LETRAS E CIÊNCIAS SOCIAIS

DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

LICENCIATURA EM GEOGRAFIA

Projecto de Licenciatura em Geografia

MAPEAMENTO DE ÁREAS DE RISCO DE EROSÃO: CASO DO DISTRITO DE
MARRUPA

Erasmu Alexandre Malate

Supervisor: Prof. Doutor Inocência Pereira

Maputo, Outubro de 2024

UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE LETRAS E CIÊNCIAS SOCIAIS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
CURSO: LICENCIATURA EM GEOGRAFIA

Mapeamento de áreas de risco de erosão: Caso do Distrito de Marrupa

Projecto de conclusão do curso de Licenciatura em Geografia com orientação em Planificação e desenvolvimento Regional a ser apresentado em cumprimento parcial dos requisitos exigidos para a obtenção do grau de licenciatura da Universidade Eduardo Mondlane

Erasmu Alexandre Malate

Supervisor: Prof. Doutor Inocêncio Pereira

Presidente do júri: _____	Supervisor _____ Prof. Doutor Inocêncio Pereira	Vogal 2: _____	Data: ___/___/2024
-------------------------------------	--	--------------------------	------------------------------

Maputo, Outubro de 2024

Declaração

Declaro, por minha honra, que este projecto de fim de curso, submetido à Universidade Eduardo Mondlane em cumprimento dos requisitos para a obtenção do grau de Licenciatura em Geografia, nunca foi apresentado para a obtenção de qualquer outro grau académico e constitui o resultado da minha investigação pessoal. As fontes utilizadas estão devidamente indicadas no texto e na bibliografia.

O Estudante

(Erasmu Alexandre Malate)

Dedicatória

Em primeiro lugar dedico este projecto a Deus, por iluminar cada passo desta jornada, transformando obstáculos em degraus e dúvidas em fé, e por preservar minha saúde e vida ao longo do caminho.

À minha família, que consentiu sacrifícios durante toda a minha formação e sempre me encorajou a superar as dificuldades inerentes ao processo.

Dedico, em especial, aos meus pais, Alexandre José Amosse, Saugina Fiosse Mahuaie, Sansão Manuel Chirime e Eufrásia Alexandre Amosse, e aos meus irmãos, Marcelina Alexandre Amosse e Eugénio Eufrásia Amosse, que sempre foram meu espelho e exemplo a seguir. Considero-os meus heróis, e que Deus os abençoe em toda a sua vida.

.

Agradecimentos

É com imensa alegria e gratidão que expresso meus sinceros agradecimentos a todos que, de alguma forma, contribuíram para a concretização deste projecto de pesquisa.

Primeiramente, agradeço profundamente ao meu supervisor, Prof. Doutor Inocêncio Pereira, pela constante disponibilidade, prontidão e pelos esclarecimentos oferecidos ao longo da elaboração deste projecto de pesquisa.

Aos meus irmãos e amigos, Eugénio Eufrásia Amosse, Eufrásia Alexandre Amosse, Marcelina Alexandre Amosse, Irene Alexandre Amosse, Felisbela Alexandre Amosse, Albertina Alexandre Amosse, Lubélia Alexandre Amosse, Felismina Alexandre Amosse, e Lucas Bucuanhane Chirime, o meu sincero agradecimento por todo o apoio e incentivo durante esta jornada.

Aos colegas do curso de Geografia, com especial destaque ao Grupo de 2019, agradeço pelo apoio moral, pela partilha de ideias, experiências e pelos momentos de convivência estudantil que enriqueceram este percurso.

Aos docentes do Departamento de Geografia, deixo meu profundo respeito e gratidão pela nobre tarefa de formar o "Homem Novo" por meio da transmissão do vosso conhecimento.

Por fim, meu especial e eterno agradecimento vai para meus primeiros professores, mestres, formadores, educadores e, ao mesmo tempo, meus pais: Alexandre José Amosse, Saugina Fiosse Mahuaie, Sansão Manuel Chirime e Eufrásia Alexandre Amosse. Muito obrigado por tudo.

Resumo

Este projecto de pesquisa propõe o mapeamento das áreas de risco de erosão dos solos no distrito de Marrupa. A erosão é um dos principais problemas da degradação ambiental, visto que o solo constitui um suporte essencial para a vida no planeta. Em várias regiões de Moçambique, incluindo o distrito de Marrupa, a erosão dos solos tem se mostrado um problema grave, afectando de forma severa a estrutura local. Dessa forma, torna-se urgente identificar as áreas mais susceptíveis à erosão no distrito de Marrupa de modo a criar-se condições de sua mitigação.

A análise espacial dessas áreas é uma ferramenta essencial para identificar vulnerabilidades ambientais. O distrito de Marrupa apresenta relevo com elevadas declividades, feições geomorfológicas intensas e usos do solo que favorecem erosões em graus consideráveis. Este projecto busca mapear as áreas de risco de erosão no distrito como um instrumento de apoio à tomada de decisões pelas autoridades responsáveis pelo controle desse problema.

O trabalho será realizado com base em revisão bibliográfica e em modelos espaciais desenvolvidos em ambiente SIG. Serão utilizados dados de modelos digitais de elevação, distribuição espacial da precipitação e características dos solos, considerando factores como topografia, erodibilidade, erosividade, vegetação e uso e ocupação dos solos.

Palavras – Chave: Erosão de solos; tipos de erosão; factores de erosão

ÍNDICE

Declaração	iii
Dedicatória.....	iv
Agradecimentos.....	v
Resumo.....	vi
Índice de Mapas	ix
Índice de Tabelas.....	ix
Índice de Figuras	ix
Lista de abreviaturas	x
Capítulo I.....	1
1 Introdução	1
2 Problema	2
3 Hipóteses	4
4 Objectivos	4
4.1 Geral	4
4.2 Específicos	4
5 Justificativa	4
Capítulo II.....	5
6 Enquadramento teórico e conceptual.....	5
6.1 Conceito de erosão de solo	5
6.2 Causas de Erosão	6
6.3 Tipos de erosão.....	7
6.3.1 Erosão natural.....	7
6.3.2 Erosão acelerada.....	8
6.4 Formas de erosão	9
6.4.1 Erosão ravinar.....	9
6.4.2 Erosão em sulcos	9
6.4.3 Erosão em voçorocas.....	9
6.5 Principais factores de análise no estudo de erosão	10
6.5.1 Clima	10
6.5.2 Cobertura Vegetal	11
6.5.3 Topografia.....	11
6.5.4 O solo.....	12
6.5.5 Uso e cobertura de terra.....	14
7 Modelos de Estudo de Erosão.....	15

7.1	Equação universal de perdas de solo (USLE)	15
7.2	Modelo de Estimativa de Perda do Solo para a África Austral (SLEMSA)	15
7.3	Estudos de Erosão Utilizando Sistema de Informação Geográfica	16
7.4	Modelo digital de elevação.....	17
Capítulo III.....		18
8	Área de estudo.....	18
8.1	Localização geográfica da área de estudo.....	18
8.2	População.....	19
8.3	Características físico-naturais	20
8.3.1	Relevo	20
8.3.2	Hidrografia	20
8.3.3	Clima	22
8.3.4	Uso e Cobertura da Terra.....	22
Capítulo IV		24
9	Metodologia	24
9.1	1ª Fase: Pesquisa bibliográfica.....	24
9.2	2ª Fase: Recolha de Dados.....	25
9.3	3ª Fase: Reclassificação dos Factores (declividade, erosividade, erodibilidade e uso e cobertura de terra.....	26
9.4	4ª Fase: Produção do mapa de áreas de risco à erosão do solo	30
9.4.1	Integração e Harmonização das Variáveis	30
9.4.2	Validação do Mapa de Risco de Erosão.....	30
10	Resultados Esperados	31
Capítulo V.....		32
11	Cronograma de actividades	32
12	Recursos/Orçamento	33
13	Referências bibliográficas.....	34

Índice de Mapas

Mapa 1: Localização geográfica do distrito de Marrupa.....	18
Mapa 2: Relevo do distrito de Marrupa.....	20
Mapa 3: Hidrologia do distrito de Marrupa.....	21
Mapa 4: Solos de Marrupa.....	22
Mapa 5. Uso e cobertura da terra do distrito de Marrupa.....	23

Índice de Tabelas

Tabela 1. Formas de determinação do factor R.....	10
Tabela 2. Valores do coeficiente em função do declive.....	12
Tabela 3. Classes de declividade dos solos.....	27
Tabela 4. Classes do índice de erosividade das chuvas obtido através do cálculo do factor R27	
Tabela 5. Classes de índice de erodibilidade do solo.....	28
Tabela 6. Classes de Uso e cobertura da terra.....	29
Tabela 7. cronograma de actividades.....	32
Tabela 8: Recursos/Orçamento.....	33

Índice de Figuras

Figura 1. Pirâmide etária da população do distrito de Marrupa.....	19
--	----

Lista de abreviaturas

CENACARTA – Centro Nacional de Cartografia e Teledetecção

EDM – Electrecidade de Moçambique

INE – Instituto Nacional de Estatística

INIA – Instituto Nacional de Investigação Agraria

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MAE – Ministério de Administração Estatal

MMA – Ministério do Meio Ambiente de Brasil

MDE – Modelo Digital de Elevação

MAEFP – Ministério da Administração Estatal e Função Pública

MOPHRH – Ministério de Obras Públicas Habitação e Recursos Hídricos

MICOA – Ministério para Coordenação da Acção Ambiental

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SLEMSA – Modelo de Estimativa de Perda do Solo para a África Austral

USLE - Equação Universal de perdas de solo

Capítulo I

1 Introdução

A degradação do solo é um processo complexo que pode ser natural ou induzido pela ação humana, resultando na deterioração da capacidade produtiva e na perda da utilidade do solo (Martins e Fernandes, 2017). Conforme os autores esse fenómeno é provocado por factores tanto ambientais quanto antropogénicos. Segundo Prevedel (2021), o manejo inadequado do solo é uma das principais causas da degradação, acarretando problemas como a perda de solo por erosão e a diminuição da fertilidade, o que compromete a capacidade produtiva. Este autor acresce que, a degradação dos solos pode ocorrer de várias formas, incluindo erosão, compactação, poluição, perda de nutrientes e salinização, todas elas impactando negativamente os ecossistemas e as actividades humanas.

Entre essas formas, a erosão do solo se destaca como um dos problemas mais graves, de alcance global, devido aos seus efeitos prejudiciais sobre a agricultura, economia e meio ambiente. Conforme relatado por Eduardo (2012), a erosão remove a camada superficial do solo, rica em nutrientes, diminuindo sua fertilidade e capacidade de retenção de água, além de contribuir para o assoreamento de corpos de água e a poluição hídrica. Conforme o autor, esta perda da camada fértil do solo afecta directamente a produtividade agrícola e o equilíbrio ambiental, prejudicando a vida dos microorganismos e agravando a degradação do solo.

Em Moçambique, a erosão do solo afecta amplamente várias regiões, com particular impacto nas áreas costeiras, onde os danos materiais e económicos são significativos. De acordo com o MICOA (2007), os factores que contribuem para a erosão incluem o relevo acidentado, práticas agrícolas inadequadas, queimadas descontroladas e a vulnerabilidade a eventos climáticos extremos. Esses factores, muitas vezes inter-relacionados, levam à degradação de infraestruturas, perda de fertilidade dos solos e destruição de ecossistemas.

No distrito de Marrupa, a erosão hídrica é a principal forma de degradação do solo, sendo causada pelo impacto das gotas de chuva em superfícies desprotegidas, resultando no desagregamento e transporte das partículas do solo pelo escoamento superficial (MAEFP, 2020). A vila de Marrupa, localizada em uma área montanhosa e cercada por cursos de água, sofre de forma significativa com a formação de crateras e o agravamento da degradação dos solos a cada nova estação chuvosa (MAE, 2005). A falta de medidas eficazes de controle agrava

ainda mais a situação, prejudicando a capacidade das comunidades locais de sustentarem suas atividades agrícolas de subsistência.

A crescente preocupação com a erosão dos solos em Marrupa está relacionada à forte dependência das populações locais da agricultura e à necessidade urgente de preservar os ecossistemas naturais (Lalá e Capel, 2016). A prática do cultivo em encostas sem a devida proteção, como a ausência de terraços, e a falta de cobertura vegetal adequada aumentam a vulnerabilidade à erosão. O sobrepastoreio e o desmatamento para a obtenção de lenha e expansão agrícola são factores adicionais que expõem o solo à acção erosiva das chuvas.

O estudo da erosão é fundamental para a elaboração de estratégias eficazes de gestão ambiental e mitigação de impactos. Como Bagio (2020) aponta, a identificação e o mapeamento de áreas de risco são essenciais para priorizar intervenções e acções de conservação. Este projecto tem como objectivo mapear as áreas de risco de erosão no distrito de Marrupa, utilizando técnicas de geoprocessamento e sistemas de informação geográfica (SIG). Embora o MICOA (2007) tenha realizado um estudo de risco de erosão a nível nacional e tendo apontado o distrito de Marrupa como sendo de nível crítico, este estudo é genérico e não detalha as variações de risco dentro do distrito, o que impede o desenvolvimento de estratégias específicas de combate ou mitigação baseadas nas áreas mais vulneráveis.

Com a realização desta pesquisa, será possível identificar e priorizar áreas de elevado nível de erosão permitindo assim intervenções nessas áreas específicas, otimizando os esforços de conservação do solo e minimizando os impactos socioeconómicos e ambientais da erosão. Além disso, a pesquisa fornecerá uma base científica sólida para futuras acções de conservação e desenvolvimento sustentável através dos resultados que serão alcançados e recomendações a serem propostas.

2 Problema

A erosão do solo é o processo de remoção e transporte de partículas do solo por agentes como a água da chuva (erosão hídrica) e o vento (erosão eólica), resultando na redução da espessura do solo e na perda da sua fertilidade. De acordo com Bagio (2020), o processo erosivo tem impactos negativos tanto para o solo quanto para o meio ambiente. Em particular, a erosão hídrica pluvial compromete a qualidade da água, promovendo a eutrofização causada pelo constante aporte de sedimentos enriquecidos com matéria orgânica e compostos químicos. Esse processo também resulta no assoreamento de rios e reservatórios, exigindo intervenções caras

para remover o excesso de sedimentos. Além dos danos ambientais, a erosão hídrica reduz a capacidade produtiva das terras agrícolas ao remover as camadas férteis do solo, matéria orgânica e nutrientes essenciais, muitas vezes tornando inviável a prática agrícola (ibidem).

Em Moçambique, a erosão do solo afecta extensas áreas do território, resultando em grandes prejuízos materiais e económicos. Segundo o MICOA (2007), esse fenómeno provoca a degradação de infraestruturas sociais e económicas, perda de fertilidade dos solos e a destruição de ecossistemas sensíveis. Segundo MAEFP (2020), no distrito de Marrupa, a erosão dos solos constitui um problema grave, afectando directamente as comunidades locais. A perda de habitações, terras agrícolas e espaços públicos de lazer devido à erosão tem gerado grandes preocupações. De acordo com essa fonte, muitas famílias vivem sob o risco constante de verem suas casas desmoronarem, principalmente em áreas expostas a chuvas torrenciais e onde a cobertura vegetal foi severamente reduzida. A erosão também impacta a infraestrutura viária, criando crateras que dificultam a mobilidade de pedestres e veículos, comprometendo o acesso às zonas rurais e urbanas.

O MICOA (2007) classifica o nível de erosão no distrito de Marrupa como crítico, evidenciando os desafios relacionados à degradação dos solos. A erosão ravinar, um dos tipos mais severos identificados na região, resulta da falta de sistemas adequados de drenagem, das chuvas intensas, da ocupação desordenada do solo e das atividades humanas. No entanto, a como podemos observar anteriormente, a classificação oferecida por esse estudo é genérica, realizada em escala nacional, e não fornece detalhes suficientes para identificar as variações nos níveis de risco de erosão a nível local, como dentro do próprio distrito de Marrupa. O que carece de realização de pesquisas mais detalhadas como a presente pesquisa.

Por sua vez, Lalá e Capel (2016) acrescentam que a ausência de práticas agrícolas sustentáveis, combinada com a intensidade das chuvas, acelera o processo erosivo, ameaçando a segurança alimentar e a produtividade agrícola das comunidades. A falta de dados detalhados e sistematizados sobre a dinâmica da erosão no distrito agrava ainda mais a situação, dificultando a implementação de medidas eficazes de mitigação e conservação do solo.

A pergunta de partida desta pesquisa é: *Quais são as áreas com níveis elevados de erosão no distrito de Marrupa?*

3 Hipóteses

- O padrão de erosão dos solos no distrito de Marrupa varia significativamente entre diferentes áreas, sendo influenciado por factores como práticas agrícolas, cobertura vegetal e topografia local.
- Áreas com maior declividade e maior índice pluviométrico no distrito de Marrupa apresentam níveis elevadas de perda do solo por erosão.

4 Objectivos

4.1 Geral

O presente projecto de pesquisa tem como objectivo geral mapear áreas de risco de erosão do solo no distrito de Marrupa

4.2 Específicos

- ✓ Identificar a distribuição espacial das áreas com níveis elevados de erosão dos solos em Marrupa
- ✓ Apresentar os factores que contribuem para a variação espacial dos níveis de erosão dos solos em Marrupa
- ✓ Propor medidas estratégicas de combate à erosão dos em Marrupa.

5 Justificativa

A importância deste projecto reside na necessidade de compreender de forma detalhada os padrões de distribuição espacial da erosão no distrito de Marruba, além de formular medidas eficazes para combater este fenómeno. Isso se deve aos sérios impactos negativos socioeconómicos e ambientais ocasionados pela erosão. Conforme destacado por Eduardo (2012), a erosão do solo não apenas diminui a fertilidade do solo, comprometendo a produtividade agrícola, mas também contribui para a sedimentação dos corpos de água, afectando a qualidade e a disponibilidade de água para consumo e irrigação.

Aplicando técnicas avançadas de geoprocessamento e análise espacial, este projecto pretende fornecer um mapa detalhado de distribuição espacial da erosão no distrito de Marrupa. A criação deste mapa é fundamental para uma abordagem mais precisa e eficaz na gestão dos recursos naturais. Este mapa possibilitará a identificação detalhada das áreas mais vulneráveis

à erosão no distrito de Marrupa, permitindo uma alocação mais estratégica de recursos e a implementação de medidas de combate e corretivas direcionadas.

Este projecto é de suma importância tanto para a comunidade científica quanto para os formuladores de políticas públicas e a população local de Marrupa. Em primeiro lugar, a análise aprofundada da erosão dos solos contribuirá significativamente para o corpo de conhecimento geográfico, fornecendo dados empíricos e informações valiosas sobre os processos de degradação do solo em regiões tropicais. Em segundo lugar, os resultados desta pesquisa terão uma aplicabilidade prática essencial, contribuindo para a formulação de estratégias de manejo sustentável do solo e de conservação ambiental, fundamentais para a mitigação dos impactos da erosão.

Além disso, a identificação de áreas de risco e a proposição de medidas de intervenção ajudarão na elaboração de políticas públicas focadas na proteção dos recursos naturais e no desenvolvimento sustentável do distrito. Finalmente, este estudo atenderá à demanda das comunidades locais por soluções concretas para os problemas de degradação ambiental que afectam directamente suas vidas e meios de subsistência. Ao fornecer uma base científica sólida para a tomada de decisões, este projecto busca promover a resiliência ambiental e socioeconómica da região de Marrupa.

Capítulo II

6 Enquadramento teórico e conceptual

Este capítulo estabelece uma base teórica sobre o tema em estudo. Serão abordados conceitos fundamentais, técnicas de colecta, processamento e análise de dados, bem como os principais tipos; causas e factores da erosão dos solos.

6.1 Conceito de erosão de solo

A palavra erosão provém do latim “erodere” e o seu conceito está ligado aos processos de desgaste da superfície do terreno com a retirada e o transporte dos grãos minerais. Em sentido amplo, a erosão consiste no desgaste, no afrouxamento do material rochoso e na remoção dos detritos através dos processos actuantes na superfície da terra (BIGARELLA *et al.*, 2003).

De acordo com Lima *et al.* (2007), o processo de erosão é descrito como o desgaste da superfície do terreno e a perda da camada superficial do solo. Ele identifica duas categorias de forças envolvidas: forças activas e passivas. As forças activas incluem precipitações pluviais,

vento, capacidade de absorção de água pelo solo, comprimento e declividade do terreno. As forças passivas são caracterizadas pela resistência do solo e pela cobertura vegetal. Por outro lado, Carvalho (2007) define erosão como um fenómeno de desgaste contínuo de rochas e solos da crosta terrestre.

No contexto de Moçambique, MICOA (2007) define a erosão do solo como um processo de separação, remoção, transporte e deposição de partículas de solo causado pela influência da chuva e vento, que pode ser acelerado pela actividade do Homem, destacando-se o abate de árvores, as queimadas descontroladas, as práticas agrícolas inadequadas e o uso e aproveitamento de terras em áreas propensas à erosão de solos.

6.2 Causas de Erosão

De acordo com MICOA (2007), os factores que causam a erosão são classificados em duas categorias: naturais e antropogénicos (causados por actividades humanas).

Conforme a fonte acima citada os factores naturais resumem-se em: Força do vento/tempestades; transportam partículas do solo, especialmente em áreas áridas; força das ondas do mar: Desgaste e recuo das zonas costeiras; aumento do nível do mar: submersão de áreas costeiras e aumento da erosão costeira; precipitação: Chuvas intensas causam desagregação e transporte de solo e degelo nas regiões polares: aumenta o fluxo de água e sedimentos, acelerando a erosão.

Por outro lado a mesma fonte a cima citado fundamenta que, os factores antropogénicos (causados por actividades humanas) resumem-se em: desflorestamento para construção e para aproveitamento do combustível lenhoso e outros fins: remove a cobertura vegetal, expondo o solo à processos erosivos; queimadas descontroladas: destrói a vegetação protetora, deixando o solo expostos a processos erosivos; ordenamento territorial e urbano deficiente: contribui para práticas insustentáveis de uso do solo; movimentação de veículos, maquinaria e pisoteio nos locais onde decorrem obras de construção civil: Compacta e desestabiliza o solo; Prática de agricultura de subsistência nas encostas das dunas e vales: aumenta a erosão devido ao uso inadequado do solo;

abertura de acessos (caminhos): cria canais para a erosão; abate de mangais: Remove barreiras naturais contra a erosão costeira e sobrepastoreio: remove a vegetação e expõe o solo à erosão.

6.3 Tipos de erosão

Neste subcapítulo são apresentados os principais tipos de erosão, bem como suas descrições.

6.3.1 Erosão natural

A erosão natural também conhecida como erosão geológica resulta apenas de forças da natureza, sem influência do homem. É um processo lento, responsável pela moldagem do relevo da crosta terrestre, com seus vales, rios, montanhas, planícies, planaltos e deltas. É um processo construtivo, não influenciado pelo homem, onde as taxas de formação superam as taxas de remoção do solo (LIMA, *et al.* 2007). De conforme o autor a erosão natural pode ser classificada da seguinte forma: hídrica, eólica, pluvial, fluvial e costeira.

6.3.1.1 Erosão hídrica

É um processo físico de desagregação, transporte e deposição das partículas do solo, provocados pela acção da água das chuvas e do escoamento superficial. O processo erosivo inicia-se com o impacto da massa de água com o solo, provocando o escoamento superficial, a partir da acumulação de água em volume suficiente para propiciar o transporte das partículas desagregadas, ou seja, a água cai sob forma de chuva e exerce acção erosiva sobre o solo que, estando desprotegido de vegetação ou mesmo de práticas conservacionistas, sofre uma acção de desagregação com o impacto da gota de chuva, que depois o arrasta, principalmente durante os primeiros minutos da chuva. A quantidade de solo arrastado depende muito do seu tipo, do declive do terreno e da intensidade da chuva (CUMBANE, 2012).

6.3.1.2 Erosão eólica

A erosão eólica consiste no transporte ou rolamento de partículas do solo pela acção do vento. O vento transporta areia para lugares distantes. No seu trajecto os grãos de areia desgastam e alteram as formas das rochas que encontram pelo caminho. Ocorre normalmente em regiões planas, de pouca chuva, onde a vegetação natural é escassa e sopram ventos fortes. Geralmente, ocorre em regiões de clima árido ou semiárido ou em regiões em que o período chuvoso é concentrado numa época do ano, com curta duração (Silva, 1995).

6.3.1.3 Erosão pluvial

A erosão pluvial é causada pela água da chuva nos solos e nas rochas. Quando o terreno está sem vegetação, ele fica desprotegido e as chuvas carregam a camada superficial do solo, onde existem substâncias necessárias às plantas. Desta forma, um solo fértil pode transformar-se em árido causando prejuízos à lavoura e desmoronamentos. As águas das chuvas também

provocam um desgaste nas rochas através da dissolução de seus componentes, embora muito mais lento do que nos solos (CARVALHO, 2007).

6.3.1.4 Erosão fluvial

Erosão fluvial é o desgaste provocado pelas águas dos rios. As fortes correntezas dos rios vão arrancando fragmentos das margens, alterando assim os seus contornos. Este material é carregado pelas águas e depositado em outros locais. Com o passar dos tempos, os rios podem mudar o seu percurso por causa da erosão. Os rios, através de seus processos fluviais, são os principais responsáveis pela denudação continental. Esta, por sua vez, é condicionada principalmente pelo clima. Assim, quanto maior a temperatura e a precipitação, maior será o volume do escoamento superficial e, conseqüentemente, maior erosão e maior sedimentação oceânica (Carvalho, 2007).

6.3.1.5 Erosão costeira

A erosão costeira consiste na remoção e arrastamento dos sedimentos das praias e dunas por acção das ondas do mar, traduzindo-se no recuo da linha da costa e conseqüente, na perda de território. Erosão costeira é a causada pelas águas do mar que se batem sobre as rochas e as praias através das suas ondas (MICOA, 2007).

6.3.2 Erosão acelerada

A erosão acelerada é resultante da ocupação inadequada dos solos por actividades agrícolas ou urbanas, que aceleram e intensificam os processos erosivos devido as condições induzidas ou modificadas pelo homem ao solo. As condições mais favoráveis estão presentes em solos sem cobertura vegetal, compactados e recentemente movimentados através do preparo motomecanizado, trazendo como efeito o aumento na degradação do solo, diminuição da capacidade de infiltração de água no solo, e conseqüentemente aumento do escoamento superficial (Fujihara, 2002).

Lima *et al.* (2007), sustenta que, o cultivo do solo contribui na dessegregação do solo, favorecendo a individualização das partículas ou diminuição do tamanho dos agregados, facilitando, a movimentação destes pelos ventos e água. Na erosão acelerada, as taxas de perda normalmente são superiores às taxas de formação do solo. As perdas que a erosão natural levaria anos para causar, a erosão acelerada leva semanas, dias ou até mesmo horas.

6.4 Formas de erosão

6.4.1 Erosão ravinar

São fissuras profundas (podem atingir muitos metros de profundidade e largura) que ocorrem no solo e que são causadas por enorme quantidade de água que são transportadas em pouco tempo. Geralmente este tipo de erosão é devido ao pastoreio de gado e aos caminhos que as pessoas vão abrindo ao passar em áreas declivosas (MICOA, 2007). De acordo com Ceccato (2018), as ravinas são incisões que atingem até 50 centímetros de profundidade e largura. A terminologia utilizada é em função da profundidade, sendo: ranhura (até 5 cm); sulco (5 a 30 cm); vala (30 a 100 cm); e ravina (maior que 10 cm). O autor sustenta que, ravinamento é a erosão causada simplesmente pela concentração do escoamento superficial. Consiste essencialmente no desenvolvimento de pequenos canais nos quais o fluxo superficial se concentra e forma sulcos no terreno.

6.4.2 Erosão em sulcos

De acordo com MICOA (2007), erosão em sulcos são fissuras no solo que se assemelham a erosão ravinar, com cerca de 30 cm de profundidade, a erosão sulco pode se transformar em erosão ravinar se não forem tomadas medidas para o controle. A erosão em sulcos pode ser definida como um processo de erosão em campos inclinados onde numerosos canais aleatórios se formam com apenas alguns centímetros de profundidade; ocorre sobretudo em solos recentemente cultivados.

6.4.3 Erosão em voçorocas

De acordo com Oliveira (2007), voçorocas são incisões com largura e profundidade superiores a 50 centímetros. É o deslocamento de grandes massas de solo modo a formar sulcos imensos em extensão e profundidade. A erosão voçorocas representa um estágio avançado da erosão em sulcos, ocorrendo em canais com demissões relativamente grandes, os quais impedem o livre trânsito de máquinas agrícolas no terreno.

6.5 Principais factores de análise no estudo de erosão

Neste subcapítulo apresentamos os factores condicionantes de erosão, tais como: clima, cobertura vegetal, topografia, o solo e uso e cobertura de terra.

6.5.1 Clima

De acordo com MMA (2007), os principais aspectos do clima que afecta o processo erosivo inclui a quantidade, a distribuição, a intensidade e a energia cinética da precipitação, especialmente no caso da erosão hídrica. Outros aspectos significativos incluem os ventos e as variações da temperatura.

A relação entre o clima e os processos erosivos está associada com factor erodibilidade da chuva (k). A erosividade da chuva é definida como a capacidade potencial qua a precipitação tem de causar erosão. Esta função é chamada de índice de erosividade das chuvas (k) e representa a distribuição espacial e temporal das chuvas, por isso é considerado neste estudo como parâmetro de entrada importante para a modelação da erosão. O factor erosividade determina-se em função da intensidade da precipitação e traduz a capacidade ou poder de arrastar as partículas pela chuva (Cumbane, 2012.p.13).

Existem vários valores experimentais para o factor R, os quais variam com o autor e a área de estudo. Na Tabela 1. estão apresentadas algumas formas de cálculo em que este depende de valores da precipitação anual (P), da precipitação média anual (MAR), da precipitação média mensal (p) ou do índice de Fournier (F)

Tabela 1. Formas de determinação do factor R

Referência	Relação entre R e P ou R e F
Arnoldous (1980)	$R = (4.17F - 152) / 17.02$
Arnoldous (1980)	$R = 4.17F - 152$
YU & Rosewell (1996)	$R = 3.82 F^{1.41}$
Arnoldous (1977)	$R = 0.302 F^{1.93}$
Renald \$ Freimun (1994)	$R = 0.739F^{1.847}$
Renald \$ Freimun (1994)	$R = 0.048P^{1.61}$
Roose (1991)	$R = P \times 0.5$
Kassam <i>et al.</i> (1992)	$R = 117.6 (1.00105 [MAR])$ para $<2000\text{mm}$
Samuel (1997)	$R = -295 + 12.2p$
Singh <i>et al.</i> (1981)	$R = 79 + 0.363P$

Fonte: Cumbane (2012)

6.5.2 Cobertura Vegetal

A cobertura vegetal permite diminuir a energia cinética das gotas da chuva, permitindo também um aumento significativo do coeficiente de infiltração e uma diminuição consequente do coeficiente de escoamento superficial. Tem ainda a vantagem de aumentar a coesão do solo devido à presença de raízes vegetais que funcionam como uma espécie de armadura que dificulta a desagregação do solo e o seu arrastamento pelo escoamento superficial, o efeito da vegetação inclui a protecção directa contra o impacto das gotas de chuva e a dispersão da água, interceptando-a e favorecendo a evaporação, antes que atinja o solo (MICOA, 2007).

Nas regiões quentes e com altos índices de precipitação, a vegetação natural é exuberante fornecendo grande protecção ao solo, o que previne ou minimiza o efeito dos agentes erosivos. Nos trópicos, com a remoção da cobertura vegetal original, as chuvas pesadas promovem muito mais dano ao solo do que as chuvas mais suaves dos climas temperados. Nas regiões semiáridas ou com elevada deficiência hídrica, a vegetação natural é mais rala e de menor porte, conferindo pequena protecção ao solo (MMA, 2007).

6.5.3 Topografia

De acordo com Carvalho (2007), topografia do terreno é o conjunto de desnivelamentos da superfície da terra (montanhas, vales, planícies, etc.). Segundo Lima *et al.* (2007) e Chupuiopiondo (2007), a topografia pode influenciar na velocidade dos processos erosivos. Maiores velocidades de erosão são mais esperadas em relevo acidentados, do que em relevos suaves. Nas áreas com altas declividades (relevos inclinados), grande parte da água escorre pela superfície, favorecendo processos erosivos. Nos relevos planos, praticamente toda a água da chuva entra no solo (Infiltração), propiciando condições para formação de solos. A influencia da topografia na erosão é analisada pela ponderação de dois factores: declividade e o comprimento da vertente.

A interferência da amplitude das formas de relevo no processo erosivo está relacionada ao facto que ela determina a energia potencial actuante e a capacidade do agente erosivo de realizar trabalho (destacamento e transporte do material erodido). Assim a energia actuante é maior sobre os solos dos relevos com maior amplitude (desnível em relação ao nível de base local), como os morros, do que nos solos que ocorrem em relevos de menor amplitude, como as colinas (MMA, 2007).

De acordo com Meneses (2011. p.27), o factor topográfico (LS) resulta da relação entre o comprimento da vertente (L) e o declive (S), correspondendo o seu produto, ao quociente de perda de solo. O factor topográfico obtém-se partir da seguinte expressão 1:

$$LS=L*S \dots\dots\dots (1)$$

Sendo, L o factor comprimento das vertentes e S o factor declive.

O factor L traduz a influencia da distância entre o início da escorrência superficial e a mudança de declive de uma determinada área, obtendo-se a partir da equação 2:

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.13} \right)^{\epsilon} \dots\dots\dots (2)$$

Correspondendo, λ à distância em metros e ϵ ao coeficiente dependente do declive (s). o coeficiente “ ϵ ” adquire, segundo Silva (2003) citado por Meneses (2011.p.28), os factores expressos na tabela 2.

Tabela 2. Valores do coeficiente em função do declive

Declive (s)	Coeficiente dependente (ϵ)
$S \geq 5\%$	0.5
$3\% \leq s < 5\%$	0.4
$1\% \leq s < 3\%$	0.3
$S < 1\%$	0.2

Fonte: Meneses (2011, p.28)

6.5.4 O solo

De acordo com Nanjolo & Abdul (2003), solo é um complexo natural, mineral e orgânico resultante da desagregação e da decomposição química das rochas expostas à meteorização”. Conforme os autores o solo é a cobertura exterior da maior parte da superfície continental da terra. Trata-se de um agregado de minerais não consolidados e de partículas orgânicas, produzido pela meteorização desencadeada pelos agentes erosivos.

Dentre os atributos do solo que afectam sua erodibilidade e, conseqüentemente, sua susceptibilidade ao processo erosivo se destacam a granulometria, a estrutura e agregação dos horizontes superficiais, a capacidade de infiltração e de retenção de água no solo, a permeabilidade ou velocidade de transmissão de água no perfil, o teor de matéria orgânica e a espessura ou profundidade (MMA, 2007). Conforme a fonte, a granulometria, estrutura e agregação do solo são características edáficas que influenciam a circulação de água no solo e

a resistência à desagregação causada pelo impacto das gotas de chuva. A matéria orgânica, argila, sesquióxidos de ferro e alumínio, e cátions bivalentes actuam como agentes cimentantes, estabilizando a estrutura e agregação do solo e aumentando sua resistência à erosão.

A granulometria e a estrutura do solo afectam a permeabilidade e a coesão entre as partículas. Solos arenosos, apesar de terem porosidade total menor que solos argilosos ou de textura média, possuem muitos macroporos que facilitam a infiltração de água, reduzindo o escoamento superficial. No entanto, a baixa coesão entre as partículas em solos arenosos facilita a erosão, mesmo com chuvas leves. MMA (2007) vai além ao afirmar que as relações de infiltração, drenagem e retenção de água no solo condicionam a erosão ao determinar o volume de água que permanece na superfície, susceptível ao escoamento superficial e à erosão. A humidade prévia do solo é crucial nas relações de infiltração e deflúvio. A espessura do solo também interfere na erodibilidade, pois solos mais rasos saturam-se rapidamente com água, favorecendo enxurradas e intensificando o escoamento superficial. A constituição, textura e estrutura do substrato rochoso condicionam a susceptibilidade dos materiais à alteração e aos processos erosivos (ibidem). Materiais mais facilmente alteráveis formam horizontes de solo mais espessos, oferecendo mais material para a erosão. Rochas ricas em sílica, como o granito, são mais resistentes à alteração do que rochas ricas em carbonatos, como o mármore, resultando em mantos de alteração menos profundos sobre o granito.

Por sua vez LIMA (2003) afirma que solos mais erodíveis são aqueles que apresentam partículas da ordem de areia fina ou silte e pouca quantidade de argila. Quanto a teor de matéria orgânica, este autor afirma que, a presença de matéria orgânica, assim como a presença de argila, contribui para a formação de grumos mais estáveis, aumentando assim a resistência à erosão.

De acordo com os ideias de MMA (2007), a relação entre o solo e os processos erosivos está associada com sua erodibilidade. A erodibilidade pode ser definida como a susceptibilidade do solo à erosão. A erodibilidade do solo está associada à sua resistência à erosão. Assim, um solo de alta erodibilidade é aquele com maior potencial para sofrer erosão, em relação a solo de baixa erodibilidade.

6.5.5 Uso e cobertura de terra

O uso e ocupação refere-se à maneira como diferentes espaços geográficos são utilizados e ocupados pelas actividades económicas e sociais do ser humano. Uso e ocupação de terra pode ser entendido como a forma pela qual o espaço está sendo ocupado pelo homem. O Levantamento do Uso e da Cobertura da terra indica a distribuição geográfica da tipologia de uso, identifica através de padrões homogêneos da cobertura terrestre. De acordo com IBGE (2013), as formas de uso e ocupação de uso da terra são, áreas agrícolas, áreas de vegetação natural e corpos de água.

Áreas atópicas não-agrícolas segundo IBGE (2013), estão associados todos os tipos de uso de terra não-agrícola, tais como; área urbanizadas, industriais, comerciais, redes de comunicação e áreas de extração mineira. Segundo MOPHRH (2020), no meio urbano os fenómenos de erosão são, geralmente, agravados pela ocupação irregular e impermeabilidade intensiva da superfície, levando a uma maior concentração dos escoamentos que, ao se intensificar, tem a capacidade de arrastar consigo muitos solos.

Áreas agrícolas segundo IBGE (2013), podem ser definidas como terra utilizada para a produção de alimento. Encontram-se inseridas nesta categoria as lavouras temporais, lavouras permanentes, pastagem e silvicultura. Segundo Weill (1999), os principais factores condicionantes da aceleração do processo erosivo em áreas agrícolas incluem a retirada da vegetação natural para implantação dos agro-sistemas e outros usos, o manejo improprio de solos, a exploração inadequada de terras marginais, a pressão de ocupação das terras por usos competitivos, o uso intensivo das terras com elevado potencial natural de erosão e, sobretudo, a falta do planeamento da ocupação.

Áreas de vegetação natural de acordo com IBGE (2013), compreende um conjunto de estruturas florestais. Segundo MMA (2007), a cobertura do solo (áreas de vegetação natural), é um aspecto importante na prevenção e no controle da erosão, constituindo-se um princípio fundamental em conservação do solo e da água

Água também é uma forma de cobertura da terra e incluem todas as classes de água interior (rios, lagoas e outros corpos) e costeira de água.

7 Modelos de Estudo de Erosão

7.1 Equação universal de perdas de solo (USLE)

A USLE, é o modelo empírico de erosão do solo mais utilizado em todo o Mundo. Na planificação e gestão de terras, na estimativa da perda anual do solo, bem como a simplicidade de aplicação e disponibilidade de dados, permite uma aplicação praticamente universal, o que faz com que se torne, de acordo com a Sociedade Internacional de Conservação do Solo e da Água, uma ferramenta fundamental para fins de planeamento. Este modelo foi desenvolvido por Wischmeier & Smith (1978) (CUMBANE, 2012). Este modelo tem sido uma ferramenta inestimável para inventariação dos recursos naturais em vários países, sendo usada na análise dos efeitos da erosão sobre a produtividade das culturas. Segundo Wischmeier & Smith, (1978), citado por Cumbane. (2012), matematicamente a equação de perda de solo é denotada como:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \dots \dots \dots (3)$$

Onde: A – Perda de solo média anual [t/ha];

R – factor erosividade da chuva [MJ mm/(ha h)];

K – Factor erodibilidade do solo [(t h/(MJ*mm)];

L – Factor comprimento da vertente;

S – Factor declive;

C – Cobertura do solo;

P – Prática de controlo de erosão.

7.2 Modelo de Estimativa de Perda do Solo para a África Austral (SLEMSA)

O modelo de estimativa de perdas do solo para a África Austral (SLEMSA) foi inicialmente desenvolvido para as condições do Zimbabwe, por Elwell (1978), para prever, a longo prazo, a perda anual de solo por erosão em sulcos em áreas agrícolas de pequena escala, para determinadas combinações de condições físicas e de gestão (CUMBANE, 2012).

De acordo com o autor citado a cima o SLEMSA é essencialmente um modelo para a estimativa de remoção do solo. No entanto, pode ser considerado como um modelo útil na diferenciação de áreas de elevado ou baixo potencial de erosão. As variáveis de controlo de erosão importantes que foram identificados e expressas numericamente no modelo SLEMSA incluem a energia cinética da chuva, a cobertura vegetal, o índice de erodibilidade do solo, o declive e o comprimento da vertente. Essas variáveis foram combinadas em três factores, formando o modelo SLEMSA. O modelo é resumido na equação seguinte.

$$Z = K \times X \times C \dots \dots \dots (4)$$

Onde: Z – Perda anual de solo [t/ha];

K – média de perda anual de solo [t/(ha ano)];

X – Factor topográfico;

C – Cobertura do solo.

De acordo com macia (2001), na África Austral estudos sobre erosão e conservação de solos usando modelo SLEMSA foram realizados por Chistiasson *et al* (1993) na Tanzania, concretamente na área de Kondoia; outros estudos foram desenvolvidos no Zimbabwe por Sola Lovemore (1993) e na África do Sul nas regiões, de Tsolo, Elliot e Quentown. Em Moçambique este modelo foi usado pelo então Ministério para a coordenação de Acção Ambiental (MICOA, 2007), para o estudo sobre o risco de erosão tendo resultado no mapa de risco de erosão do solo há escala nacional.

7.3 Estudos de Erosão Utilizando Sistema de Informação Geográfica

Segundo Caeiro (2013), os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) podem ser definidos como um sistema composto por hardware, software e um ambiente institucional que permite capturar, armazenar, verificar, integrar, sobrepor, manipular, analisar e visualizar dados referenciados geograficamente, funcionando como uma ferramenta de apoio à resolução de problemas geográficos. Para Matos (2008), um Sistema de Informação Geográfica é um conjunto de informação contendo informação cuja dimensão espacial está associada à sua localização na superfície da terra, em um determinado período de tempo. Este é composto por uma base de dados, software, hardware, procedimentos e recursos humanos

Um Sistema de Informação Geográfica (SIG) é essencialmente uma ferramenta poderosa para a análise e gestão de dados espaciais, destacando-se pela capacidade de tratar relações espaciais entre objetos geográficos. Essas relações, conhecidas como relações topológicas, são fundamentais no processo de integração de diferentes classes de dados temáticos (Celestino & Diniz, 1998).

Os SIGs têm a habilidade de gerar novas informações a partir do processamento de dados espaciais e alfanuméricos. Cowen (1988) descreve o SIG como um sistema de suporte à decisão que envolve a integração de dados espaciais georreferenciados. O ponto crucial na definição de um SIG é sua capacidade de integrar e combinar mapas com dados provenientes da Teledetecção e outras fontes de dados espaciais. Esta capacidade de integração permite uma

análise mais abrangente e detalhada dos fenómenos geográficos, facilitando a tomada de decisões informadas.

A natureza dos dados tratados em um SIG, que inclui a localização geográfica (coordenadas em um mapa) e atributos descritivos (armazenados em bancos de dados convencionais), é um aspecto fundamental. Outro ponto crucial é que os dados geográficos não existem isoladamente no espaço; é igualmente importante localizar esses dados e entender as relações entre eles (a partir de um SIG que poderá ser QGIS ou ArcGis). Essa capacidade de análise relacional é vital para a compreensão completa dos padrões e processos espaciais.

Devido a essas características, o SIG tem ampla aplicação em diversas áreas, incluindo mapeamentos temáticos, avaliação geotécnica, análise de riscos e gerenciamento ambiental. No contexto de estudos sobre erosão, o uso de SIG facilita a integração de dados e a aplicação de modelos matemáticos, permitindo uma análise mais precisa e detalhada dos factores que contribuem para a erosão dos solos.

Câmara *et al.* (1996) detalham que, no contexto das aplicações de SIG, o mundo real é frequentemente modelado segundo duas visões complementares: o modelo de campos e o modelo de objectos. O modelo de campos concebe o mundo como uma superfície contínua, geralmente representada em formato matricial. Por outro lado, o modelo de objectos vê o mundo como uma superfície ocupada por objectos identificáveis, cada um com sua geometria e características próprias, tipicamente representados no formato vetorial utilizando pontos, linhas e polígonos. Estas abordagens complementares permitem que o SIG forneça uma representação rica e detalhada da realidade geográfica, essencial para a análise e o gerenciamento eficaz dos fenómenos de erosão.

7.4 Modelo digital de elevação

O modelo digital de elevação (MDE) é um conjunto de dados que levam ao conhecimento do relevo da superfície terrestre, onde a partir destes dados pode-se derivar importantes informações sobre a declividade do terreno, mapeamento da rede de drenagem de grandes áreas. Estas informações derivadas dos MDE's facilita o reconhecimento de áreas propicias a agricultura possibilitando a identificação da distribuição espacial das classes de solo, identificação de áreas de risco de erosão (Soares, 2014)

O modelo digital de elevação representa uma importante fonte de informação para o gerenciamento de actividades atópicas, sendo uma ferramenta muito útil na busca pela sustentabilidade no que diz à exploração e manutenção de recursos naturais. Este modelo

inicialmente era produzido por meio da digitalização topográfica colectadas no campo. Recentemente são obtidos por método de Teledetecção (Soares, 2014).

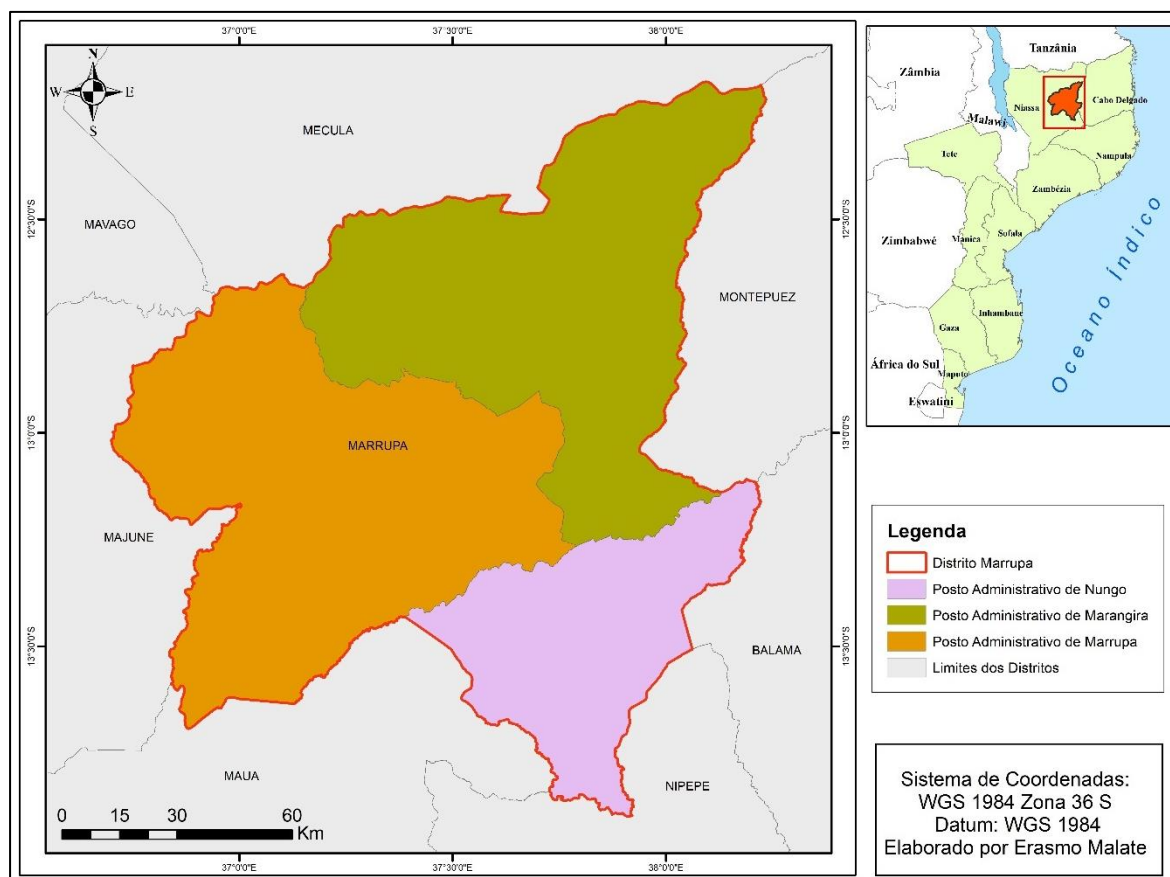
Capítulo III

8 Área de estudo

8.1 Localização geográfica da área de estudo

O distrito de Marrupa está localizado no extremo Centro-Leste da Província do Niassa, tem como limites: a Norte com os distritos de Mecula e Mavago, a Sul com os distritos de Maúa e Nipepe, a Este com o distrito de Balama da Província de Cabo Delgado e a Oeste com o distrito de Majune. O distrito de Marrupa tem uma superfície de 17.273 km², situa-se entre os paralelos 13° 04'58'' e 13° 09'54'' de latitude Sul e 37°28'32'' e 47° 26'15'' de longitude Este (MAE, 2005).

Mapa 1: Localização geográfica do distrito de Marrupa



Fonte: Autor com base nos dados do CENACARTA

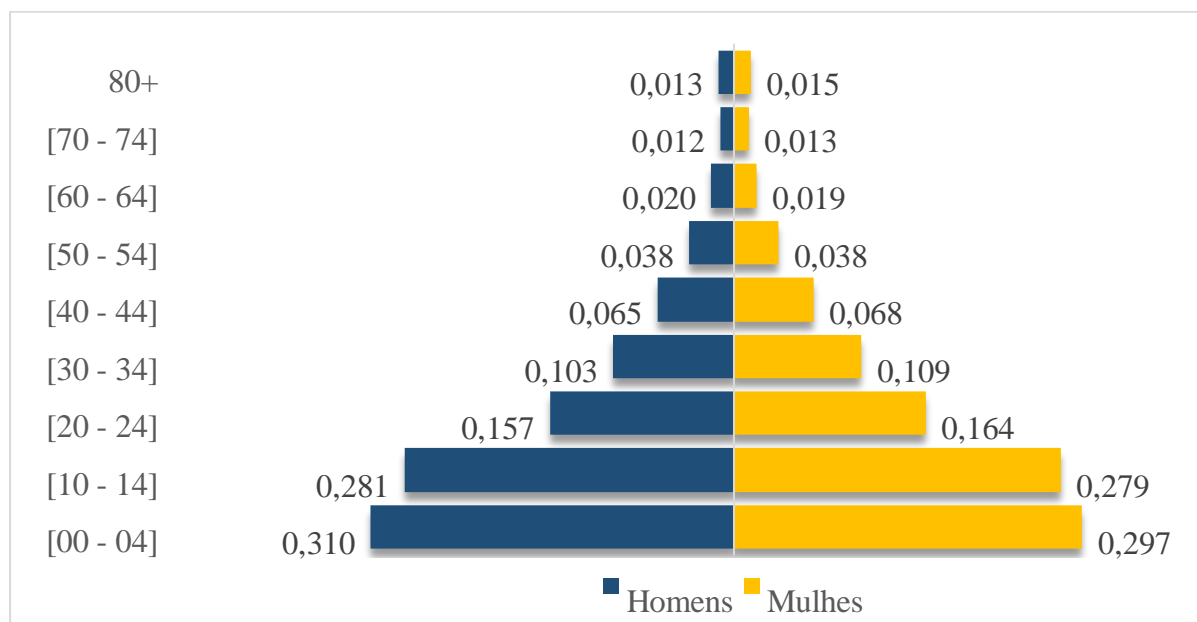
O distrito de Marrupa está dividido em três postos administrativos, nomeadamente: Posto Administrativo de Marrangira, que tem como Localidades Marrangira e Nantete; Posto

Administrativo de Marrupa, que tem como Localidades as Vilas de Marrupa, Messalo, Messengesse e Pringilane e Posto Administrativo de Nungo, que tem como Localidade Nungo (INE, 2024).

8.2 População

De acordo com os dados do Instituto Nacional de Estatística (INE, 2009, 2019), o distrito de Marrupa apresentava uma população total de 77.808 habitantes no censo de 2017. Comparando com o censo anterior de 2007, em que a população era de 53.649 habitantes, observa-se um crescimento populacional de 24.162 habitantes, o que representa um aumento de aproximadamente 45% em um período de apenas dez anos. Esse crescimento reflete uma tendência demográfica significativa no distrito. Dados do INE (2023) indicam que a população do distrito de Marrupa tem ligeiramente mais homens (51.4%) do que mulheres (48.5%), e uma população maioritariamente jovem, isto é, 40% de todos os habitantes do distrito.

Figura 1. Pirâmide etária da população do distrito de Marrupa



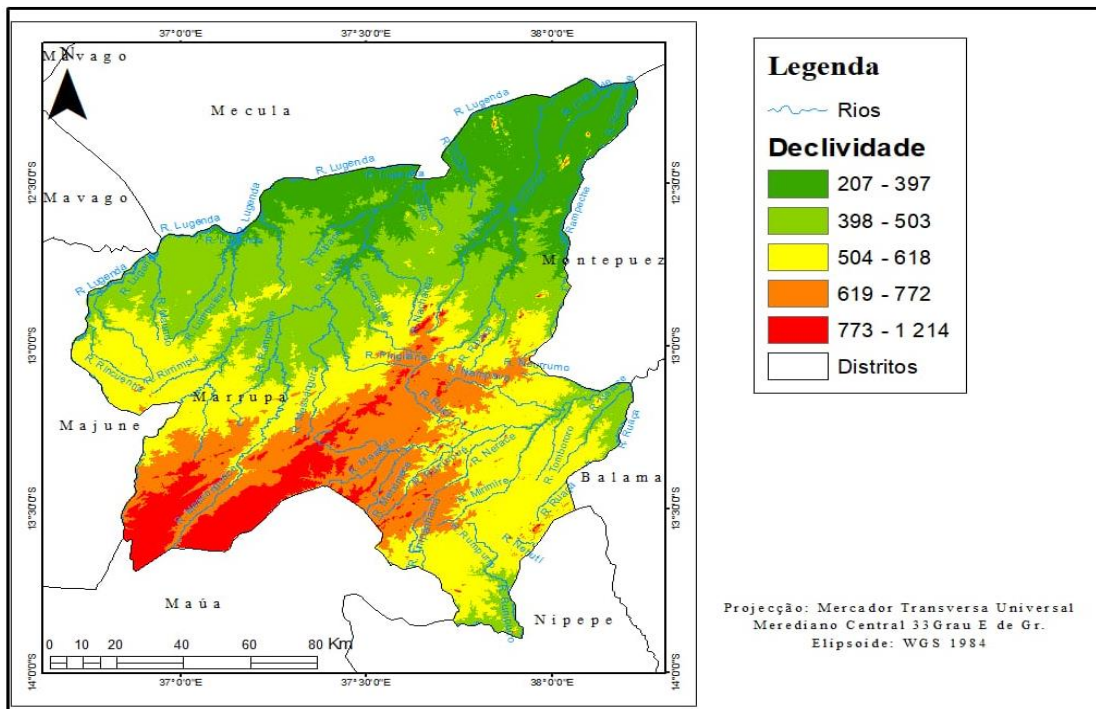
Fonte: Autor, com base nos dados de INE de 2023

8.3 Características físico-naturais

8.3.1 Relevo

O relevo do distrito de Marrupa é de planície em quase todo o distrito. Destacam-se algumas formações montanhosas na região Central e Sul, cujas altitudes não ultrapassam o 1.300 m. A zona Central é mais acidentado e inclui numerosas elevações e linhas de água que correm para Leste. A oeste compreende uma faixa de planícies com numerosas zonas pantanosas, que se estendem para o Sudoeste do distrito (MAE, 2005).

Mapa 2: Relevo do distrito de Marrupa

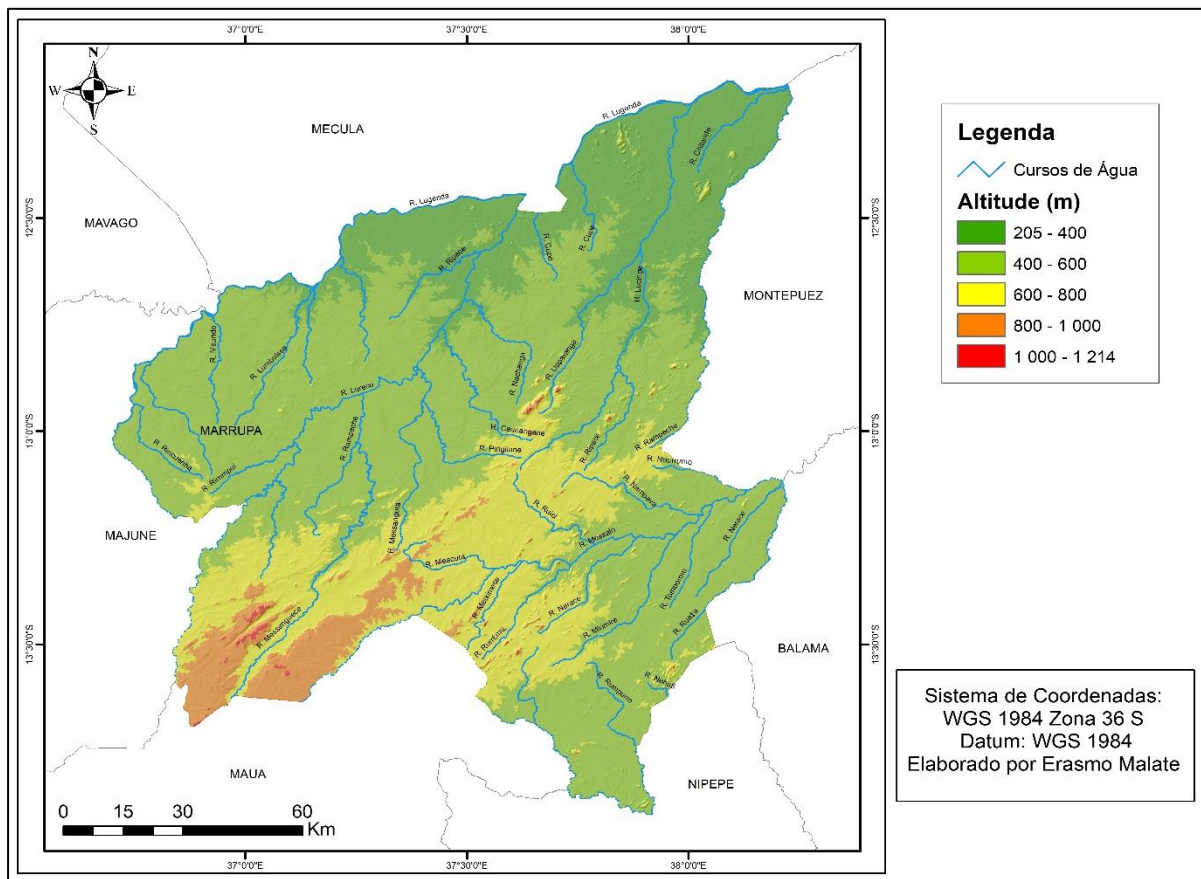


Fonte: Autor com base no MDE

8.3.2 Hidrografia

A rede hidrográfica do distrito de Marrupa compreende numerosos rios e pântanos, destacando-se as seguintes bacias: Lugenda – que faz limite a norte com os distritos de Mavago, tem como afluentes o Lumbuisse, Rereco/Lureco e Lucinge, na sua margem directa; Messalo – que atravessa o distrito na região Sul, tendo os seguintes afluentes: Rumpuro, que corre em direcção ao Norte, estabelecendo limite com os distritos de Nipepe e Balama, este último da Província de Cabo Delgado (MAE, 2005).

Mapa 3: Hidrologia do distrito de Marrupa

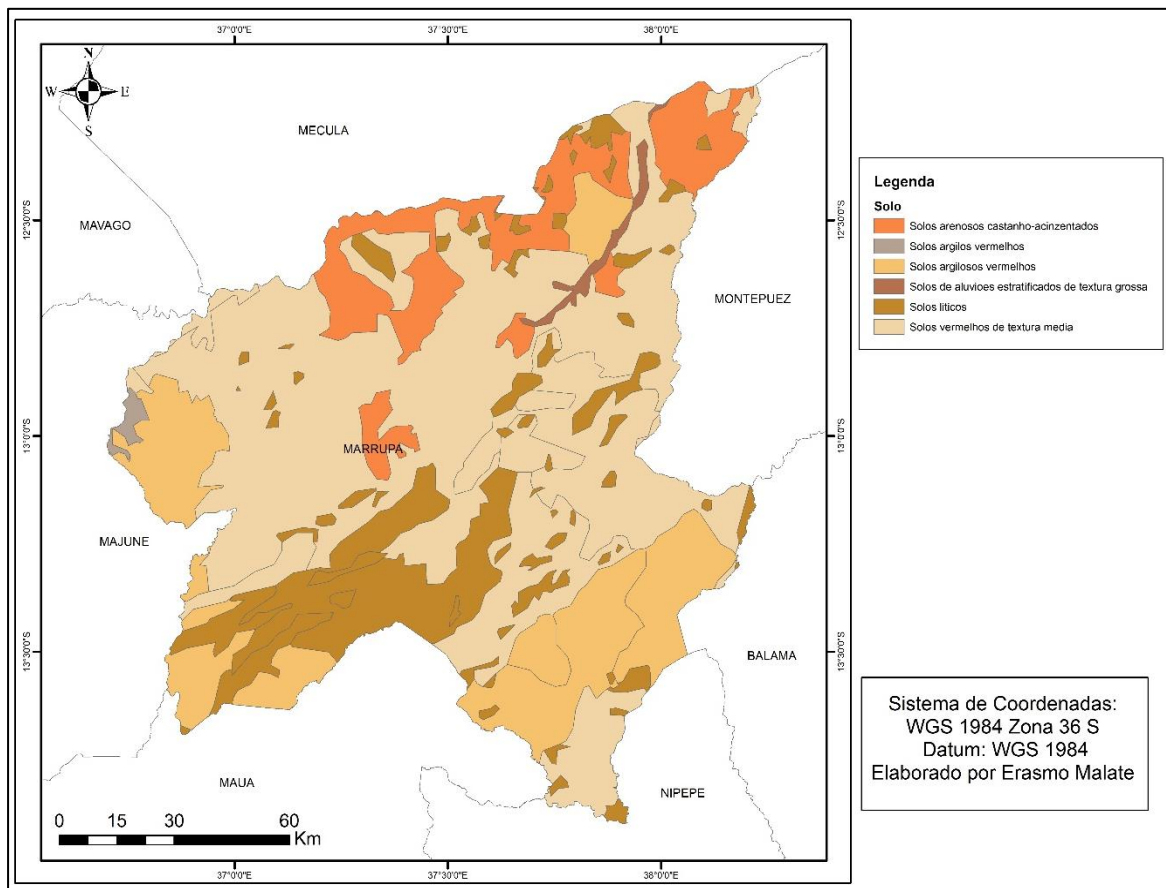


Fonte: Autor com base no MED

7.2.3. Solos

Os solos do distrito de Marrupa são predominantemente vermelhos de textura média e profundo, com uma boa permeabilidade e bem drenados, com fertilidade baixa e susceptíveis a erosão, excepto na região Sudeste, onde se desenvolvem solos castanhos. Em pequena extensão a Este ao longo dos vales e zonas pantanosas os solos predominantes são aluvionares, escuros, profundos, de textura pesada e média, moderadamente mal drenados e desenvolvem-se solos hidromórficos, férteis para a cultura de arroz. (EDM, 2021)

Mapa 4: Solos de Marrupa



Fonte: Autor com recurso a dados do INIA

8.3.3 Clima

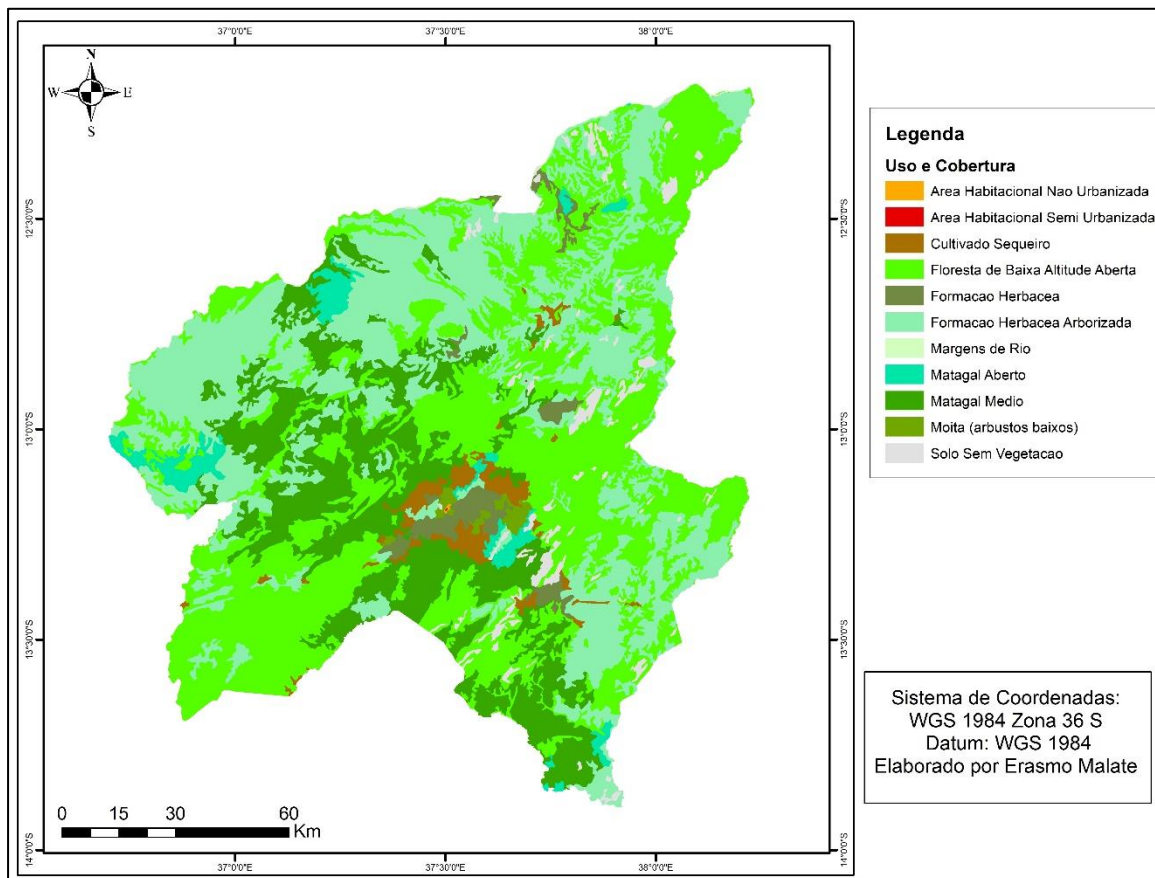
Segundo a classificação climática de Köppen, o clima de distrito de Marrupa é tropical húmido (AW) com duas estações distintas, nomeadamente, estação húmida que ocorre entre as meses de setembro a Março e uma, estação seca de Abril a Agosto. A temperatura média anual varia de 22° a 24° C. A precipitação anual varia de 1000 a 1400 mm, podendo atingir os 1600mm. O excesso de chuva tem causado enormes prejuízos à agricultura, que predominantemente é de sequeiro. A humidade relativa média anual é de 71,1% (MAE, 2005).

8.3.4 Uso e Cobertura da Terra

Segundo MAE (2005), a cobertura vegetal no distrito de Marrupa é muito heterogênea. Destacam-se as florestas numa pequena faixa a sul do distrito e um núcleo constituído por pradaria, junto ao limite com a província de Cabo Delgado. Ao longo dos rios pode-se encontrar a floresta de galeria, mas em associações muito pequenas e pouco numerosas. As restantes partes do distrito são cobertas por matagais, cuja cobertura é muito variada em função dos níveis de água e tipos de solos.

O mapa 5 de uso e cobertura da terra no distrito de Marrupa evidencia uma predominância de matagal médio e aberto, florestas de baixa altitude e formações herbáceas arborizadas, especialmente nas áreas centrais e ao norte do distrito. As zonas de cultivo de sequeiro encontram-se dispersas, especialmente em áreas próximas às formações herbáceas. As áreas de solo sem vegetação ou com pouca cobertura, que são potenciais focos de erosão, estão localizadas nas zonas de transição entre formações herbáceas e matagal. A distribuição irregular da vegetação, com concentrações mais densas nas zonas de matagal e menor cobertura nas áreas agrícolas e florestais abertas, pode influenciar directamente a suscetibilidade à erosão, sendo que as áreas com menor cobertura vegetal estão mais expostas à acção dos ventos e das águas pluviais, aumentando o risco de erosão dos solos em encostas e margens de rios, onde a cobertura é mais escassa.

Mapa 5. Uso e cobertura da terra do distrito de Marrupa



Fonte: Autor com recurso a dados do CENACARTA

Capítulo IV

9 Metodologia

O objectivo deste capítulo é descrever os métodos e procedimentos que serão utilizados para execução do presente projecto. As técnicas e os procedimentos metodológicos para execução do presente projecto, fundamentam-se na pesquisa descritiva e explicativa. Segundo Pradanov e Freitas (2013), a pesquisa descritiva é aquela que pesquisador apenas regista e descreve os factos observados sem interferir neles, e visa a descrever as características de determinada população ou fenómenos ou o estabelecimento de relações entre as variáveis. Já na pesquisa explicativa, procura analisar e explicar os factos e as causas que contribuem para ocorrência da erosão no distrito de Marrupa, onde serão indicados os principais problemas, resultantes de diferentes actividades dos agentes existentes naquela área de estudo.

Para o alcance dos objectivos desta pesquisa, será utilizado o método cartográfico, que envolve a elaboração de mapas temáticos com o suporte de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Esses mapas permitirão analisar os diversos factores que influenciam a erosão do solo. Para este projecto, os principais factores considerados na ocorrência de erosão serão: topografia (para derivação da declividade e comprimento da encosta), precipitação, tipos de solo e uso e cobertura da terra.

A identificação das áreas com alto risco de erosão no distrito de Marrupa será realizada por meio da adaptação do modelo SLEMSA. Este modelo prevê a perda anual de solo devido à erosão e é amplamente reconhecido por sua utilidade na distinção entre áreas com alto e baixo potencial de erosão (Cumbane, 2012). A aplicação do modelo incluirá a análise dos principais factores que consideramos influentes para a ocorrência da erosão que são: o factor topográfico (declividade e comprimento da encosta), o factor erosividade (associado à precipitação), o factor erodibilidade (relativo às características dos solos) e o uso e cobertura da terra.

Para atingir os objectivos traçados, este projecto será executado obedecendo as seguintes fases:

9.1 1ª Fase: Pesquisa bibliográfica

A revisão bibliográfica constitui a primeira etapa para a materialização do trabalho, pois ilustra diferentes abordagens de vários autores (artigos científicos, teses, dissertações, livros e tutoriais) sobre o tema em análise. A pesquisa bibliográfica permite identificar os factores responsáveis pela ocorrência de erosão na área de estudo. Essa face desempenhou um papel fundamental no respaldo teórico, proporcionando aprofundamento nos conceitos e teorias

abordados no estudo. Sua finalidade é colocar o pesquisador em contacto directo com tudo o que foi escrito, dito ou filmado sobre determinado assunto. De acordo com Lakatos e Marconi (2003), a pesquisa bibliográfica, abrange toda bibliografia já tornada pública em relação ao tema de estudo, desde publicações avulsas, boletins, jornais, revistas, livros, pesquisas, monografias, teses, material cartográfico etc.

9.2 2ª Fase: Recolha de Dados

A fase de recolha de dados é crucial para a obtenção dos factores que influenciam a erosão no distrito de Marrupa. Serão colectados dados de várias fontes confiáveis, que contribuirão para a identificação das áreas mais susceptíveis à erosão. Cada factor relevante para o modelo de risco será obtido e processado de forma criteriosa, conforme descrito a seguir:

Solos: O factor erodibilidade será determinado com base nas diferentes tipologias de solo presentes no distrito de Marrupa. A análise dos solos será realizada a partir da base de dados das tipologias e características dos solos fornecidos pelo Instituto Nacional de Investigação Agrária (INIA). As características de resistência de cada tipo de solo ao processo erosivo serão examinadas e, posteriormente, reclassificadas em função de sua vulnerabilidade à erosão, conforme a Tabela 6 (apresentada mais adiante). Essa reclassificação será fundamental para a elaboração de um mapa temático de erodibilidade, que indicará as áreas mais propensas à erosão com base nas propriedades físico-químicas dos solos.

Topografia: os dados referentes à topografia serão derivados de um Modelo Digital de Elevação (MDE), que é essencial para entender a topografia da área de estudo. Para este projecto, será utilizado o MDE produzido pela *Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM)*, com uma resolução espacial de 30 metros, disponibilizado gratuitamente pela NASA. O modelo será baixado a partir da plataforma *Earth Explorer* da U.S. *Geological Survey (USGS)* (<http://earthexplorer.usgs.gov/>). A ferramenta *Slope* do ArcGIS 10.8 será utilizada para calcular a declividade, que é um factor chave para estimar o impacto da topografia no risco de erosão. E também será utilizado a ferramenta *Flow Direction* para determinar o comprimento da encosta. Essas variáveis serão incorporadas ao modelo de erosão para determinar as áreas mais inclinadas e, portanto, mais propensas à erosão.

Clima: quanto ao clima serão usados dados relacionados à precipitação, essenciais para o cálculo do factor erosividade, que mede a intensidade do impacto da chuva sobre o solo. Esses dados serão adquiridos da *Climatic Research Unit (CRU)* e processados por meio de interpolação das taxas de precipitação média anual. O método de interpolação utilizado será o

Inverse Distance Weighting (IDW), aplicado no ArcGIS 10.8, que cria uma superfície contínua de precipitação estimada com base em dados pontuais. Esta abordagem permitirá que se crie um mapa temático de erosividade, que refletirá as áreas do distrito de Marrupa mais sujeitas ao impacto da chuva, contribuindo para a identificação de zonas de alto risco de erosão.

Uso e cobertura da terra: O uso e cobertura da terra serão mapeados a partir de imagens de satélite do Landsat 8, capturadas em 2024. As imagens do sensor *Operational Land Imager* (OLI), órbita/ponto 168/73, serão obtidas gratuitamente da plataforma *Earth Explorer* da USGS (<http://earthexplorer.usgs.gov/>). A classificação da cobertura da terra será realizada no software ArcGIS 10.8, utilizando uma classificação supervisionada com o algoritmo de máxima verossimilhança. Esse algoritmo será aplicado para distinguir diferentes tipos de uso do solo (como áreas urbanizadas, florestas, pastagens, etc.) com base nos padrões espectrais detectados nas imagens. A nomenclatura utilizada para a classificação seguirá as diretrizes do CENACARTA, permitindo a identificação precisa das áreas de vegetação densa e aquelas mais expostas, que apresentam maior risco de erosão.

9.3 3ª Fase: Reclassificação dos Factores (declividade, erosividade, erodibilidade e uso e cobertura de terra)

Nesta fase, será realizada a reclassificação dos factores que influenciam a erosão no distrito de Marrupa, com o objectivo de criar um mapa detalhado das áreas com maior nível de risco de erosão. Para tal, serão utilizadas as funções *Reclassify* (para camadas raster) e *Add Field* (para camadas vetoriais) no ArcGIS 10.8. Esse processo permitirá hierarquizar os factores de acordo com seu grau de influência na erosão e, em seguida, integrar essas variáveis através do *Raster Calculator*. Os factores considerados para o modelo serão:

a) Factor topográfico

O factor topográfico, representado pela declividade e comprimento de encosta será derivado do MDE, conforme já descrito na fase anterior. A declividade será obtida utilizando a ferramenta *Slope* do ArcGIS 10.8 e refinada com a função *TopoToRaster*. Este factor é crucial, pois terrenos com declividades mais acentuadas tendem a ser mais vulneráveis à erosão devido à maior velocidade do escoamento superficial. A classificação da declividade será realizada com base na metodologia estabelecida pela FAO (1983), citado por Cumbane (2012). Esta metodologia categoriza a declividade 4 classes diferentes (Tabela 3), que indicam o potencial de erosão associado a cada faixa de inclinação. Quanto ao comprimento da encosta L, será determinado a partir de fluxo de acumulação em *buffer's* de 100 m das linhas de água.

Tabela 3. Classes de declividade dos solos

Limites de classes (%)	Descrição
< 6	Muito Baixo
6 – 12	Baixo
12 – 20	Moderado
20 – 30	Alto
> 30	Muito Alto

Fonte: Cumbane, 2012

A declividade (S) e o comprimento da encosta (L), derivados do modelo digital de elevação, serão combinados para calcular o factor topográfico (SL). Esse factor será obtido através da aplicação da fórmula descrita por Campos e Cardoso (s.d.), que é a seguinte:

$$LS = 0.00984L^{0,63} S^{1,18} \dots\dots\dots (5)$$

Onde: L = Comprimento da encosta (m)

S = declividade (%)

b) Factor erosividade

O factor erosividade está relacionado à intensidade e volume da precipitação, um dos principais agentes desencadeadores da erosão. Os dados de precipitação serão processados, conforme descrito na fase de colecta de dados, para calcular o índice de erosividade. Este índice será determinado com base nos valores da precipitação anual, interpolados através do método IDW no ArcGIS 10.8. A erosividade será então reclassificada de acordo com a intensidade da precipitação, refletindo as áreas com maior ou menor risco de erosão em função da chuva. As classes de erosividade serão atribuídas com base em limites predefinidos, permitindo que as áreas com maiores índices de precipitação recebam pesos maiores no modelo de risco de erosão (Tabela 4).

Tabela 4. Classes do índice de erosividade das chuvas obtido através do cálculo do factor R

Limites de classes da precipitação (mm)	Grau erosividade
<500	Muito baixo
<500 – 750	Baixo
750 – 1000	Forte
>10000	Muito forte

Fonte: Cumbane, 2012

c) Factor erodibilidade

O factor erodibilidade refere-se à susceptibilidade dos solos à erosão, influenciada pelas características físicas e químicas dos mesmos, como a textura, estrutura, drenagem e conteúdo de matéria orgânica. Neste projecto, a erodibilidade será determinada com base nos diferentes tipos de solos identificados no distrito de Marrupa, conforme os dados fornecidos pelo INIA (1995). Cada tipo de solo será classificado de acordo com sua resistência à erosão. Por exemplo, solos argilosos, com maior coesão, apresentam menor erodibilidade, enquanto solos arenosos, com menor retenção de água, são mais susceptíveis ao processo erosivo. Após a análise das características de cada solo, os mesmos serão reclassificados em categorias de erodibilidade, que variam de baixo a muito forte, conforme detalhado na Tabela 5.

Tabela 5. Classes de índice de erodibilidade do solo

Tipos de solos	Classes de erodibilidade
solos argilos vermelhos; solos argilosos vermelhos	Baixo
solos de aluviões estratificados de textura grossa e solos vermelhos de textura média	Moderado
solos arenosos castanhos-acinzentados	Forte
Solos líticos	Muito forte

Fonte: adaptado por autor

d) Factor uso e cobertura da terra

O factor uso e cobertura da terra será obtido a partir da classificação de imagens de satélite do Landsat 8 (2024), utilizando o sensor *Operational Land Imager* (OLI). A classificação será realizada no ArcGIS 10.8, empregando uma classificação supervisionada com o algoritmo de máxima verossimilhança. Esse processo permitirá diferenciar as diversas classes de uso e cobertura da terra no distrito de Marrupa, com base nos padrões espectrais detectados nas imagens. A nomenclatura utilizada para a classificação seguirá as diretrizes estabelecidas pelo CENACARTA.

Cada tipo de uso e cobertura da terra será reclassificado de acordo com seu impacto no risco de erosão. Áreas sem cobertura vegetal, como solos expostos e rochosos, receberão pesos mais elevados, pois são mais vulneráveis à erosão. Em contraste, áreas com florestas ou vegetação densa, que actuam como barreira natural contra a erosão, serão classificadas com pesos mais baixos. Essa reclassificação permitirá uma análise detalhada da influência do uso da terra no processo erosivo, conforme descrito na Tabela 6.

Tabela 6. Classes de Uso e cobertura da terra

Classe	Descrição	Classe de Uso e Cobertura
Mangais (localmente degradados)	Áreas costeiras com vegetação de mangue, apresentando degradação devido a actividades humanas ou naturais.	Fraco
Moita (Arbustos Baixos)	Terrenos dominados por arbustos baixos variando de 50 cm a 2 metros de altura, ocorrendo em áreas com condições edáficas e climáticas limitantes.	Fraco
Matagal Médio	Formações de arbustos de 3 a 5 metros de altura, com árvores emergentes até 10 metros, e cobertura do topo entre 10% e 20%.	Muito Fraco
Formação Herbácea Inundável	Terrenos cobertos por capim e ervas, inundados durante parte do ano.	Fraco
Floresta de Baixa Altitude Aberta	Floresta com árvores espaçadas, cobertura da copa entre 40% e 70%, permitindo entrada de luz suficiente para um estrato herbáceo denso.	Muito Fraco
Formação Herbácea Arborizada	Terrenos com cobertura de plantas lenhosas entre 10% e 40%, incluindo árvores, arbustos, palmeiras ou arbustos baixos.	Muito Fraco
Solo sem Vegetação	Áreas sem cobertura vegetal, incluindo solos lamacentos, salobros, rochosos ou arenosos.	Muito Forte
Área Habitacional Não Urbanizada	Regiões residenciais sem infraestrutura urbana desenvolvida.	Muito Forte
Formação Herbácea Inundada	Terrenos com cobertura herbácea, permanecendo em água superficial mesmo durante a época seca.	Forte
Cultivado Sequeiro	Áreas de cultivo dependentes da precipitação natural, sem irrigação.	Forte
Matagal Aberto	Terrenos com pelo menos 40% de cobertura de arbustos, frequentemente associados a actividades humanas passadas como fogo e pastoreio.	Baixo
Formação Herbácea Degradada Inundável	Áreas inundáveis com severas limitações edáficas, resultando em menos de 50% da superfície coberta por capim.	Moderado
Formação Herbácea	Terrenos cobertos por capim e outras ervas, com menos de 10% de cobertura de plantas lenhosas.	Baixo
Área Habitacional Semiurbanizada	Áreas residenciais com alguma infraestrutura urbana, mas ainda em desenvolvimento.	Forte
Floresta de Baixa Altitude Fechada	Floresta densa com árvores formando uma copa contínua, cobrindo pelo menos 70% da superfície.	Muito Baixo
Lagos e Lagoas	Corpos de água naturais, incluindo lagos e lagoas.	Nulo

Fonte. Adaptado por autor com base no CENACARTA

9.4 4ª Fase: Produção do mapa de áreas de risco à erosão do solo

Nesta fase, será gerado o mapa de áreas de risco à erosão no distrito de Marrupa através da integração dos factores previamente reclassificados: topografia (declividade e comprimento da encosta), erosividade, erodibilidade e uso e cobertura da terra. O processo será conduzido utilizando a técnica de álgebra de mapas, permitindo a combinação ponderada dessas variáveis em um modelo espacial que indica o nível de risco de erosão em diferentes áreas.

9.4.1 Integração e Harmonização das Variáveis

Após a reclassificação dos factores, todas as camadas serão convertidas para o formato raster utilizando a ferramenta *Conversion Tools > Polygon to Raster* no ArcGIS 10.8. Essa conversão é necessária para harmonizar os dados e garantir que todas as variáveis estejam no mesmo formato, permitindo a aplicação de operações matemáticas e a integração dos diferentes factores. Com as camadas rasterizadas, será utilizado o *Raster Calculator* para aplicar pesos específicos a cada variável, com base na sua influência no processo erosivo. Esses pesos foram definidos com base na literatura científica e nas características locais. A equação (6) previamente elaborada para o cálculo do risco de erosão será a seguinte:

$$\text{Risco de erosão} = (\text{Factor Topográfico} * 0.35) + (\text{Uso e cobertura da terra} * 0.25) + (\text{Erosividade} * 0.20) + (\text{Erodibilidade} * 0.20) \dots\dots\dots (6)$$

Nesse modelo, o factor topográfico recebe o maior peso (0.35), devido o seu papel crucial no escoamento superficial e na susceptibilidade à erosão. O uso e cobertura da terra é o segundo factor mais importante (0.25), uma vez que áreas desprotegidas por vegetação são significativamente mais vulneráveis à erosão. A erosividade (0.20), derivada da precipitação, e a erodibilidade (0.20), referente à vulnerabilidade dos solos, também são fundamentais para o cálculo do risco.

9.4.2 Validação do Mapa de Risco de Erosão

Após a geração do mapa de risco de erosão, será realizada uma validação rigorosa para garantir que o modelo reflita com precisão as condições reais de erosão no terreno. Essa validação será feita através da comparação dos resultados do modelo com dados de campo, isto é, observações directas realizadas nas áreas mapeadas como de alto risco, verificando se a erosão ocorre conforme indicado pelo modelo e com imagens históricas do Google Earth, uma vez que análise de imagens históricas de satélite pode evidenciar padrões de erosão, permitindo comparar o comportamento passado com as previsões do modelo actual. Essa comparação entre os resultados modelados e os dados reais é essencial para ajustar o modelo, caso sejam

identificadas inconsistências. Se necessário, serão realizadas correções nos pesos atribuídos às variáveis ou nos critérios utilizados para o cálculo do risco de erosão, com o objectivo de refinar e aumentar a confiabilidade do mapa final.

Por fim, para garantir uma melhor apresentação e clareza dos resultados, será aplicada a função *Majority Filter* no mapa raster para suavizar pequenas variações e melhorar o *layout*. Finalmente, as classes dos níveis de risco de erosão serão vetorizadas utilizando a ferramenta *Raster to Polygon*, possibilitando a criação de um mapa final detalhado e visualmente claro para a análise das áreas de maior e menor risco de erosão no distrito de Marrupa. Este mapa final servirá como uma ferramenta essencial para a identificação e monitoramento de áreas de alto risco de erosão, apoiando decisões sobre gestão ambiental e planeamento do uso da terra no distrito de Marrupa.

10 Resultados Esperados

Os resultados esperados deste projecto visam fornecer um panorama sobre a distribuição espacial do risco de erosão no distrito de Marrupa, permitindo identificar as áreas de maior risco e orientar estratégias de mitigação e conservação do solo. A seguir, estão descritos os principais resultados esperados:

- **Mapa de Risco de Erosão:** O principal produto deste estudo será um mapa temático de risco de erosão, elaborado com base na integração dos factores influentes (declividade, erosividade, erodibilidade e uso e cobertura da terra). Este mapa permitirá a visualização clara das áreas de alto, médio e baixo risco de erosão no distrito de Marrupa. Espera-se que este mapa seja uma ferramenta eficaz de gestão ambiental, proporcionando subsídios para a tomada de decisões no âmbito da gestão sustentável dos recursos naturais.
- **Propostas para Mitigação do Risco de Erosão:** A partir dos resultados obtidos, será possível elaborar propostas de mitigação para as áreas mais afectadas pela erosão. Essas propostas incluirão recomendações como: práticas de conservação do solo (ex.: terraceamento, cobertura vegetal), reflorestamento de áreas críticas, manejo sustentável do uso da terra, com o incentivo ao uso de práticas agrícolas de baixo impacto ambiental. Espera-se que as recomendações geradas contribuam para a sustentabilidade ambiental da região, protegendo as áreas vulneráveis e reduzindo os impactos da erosão sobre os recursos naturais e as actividades socioeconómicas locais.

- Ferramenta de Apoio para Planos e Políticas Públicas: Espera-se que o mapa final e os resultados analíticos do risco de erosão possam servir como uma ferramenta estratégica para a formulação de planos voltadas para a gestão territorial e a conservação do solo no distrito de Marrupa. As autoridades locais e gestores ambientais poderão utilizar essas informações para monitorar áreas de risco e implementar programas de manejo sustentável, priorizar intervenções em zonas mais críticas, estabelecer regulamentos para o uso adequado da terra.
- Contribuição Científica: Este projecto também tem como resultado esperado uma contribuição científica para o estudo de erosão em regiões tropicais. A aplicação do modelo SLEMSA e a utilização de técnicas de geoprocessamento, como SIG, serão documentadas e poderão servir de base para estudos futuros.

Capítulo V

11 Cronograma de actividades

O cronograma de actividades detalha todos os procedimentos mencionados na metodologia de forma resumida, descrevendo as acções a serem desenvolvidas ao longo do período estimado para a conclusão do projecto. Este projecto será executado em um período de 5 meses, de janeiro a maio de 2025. As actividades previstas incluem constam na tabela 7.

Tabela 7. Cronograma de actividades

Cronograma de actividades		Ano de 2025				
N/O	Actividades	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio
1	Pesquisa bibliografia					
2	Recolha de dados					
3	Criação de base de dados					
4	Processamento dos dados					
5	Trabalho de Campo					
5	Análise dos dados/Validação dos dados e correções					
6	Elaboração do relatório					
7	Correções do relatório e entrega da versão final					

Fonte: Elaborado pelo autor

12 Recursos/Orçamento

Para a execução do presente projecto, serão necessários diversos recursos, incluindo equipamentos e deslocamentos. Os principais itens incluem um computador com plataformas de SIG instaladas (ArcGIS 10.8), deslocamento ao campo para validação dos resultados, um canudo e uma carta topográfica para estudo do terreno, um GPS para obtenção das coordenadas no campo e um caderno de notas. O custo total do projecto foi estimado em 178 662 MTs. A tabela 8 mostra de forma detalhada o orçamento necessário para a realização da pesquisa.

Tabela 8. Recursos/Orçamento

Nº	Recursos	Unidades	Montante Total em (MT)
1	Computador	1	25 000
2	Deslocação para Campo (incluindo, transporte, alimentação, hospedagem, guia de campo)	3	120 000
3	Canudo e carta topográfica	1	1000
4	GPS	1	15 000
5	Caderno de notações	1	70
6	Caneta	5	50
7	Impressão do relatório (paginas a cores e preto branco)	4 Relatórios	1000
8	Encadernação do relatório	4 Relatórios	300
Subtotal	-----	-----	162 420
	Contingência (10%)	-----	16 242
Total		-----	178 662

Fonte: Elaborado pelo autor

13 Referências bibliográficas

BAGIO, B. (2020). *Relação da erosão hídrica com sistema de manejo do solo e com comprimento de declive*. Universidade de Estado de Santa Catarina – Centro de ciências Agroveterinárias. Lages, SC.

BIGARELLA, *et al.* (2003). *Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais*. Vol. 3, Ed. UFSC; Florianópolis.

CAEIRO, S. (2013). *Sistema de informação geográfica: principais conceitos*. Universidade Aberta.

CÂMARA, G. *et al.* (1996). *Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica*. Campinas: UNICAMP.

CARVALHO, C. M. B. (2007). *Geomorfologia: Licenciatura em Geografia*. Faculdade de tecnologia e ciências – ensino a distancia. Bahia.

CECCATO, H. D. (2018). *Processo erosivo: Estudo de caso da estrada de acesso a cascata do Salso – Caçapava do Sul*. Universidad Federal do Pampa. Rio Grande do Sul – Brasil.

CENACARTA. (1999). *Base topográfica simplificada e uso e cobertura da terra digitalizada a escala 1:250 000. Projecto de mapeamento de uso e cobertura de terra de Moçambique*.

CHUQUIPIANDO, I. G. (2007). *Avaliação da estimativa do potencial de erodibilidade de solos nas margens de cursos de águas: Estudo de caso trecho de vazão capim Branco*. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte.

COVELE, P & NUNES, A.Z. (2018). *Teledetecção II e III ano. Curso de geografia. Universidade Eduardo Mondlane*. Faculdade de letras e ciências sociais. Departamento de Geografia. Maputo.

COWEN, D. J. (1988). *GIS versus CAD versus DMBMS: What are the differences? American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*. Department of Geography and SBS Lab. Columbia: University of South Carolina.

CUMBANE, B. L. (2012). *Aplicação de sistema de informação geográfica para a determinação do potencial natural de erosão dos solos no distrito de Sussundenga – Moçambique*. Universidade técnica de Lisboa.

EDM (2021). *Avaliação de impacto ambiental e social (AIA) para o projecto de expansão da rede de energia através da linha de 220k de metoro – Montepuez – Marrupa*. Relatório e estudo de pré-viabilidade ambiental e definição de âmbito (EPDA). Maputo.

EDUARDO, E.N. (2012). *Determinação da erodibilidade e do factor cobertura do solo sob condições de chuva natural e simulada*. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica. Rio de Janeiro – RJ.

IBGE (2023). *Manuais Técnicos em geociência. Manual técnico de uso da terra*. 3ª. Edição. Rio de Janeiro.

INE. (2009). III Recenseamento Geral da População e Habitação, 2007: Resultados Definitivos. Maputo, Moçambique.

INE. (2019). Boletim de Estatísticas Demográficas e Sociais da Maputo Cidade 2019. INE-Delegação de Maputo Cidade. Moçambique.

INE (2023). *Estatísticas do distrito de Marrupa*. Delegação provincial de Niassa.

INE (2024). *Estatísticas do distrito de Marrupa, 2019 -2023*. Delegação Provincial de Niassa. INE: Direcção de Integração, Cooperação e Relações Externas.

LAKATOS, E. M. e MARCONI. (2003). *Fundamentos de metodologia científica*. 5ª.ed. ATLAS S.A. São Paulo.

LALÁ, A. e CAPELA, D. (2016). *Mapeamento Inicial MuniSAM (Programa de Monitoria de Responsabilização Social ao Nível dos Municípios)*. Município de Marrupa. Programa de Responsabilização Social nos Municípios. Marrupa

LIMA, M. C. (2003). *Degradação Físico-Química e Mineralógica de maciço junto às voçorocas*. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Distrito Federal. Brasília

LIMA, V. C.; LIMA, M. R. & MELO, V. F. (2007). *O solo no meio ambiente. Abordagem para professores do ensino fundamental e médio e alunos do ensino médio*. Projecto de extensão universitária solo na escola. Universidade Federal do Paraná. Curitiba – PR.

MACIA, C.J. (2001). *A erosão do solo na cidade de Chibuto e arredores*. Universidade Eduardo Mondlane. Departamento de Geografia. Maputo.

- MAE (2005). *Perfil do distrito de Marrupa* – Província de Niassa. 5ª Edição.
- MAEFP. (2020). *Diagnostico integrado de infra-estruturas e serviços básicos para municípios da província de Niassa: Município de Marrupa*. Projecto Nº: P163989. Concurso Nº MZ-MAEF-69344-CS-CQS-NIASSA. Moçambique - Maputo.
- MARTINS, J. C. e FERNANDS, R. (2017). *Processos de degradação do solo – medidas de prevenção*. Dossier Técnico. Instituto nacional de investigação agraria e veterinária. I.P.
- MENESES, B. M. C. S. (2011). *Erosão hídrica de solo: Caso de Estado do conselho de Tarouca. Área de especialização em detecção remota e sistema de informação Geográfica*. Faculdade de ciências sociais e humanas. Universidade nova de Lisboa. Lisboa
- MICOA (2007). *Plano de acção para a prevenção e controle da erosão de solo 2008 - 2018: 32º sessão do conselho de ministro*. Moçambique - Maputo
- MMA (2007). *Vulnerabilidade ambiental. Desastres naturais ou fenómenos induzidos*. Instituto do meio ambiente e dos recursos naturais renováveis – Brasília.
- MOPHRH (2020). *Guião metodológico para elaboração de planos de mitigação e riscos: drenagem, enchentes e erosão*. Projecto de desenvolvimento urbano e local – PDUL. Moçambique - Maputo.
- NANJOLO, L & ABDUL, L. (2003). *A Terra – processos e Fenómenos*. Geografia 11ª classe
- PREVEDEL, D. (2021). *Entenda as causas da degradação do solo e como evitar uma ocorrência. Degradação do solo: o que causa, quais as consequências para a agricultura, como recuperar um solo degradado e mais*.
- PRODANOV, C.C. & FREITAS, E. C. (2013). *Metodologia do Trabalho científico: Metodos e técnicas da pesquisa e do trabalho académico*. 2ª Edicao. Universidade Feevale. Novo Hamburgo – Rio Grande do Sul – Brasil.
- RIBEIRO, et al., (2013). *Informações geoespaciais para a gestão dos recursos naturais do “Corredor de Maputo” – Moçambique*. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE.
- SILVA, M. S. L. (1995). *Estudos da erosão*. Petrolina – PE.
- SOARES, M. L. (2014). *Comparação entre modelos digital de elevação para aplicação em mapeamento digital de solos*.