

**EMMANUEL LUNGAS DA COSTA ARSÉNIO**

**APLICAÇÃO DOS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA NA PRODUÇÃO  
DE CARTOGRAFIA DE RISCO DE RAVINAS EM ANGOLA**

**CASO DE ESTUDO: A CIDADE DO LUENA - MOXICO  
(LESTE DE ANGOLA)**



**UNIVERSIDADE DO ALGARVE**  
Faculdade de Ciências e Tecnologia

**2018**

**EMMANUEL LUNGAS DA COSTA ARSÉNIO**

**APLICAÇÃO DOS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA NA PRODUÇÃO  
DE CARTOGRAFIA DE RISCO DE RAVINAS EM ANGOLA**

**CASO DE ESTUDO: A CIDADE DO LUENA - MOXICO  
(LESTE DE ANGOLA)**

**Mestrado em Geomatica - Análise de Sistemas Ambientais**

**Trabalho efetuado sob a orientação de:**

Prof. Doutora Helena Maria Neto Paixão Vazquez Fernández Martins

Prof. Doutor Fernando Miguel Granja Martins



**UNIVERSIDADE DO ALGARVE**

Faculdade de Ciências e Tecnologia

**2018**

## Declaração de autoria do trabalho

Declaro ser o autor deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da listagem de referências incluída.

---

Emmanuel Lungas da Costa Arsénio

© *Copyright:*

A Universidade do Algarve tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicitar este trabalho através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, de o divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

## **Agradecimentos**

Agradeço a Deus, Pai todo-poderoso que mais uma vez permitiu que eu fizesse este trabalho, deu-me forças e permitiu que o concluísse.

A minha esposa e ao meu filho, ao meu Pai (homenagem póstuma), a minha Mãe e irmãos, aos colegas de trabalho e um muito obrigado especial ao colega Alexandre Correia, que muitas vezes usou do seu pouco tempo para me esclarecer algumas dúvidas que surgiram durante a utilização do ArcGIS.

Aos colegas de Angola que encontrei no Algarve, Eduardo Panguila, Suzana Nicolau, Nelson Baião, Mirien Sousa, Eunice Cassoma, Domingas Perpétua e à Canga Gomes, o meu muito obrigado pelo companheirismo.

Aos funcionários do gabinete de relações internacionais da UAlg, especialmente à Dr.<sup>a</sup> Carla Mendes Ferro, pela sua simpatia e profissionalismo, sem esquecer a Dr.<sup>a</sup> Paula Caboz, que mesmo sem a conhecer pessoalmente trocámos e-mails e sempre muito atenciosa.

Aos professores do curso de mestrado em Geomática, nomeadamente, à Doutora Cristina Veiga Pires, Doutor José Rodrigues, Doutor Carlos Otero e um obrigado especial ao Doutor Paulo Fernandes, Doutor José Paulo Monteiro, Doutora Manuela Rosa, Doutora Maribela e Doutor Carlos Guerreiro, e todos quantos deram um pouco do seu saber para me tornar na pessoa que sou hoje.

Este agradecimento especial é extensivo à Doutora Helena Fernandez e ao Doutor Fernando Martins, orientadores deste trabalho de tese.

Um agradecimento ao Professor Américo da Mata, Diretor Nacional Minas do Ministério da Geologia e Minas de Angola, pelo contributo material e moral na elaboração desta tese.

Ao Professor Doutor Manuel Domingos de Oliveira Cadete, Diretor no Ministério da Ciência e Tecnologia de Angola, pelo incentivo moral, técnico e por me ter dado a oportunidade de fazer o mestrado e ao Ministério da Ciência e Tecnologia da República de Angola, pela bolsa e dispensa das atividades laborais durante a formação.

Por último agradeço ao projeto SASSCAL” Mitigação do efeito de erosão do solo na cidade do Luena – Contenção de ravinas e gestão sustentável de solos. Ao BMBF - Ministério Federal Alemão de Educação e Pesquisa; UHH - Universidade de Hamburgo; MCT- Ministério da Ciência e Tecnologia; CNIC - Centro Nacional de Investigação Científica; Luena-Rega, S.A. - Sociedade Gestora do Perímetro Irrigado, S.A.

## Citação

*“Nos dias atuais o que mais vemos são catástrofes ambientais que cada vez mais deixam um número maior de vítimas. Mesmo assim não conseguimos ver que a natureza pede socorro.*

*Pare! Pense! Não vamos deixar que o último peixe seja pescado, que a última árvore seja cortada, que a última gota de água seja derramada para pensarmos que o passado deveria ter sido diferente. Mas vamos preservar o que temos, agora, para fazermos um futuro melhor.”*

*“Joanir Santana”*

## **Resumo**

Nos dias de hoje, as pessoas procuram sempre melhores condições de vida, isto é, os melhores locais para viverem, trabalhar e em simultâneo os mais bonitos. Não se importam com as condições de segurança que os locais oferecem do ponto de vista do terreno, isto é, a probabilidade de ocorrerem cheias e/ou inundações e deslizamentos de terra. Esta problemática é na sua grande maioria potenciada com a errónea intervenção humana, tornando-se urgente tomar medidas para minimizar os danos causados por estes fenómenos. A elaboração de cartografia específica nesta temática poderá auxiliar as instituições que têm por missão a gestão do território. Pretende-se com este trabalho de tese produzir cartografia de suscetibilidade à erosão hídrica. Este objetivo é alcançado pela integração da informação cartográfica dos estados erosivos (fator intrínseco) e da agressividade da chuva (fator extrínseco). O elemento de base do estudo é o Modelo Digital de Terreno (MDT) obtido com recurso a imagens captadas por um sensor RGB (Red Green Blue) acoplado num VANT (Veículo Aéreo não Tripulado). Este estudo é realizado na cidade do Luena da província de Moxico (leste de Angola) em três áreas com presença de ravinas.

**Palavras-chave:** Risco, MDT, Cartografia, Erosão, Ravinas

## **Abstract**

Nowadays, as people always seek better living conditions, that is, the best places to live, work and at the same time the most beautiful. Do not care about the security conditions that the sites are for the terrain view, is a probability of floods and floods and landslides. This problem is in its great majority of potential with an erroneous human intervention, making it urgent to take measures to minimize the damages caused by these phenomena. Specific mapping in the field of technology, which may be the subject of a welfare task, should be based on the work of producing susceptibility mapping to water erosion. This objective is covered by the integration of the cartographic information of the erosive states and by the aggressiveness of the rain. (Extrinsic factor). The base element of the study is the Digital Terrain Model (DTM) obtained using images captured by an RGB (Red Green Blue) sensor coupled to a UAV (Unmanned Aerial Vehicle). This study is carried out in the Luena city of Moxico province (eastern Angola) in three areas with the presence of ravines.

**Keywords:** Risk, DTM, Cartography, Erosion, Ravines.

# Índice

Introdução	1
1. Área de Estudo	3
1.1 Clima	11
1.2 População	12
1.3 Hidrografia	12
1.4 Flora	13
1.5 Relevo e Geomorfologia	14
1.6 Solos	15
2. Material e métodos	16
2.1 Processamento dos dados	19
2.2 Cartografia de suscetibilidade à erosão hídrica	23
2.2.1 Mapa de Declives	25
2.2.2 Mapa de Litofácies	25
2.2.3 Mapa de erodibilidade	27
2.2.4 Mapa de cobertura da vegetação	28
2.2.5 Mapa de ocupação do solo	29
2.2.6 Mapa de Proteção do Solo	30
2.2.7 Mapa dos Estados Erosivos	30
2.2.8 Mapa da erosividade da chuva	31
2.2.9 Mapa de suscetibilidade ao risco de erosão	36
3. Resultados e discussão	36
3.1 Mapas digitais de superfície	36
3.2 Mapa de declives	38
3.3 Mapa de litofácies	41
3.4 Mapa de erodibilidade do solo	42
3.5 Mapa da cobertura vegetal	45
3.6 Mapa de ocupação do solo	48
3.7 Mapa de proteção do solo	50
3.8 Mapa dos estados erosivos	52
3.8 Mapa da erosividade da chuva	54

3.10 Mapa de Suscetibilidade ao Risco de Erosão por Ravinas	65
4. Conclusão e desenvolvimentos futuros	69
4.1 Conclusão	69
4.2 Desenvolvimentos futuros	71
Bibliografia	73

## Índice de Figura

Figura 1 - Mapa de Angola .....	3
Figura 2 - Área de Estudo.....	4
Figura 3 - Imagem do Google Earth identificando a Ravina 1 .....	5
Figura 4 - Foto aérea da ravina 1 .....	6
Figura 5 - Imagem do Google Earth identificando a Ravina 2 .....	7
Figura 6 - Foto da ravina 2, trabalhos de contenção .....	7
Figura 7 - Imagem do Google Earth identificando a Ravina 3.....	8
Figura 8 - Fotografia aérea de pormenor da Ravina 3.....	9
Figura 9 - Evolução do processo de erosão da ravina 1, entre 2013 e 2016 .....	9
Figura 10 - Evolução do processo de erosão da ravina 2, entre 2013 e 2016 .....	10
Figura 11 - Evolução do processo de erosão da ravina 3, entre 2013 e 2016 .....	10
Figura 12 - Clima chuvoso do Leste de Angola .....	11
Figura 13 - Fotografia aérea do rio Luena .....	12
Figura 14 - Cachoeira da Chafinda no rio Luena.....	13
Figura 15 - Floresta aberta (Parque Nacional da Cameia - Moxico).....	13
Figura 16 - Floresta densa e floresta aberta com chanas (Parque Nacional da Cameia - Moxico).....	14
Figura 17 - Mapa hipsométrico e esboço geomorfológico de Angola .....	15
Figura 18 - Carta generalizada dos solos de Angola.....	16
Figura 19 - Localização das 3 ravinas e da estação meteorológica .....	17
Figura 20 - a) PHANTOM 3 standard da DJI; b) PHANTOM Advanced da DJI; c) Camara Mapir NDVI BLUE+NIR.....	18
Figura 21 - Plano de voo na ravina 2.....	19
Figura 22 - Fotografias aéreas RGB captadas pelo VANT da área de estudo ravina 1 .....	20
Figura 23 - Fotografias aéreas RGB captadas pelo VANT da área de estudo ravina 2 .....	20
Figura 24 - Fotografias aéreas RGB captadas pelo VANT da área de estudo ravina 3 .....	21
Figura 25 - Fotografias aéreas captadas com a Camara NDVI BLUE+ NIR da área de estudo ravina 1 .....	21
Figura 26 - Fotografias aéreas captadas com a camara NDVI BLUE+ NIR da área de estudo ravina 2.....	22
Figura 27 - Fotografias aéreas captadas com a camara NDVI BLUE+ NIR da área de estudo ravina 3.....	22
Figura 28 – Modelo criado pelo Agisoft Photoscan 1.2.4 na área de estudo da ravina 2 (perspetiva com 30°).....	23
Figura 29 - Esquema metodológico das etapas do trabalho .....	24
Figura 30 - Solo predominante na ravina 1 e ravina 2 (Silte).....	26
Figura 31 - Solo predominante na ravina 3 (Arenoso).....	26
Figura 32 - Carta de uso e ocupação do solo do Luena.....	29

Figura 33 - Distribuição das 18 estações meteorológicas da província de Moxico...	32
Figura 34 - Mapa digital de superfície e ortofotomosaico da ravina 1 .....	37
Figura 35 - Mapa digital de superfície e ortofotomosaico da ravina 2 .....	37
Figura 36 - Mapa digital de superfície e ortofotomosaico da ravina 3 .....	38
Figura 37 - MDS das 3 áreas de estudo .....	38
Figura 38 - Carta de declive da ravina 1 .....	39
Figura 39 - Carta de declive da ravina 2 .....	39
Figura 40 - Carta do declive da ravina 3 .....	40
Figura 41 - Mapa de litofácies da ravina 1 .....	41
Figura 42 - Mapa de litofácies da ravina 2 .....	42
Figura 43: Mapa de litofácies da ravina 3 .....	42
Figura 44 - Mapa de erodibilidade da ravina 1 .....	44
Figura 45 - Mapa de erodibilidade da ravina 2 .....	44
Figura 46 - Mapa de erodibilidade da ravina 3 .....	45
Figura 47 - NDVI das áreas de estudo ravina 1, 2 e 3 .....	46
Figura 48 - Cobertura vegetal da ravina 1 .....	47
Figura 49 - Cobertura vegetal da ravina 2 .....	47
Figura 50 - Cobertura vegetal da ravina 3 .....	48
Figura 51 - Mapa de ocupação do solo da ravina 1 .....	49
Figura 52 - Mapa de ocupação do solo da ravina 2 .....	49
Figura 53 - Mapa de ocupação do solo da ravina 3 .....	50
Figura 54 - Mapa de proteção do solo da ravina 1 .....	50
Figura 55 - Mapa de proteção do solo da ravina 2 .....	51
Figura 56 - Mapa de proteção do solo da ravina 3 .....	51
Figura 57 - Mapa do estado erosivo da ravina 1 .....	52
Figura 58 - Mapa do estado erosivo da ravina 2 .....	53
Figura 59 - Mapa do estado erosivo da ravina 3 .....	53
Figura 60: Gráfico das precipitações médias mensais .....	54
Figura 61 - Mapa de precipitação do ano de 2015 da província do Moxico .....	55
Figura 62 - Mapa de precipitação média de inverno e de verão da província do Moxico 2015 .....	55
Figura 63 - Mapa da temperatura da província de Moxico .....	56
Figura 64 – Modelo Digital de Elevação da província do Moxico .....	57
Figura 65 - Mapas da distância à meridiana e à perpendicular: a) Distância à meridiana; b) distância à perpendicular .....	58
Figura 66 - Mapa das orientações da província do Moxico .....	58
Figura 67 - Mapa da insolação da província do Moxico: a) Verão e b) Inverno .....	59
Figura 68 - Matriz scatterplot do IMF de inverno e verão .....	60
Figura 69 - Estudo estatístico do modelo do Índice Modificado de Fournier de inverno .....	61
Figura 70 - Anova do modelo do Índice Modificado de Fournier de inverno .....	61
Figura 71 - Avaliação dos resíduos do modelo Índice Modificado de Fournier inverno .....	62

Figura 72 - Estudo estatístico do modelo do Índice Modificado de Fournier de verão .....	63
Figura 73 - Anova do modelo de Índice Modificado de Fournier de verão .....	63
Figura 74 - Avaliação dos resíduos do modelo de Índice Modificado de Fournier de verão .....	64
Figura 75 - a) Mapa do IMF de inverno; b) Mapa do IMF de verão .....	65
Figura 76 - Mapa de suscetibilidade à erosão hídrica de inverno da ravina 1 .....	66
Figura 77 - Mapa de suscetibilidade à erosão hídrica de verão da ravina.....	66
Figura 78 - Mapa de suscetibilidade à erosão hídrica de inverno da ravina 2 .....	67
Figura 79 - Mapa de suscetibilidade à erosão hídrica de verão da ravina 2.....	67
Figura 80 - Mapa de suscetibilidade à erosão hídrica de inverno da ravina 3.....	68
Figura 81 - Mapa de suscetibilidade à erosão hídrica de verão da ravina 3.....	68

## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Percentagem das classes de declive segundo a classificação de PAP/RAC (1997) .....	25
Tabela 2 - Classificação litológica (classificação de PAP/RAC, 1997) .....	27
Tabela 3 - Classes de erodibilidade: Baixa (Bx); Moderada (Md); Média (Md); Alta (At); Extrema (Ex).....	27
Tabela 4: Classes de proteção do solo: Sem proteção (SP), Muito Baixa (MB) e Baixa (B).....	30
Tabela 5 – Classes dos estados erosivos: Médio (Me), Alto (At) e Muito Alto (MA). 31	
Tabela 6 - Coordenadas das estações meteorológicas da província do Moxico .....	32
Tabela 7 - Dados de precipitação mensal, anual e precipitação média do verão e do inverno entre 1 de janeiro e 31 de dezembro de 2015 .....	33
Tabela 8: Valores das variáveis, M (latitude), P (longitude), C (altitude), Temperatura, Precipitação de verão, IMF verão, Insolação de verão, Precipitação de inverno, IMF inverno, Insolação de inverno e orientação. ....	34
Tabela 9 - Início de verão e inverno e latitude da região .....	35
Tabela 10 - Classificação do IMF, Corine-CEC (1992).....	36
Tabela 11 -Cruzamento entre estados erosivos e o IMF (Índice Modificado de Fournier): Muito baixa (MB), baixa (Bx), Média (Me) e Muito alta (MA).....	36
Tabela 12 - Área de ocupação de cada classe de declive .....	40
Tabela 13 - Cruzamento para classificação da carta de erodibilidade (adaptado de Zavala, 2001).....	43
Tabela 14 - Classes de erodibilidade .....	45
Tabela 15 - Percentagem de proteção do solo por estado das 3 ravinas.....	52
Tabela 16 - Percentagem da área de ocupação dos estados erosivos .....	54
Tabela 17: Resultado do cruzamento entre o mapa dos estados erosivos e do IMF 66	
Tabela 18 - Percentagem da área de suscetibilidade de erosão no inverno .....	69
Tabela 19 - Percentagem da área de suscetibilidade de erosão no verão .....	69

## **Lista de Abreviaturas e Siglas**

INE – Instituto Nacional de Estatística de Angola

INAMET – Instituto Nacional de Meteorologia e Geodesia de Angola

IMF – Índice Modificado de Fournier

JFM – janeiro, fevereiro e março

MDE – Modelo Digital de Elevação

MDS – Modelo Digital de Superfície

NDVI – Normalized Difference Vegetation Index (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada)

NIR – Near-infrared (Infravermelho Próximo)

PAP/RAC – Priority Actions Programme Regional Activity Centre

PND – Programa Nacional de Desenvolvimento

PRRN – Programa da Rede Rural Nacional Portugal

RGB – Red Green Blue

R1 – Ravina 1

R2 – Ravina 2

R3 – Ravina 3

SIG – Sistema de Informação Geográfica

TIN – Triangular Irregular Network

UTM - Universal Transversa de Mercator (UTM)

VANT ou UAV - Veículo Aéreo Não Tripulado (Unmanned Aerial Vehicle)

WGS - World Geodetic System

## Introdução

No âmbito da gestão do território é necessário refletir o que tem sido feito ao longo dos anos no que respeita aos danos causados pela erosão do solo e como consequência a criação de ravinas que têm contribuído para a ocorrência de diversos problemas nas sociedades.

A erosão dos solos não é um problema novo, na medida em que diversos investigadores têm produzido cartografia sobre o risco de erosão dos solos em várias partes da Europa (Valcarcel *et al*, 2003; Figueiredo, 2009; Fernández, 2012). No que respeita à concentração de precipitação, como estimador do fator de risco de erosão vários estudos têm sido realizados nomeadamente, o de Velasco & Cortés em Sinaloa, México (2009), Nunes & Quinta-Nova (2015) em Pampilhosa da Serra, Portugal e Ferreira & Diogo (2015) na cidade do Luena, Angola.

A guerra civil Angolana que durou cerca de 27 anos trouxe consequências nefastas a nível económico, social e humano. No período pós-guerra a prioridade do estado foi executar programas de reassentamento dos refugiados e de reabilitação de infraestruturas destruídas pela guerra. A segurança da população devida à ocorrência de desastres naturais e/ou tecnológicos foi descurada. Por outro lado, o desenvolvimento desordenado das cidades tem provocado um impacto direto na degradação do meio ambiente e na qualidade de vida das pessoas pondo em causa o próprio desenvolvimento socioeconómico da região (Zahn, 1983). A probabilidade de ocorrências de catástrofes naturais, como, incêndios, cheias, calemas, deslizamentos de terra e situações de seca é muitas vezes esquecida.

A leste de Angola, existe grande ocorrência de fenómenos geológicos preocupantes designados por ravinas. Ao longo dos anos tem ganho proporções alarmantes, pondo em risco a vida das populações e infraestruturas. Pela sua situação geográfica, e fazendo parte de uma região com clima subtropical, a região está sujeita a períodos chuvosos com grande quantidade de precipitação contribuindo grandemente no processo da erosão hídrica do solo, que em alguns casos provocam inundações e enchentes.

O aumento da densidade populacional nos grandes centros urbanos devido às migrações oriundas do interior do país à procura de melhores condições de vida tem provocado um crescimento desorganizado das cidades originando uma série de dificuldades na gestão do território. Muitas são as áreas habitacionais que proliferam de forma ilegal em zonas de ravina e que muitas vezes encerram as drenagens das linhas de água pondo em risco a população. Também a falta de informação e de cultura das populações sobre o cuidado a ter com a terra bem como os seus recursos naturais, têm contribuído fortemente para a degradação do solo. (Ferreira & Diogo, 2015).

Em 7 de novembro de 2003, foi criada a Lei de bases de Proteção Civil (Lei 28/03) para prevenir a ocorrência de riscos coletivos resultantes de possíveis acidentes graves, calamidades naturais ou tecnológicas assim como, a implementação de um Projeto de Apoio à Criação de um Sistema Nacional de Proteção Civil.

Atualmente e até 2021 está em curso o levantamento geológico de todo território nacional, obedecendo ao Plano Nacional de Desenvolvimento (PND). Neste plano está incluído o desenvolvimento sustentável da população, que só poderá acontecer desde que esta permaneça em áreas seguras, e de preferência que não sejam classificadas como áreas de suscetibilidade ao risco de ravinas. Posto isto, torna-se necessário criar condições de habitabilidade bem como promover o bom uso dos solos tendo em conta as necessidades de cada região.

Este trabalho de investigação, tem como intuito mapear o risco de erosão hídrica do solo em três ravinas na cidade de Luena (província Moxico) utilizando os Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Desta forma pretende-se fornecer aos *stakeholders* uma ferramenta de gestão do território ajudando-os no combate à ocupação ilegal em áreas de risco, com o intuito de salvar vidas humanas e bens materiais, permitindo assim um desenvolvimento sustentável das populações.

## 1. Área de Estudo

A República de Angola situa-se na costa ocidental do Continente Africano, compreendida pelos paralelos  $18^{\circ} 01' S$  e  $4^{\circ} 23' S$  e pelos meridianos  $11^{\circ} 40' E$  e  $24^{\circ} 03' E$  (Figura 1). Angola é o quinto país de maior dimensão ao sul do Sahara, com uma área de cerca de  $1\,246\,700\text{ Km}^2$  e uma linha marinha atlântica de cerca de 1650 quilómetros (Mendes, 2012). É um estado democrático de direito com uma divisão político administrativo de 18 províncias, 164 municípios e 528 comunas e com uma população, estimada em cerca de 25 789 024 habitantes (INE, 2016). Caracteriza-se por um clima predominante tropical húmido com uma precipitação média anual de 917 mm.

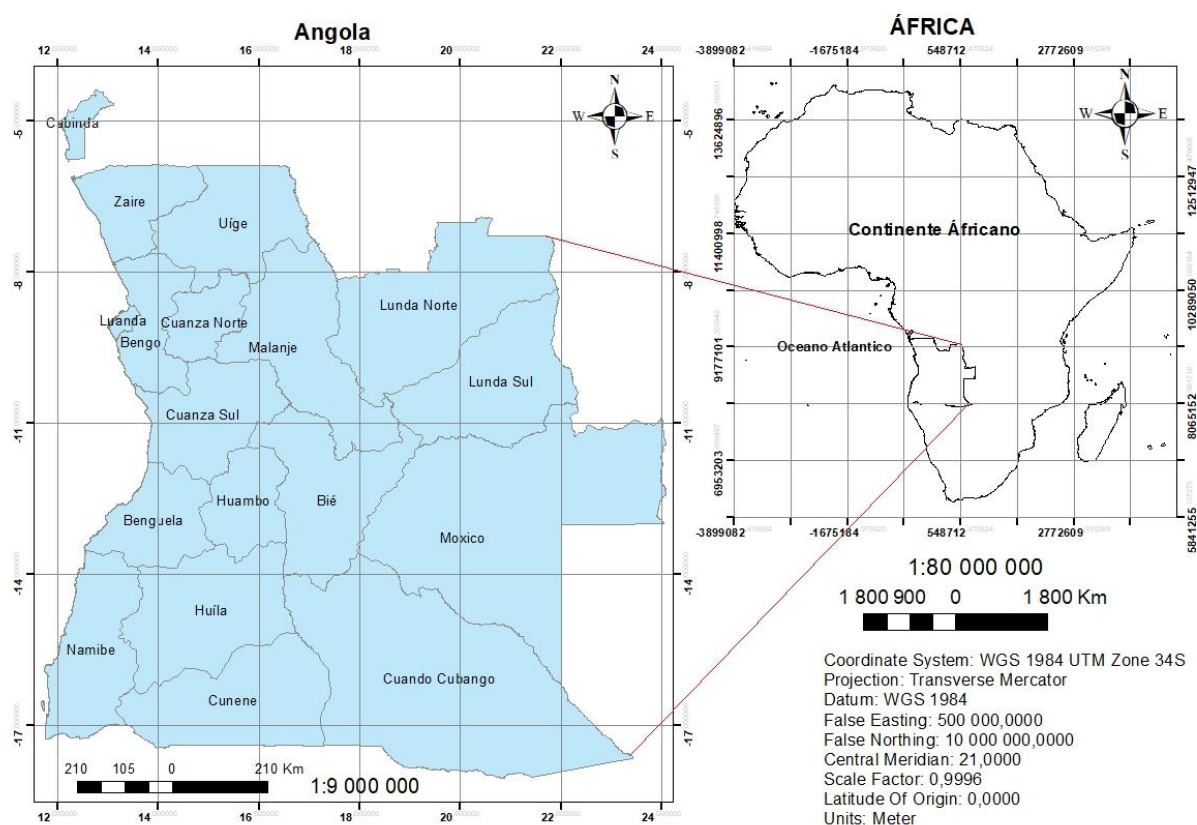


Figura 1 - Mapa de Angola

Moxico é uma das 18 províncias da República de Angola, e está localizada a Leste do País. Está limitada pela província do Cuando Cubango a Sul, Bié a Oeste, Lunda Sul e a República Democrática do Congo a Norte, e pela República da Zâmbia a Este. A cidade do Luena é a capital da Província do Moxico, está localizada à latitude  $11^{\circ}47' S$  e longitude  $19^{\circ} 53' E$  (Figura 2).





Figura 3 - Imagem do Google Earth identificando a Ravina 1  
(Fonte: Google Earth)

Esta ravina coloca em risco um grande número de habitações nomeadamente as que estão localizadas a Norte, e as que se encontram nas zonas laterais da Ravina. Muitas destas habitações já foram abandonadas devido à progressão da ravina nos últimos anos.



Figura 4 - Foto aérea da ravina 1

A ravina 2, está localizada à latitude  $11^{\circ}48'7.58''S$  e longitude  $19^{\circ}51'44.84''E$ . É conhecida localmente como Ravina dos Caminhos de ferro, porque se encontra muito próximo da linha férrea que liga o porto de Lobito (litoral-província de Benguela), com a vila de Luau que fica situada junto à fronteira da República Democrática do Congo (província de Moxico). Nesta ravina já se encontram trabalhos de contenção do terreno. (Figura 5 e 6).



Figura 5 - Imagem do Google Earth identificando a Ravina 2  
(Fonte: Google Earth)



Figura 6 - Foto da ravina 2, trabalhos de contenção

A ravina 3, que é a maior entre as ravinas estudadas, está localizada geograficamente nas coordenadas 11°47'24.02"S e 19°55'25.63"E (Figura 7 e 8). Esta ravina, encontra-se no centro urbano da cidade e é conhecida localmente como a ravina das 7 Cunhas, devido às obras de contenção da ravina, realizadas pela empresa 7 Cunhas.



Figura 7 - Imagem do Google Earth identificando a Ravina 3  
(Fonte: Google Earth)



Figura 8 - Fotografia aérea de pormenor da Ravina 3

A importância do estudo nestas áreas deve-se ao facto destas ravinas estarem num processo de erosão muito ativo, como se pode constatar nas imagens do Google Earth de 2013 e 2016 (Figuras 9 a 11).

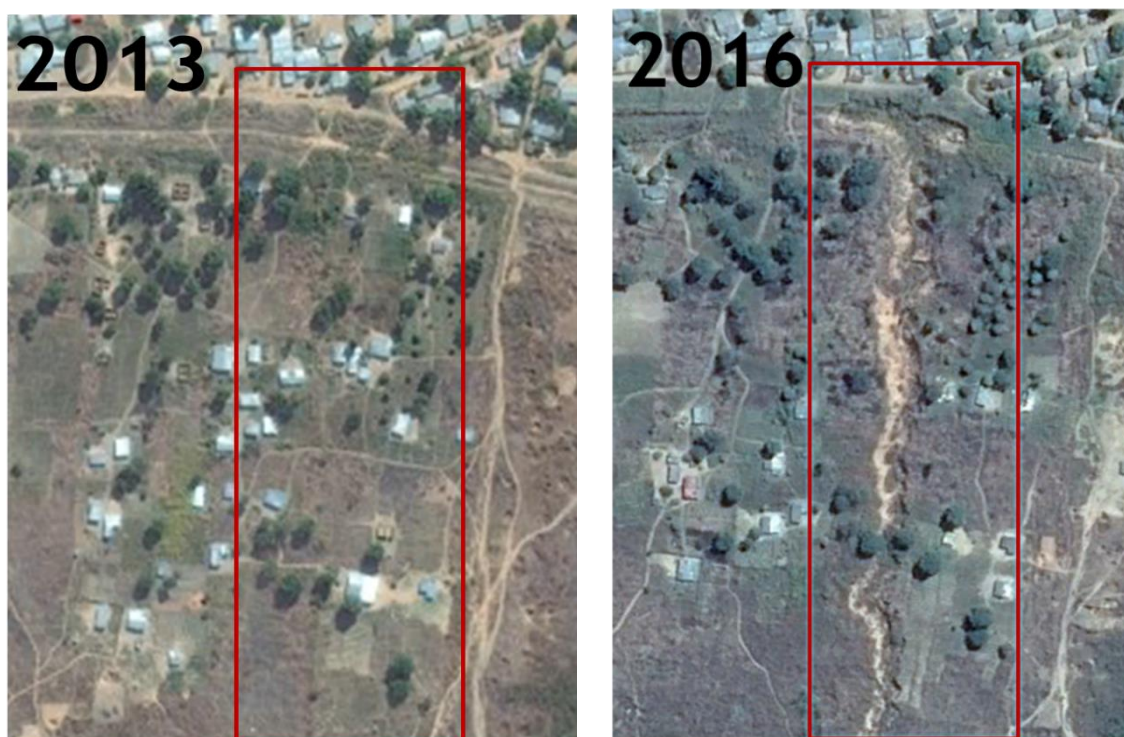


Figura 9 - Evolução do processo de erosão da ravina 1, entre 2013 e 2016  
(Fonte: Google Earth)



Figura 10 - Evolução do processo de erosão da ravina 2, entre 2013 e 2016  
(Fonte: Google Earth)



Figura 11 - Evolução do processo de erosão da ravina 3, entre 2013 e 2016  
(Fonte: Google Earth)

Verifica-se que na ravina 3, devido às obras de contenção dos sedimentos a evolução foi travada, o que mostra a importância destas intervenções nestas áreas vulneráveis.

## 1.1 Clima

O clima de Angola é geralmente considerado como clima tropical, sendo dividido em duas estações: (i) uma estação seca e fria (Cacimbo) de maio a agosto, com um período de deficit hídrico; (ii) e a outra, quente e chuvosa (estação chuvosa) de setembro a abril. Este clima é fortemente influenciado por um conjunto de fatores, dos quais se destacam a latitude (6° a 18°), a altitude, a orografia, a corrente marítima de Benguela e as bacias hidrográficas do Zaire, Zambeze, Cuanza, Cubango, Cuando e Cunene (de Angola, 1955).

A cidade do Luena possui um clima onde as temperaturas máximas variam entre os 25.7 °C (junho) e 30.4 °C (setembro), por outro lado, as mínimas ficam entre os 9.2 °C (junho) e 16.2 °C (janeiro e fevereiro) (INAMET, 2016). Segundo a classificação de Köppen, o clima é do tipo Cwa (clima mesotérmico, húmido, de estação seca no inverno), (Ferreira & Diogo, 2015). Em toda a província a época de chuva está bem marcada, sendo esta abundante e violenta, variando entre 1200 a 1400 mm anuais (Diniz, 2006). As chuvas todos os anos deixam um rasto de destruição na província do Moxico (Figura 12).



Figura 12 - Clima chuvoso do Leste de Angola  
(Fonte: <http://tpa.sapo.ao/>)

## 1.2 População

Segundo o censo efetuado em 2014, pelo INE, a população da província do Moxico é estimada com 758 568 habitantes, dos quais 369 437 são homens e 389 131 são mulheres, que na sua maioria pertencem ao grupo bantu, como etnias Ovimbundos, Cokwe, Luvale, Mbundas e Luchazes. A esperança de vida média para os homens é de 47 anos e 49 anos para as mulheres, com uma taxa de natalidade de 35%.

A cidade do Luena alberga uma população estimada em mais de 300 mil habitantes.

## 1.3 Hidrografia

A província do Moxico encontra-se numa zona planáltica bastante irrigada. Os rios principais são o Zambeze, Cassai, Lungue-Bungo, Luanguinga, Lumeji, Chivumaji e Luio. Os lagos mais importantes são o Dilolo e o Calundo. A cidade do Luena é banhada pelo rio que lhe deu o nome, rio Luena que conflui com o rio Zambeze, já na República da Zâmbia (Figura 13). O rio é considerado uma das fontes económicas mais importante da região, sendo atividade piscatória a atividade principal da população do Luena. A região apresenta ainda uma linha de elevações com mais de 1500 metros de altitude, onde se encontram rápidos e cachoeiras que são importantes atrativos turísticos da região (Figura 14).



Figura 13 - Fotografia aérea do rio Luena



Figura 14 - Cachoeira da Chafinda no rio Luena  
(Fonte: [www.welcometoangola.co.ao](http://www.welcometoangola.co.ao))

#### 1.4 Flora

Devido ao clima, à hidrografia e ao relevo, a província de Moxico destaca-se pela grande variedade de espécies arbóreas com grande valor comercial. Há floresta densa e seca e floresta aberta com savana e chanas (Figura 15 e Figura 16).



Figura 15 - Floresta aberta (Parque Nacional da Cameia - Moxico)  
(Fonte: <http://info-angola.ao>)



Figura 16 - Floresta densa e floresta aberta com chanas (Parque Nacional da Cameia - Moxico)  
(Fonte: <http://info-angola.ao>)

## 1.5 Relevo e Geomorfologia

Em termos geomorfológicos Moxico, em particular a cidade do Luena encontra-se localizada na zona planáltica a uma altitude média de 1348 m. A zona planáltica é uma das seis unidades geomorfológicas de Angola, que ocupa grande parte do território nacional (Figura 17). É uma zona de relevo antigo com pequenas variações de cota. A altitude média é superior a 1000 m (Silva, 2005).

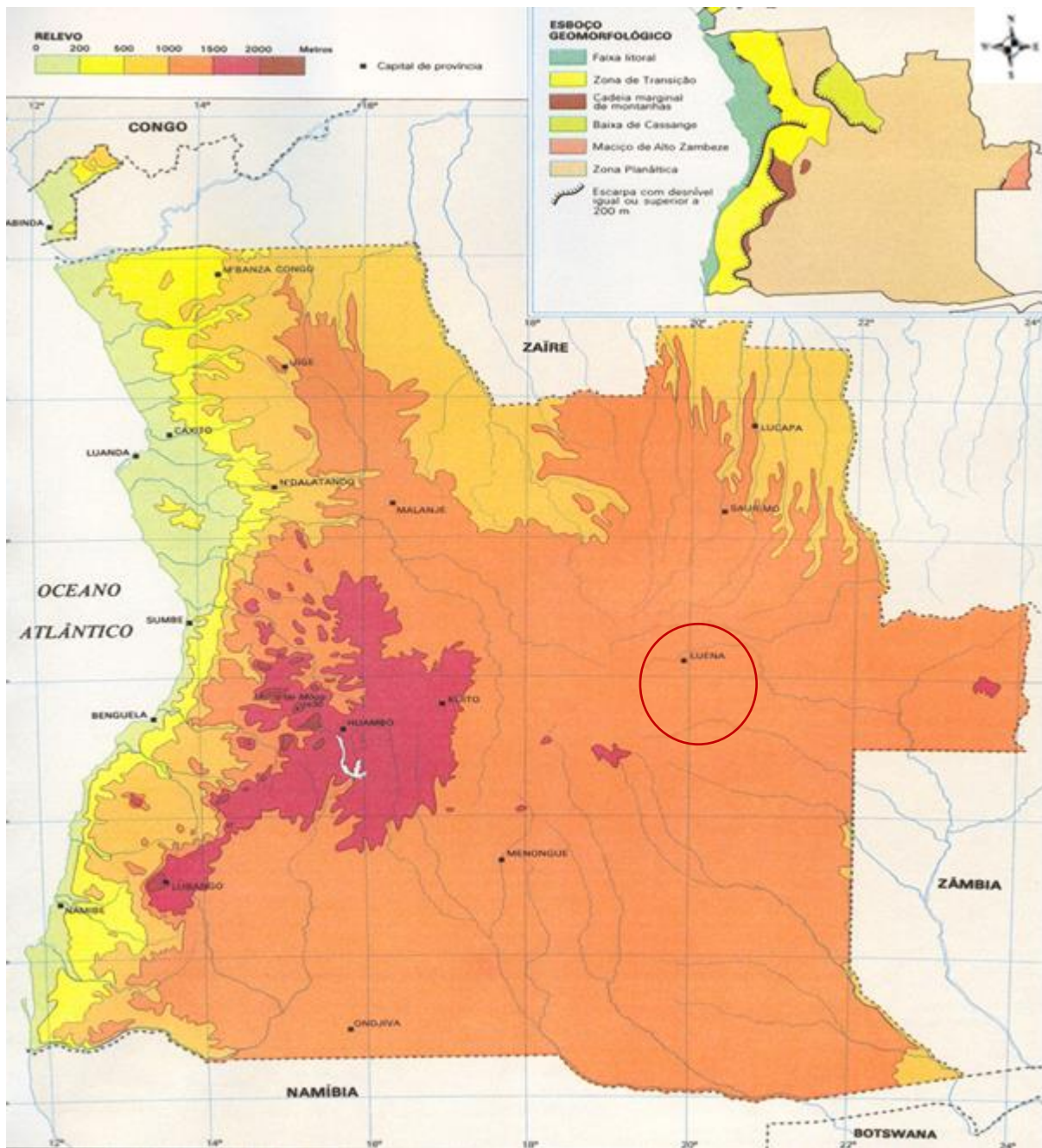


Figura 17 - Mapa hipsométrico e esboço geomorfológico de Angola  
 (Fonte: [http://info-angola.ao/images/documentos/mapas/relevo\\_geomorfologia.jpg](http://info-angola.ao/images/documentos/mapas/relevo_geomorfologia.jpg))

## 1.6 Solos

A cartografia dos solos e a respetiva classificação constituem itens de grande importância para o conhecimento dos recursos no solo. Na Figura 18 está representada uma versão simplificada da Carta de Solos, onde se pode observar que os solos predominantes em Angola são os Ferrosos, Ferralíticos e os Solos Arenosos (Cardoso & Raposo, 1997).

Segundo a carta generalizada dos solos de Angola, Luena é constituída por Arenosols (AR). São solos pobres de baixo valor agrícola, onde predomina a textura grosseira com materiais arenosos do deserto de Kalahari (Psamíticos ou arenosols). Em áreas sujeitas a alagamentos temporários podem também ocorrer os Psamo-hidromorficos (gleysols), mais ricos em matéria orgânica (Marques, 1977).

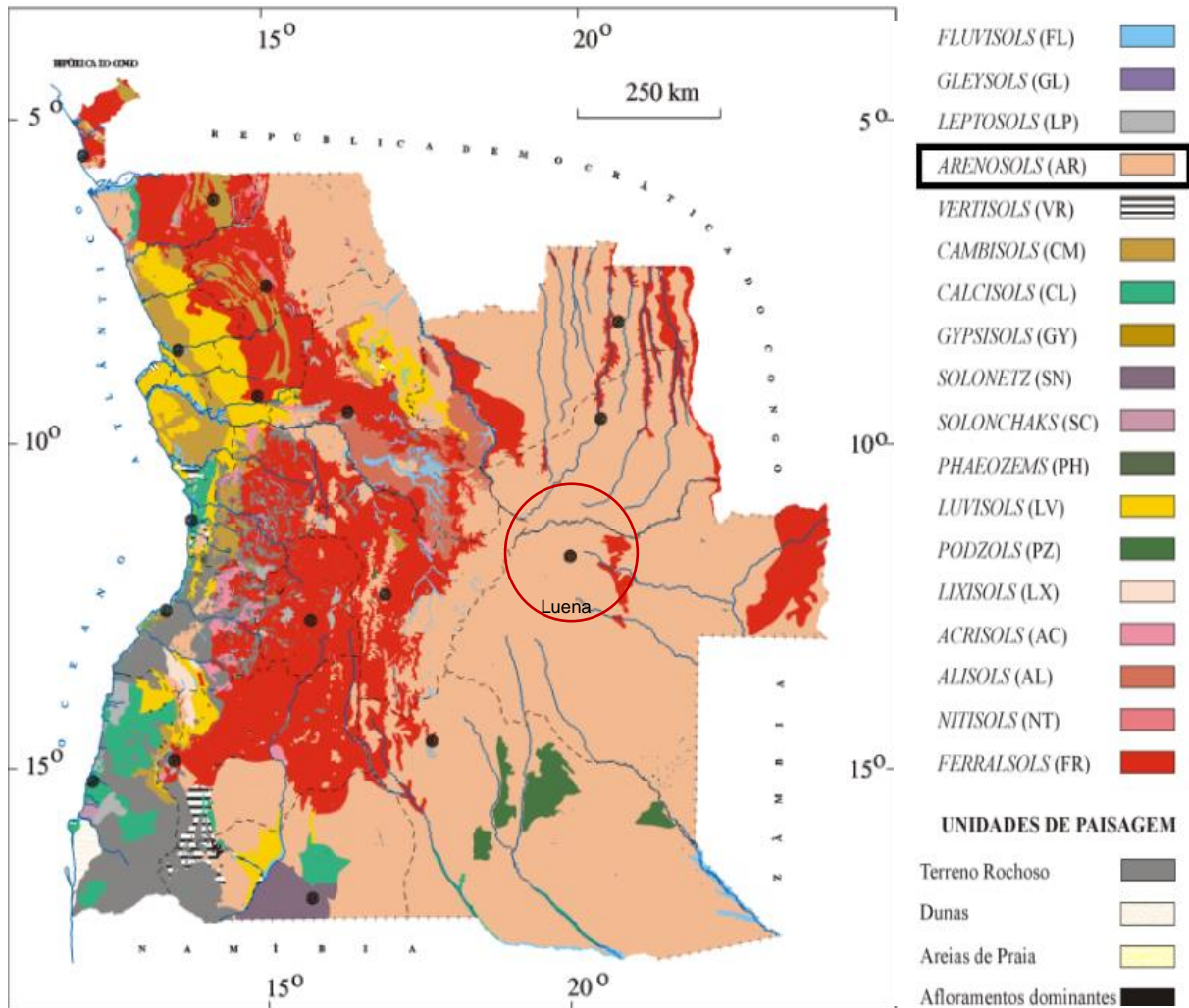


Figura 18 - Carta generalizada dos solos de Angola  
(Fonte: Franco & Raposo, 1997)

## 2. Material e métodos

Para concretizar o objetivo deste trabalho, nomeadamente, a elaboração do mapa de suscetibilidade ao risco de erosão hídrica de três áreas ravinosas da cidade do Luena, foi considerada a ação mecânica da chuva (fator extrínseco) e a ação erosiva inerente ao terreno (fator intrínseco).

A escolha destas três áreas deve-se à importância que estas ravinas têm para a região, no que diz respeito à perigosidade a que estão sujeitas e à sua proximidade relativamente à estação meteorológica do aeroporto de Luena 3 Km (ravina 3) e 5 Km (ravinas 1 e 2).

A Figura 19 mostra a localização das 3 áreas de estudo e da estação meteorológica do aeroporto de Luena.



Figura 19 - Localização das 3 ravinas e da estação meteorológica  
(Fonte: Google Earth)

Para concretizar o objetivo deste trabalho foi necessário sobrevoar as três áreas de estudo para fazer a aquisição de fotografias aéreas. Para tal foi utilizado um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) da DJI PHANTOM 3 STANDARD (Figura 20 a)) e um VANT DJI PHANTOM 3 ADVANCED (Figura 20 b)), uma camera RGB DJI (SONY) de 2.7 K HD e uma camera NDVI da MAPIR NDVI BLUE + NIR, ambas com 12 megapixels de resolução (Figura 20 c)).

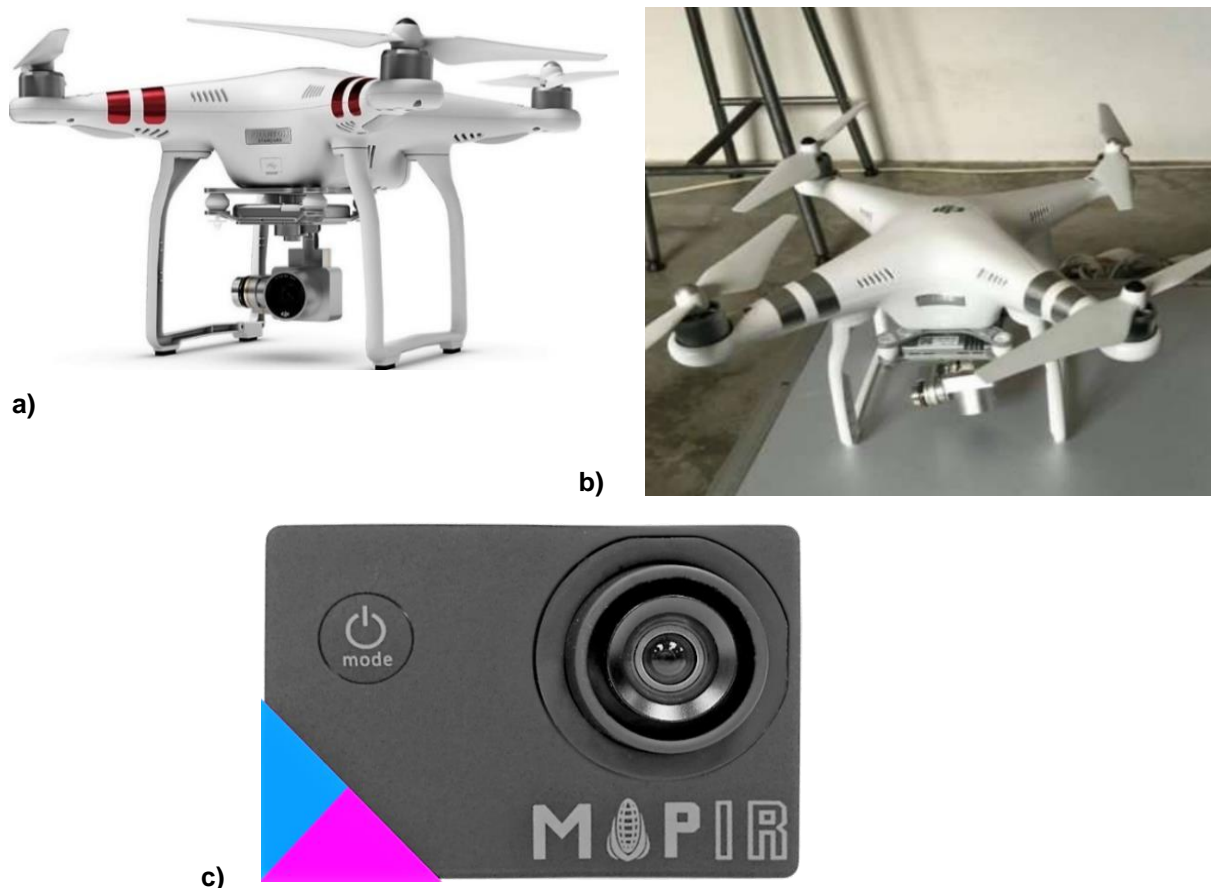


Figura 20 - a) PHANTOM 3 Standard da DJI; b) PHANTOM Advanced da DJI; c) Camara Mapir NDVI BLUE+NIR

Foram produzidos ortofotomosaicos e Modelos Digitais de Superfície com o software Agisoft Photoscan 1.2.4 e mapas de Índices de vegetação com software ArcGis 10.1.

Os voos realizados com a camara do visível para as 3 áreas de estudo foram executados em modo manual com disparos de 5 em 5 segundos. A duração dos voos foi de cerca de 8 minutos para as ravinas 1 e 2 e 22,5 minutos para a ravina 3. Foram obtidas 48 fotos com uma resolução espacial de cerca de 3 cm e 4 cm, para as ravinas 1 e 2, respetivamente, e 270 fotos com uma resolução espacial de aproximadamente de 6 cm para a ravina 3.

Para a aquisição das imagens de Infravermelhos foram realizados planos de voo Software Dronedeploy (Figura 21). No plano de voo planeado para as três ravinas foi

definido uma altura de voo 150 metros, uma velocidade igual a 7,5m/s e uma sobreposição longitudinal e transversal de 75%. Para a ravina 1, o voo teve uma duração de 4,5 minutos, para a ravina 2 a duração foi de 5,7 minutos e para a ravina 3 15,3 minutos. Definidos disparos com intervalos de 5 segundos foram obtidas 45 fotos para a ravina 1, 68 fotos para a ravina 2 e 186 fotos para a ravina 3 com uma resolução de cerca de 7 cm.



Figura 21 - Plano de voo na ravina 2

## 2.1 Processamento dos dados

Nesta fase foram seleccionadas as fotografias, tanto as da camera RGB como a camera NDVI, que possuíam melhor qualidade para criar os ortofotomosaicos de cada uma das áreas de estudo. As figuras 22 a 27 mostram algumas das fotografias das 3 áreas sobrevoadas.



Figura 22 - Fotografias aéreas RGB captadas pelo VANT da área de estudo ravina 1



Figura 23 - Fotografias aéreas RGB captadas pelo VANT da área de estudo ravina 2



Figura 24 - Fotografias aéreas RGB captadas pelo VANT da área de estudo ravina 3

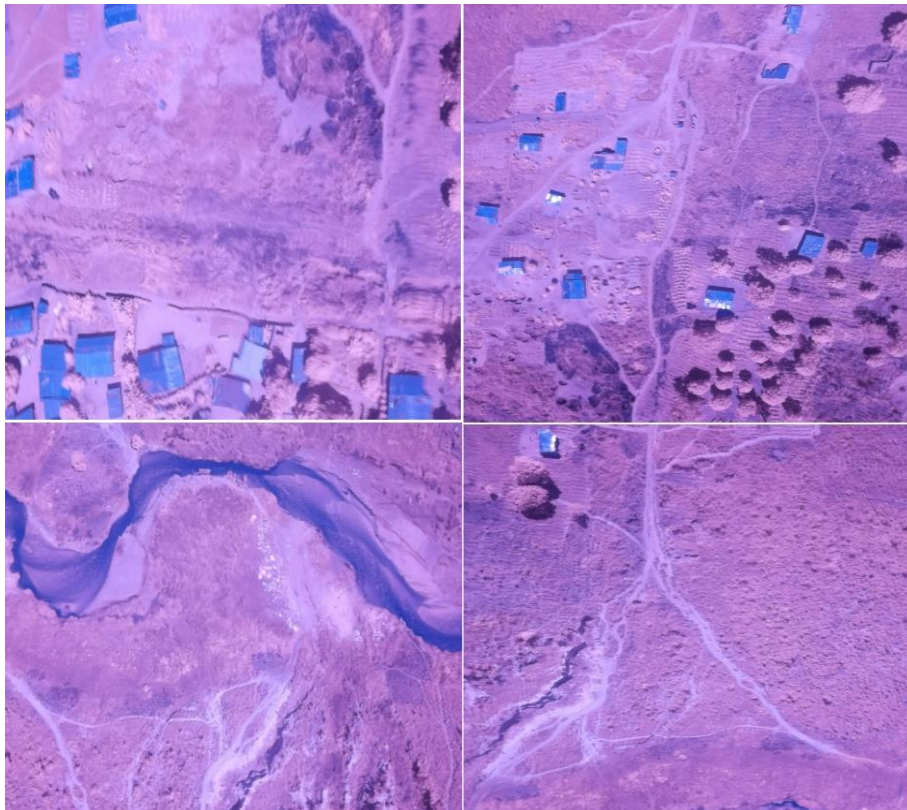


Figura 25 - Fotografias aéreas captadas com a Camara NDVI BLUE+ NIR da área de estudo ravina 1

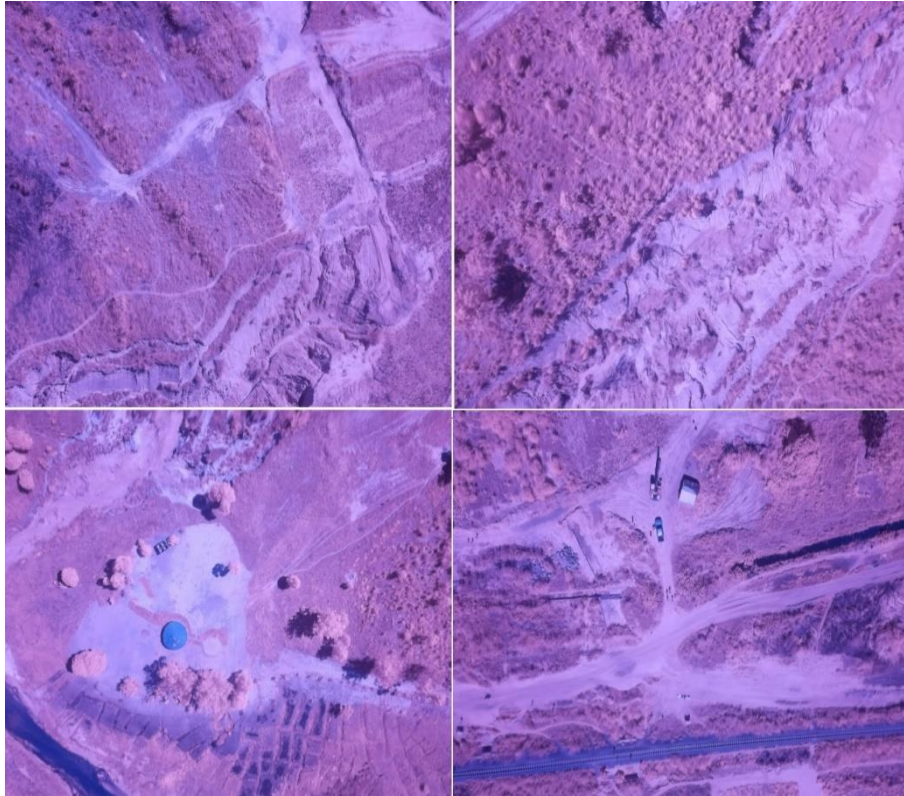


Figura 26 - Fotografias aéreas captadas com a camera NDVI BLUE+ NIR da área de estudo ravina 2

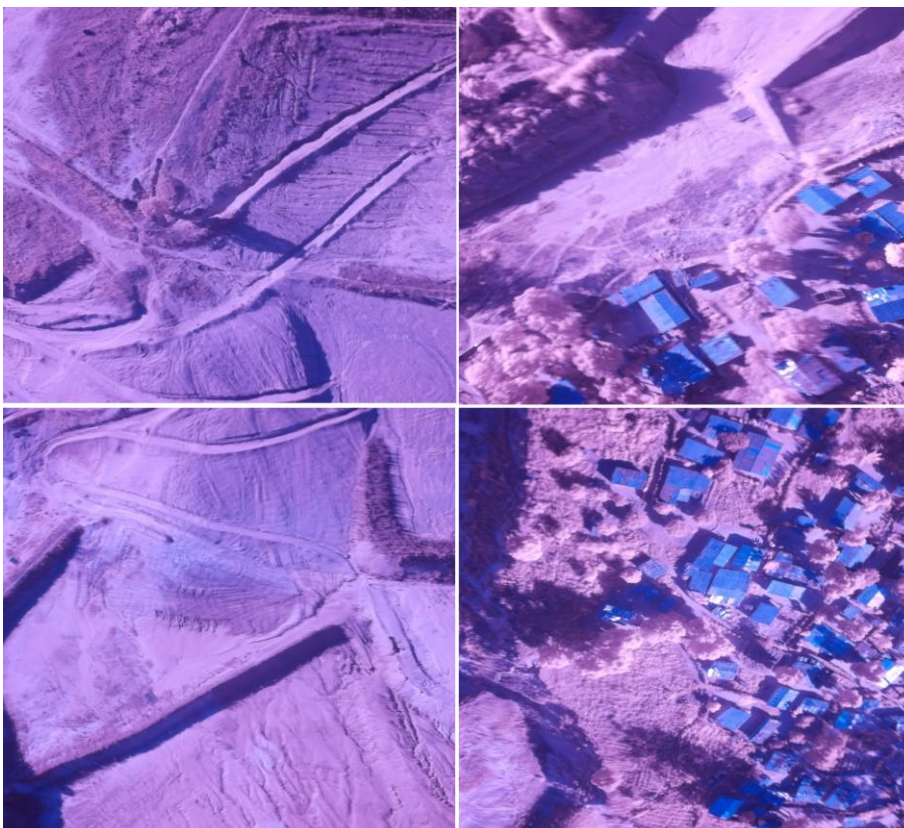


Figura 27 - Fotografias aéreas captadas com a camera NDVI BLUE+ NIR da área de estudo ravina 3

No Agisoft Photoscan 1.2.4, após o carregamento das fotografias, o aplicativo possui um processo de trabalho (workflow) com as seguintes fases: alinhamento das fotos; criação da nuvem densa de pontos; construção do modelo (*Mesh*); construção da textura e a construção do modelo (Figura 28). No final são exportados os ortofotomosaicos e os modelos digitais de superfície (MDS) de cada ravina.

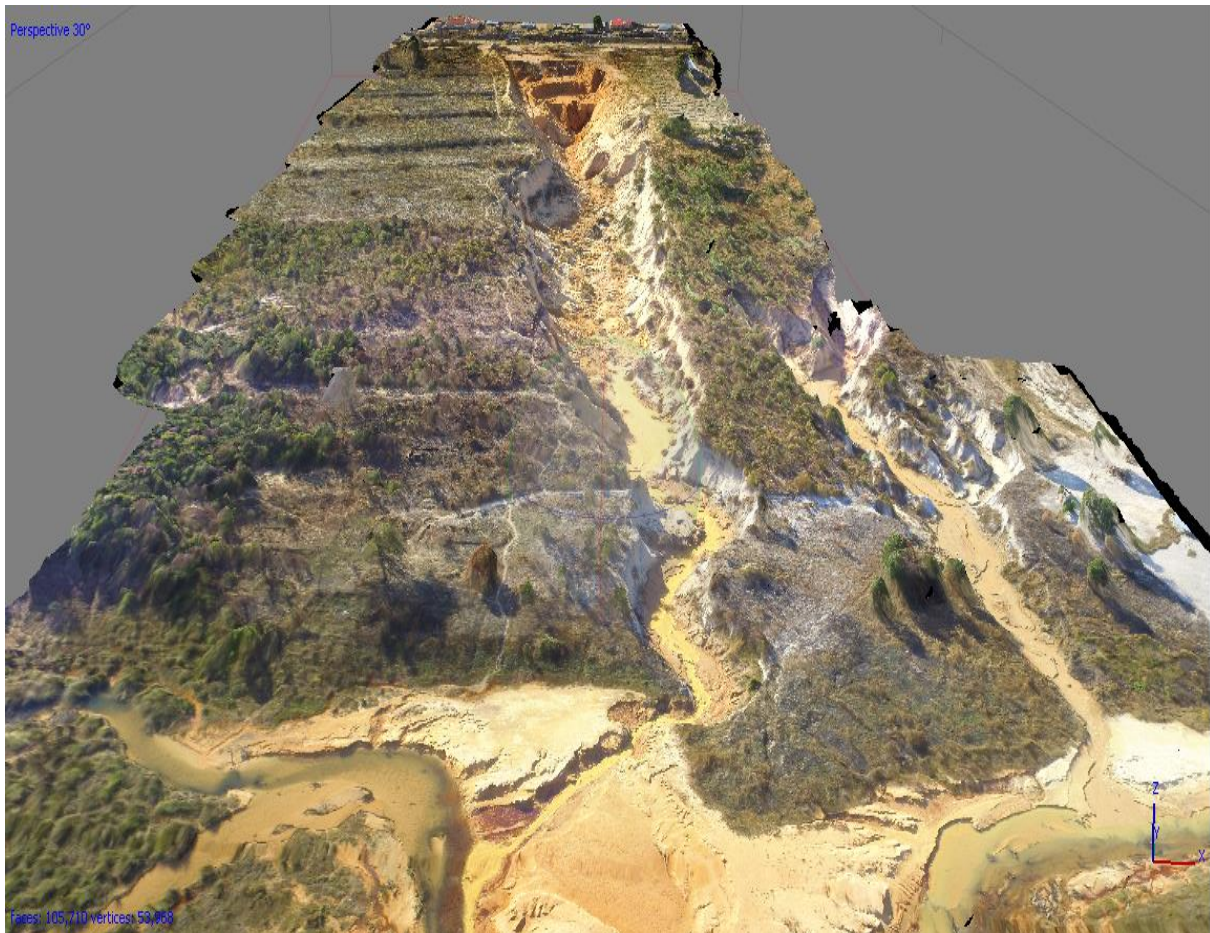


Figura 28 – Modelo criado pelo Agisoft Photoscan 1.2.4 na área de estudo da ravina 2 (perspetiva com 30°).

## 2.2 Cartografia de suscetibilidade à erosão hídrica

A cartografia de suscetibilidade ao risco de erosão hídrica foi realizada com base na sobreposição do mapa dos estados erosivos com o mapa de erosividade das chuvas.

A cartografia dos estados erosivos baseou-se nas diretrizes de medição e mapeamento dos processos de erosão proposto pelo PAP/RAC (1997), desenvolvidas e posteriormente modificadas por outros autores (Bougonoviae *et al.* 1999; Husnjak,

2000; Jordán, 2000; Jordán & Bellinfante, 2000; Fernández 2012). Este método baseia-se na aplicação de um sistema de informação geográfica que sobrepõe e integra diferentes tipos de informação, nomeadamente, o mapa dos declives e das litofácies que intersetados dão origem ao mapa de erodibilidade do solo; o mapa de ocupação do solo e da cobertura da vegetação que após o seu cruzamento resulta o mapa de proteção do solo, e por último, intersetando os mapas de erodibilidade e de proteção do solo resulta o mapa dos estados erosivos. A Figura 29 mostra o esquema da metodologia adotada.

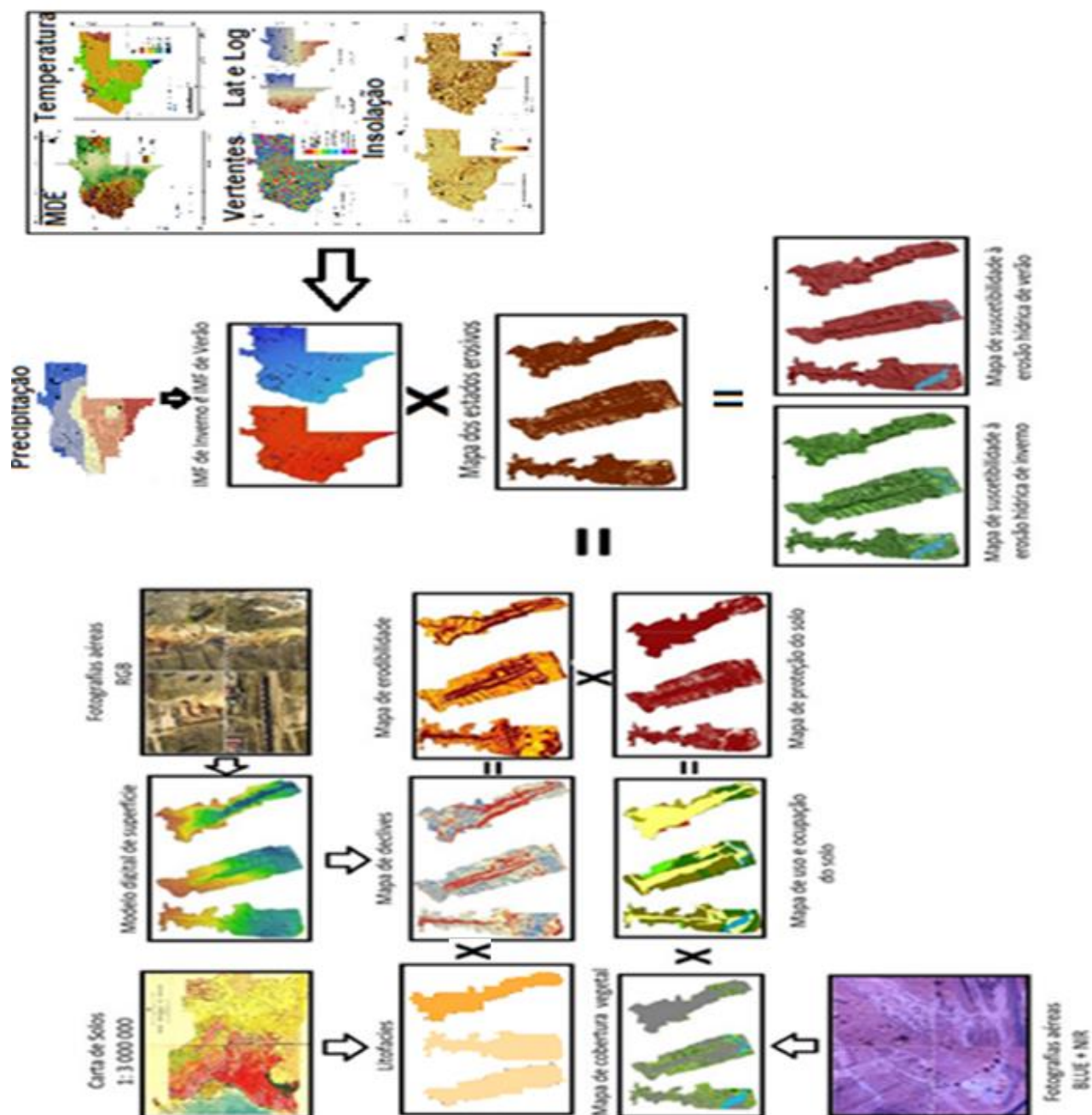


Figura 29 - Esquema metodológico das etapas do trabalho

### 2.2.1 Mapa de Declives

O mapa de declives foi obtido a partir do MDS das 3 áreas de estudo, respetivamente a ravina 1, ravina 2 e ravina 3.

O cálculo do declive ( $\delta$ ) de cada pixel ( $l, k$ ) tem como base os valores de elevação ( $H$ ) dos pixels vizinhos e a resolução espacial do mapa ( $E$ ), equação 1..

$$\delta = \sqrt{\left(\frac{H(l,k+1) - H(l,k-1)}{2E}\right)^2 + \left(\frac{H(l-1,k) - H(l+1,k)}{2E}\right)^2} \quad (1)$$

O declive das três ravinas foi classificado de acordo com os critérios de PAP/RAC (1997) (Tabela 1).

Tabela 1 - Percentagem das classes de declive segundo a classificação de PAP/RAC (1997)

Classe	Declive %
Suave (1)	0-3
Moderado (2)	3-12
Escarpado (3)	12-20
Muito Escarpado (4)	20-35
Extremo (5)	>35

### 2.2.2 Mapa de Litofácies

Para elaboração do mapa de litofácies, recorreu-se à carta generalizada de solos de Angola à escala 1:3.000.000. Verificou-se que na cidade do Luena predominam os solos arenosos. Os solos das ravinas 1 e 2 são siltosos, apresentando pouca plasticidade e baixa resistência. Estas propriedades tornam-nos solos muito suscetíveis à erosão (Figura 30). A ravina 3 apresenta um solo arenoso com alta porosidade e permeabilidade. Estes solos são pouco húmidos, têm baixo teor em matéria orgânica e um Ph ácido o que dificulta a sobrevivência de plantas e organismos. São altamente suscetíveis à erosão (Figura 31).



Figura 30 - Solo predominante na ravina 1 e ravina 2 (Silte)



Figura 31 - Solo predominante na ravina 3 (Arenoso)

A tabela 2 mostra a classificação dos solos de acordo com PAP/RAC (1997).

Tabela 2 - Classificação litológica (classificação de PAP/RAC, 1997)

<b>Classes</b>	<b>Tipo de Material</b>
1 (A)	Rocha compactada não alterada, solos ou conglomerados fortemente cimentados, afloramentos de camadas endurecidas (caliças massivas, solos muito pedregosos, crostas, etc.)
2 (B)	Solos ou rochas coesivas fraturadas ou moderadamente alteradas
3 (C)	Solos ou rochas sedimentares ligeiras ou moderadamente alteradas
4 (D)	Solos ou rochas pouco resistentes ou profundamente alteradas (margas, gessos, xistos argilosos, etc.)
5 (E)	Solos ou sedimentos muito pouco coesivos ou materiais detríticos

Na área de estudo foi apenas considerada a classe 5 (E).

### 2.2.3 Mapa de erodibilidade

O mapa de erodibilidade, foi obtido a partir do cruzamento do mapa de declives com o mapa de litofácies. A definição das classes de erodibilidade baseou-se nos estudos desenvolvidos por Zavala (2001): 1 (Bx); 2 (Md); 3 (Me); 4 (At); 5 (Ex) (5) (Tabela 3).

Tabela 3 - Classes de erodibilidade: Baixa (Bx); Moderada (Md); Média (Md); Alta (At); Extrema (Ex)

Declive \ Litofácie	1(A)	2(B)	3(C)	4(D)	5(E)
	1	1 (Bx)	1 (Bx)	1 (Bx)	1 (Bx)
2	1 (Bx)	1 (Bx)	2 (Md)	3 (Me)	3 (Me)
3	2 (Md)	2 (Md)	3 (Me)	4 (At)	4 (At)
4	3 (Me)	3 (Me)	4 (At)	5 (Ex)	5 (Ex)
5	4 (At)	4 (At)	5 (Ex)	5 (Ex)	5 (Ex)

## 2.2.4 Mapa de cobertura da vegetação

Bertoni & Neto (1990) afirmaram que a primeira defesa natural contra a erosão do solo é a cobertura vegetal. Com o impacto direto das gotas de chuva na vegetação seja ela viva ou morta, a capacidade de infiltração da água reduz. Por outro lado, quando existe uma boa cobertura vegetal maior será a velocidade de infiltração porque o solo estará mais permeável.

O mapa da cobertura da vegetação foi previsto ser obtido aplicando o cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI).

O NDVI calcula atributos da vegetação, isto é, o nível de cobertura vegetal do terreno. A vegetação densa possui valores altos de NDVI devido da refletância baixa da banda do sensor visível e alta da banda do sensor do infravermelho próximo (Lillesand *et al.*, 2014). O NDVI é calculado pela relação entre as bandas do vermelho (RED) e infravermelho próximo (IR) (Rouse *et al.*, 1973).

Contudo, o trabalho foi realizado, com as imagens captadas com a camara Mapir NDVI BLUE + NIR. Trata-se de uma camara modificada, pelo que a radiação da banda do vermelho foi substituída pela radiação da banda do azul. A equação 2 mostra o cálculo do NDVI modificado.

$$NDVI = \frac{IR - Blue}{IR + Blue} \quad (2)$$

Os valores de NDVI variam entre -1 e 1. Valores negativos são “não vegetação”, por exemplo, a água, reflete mais intensamente o visível em comparação com o infravermelho próximo. Os solos descobertos e as rochas refletem os dois comprimentos de onda em intensidade semelhantes, pelo que os valores de NDVI aproximam-se de zero (Rizzi, 2004). Valores positivos são considerados “vegetação”, sendo a mais densa com valores superiores a 0.8.

Durante a aquisição de informação com a camara NDVI BLUE+ NIR ocorreu uma avaria na camara, pelo que foi necessário, calcular outro índice de vegetação que usasse a radiação do visível da camara RGB. Optou-se pelo cálculo do índice resistente à atmosfera na região do visível (VARI). Neste índice apenas são relacionadas bandas do espectro do visível (equação 3).

$$VARI = \frac{Green - Red}{Green - Red + Blue}$$

(3)

Os valores de VARI, foram validados e reclassificados com visitas de campo. Foram consideradas 3 classes: “Sem vegetação”, “Dispersa” e “Densa”

### 2.2.5 Mapa de ocupação do solo

A carta ocupação do solo é um dado importante, para estudos relacionados com o ambiente, recursos naturais e florestais, entre outros, pois ela permite que os *stakeholders*, cuja missão é a tomada de decisões no contexto ambiental, possam ter conhecimento sobre a área na qual se estuda ou se aplica um determinado projeto. As classes foram criadas com base na fotointerpretação dos ortofotomapas, com a carta de uso e ocupação do solo de Angola (Figura 32) e com visitas de campo.

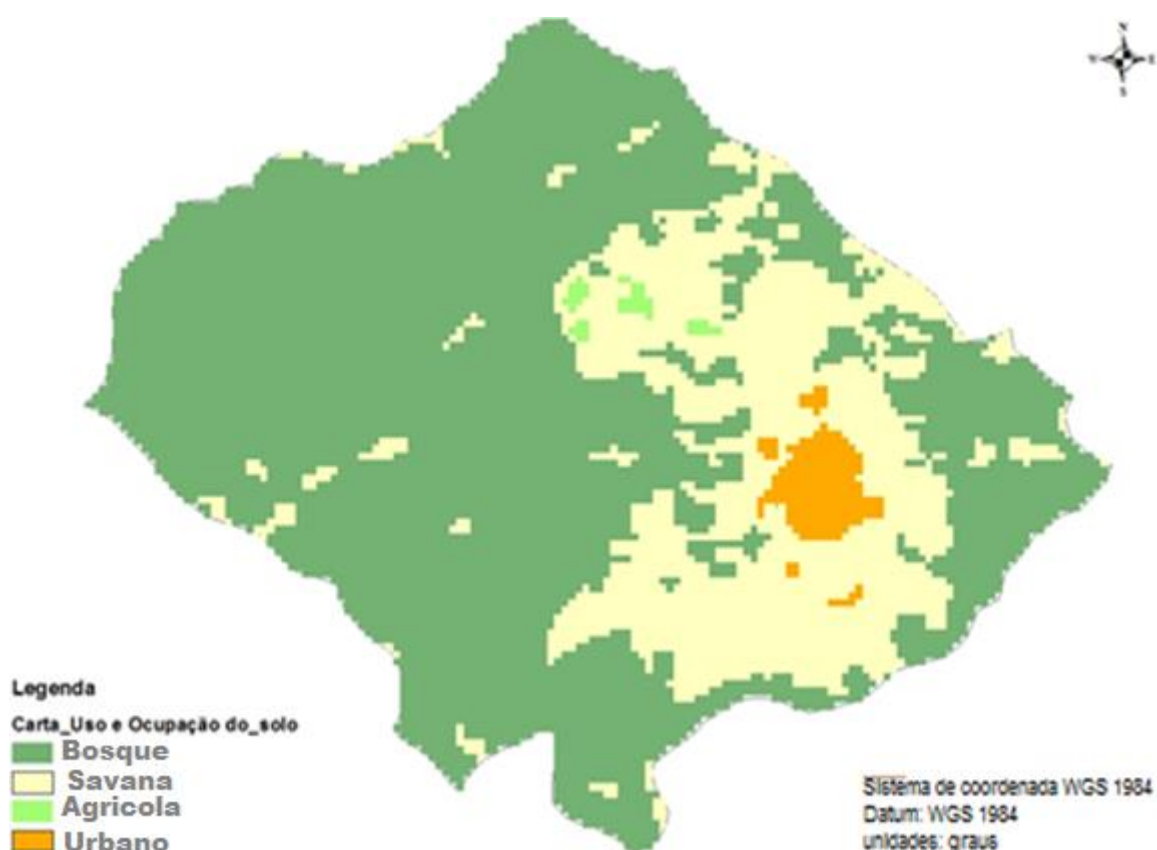


Figura 32 - Carta de uso e ocupação do solo do Luena  
(Fonte: <http://diva-gis.org/> / ArcGis 10.1)

Foram consideradas para este trabalho seis classes de ocupação do solo: Savana; Areia, Vegetação arbustiva; Urbano; Água; e Agrícola.

### 2.2.6 Mapa de Proteção do Solo

O mapa de proteção do solo foi obtido a partir do cruzamento do mapa da cobertura da vegetação com o mapa de uso e ocupação do solo.

Com base em trabalhos desenvolvidos por Zavala (2001) os níveis de proteção foram classificados em 6 classes: 1- Muito alta (MA); 2- Alta (At); 3- Média (Me); 4- Baixa (Bx); 5- Muito Baixa (MB); e Sem Proteção (SP). A tabela 4 mostra o cruzamento da informação para a respectiva área de estudo.

Tabela 4: Classes de proteção do solo: Sem proteção (SP), Muito Baixa (MB) e Baixa (B)

<b>Cobertura da vegetação</b> <b>Uso e ocupação do solo</b>	<b>Sem Vegetação</b>	<b>Dispersa</b>	<b>Densa</b>
Savana	SP	5 (MB)	4 (B)
Areia	SP	5 (MB)	4 (B)
Vegetação Arbustiva	SP	5 (MB)	4 (B)
Urbano	SP	SP	SP
Água	SP	SP	SP
Agrícola	SP	5 (MB)	5 (MB)

### 2.2.7 Mapa dos Estados Erosivos

O mapa dos estados erosivos foi gerado pelo cruzamento do mapa de erodibilidade com o mapa de proteção do solo. O cruzamento dos dados obedeceu ao padrão representado na tabela 5, segundo critérios adotados por Zavala (2001). Os estados erosivos foram distribuídos em 5 classes: 1- Muito Baixo (MB); 2- Baixo (Bx); 3- Médio (Me); 4- Alto (At) e 5 - Muito Alto (MA). A tabela 5 mostra o cruzamento da informação para a área de estudo.

Tabela 5 – Classes dos estados erosivos: Médio (Me), Alto (At) e Muito Alto (MA)

Proteção do solo Erodibilidade	4 (Bx)	5 (MB)	SP
2 (Md)	3 (Me)	3 (Me)	4 (At)
3 (Me)	3 (Me)	4 (At)	5 (MA)
4 (At)	5 (MA)	5 (MA)	5 (MA)
5 (Ex)	5 (MA)	5 (MA)	5 (MA)

### 2.2.8 Mapa da erosividade da chuva

A agressividade da chuva é um fator importante no processo de erosão do solo. O objetivo deste trabalho de investigação é mapear os diferentes níveis de suscetibilidade do solo à erosão hídrica que poderão dar origem à formação de ravinas. Em Luena, chove de uma forma não uniforme durante os meses de Janeiro a Abril e de Setembro a Dezembro (entre 20 mm a 230 mm). Devido a este facto, foi utilizado o índice o Índice Modificado de Fournier para estimar a agressividade da chuva (IMF; Arnoldus, 1978), por se tratar de um índice que contabiliza todos os meses do ano ao invés do índice de Fournier (IF) (Fournier, 1960) e outros índices, que contabilizam os meses mais chuvosos do ano (Jordán, 2000; Jordán & Bellinfante, 2000).

O IMF foi calculado pela equação (4) em que,  $p_i$  é a precipitação mensal e  $p_t$  é a precipitação anual.

$$IMF = \sum_{i=1}^{18} \frac{p_i^2}{p_t} \quad (4)$$

Para determinar o IMF, é necessário obter dados de precipitação que nem sempre estão disponíveis devido à escassez e à falta de manutenção das estações meteorológicas (Fernández, 2012). Na área de estudo apenas existem duas estações meteorológicas (11 e 17) pelo que foi necessário alargar o estudo à província de Moxico. A figura 33 mostra a distribuição espacial das 18 estações meteorológicas no município de Moxico.

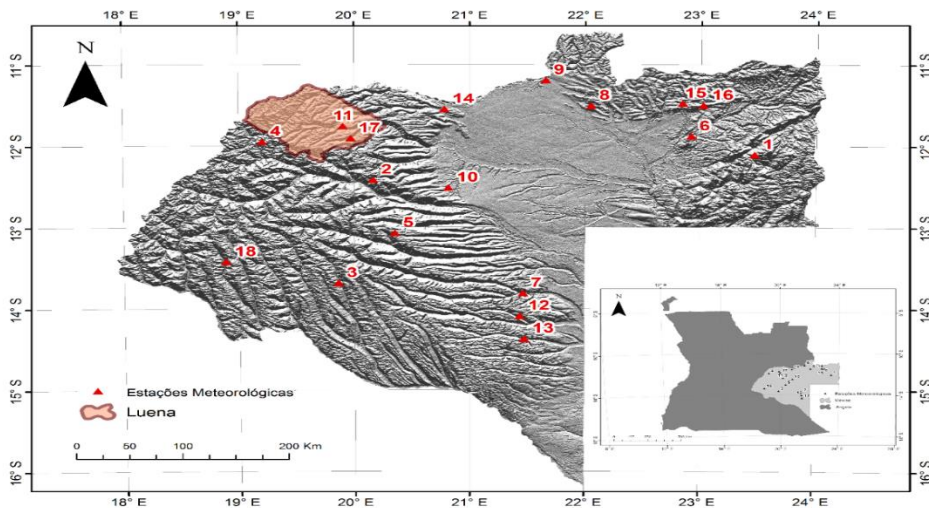


Figura 33 - Distribuição das 18 estações meteorológicas da província de Moxico

A tabela 6 mostra a localização geográfica das 18 estações em coordenadas WGS84 – UTM – 34S.

Tabela 6 - Coordenadas das estações meteorológicas da província do Moxico

Nº	Nome	M (m)	P (m)	H (m)
1	Calunda	768294,37	8658964,64	1503
2	Camanongue	409137,65	8625754,38	1266
3	Cangamba	376724,18	8485382,54	1257
4	Cangumbe	304539,74	8677234,84	1470
5	Cassamba	429535,81	8553373,93	1213
6	Cazombo	708691,75	8684558,86	1225
7	Chemboça	550037,82	8471579,37	1101
8	Lago Dilolo	614506,23	8726313,37	1097
9	Luacano	571724,12	8761052,40	1095
10	Lucusse	480009,73	8615053,08	1150
11	Luena	380366,02	8698534,66	1348
12	Lumbala	547278,82	8440617,12	1069
13	Lumbala N'guimbo	551209,59	8409641,19	1122
14	Lumege	476230,96	8721980,31	1147
15	Malari	700919,57	8729196,65	1112
16	Nana Candundo	720322,99	8726300,26	1139
17	Santo Caloto	387836,62	8682084,33	1326
18	Tempué	271222,47	8513777,99	1376

Foram registados os valores de precipitação entre 1 de janeiro e 31 dezembro de 2015. Como na província existem apenas duas estações do ano, inverno (Cacimbo) e verão (Chuvas), foram determinados os valores médios para as duas estações do ano (Tabela 7).

Por forma a mostrar a variação da precipitação da província de Moxico foi criado um mapa da precipitação obtido por interpolação pelo método do *spline tension* utilizando um número máximo de 6 amostras e um peso de 0.1.

A escassez de informação de dados de precipitação dificultou a criação do mapa de IMF. Para contornar este problema recorreu-se a variáveis que poderiam estar correlacionadas com a precipitação, nomeadamente, a altitude, a insolação, a orientação das vertentes, a temperatura média e a posição geográfica.

Tabela 7 - Dados de precipitação mensal, anual e precipitação média do verão e do inverno entre 1 de janeiro e 31 de dezembro de 2015

Est	Jan	Fev	Mar	Abr	Set	Out	Nov	Dez	Média Verão (mm)	Mai	Jun	Jul	Ago	Média Inver (mm)	Precip Anual (mm)
1	244	231	232	85	19	84	205	275	171,87	9	0	0	2	5,5	1386
2	215	185	221	121	26	105	179	227	159,87	8	0	0	2	5	1289
3	218	186	196	68	7	27	141	180	127,87	4	0	0	2	3	1029
4	225	193	225	107	24	100	196	228	162,25	9	0	0	2	5,5	1309
5	219	184	205	80	10	44	152	197	136,37	6	0	0	1	3,5	1098
6	241	224	218	85	18	79	183	251	162,37	9	0	0	2	5,5	1310
7	220	185	198	61	6	39	136	197	130,25	9	0	0	0	4,5	1051
8	231	215	230	109	21	87	173	235	162,62	11	0	0	3	7	1315
9	230	216	238	124	22	95	168	232	165,62	10	0	0	3	6,5	1338
10	217	184	214	96	14	66	159	212	145,25	8	0	0	1	4,5	1171
11	215	180	209	110	23	100	178	231	155,75	6	0	0	1	3,5	1101
12	216	190	207	81	15	72	163	224	146,00	12	0	0	2	7	1182
13	225	188	193	55	5	34	129	194	127,87	8	0	0	0	4	1031
14	219	194	228	122	21	95	168	225	159,00	8	0	0	2	5	1282
15	251	236	223	91	21	82	187	255	168,25	9	0	0	3	6	1358
16	254	239	223	89	21	82	191	262	170,12	9	0	0	2	5,5	1372
17	216	181	209	107	21	94	175	228	153,87	6	0	0	1	3,5	1238
18	222	185	207	78	10	50	153	194	137,37	5	0	0	2	3,5	1106

Os mapas de cada uma das variáveis foram produzidos e para cada estação meteorológica foi obtido o valor do pixel das respetivas variáveis (Tabela 8).

Os valores de altitude (C) foram obtidos a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) da província do Moxico, extraído U.S. Geological Survey Global Multi-resolution Terrain Elevation Data 2010 (GMTED2010), com uma resolução espacial de aproximadamente 230 m.

Os dados da temperatura foram datados de 1 janeiro a 31 dezembro de 2015 e obtidos a partir do Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica de Angola (INAMET).

Tabela 8: Valores das variáveis, M (latitude), P (longitude), C (altitude), Temperatura, Precipitação de verão, IMF verão, Insolação de verão, Precipitação de inverno, IMF inverno, Insolação de inverno e orientação.

Nome	M (m)	P (m)	C (m)	Temp (°)	P_verão (mm)	IMF_verão (mm)	INS_verão (mm)	P_inv (mm)	IMF_inv (mm)	INS_inv (mm)	Orient
Calunda	768294.37	8658964.64	1503	19.0	171.87	217.46	87.61	5.50	7.73	135.49	11.05
Camanongue	409137.65	8625754.38	1266	20.9	159.87	187.02	317.70	5.00	6.80	180.98	264.56
Cangamba	376724.18	8485382.54	1257	21.9	127.87	174.21	262.67	3.00	3.33	99.88	129.71
Cangumbe	304539.74	8677234.84	1470	20.0	162.25	193.32	72.77	5.50	7.73	84.26	351.53
Cassamba	429535.81	8553373.93	1213	21.2	136.37	177.99	164.64	3.50	5.29	278.88	6.34
Cazombo	708691.75	8684558.86	1225	20.4	162.37	204.82	313.71	5.50	7.73	226.02	288.43
Chemboca	550037.82	8471579.37	1101	20.0	130.25	176.98	281.16	4.50	9.00	243.45	306.25
Lago Dilolo	614506.23	8726313.37	1097	21.2	162.62	197.95	162.63	7.00	9.29	280.74	0.00
Luacano	571724.12	8761052.40	1095	21.6	165.62	198.59	258.23	6.50	8.38	248.12	45.00
Lucusse	480009.73	8615053.08	1150	20.7	145.25	181.35	186.36	4.50	7.22	272.21	18.43
Luena	380366.02	8698534.66	1348	20.1	155.75	184.57	132.92	3.50	5.29	47.01	161.57
Lumbala	547278.82	8440617.12	1069	19.5	145.00	183.49	305.09	7.00	10.57	233.85	294.62
Lumbala Nguimbo	551209.59	8409641.19	1122	19.9	127.87	177.62	251.15	4.00	8.00	248.80	42.71
Lumege	476230.96	8721980.31	1147	21.1	159.00	189.29	312.15	5.00	6.80	166.73	261.87
Malari	700919.57	8729196.65	1112	21.0	168.25	210.90	164.03	6.00	7.50	54.72	164.74
Nana Candundo	720322.99	8726300.26	1139	20.8	170.12	214.24	181.35	5.50	7.73	50.57	205.97
Santo Caloto	387836.62	8682084.33	1326	20.8	153.87	183.94	151.00	3.50	5.29	229.52	347.47
Tempue	271222.47	8513777.99	1376	20.8	137.37	178.42	280.93	3.50	4.14	243.40	306.30

O mapa de orientação das vertentes foi obtido com base no MDE e a partir da equação (5) (Zhou & Liu 2004):

$$A = 270^\circ + \arctg\left(\frac{f_x}{f_y}\right) - 90^\circ \frac{f_x}{|f_x|} \quad (5)$$

Onde,  $f_x$  e  $f_y$  são os gradientes nas direções W-E e N-S, respetivamente.

A variável insolação representa o número de horas de exposição solar. O mapa das insolações foi criado com base no MDE, na latitude do lugar e nos dias em que tem início o inverno e o verão (Tabela 9). Foram elaborados os mapas de insolação para cada uma das 2 estações do ano determinando-se o grau de iluminação das vertentes em cada hora de luz e a existência de zonas de sombra pela influência da topografia do terreno. Foi obtida a média dos valores de insolação em cada período em Watt h/m<sup>2</sup>.

Tabela 9 - Início de verão e inverno e latitude da região

	Inverno	Verão
Latitude	-13°, 381	
Dia do Ano	135	227

A modelação do IMF, foi realizada com base na metodologia de Fernández (2012). Baseou-se no estudo das correlações entre o IMF (variável resposta) e as variáveis altitude, posição geográfica, temperatura média, precipitação, orientação das vertentes e a insolação (variáveis explicatórias), e no estabelecimento de uma regressão multilinear entre a variável resposta e as variáveis explicatórias que mais se correlacionaram com o IMF. Dos vários modelos realizados foram analisados estatisticamente, para uma confiança de 95% o *intercept*, o contributo das variáveis explicatórias, o ajusto do modelo ( $R^2$ ), o teste da anova e verificadas as 4 premissas: Normalidade, Homogeneidade da variância, Independência e a Distância de Cook dos resíduos. Foram determinados dois modelos de regressão multilinear, que melhor explicaram o IMF de inverno e o IMF de verão.

Com base nas equações da regressão multilinear foram obtidos os mapas IMF de inverno e verão da província de Moxico e classificado segundo Corine CEC (1992) (Tabela 10).

Tabela 10 - Classificação do IMF, Corine-CEC (1992)

IMF (mm)	Classificação
< 60	I Muito Baixo
60 -90	II Baixo
90 - 120	III Moderado
120 - 160	IV Alto
>160	V Muito alto

### 2.2.9 Mapa de suscetibilidade ao risco de erosão

O mapa de suscetibilidade ao risco de erosão hídrica das ravinas 1, 2 e 3 para o inverno e o verão foram obtidos pelo do cruzamento do mapa do Índice Modificado de Fournier IMF do inverno e do verão com o mapa dos Estados Erosivos (Tabela 11). A suscetibilidade ao risco de erosão hídrica foi distribuída em 5 classes: muito baixa (1); baixa (2); média (3); alta (4) e muito alta (5).

Tabela 11 -Cruzamento entre estados erosivos e o IMF (Índice Modificado de Fournier): Muito baixa (MB), baixa (Bx), Média (Me) e Muito alta (MA)

IMF Estados Erosivos	Inverno IMF (< 60 mm)	Verão IMF (> 160 mm)
3 (Me)	1 (MB)	5 (MA)
4 (At)	2 (Bx)	5 (MA)
5 (MA)	3 (Me)	5 (MA)

## 3. Resultados e discussão

### 3.1 Mapas digitais de superfície

O processo realizado no software Agisoft Photoscan 1.2.4, teve como resultado a obtenção de 2 mapas: o Mapa Digital de Superfície (MDS) e o Ortofotomosaico (Figuras 34, 35 e 36) referentes às ravinas 1, ravina 2 e ravina 3.

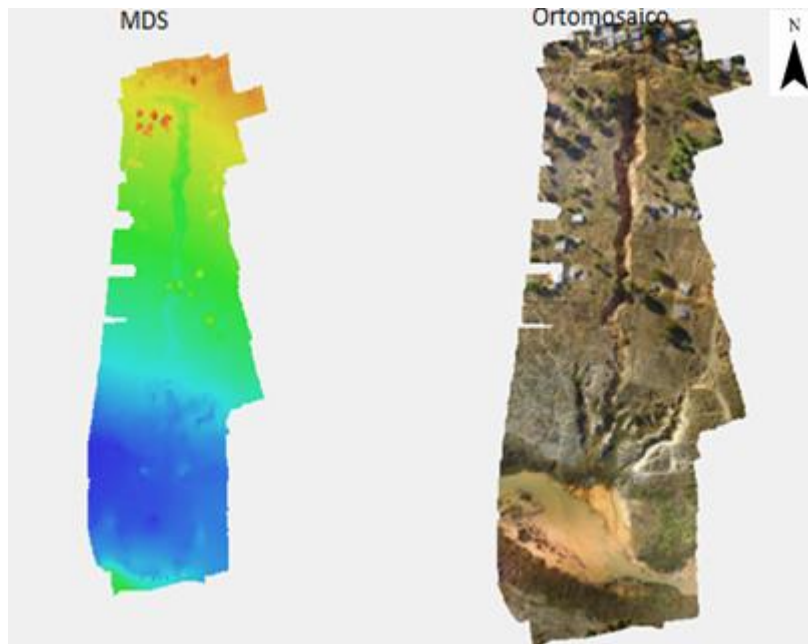


Figura 34 - Mapa digital de superfície e ortofotomosaico da ravina 1

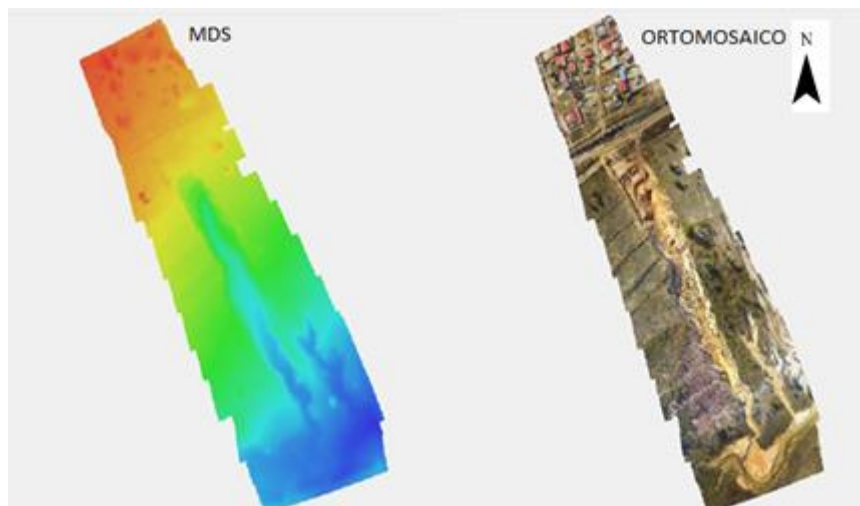


Figura 35 - Mapa digital de superfície e ortofotomosaico da ravina 2

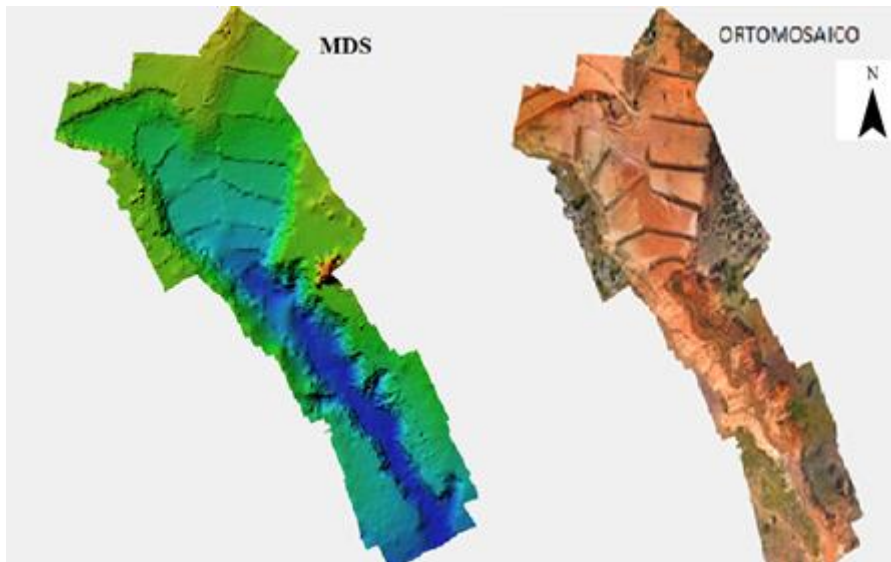


Figura 36 - Mapa digital de superfície e ortofotomosaico da ravina 3

A Figura 37, mostra a variação dos valores de elevações de cada ravina. Verifica-se que na ravina 1 as elevações variam entre 1260 metros a 1310 metros, na ravina 2 variam entre os 1250 metros a 1310 metros e na ravina 3 entre 1190 metros a 1280 metros.

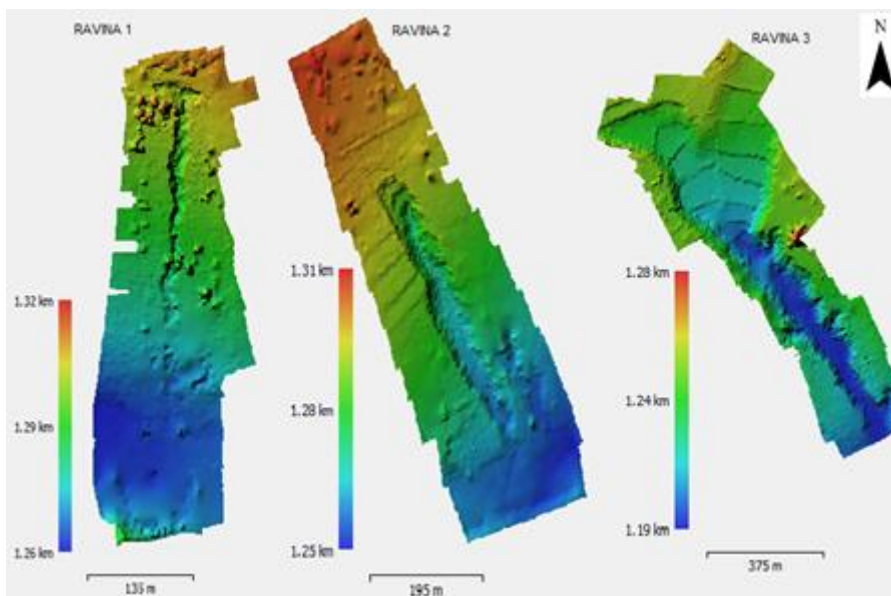


Figura 37 - MDS das 3 áreas de estudo

### 3.2 Mapa de declives

O mapa dos declives de cada ravina foi classificado de acordo com as *guidelines de PAP/RAC* (1997), em 5 classes: Suave (0 - 3%); Moderado (3 - 12%); Escarpado (12

- 20%), Muito escarpado (20 – 35%) e Extremo (> 35%). As figuras 38 a 40 mostram os mapas de declives das 3 ravinas.

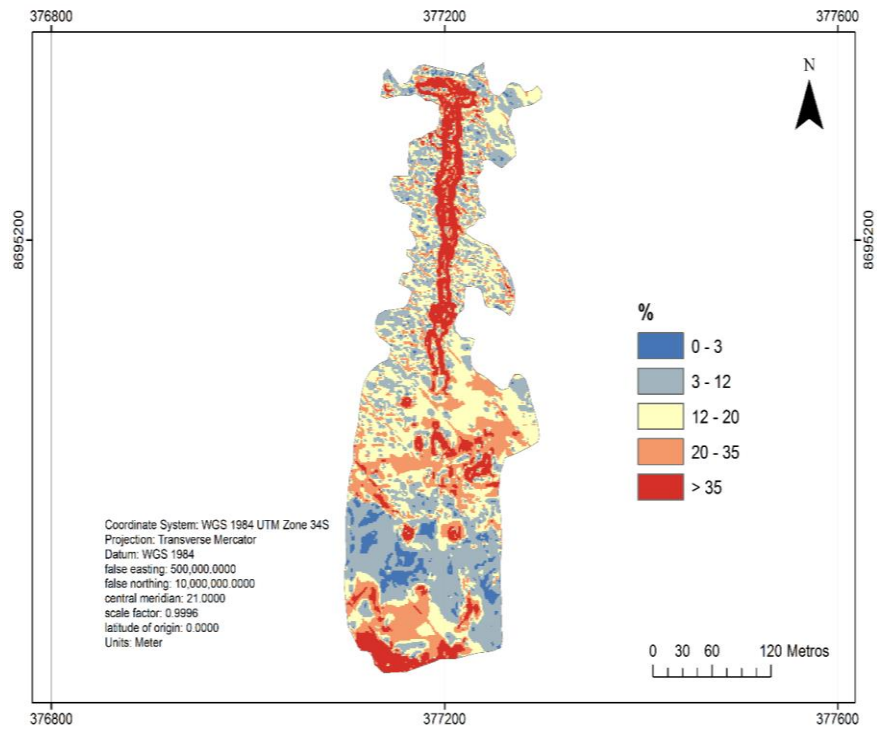


Figura 38 - Carta de declive da ravina 1

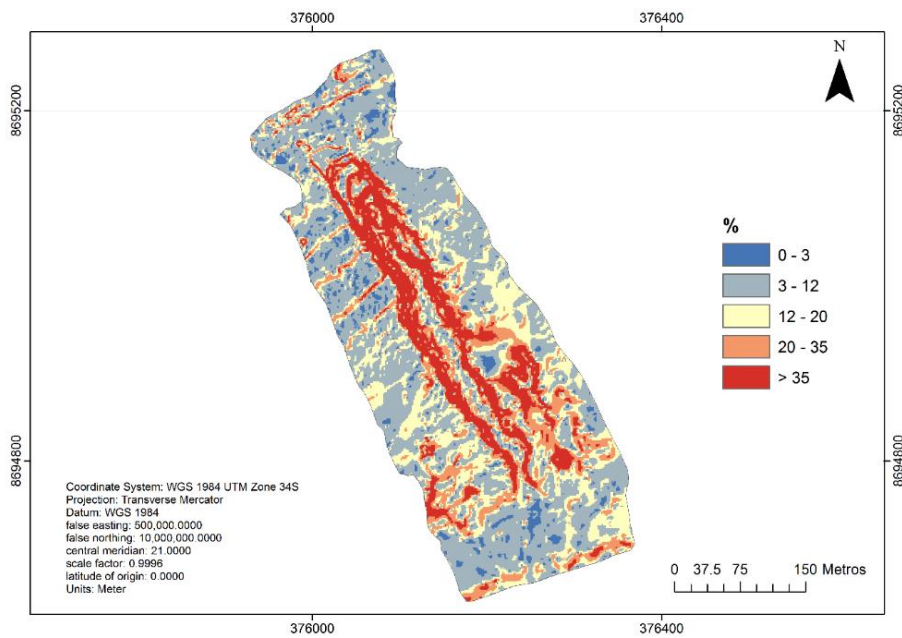


Figura 39 - Carta de declive da ravina 2

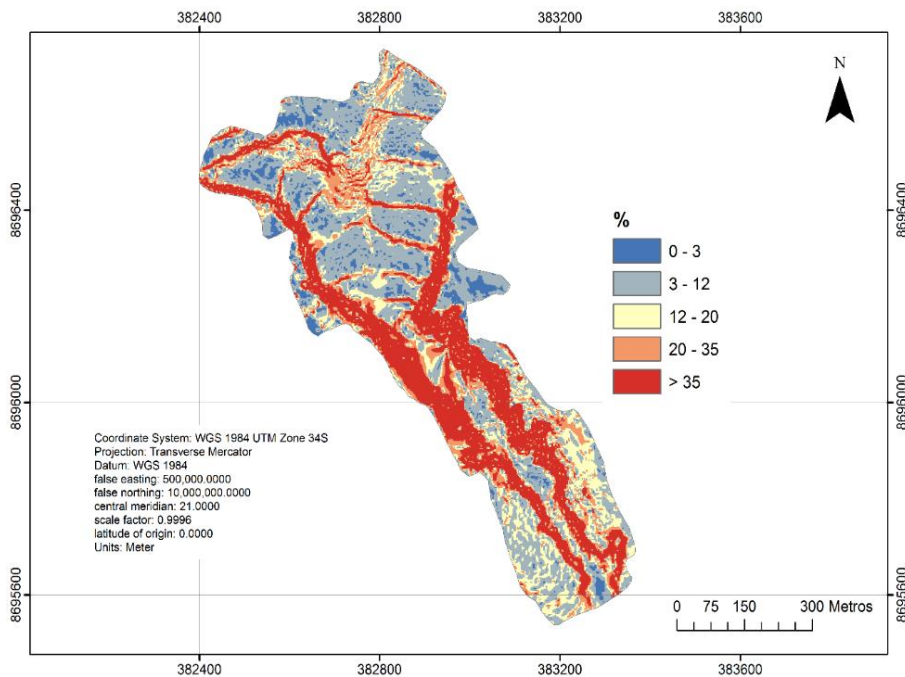


Figura 40 - Carta do declive da ravina 3

A tabela 12 mostra área ocupada por cada classe de declive em cada ravina

Tabela 12 - Área de ocupação de cada classe de declive

Classes de declive (%)	Área (%)		
	Ravina 1	Ravina 2	Ravina 3
Suave (0 – 3)	4.4	4.9	6.8
Moderado (3 – 12)	31.9	43.4	36.0
Escarpado (12 – 20)	30.4	23.1	17.1
Muito escarpado (20 – 35)	19.7	13.7	13.4
Extremo (>35)	13.6	14.9	26.7

Pela análise da Tabela 12 verifica-se que na ravina 1 cerca de 62% dos declives estão classificados de moderado a escarpado (3 a 20%) e menos representativa os declives suaves (0 a 3%) com uma ocupação de cerca de 4%. Na ravina 2 cerca de 67% da área apresenta declives moderados e escarpados (3 a 20%) e 5% declives suaves (0 a 3%). Na ravina 3 os declives moderados e escarpados (3 a 20%) representam cerca

de 53% da área e cerca de 7% os declives suaves (0 a 3%). Comparando as 3 ravinas verifica-se que a ravina 3 é a mais declivosa, visto 27% da área apresenta declives extremos (> 35%).

### 3.3 Mapa de litofácies

Da figura 41 a 43 são apresentados os solos das três ravinas. O solo da ravina 1 e da ravina 2 é silte e o da ravina 3 é arenoso.

De acordo com a classificação PAP/RAC, 1997 (Tabela 2) os solos das ravinas do Luena estão classificados na classe E - Solos ou sedimentos muito pouco coesivos ou materiais detríticos.



Figura 41 - Mapa de litofácies da ravina 1



Figura 42 - Mapa de litofácies da ravina 2

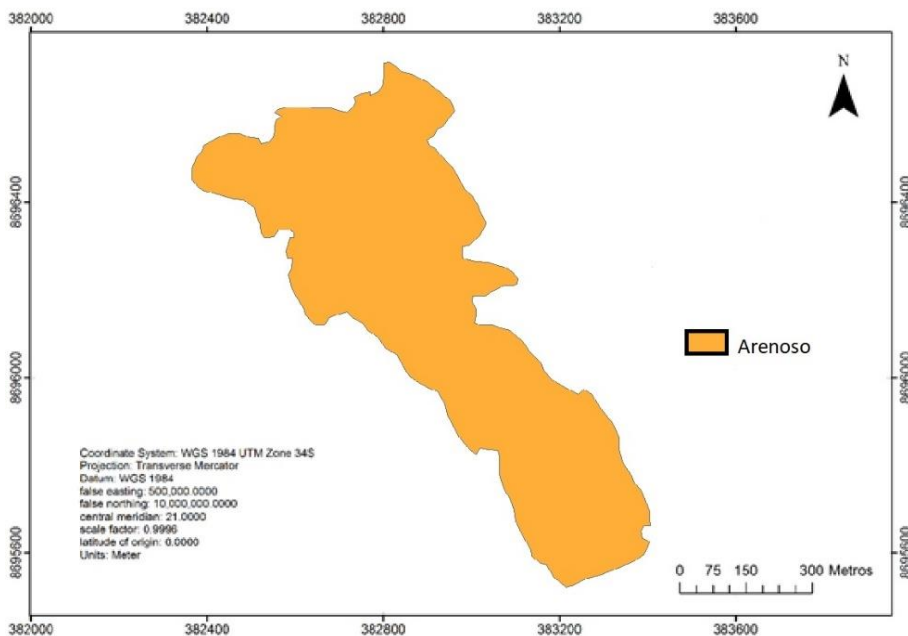


Figura 43: Mapa de litofácies da ravina 3

### 3.4 Mapa de erodibilidade do solo

A erodibilidade do solo representa o resultado de processos que definem a permeabilidade do solo, no que diz respeito à sua infiltração, bem como à força das gotas de chuva e à resistência ao transporte das águas superficiais, e que determinam o comportamento do solo, face à erosão (Lal & Elliot, 1994).

A textura do solo influencia na erodibilidade, porque um solo arenoso absorve a água e um pequeno volume escoado pode arrastar grandes quantidades de solo, mas se o solo for argiloso, a infiltração da água é menor e será maior a escoamento superficial com menor erosão do solo que possui e maior é a coesão entre as partículas constituintes (Bertoni & Neto, 1990).

Os mapas da erodibilidade das 3 ravinas, que resultam do cruzamento do mapa dos declives com as litofácies, estão representados nas figuras 44 a 46. A tabela 13 mostra que resultaram 4 classes de erodibilidade: 2 (Md); 3 (Me); (4) Alta; 5 (Ex).

Tabela 13 - Cruzamento para classificação da carta de erodibilidade (adaptado de Zavala, 2001)

<b>Litofácies</b>	
<b>Declives</b>	<b>5(E)</b>
1	2(Md) Moderado
2	3(Me) Medio
3	4(At) Atenuado
4	5(Ex) Extremo
5	5(Ex) Extremo

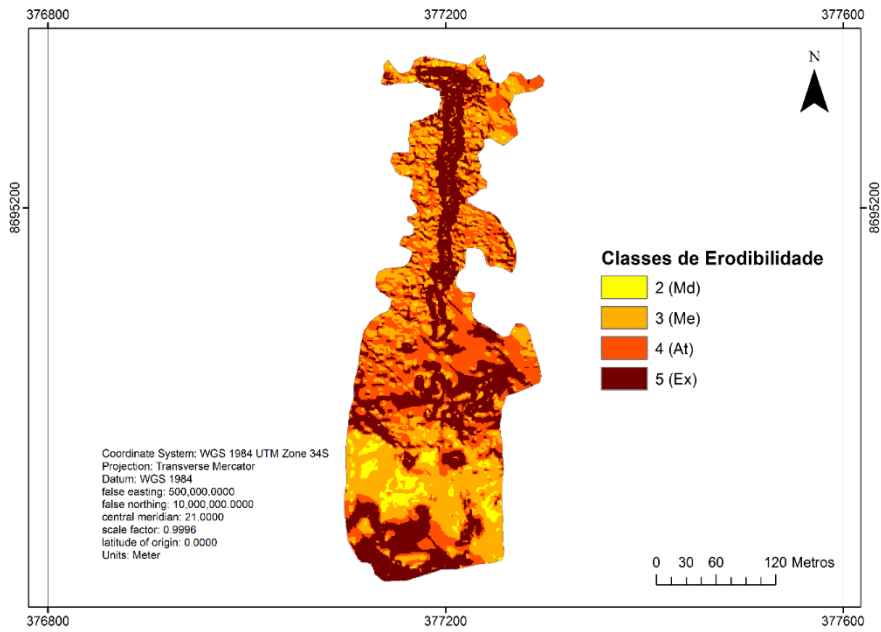


Figura 44 - Mapa de erodibilidade da ravina 1

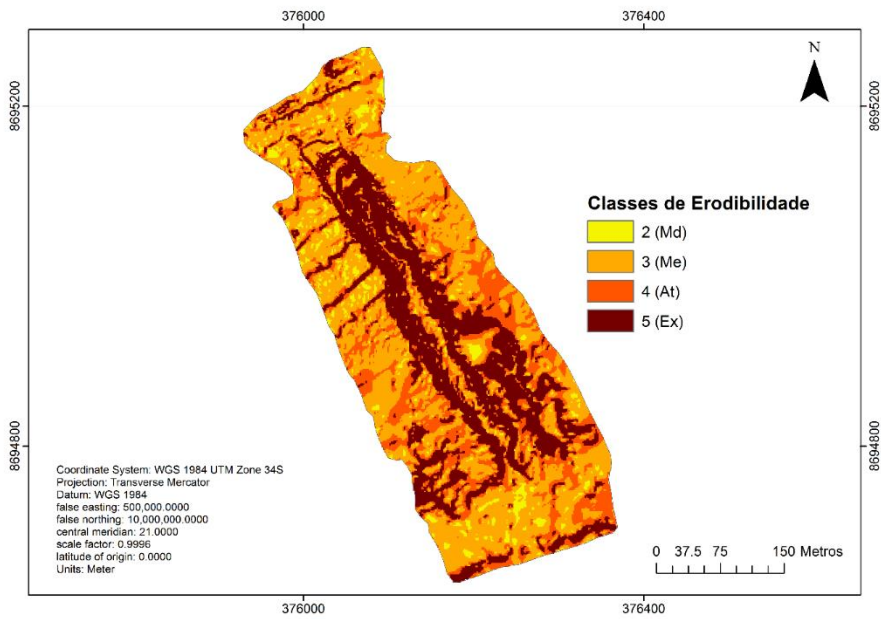


Figura 45 - Mapa de erodibilidade da ravina 2

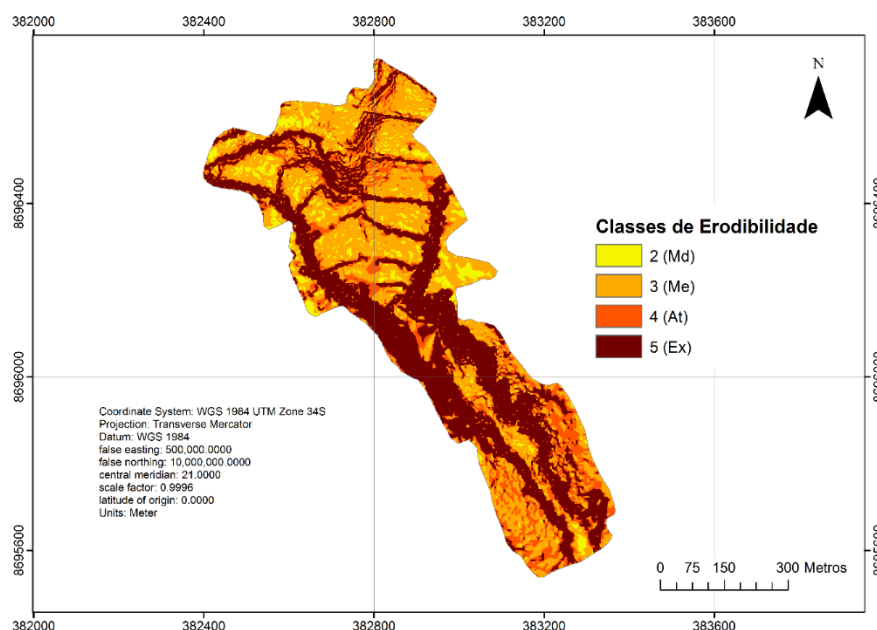


Figura 46 - Mapa de erodibilidade da ravina 3

A tabela 14 mostra a área de ocupação de cada classe em cada ravina.

Tabela 14 - Classes de erodibilidade

Estado	Classes de erodibilidade	Áreas (%)		
		Ravina 1	Ravina 2	Ravina 3
2	Moderada	4.4	4.9	6.9
3	Média	31.9	43.4	36.0
4	Alta	30.4	23.0	17.0
5	Extrema	33.3	28.7	40.1

Verifica-se que na ravina 1 e na ravina 2 cerca de 95% da área é classificada com uma erodibilidade média, alta e extrema. Na ravina 1 cada uma destas classes apresenta uma percentagem de área muito idêntica, ao invés da ravina 2 que se destaca a classe de erodibilidade média (43.4%). Na ravina 3 as classes de erodibilidade média, alta e baixa ocupam cerca de 93% da área. Salienta-se que nesta ravina, 40.1% da área apresenta uma erodibilidade extrema.

### 3.5 Mapa da cobertura vegetal

A título de exemplo mostra-se na figura 47 os mapas de NDVI.

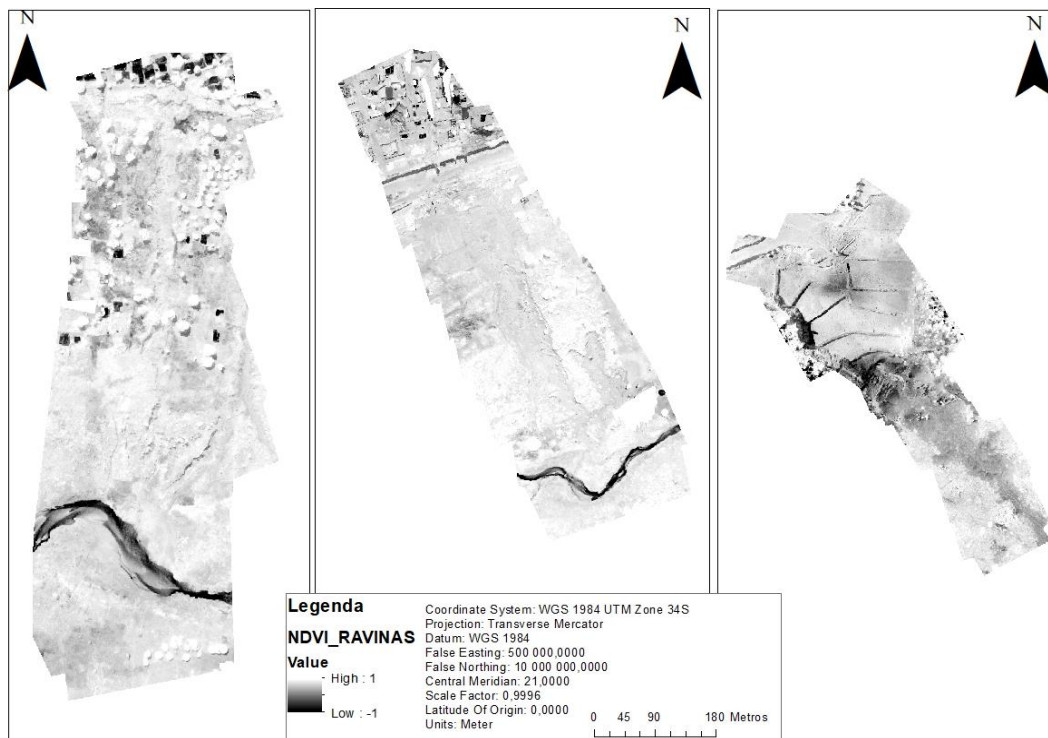


Figura 47 - NDVI das áreas de estudo ravina 1, 2 e 3

Como já foi referido anteriormente, durante o processo de aquisição das imagens de infravermelho ocorreu uma avaria no sensor, pelo que neste trabalho de tese foi o VARI. As Figura 48 a 50, mostram os mapas de cobertura vegetal, depois da reclassificação dos valores de VARI (sem vegetação, vegetação dispersa e vegetação densa).

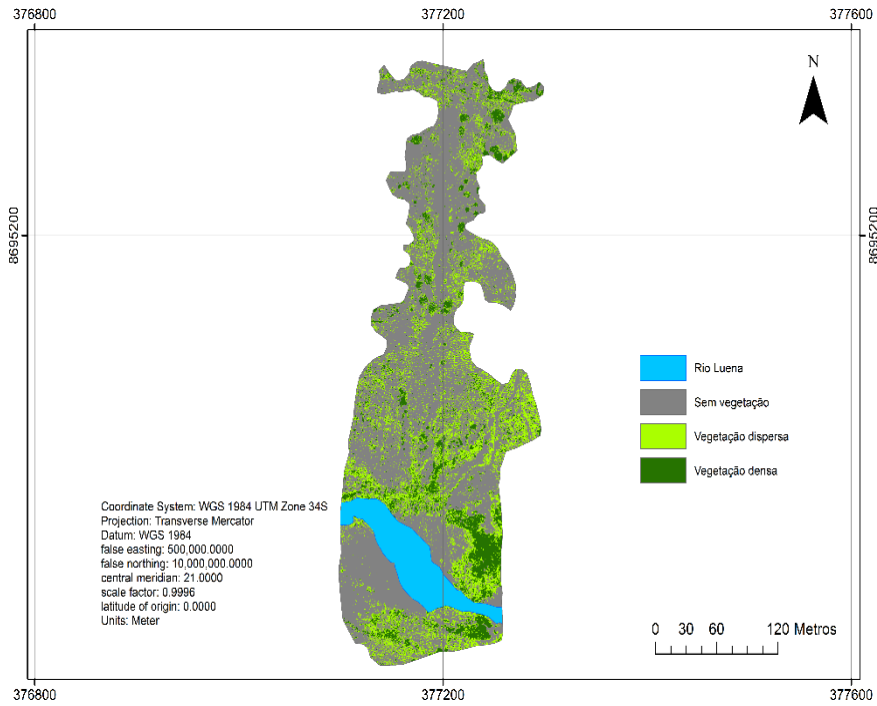


Figura 48 - Cobertura vegetal da ravina 1

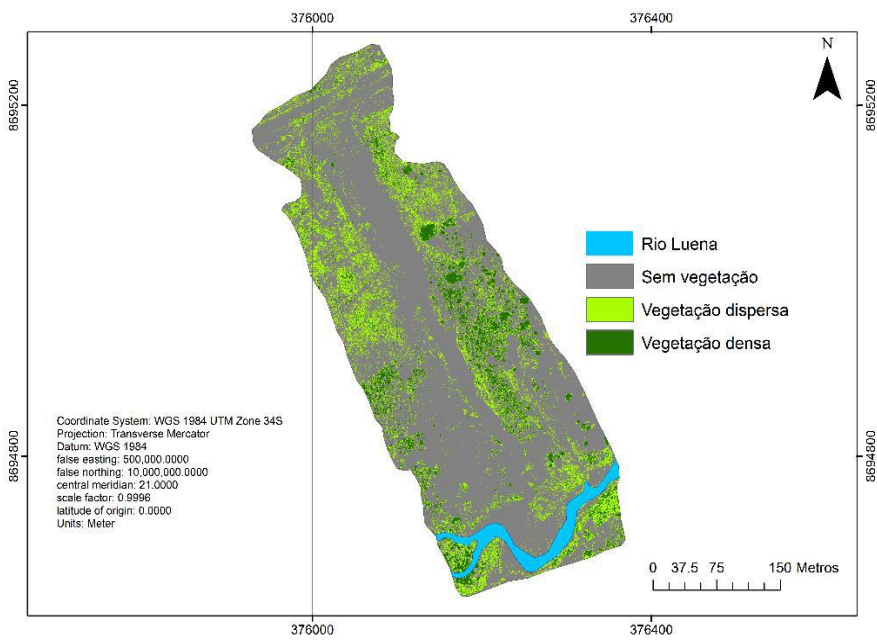


Figura 49 - Cobertura vegetal da ravina 2

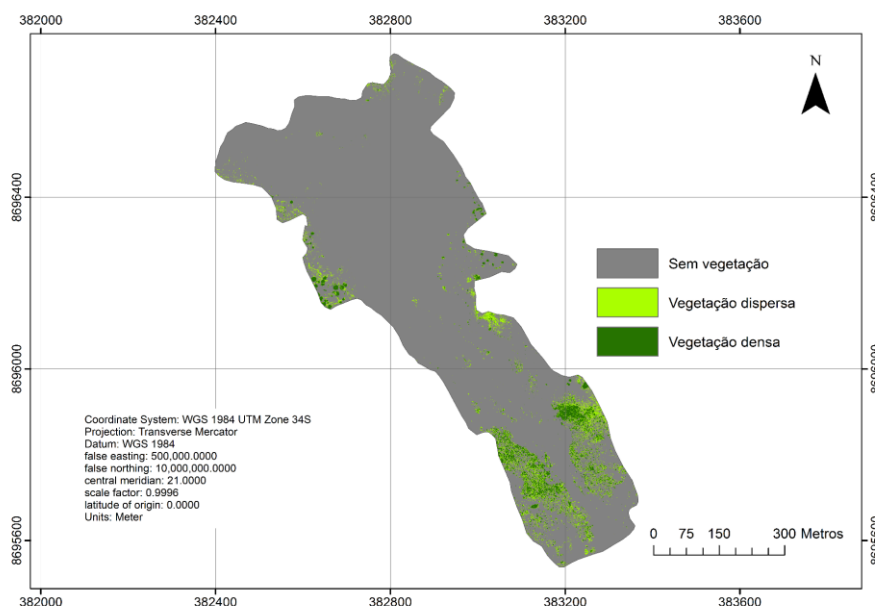


Figura 50 - Cobertura vegetal da ravina 3

A ravina 3 foi a que apresentou maior área sem vegetação (90% de área).

### 3.6 Mapa de ocupação do solo

Os mapas de ocupação do solo das 3 ravinas estão representados nas Figuras 51 a 53. Os solos de acordo PAP/RAC (1997) foram classificados em cinco classes nas ravinas 1 e 2: Savana, Água, Areia, Vegetação Arbustiva e Agrícola. Na ravina 3 as classes de ocupação foram classificadas em 4 classes: Savana, Areia, Vegetação Arbustiva e Urbano.

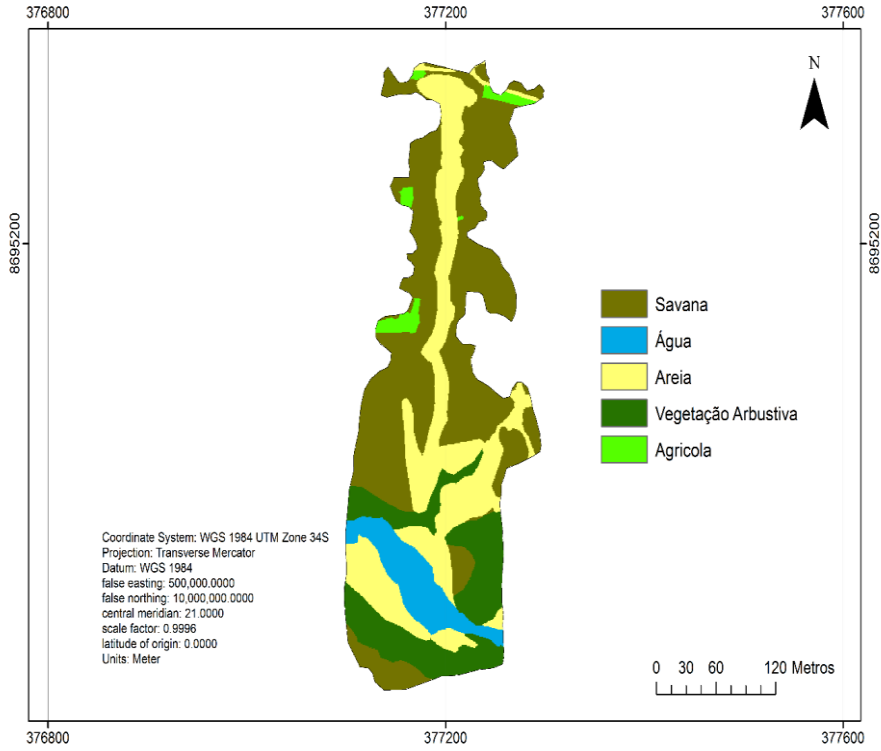


Figura 51 - Mapa de ocupação do solo da ravina 1

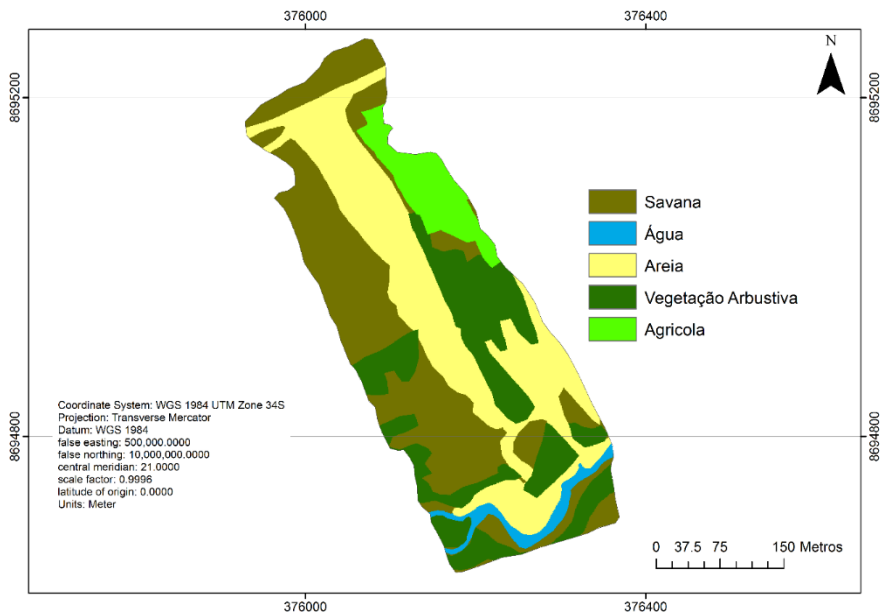


Figura 52 - Mapa de ocupação do solo da ravina 2

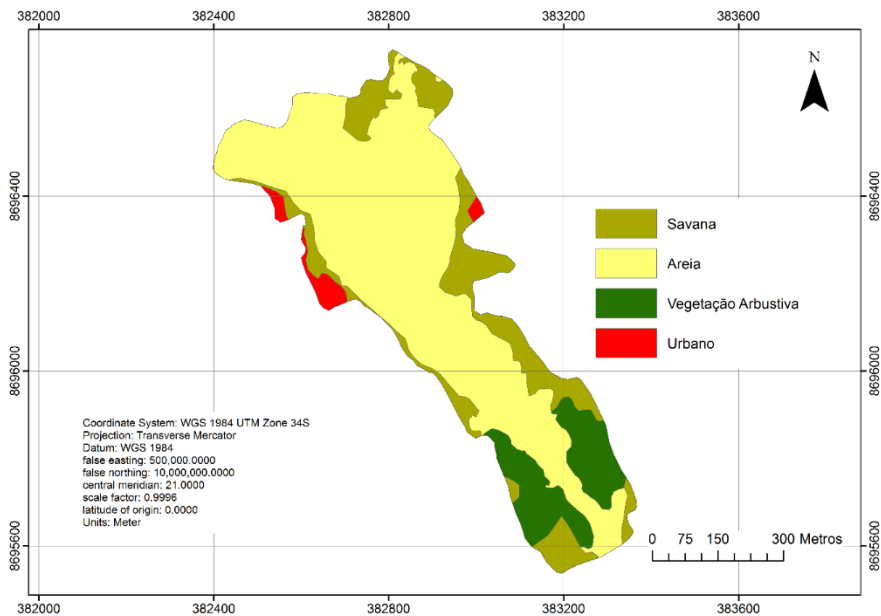


Figura 53 - Mapa de ocupação do solo da ravina 3

### 3.7 Mapa de proteção do solo

As Figura 54 a 56 mostram cartas de proteção do solo que resultaram do cruzamento entre as cartas de ocupação do solo e da Cobertura vegetal. Resultaram 3 classes: Baixa, Muito baixa e Sem Proteção.

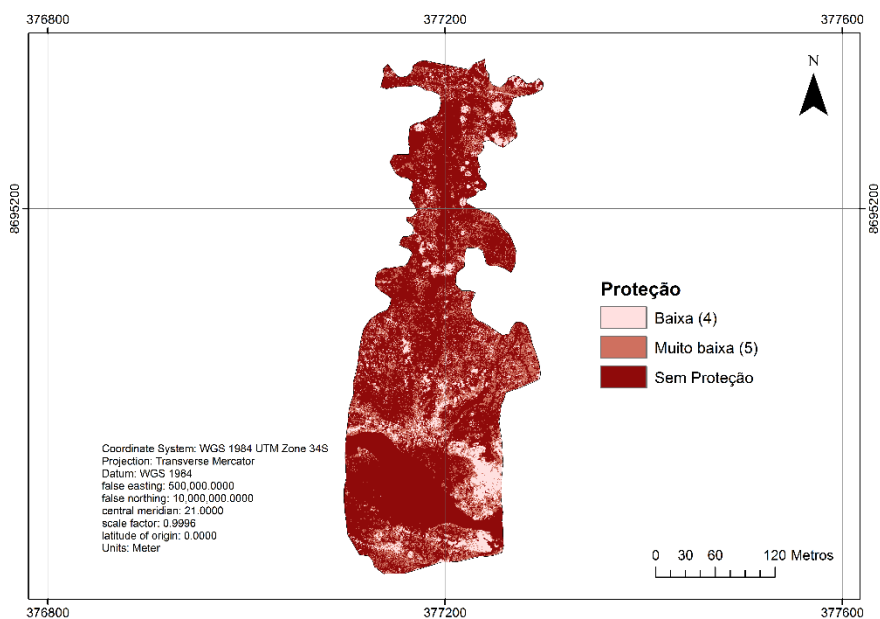


Figura 54 - Mapa de proteção do solo da ravina 1

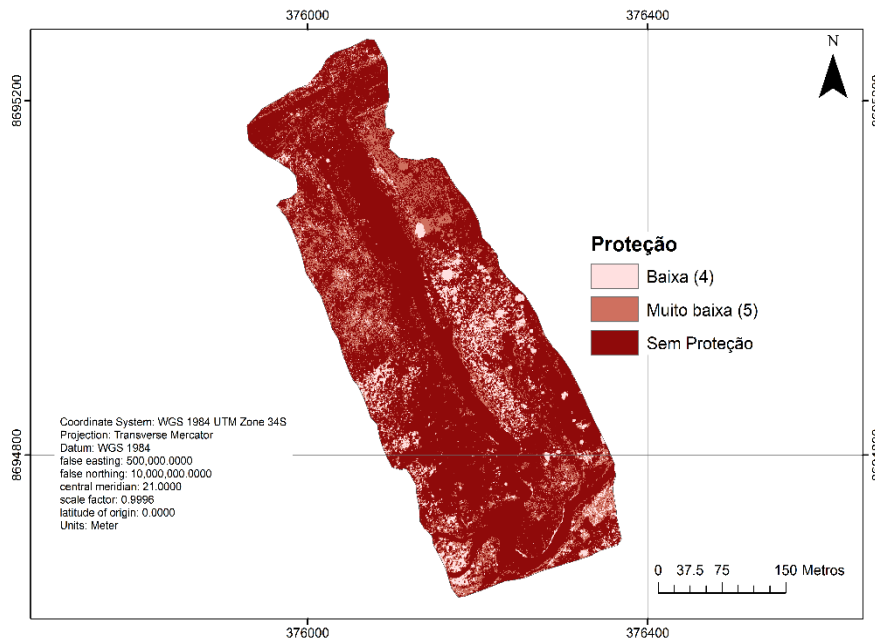


Figura 55 - Mapa de proteção do solo da ravina 2

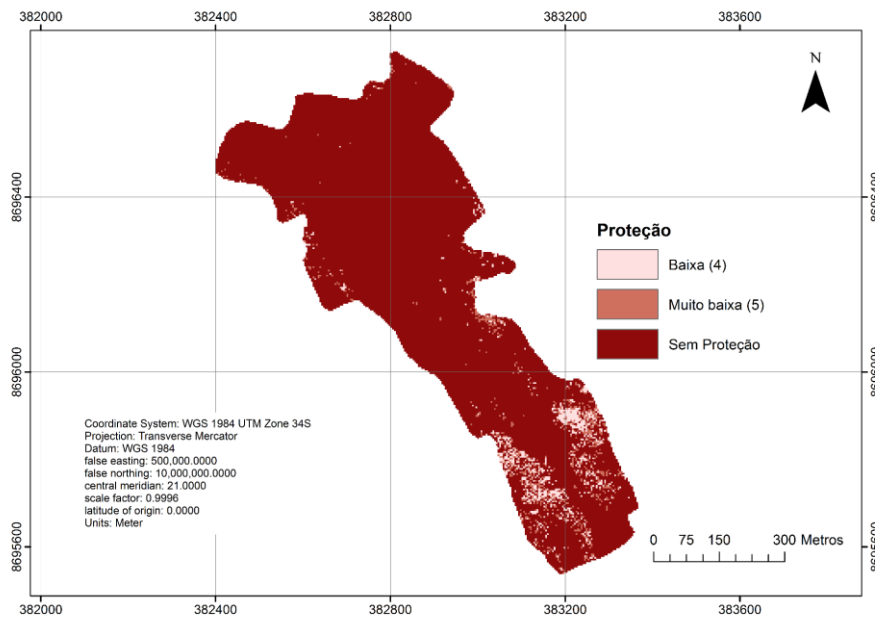


Figura 56 - Mapa de proteção do solo da ravina 3

A tabela 15 expressa os valores em percentagem de ocupação de cada classe.

Tabela 15 - Percentagem de proteção do solo por estado das 3 ravinas

Estado	Classificação	Áreas (%)		
		Ravina 1	Ravina 2	Ravina 3
0	Sem Proteção	70	73	94
5	Proteção muito baixa	10	8	3
4	Proteção baixa	20	19	3

Os resultados obtidos mostram as ravinas 1 e 2 têm mais de 70% de área classificada “sem proteção” e a ravina 3 apresenta 94% de área “sem proteção”.

### 3.8 Mapa dos estados erosivos

O mapa de estados erosivos foi gerado a partir do cruzamento do mapa de erodibilidade e do mapa de proteção do solo.

A classificação do mapa de estados erosivos foi elaborada segundo (Zavala 2001).

No cruzamento dos dados da carta de proteção do solo e da carta de erodibilidade resultou 3 níveis de estados erosivos: Médio, Alto e Muito Alto (Figuras 57 a 59).

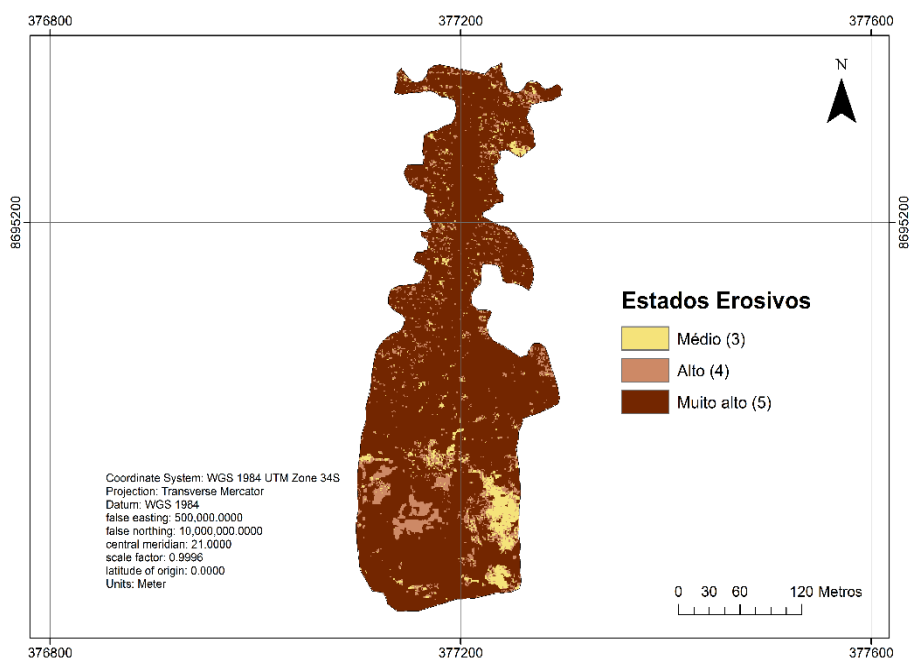


Figura 57 - Mapa do estado erosivo da ravina 1

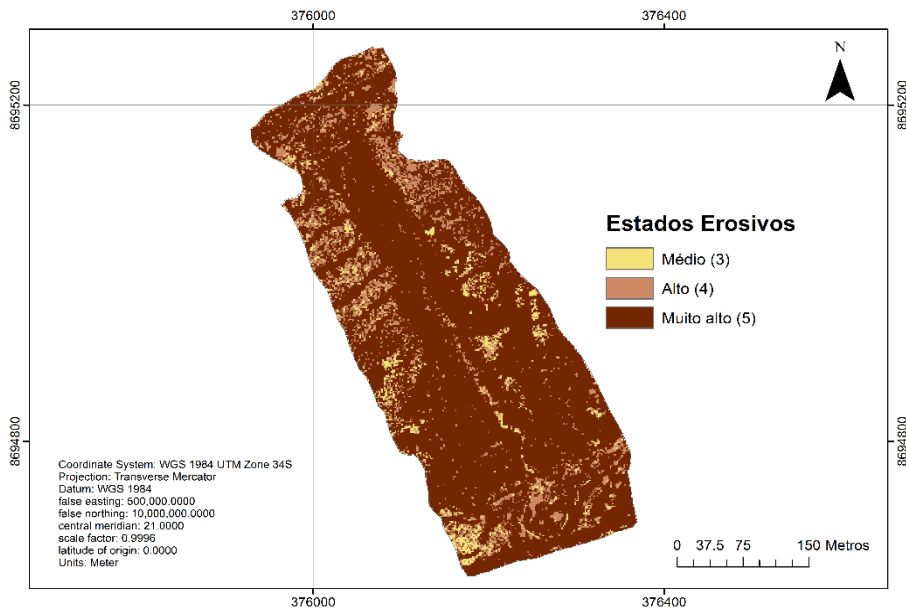


Figura 58 - Mapa do estado erosivo da ravina 2

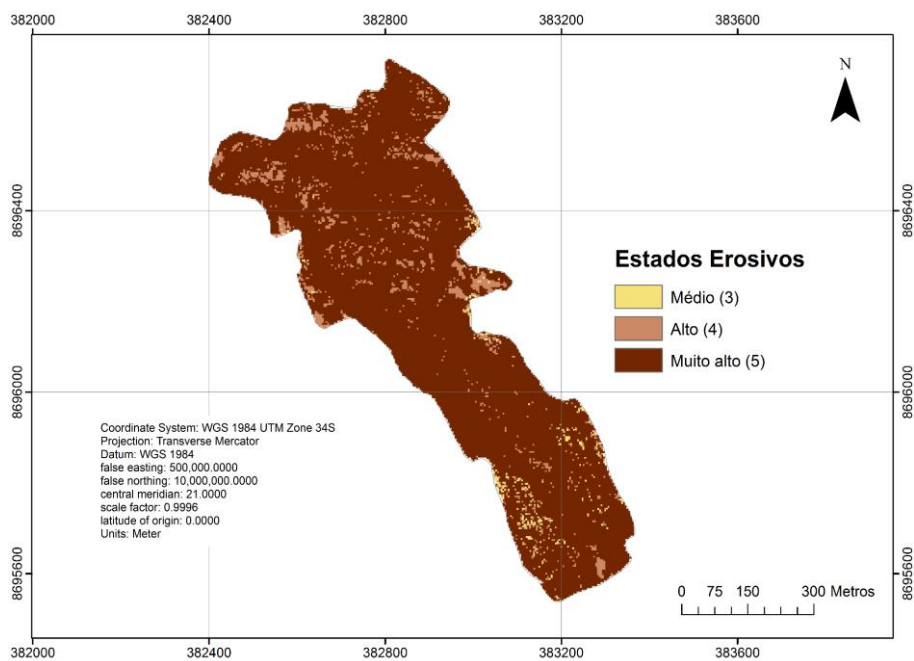


Figura 59 - Mapa do estado erosivo da ravina 3

A Tabela 16 mostra claramente que as 3 ravinas se encontram em áreas cuja proteção a nível do solo é quase nula porque as percentagens das áreas que correspondem às zonas classificadas com estados erosivos “Muito alto” é superior a 83%.

Tabela 16 - Percentagem da área de ocupação dos estados erosivos

Classificação	Ocupação (%)		
	Ravina 1	Ravina 2	Ravina 3
Médio	5	4	1
Alto	9	13	8
Muito alto	83	86	91

### 3.8 Mapa da erosividade da chuva

A Figura 60, mostra graficamente a precipitação média mensal de 1 de janeiro a 31 de dezembro de 2015 das 18 estações meteorológicas. Estão representados os valores de precipitação mensal das estações do Luena e do Santo Caloto, que estão inseridas na área de estudo e das outras 16 estações. Verifica-se que não existem valores muito dispares entre as 18 estações.

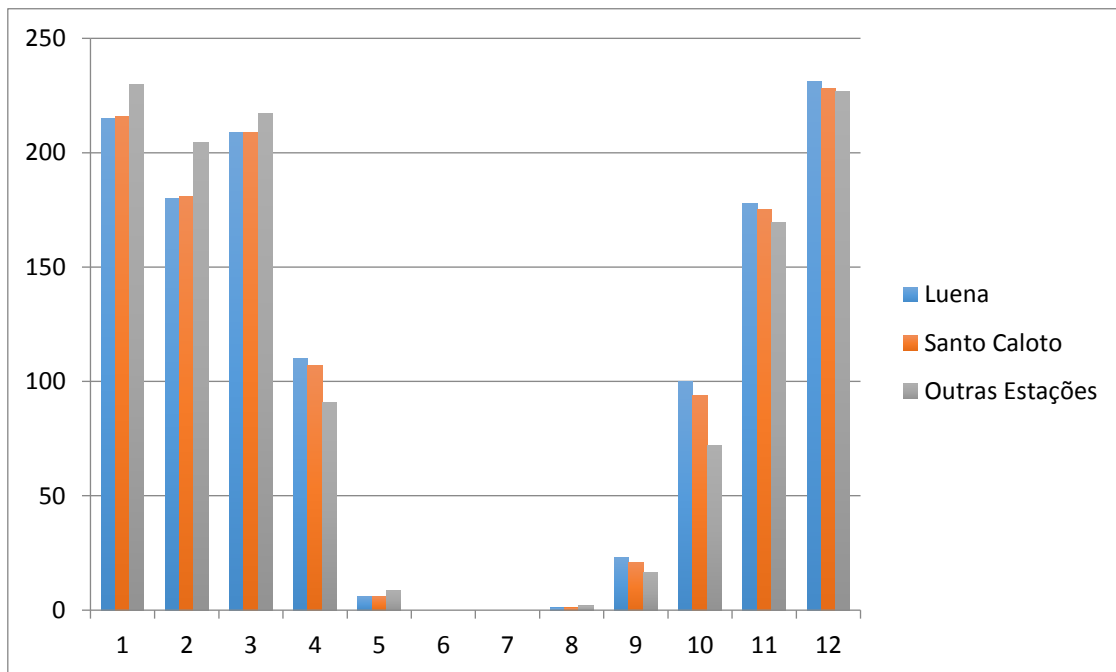


Figura 60: Gráfico das precipitações médias mensais

A figura 61 mostra o mapa da precipitação registada no ano de 2015 da província de Moxico.

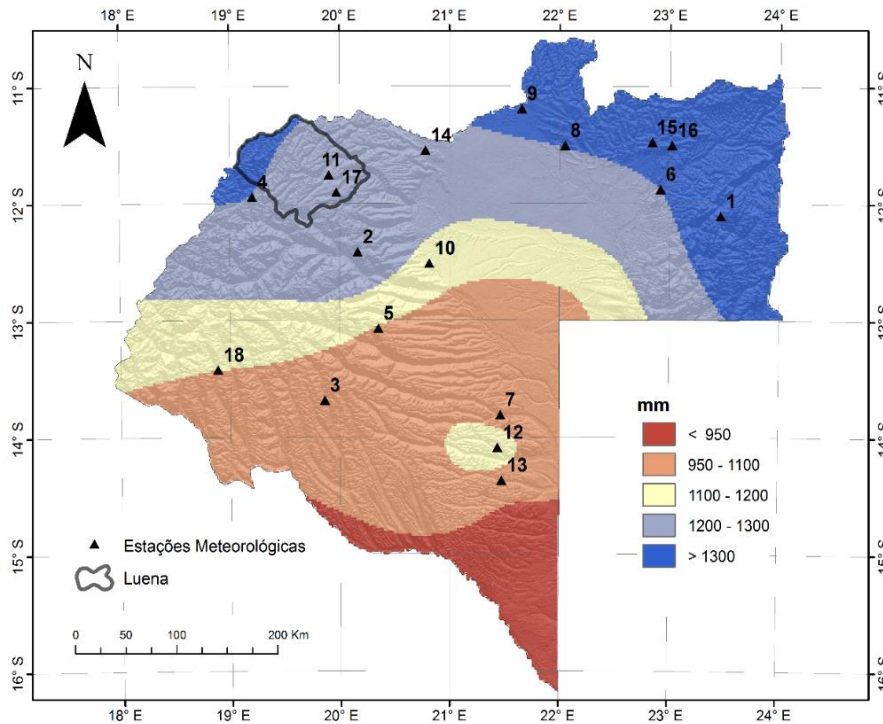


Figura 61 - Mapa de precipitação do ano de 2015 da província do Moxico

O mapa mostra que os maiores valores de precipitação ocorreram a Nordeste da província de Moxico e a norte do Luena e os menores valores a sul da província de Moxico. Na cidade do Luena os valores de precipitação variam entre 1200 a 1300 mm e a norte são maiores que 1300 mm.

Uma vez que só existem duas estações do ano, inverno e verão, foram criados os mapas da precipitação de inverno e verão (Figura 62).

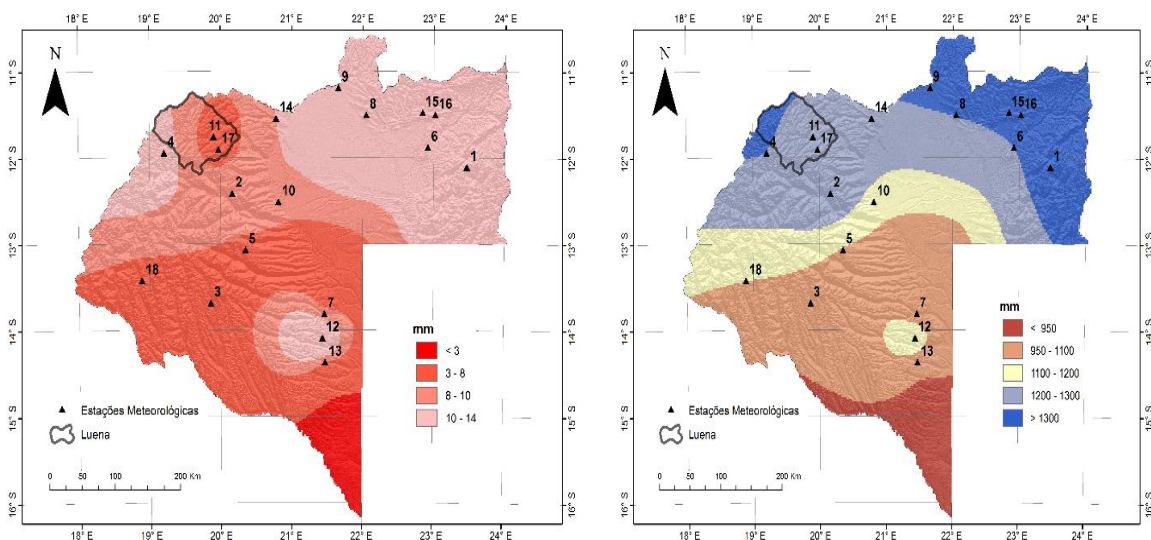


Figura 62 - Mapa de precipitação média de inverno e de verão da província do Moxico 2015

Verifica-se que no inverno a precipitação na província de Moxico é relativamente baixa. A sul da província ocorrem valores de precipitação inferiores a 3 mm. Na cidade do Luena os valores de precipitação variam entre os 3 mm e os 14 mm. Como expetável o mapa da precipitação de verão é praticamente igual ao da precipitação anual.

O mapa da temperatura média da província de Moxico está representado na figura 63.

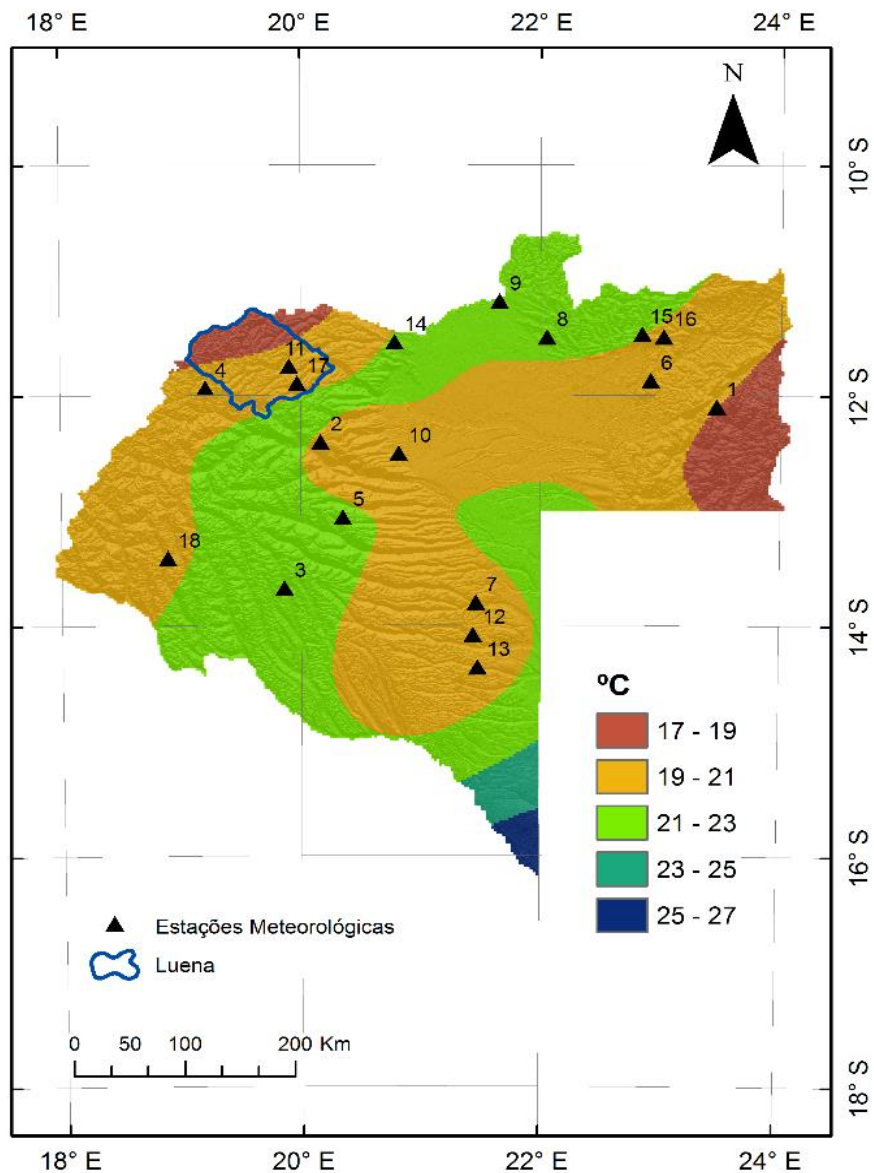


Figura 63 - Mapa da temperatura da província de Moxico

O mapa mostra temperaturas que variam entre 17° a 27°, verificando-se valores máximos a sul da província e mínimos a nordeste e a norte de Luena. Na cidade do Luena as temperaturas médias variam entre os 17° e 19°.

Outra variável importante na modelação da agressividade da chuva é o MDE, que está representado na figura 64.

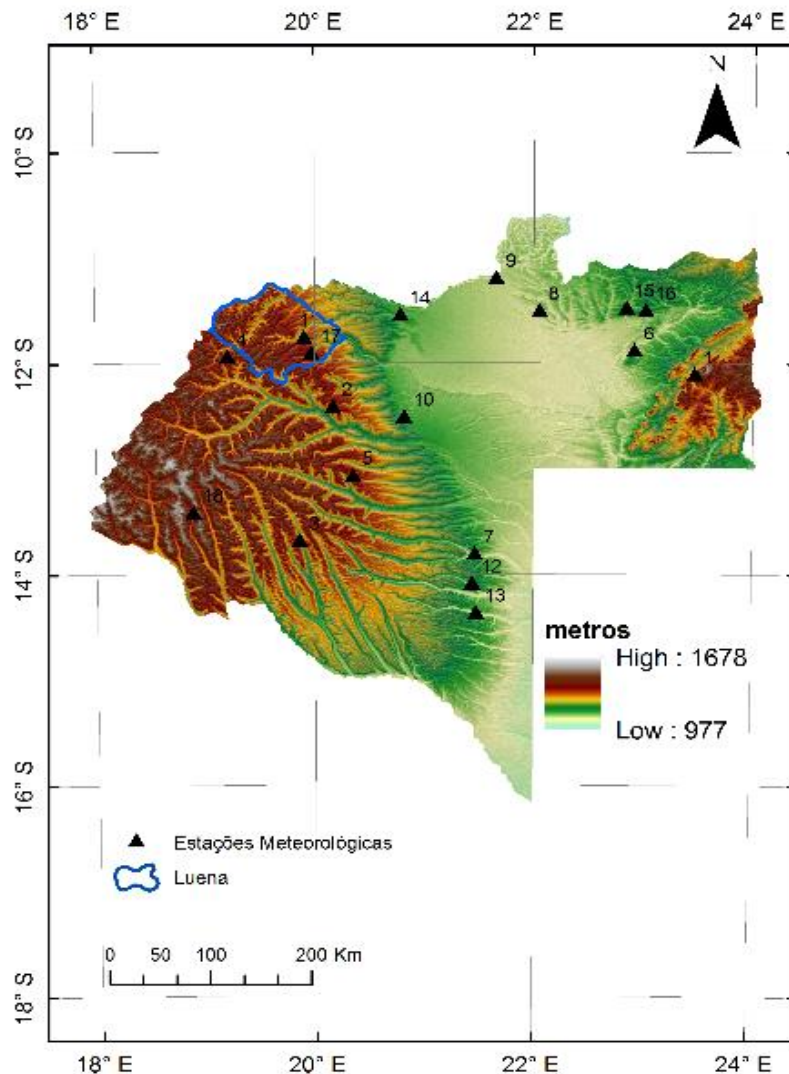


Figura 64 – Modelo Digital de Elevação da província do Moxico

(Fonte: U.S. Geological Survey Global Multi-resolution Terrain Elevation Data 2010 (GMTED2010))

Segundo o modelo criado as altitudes da região variam entre os 977 m e 1678m. A altitude média é 1225 m. Verifica-se que na cidade do Luena apresenta uma altitude mínima de 1155 m, máxima de 1547 e uma altitude média de 1345 m

Os mapas da distância à meridiana e à perpendicular foram criados e estão representados na Figura 65.

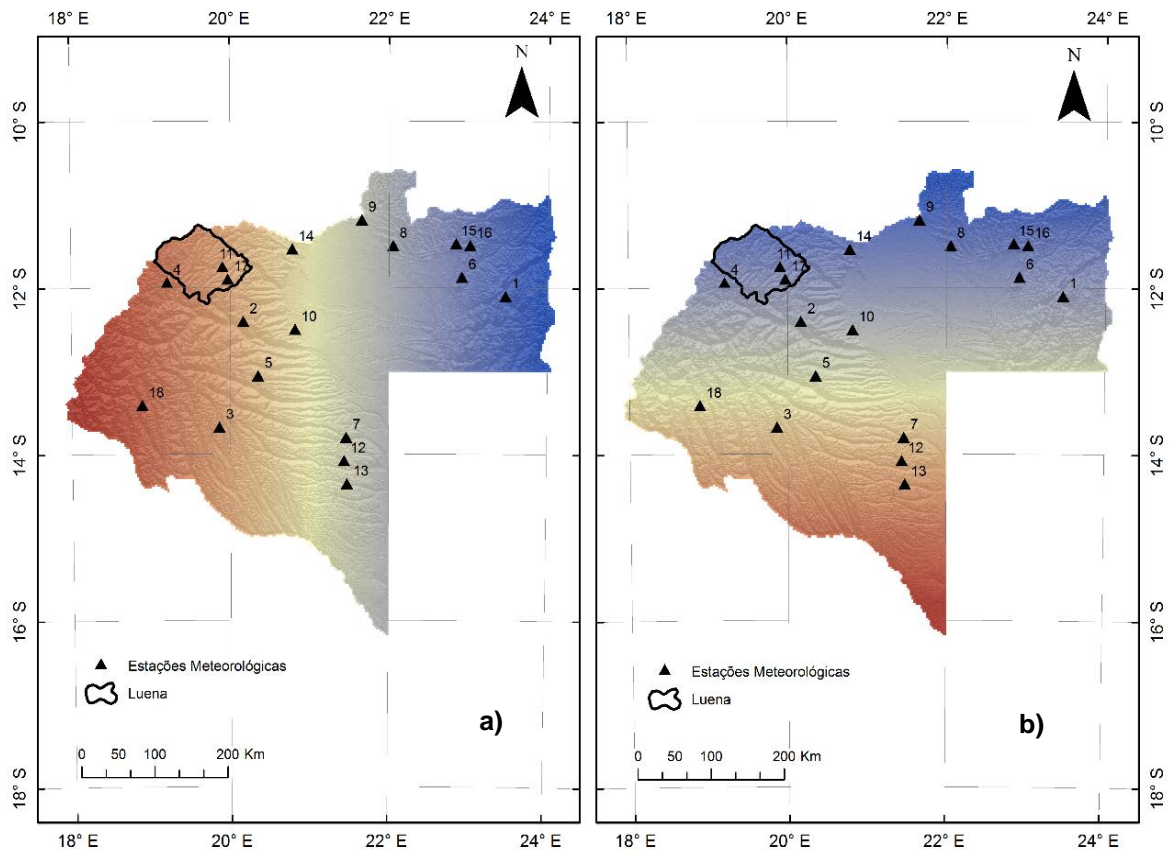


Figura 65 - Mapas da distância à meridiana e à perpendicular: a) Distância à meridiana; b) distância à perpendicular

O mapa de orientação das vertentes está representado na figura 66.

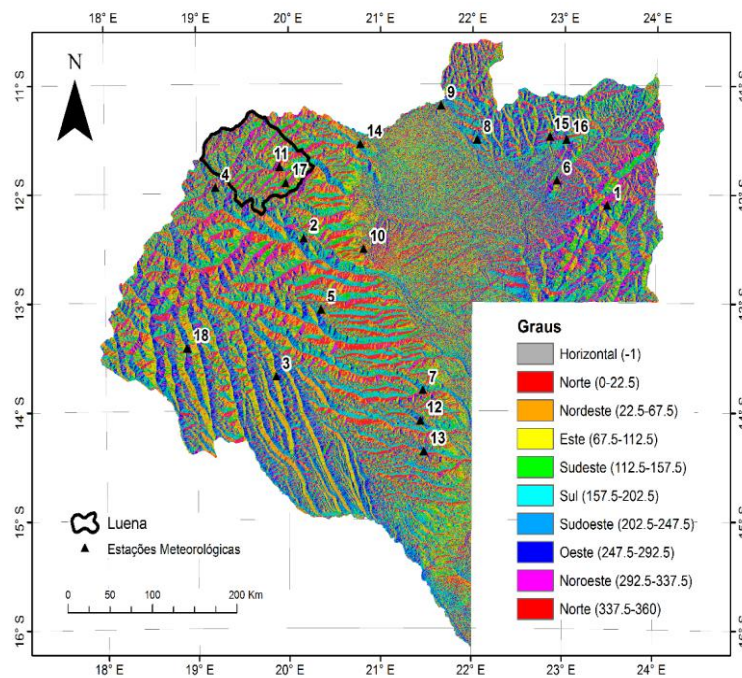


Figura 66 - Mapa das orientações da província do Mexico

Na cidade do Luena a grande parte das orientações são na direção Noroeste-Sudeste.

A variável da insolação foi mapeada para o inverno e para o verão (Figura 68).

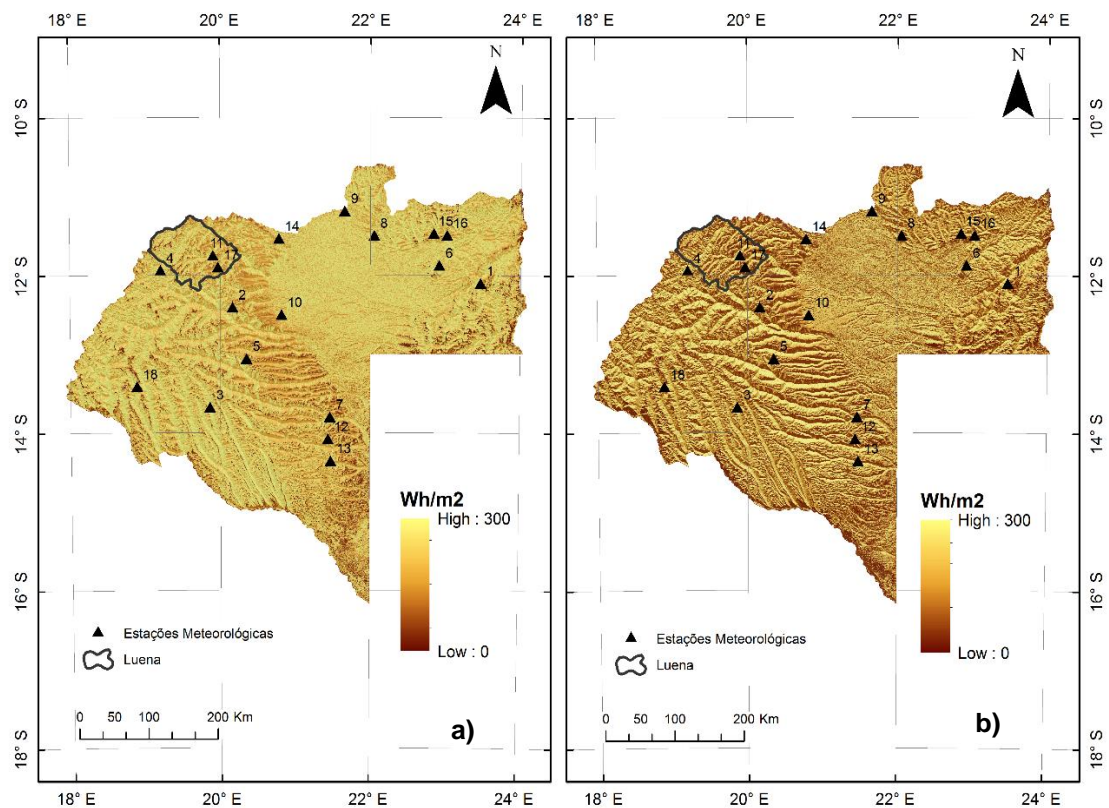


Figura 67 - Mapa da insolação da província do Moxico: a) Verão e b) Inverno

Pela estatística verifica-se que a média de insolação para a província de Moxico no período de inverno é de 159 Watt h/m<sup>2</sup> e para o período de verão é 219 Watt h/m<sup>2</sup>.

Dado que o IMF foi obtido à custa de variáveis que poderiam ter influência no seu mapeamento, foi avaliada a correlação entre essas variáveis explicatórias nomeadamente, distância à meridiana (M), distância à perpendicular (P), altitude (C), insolação de Verão (INS\_VERAO), insolação de inverno (INS\_INV), temperatura (Temp), orientação das vertentes (ORIENT) e a variável resposta do IMF de verão (IMF\_VERAO) e de inverno (IMF\_INV) (figura 75).

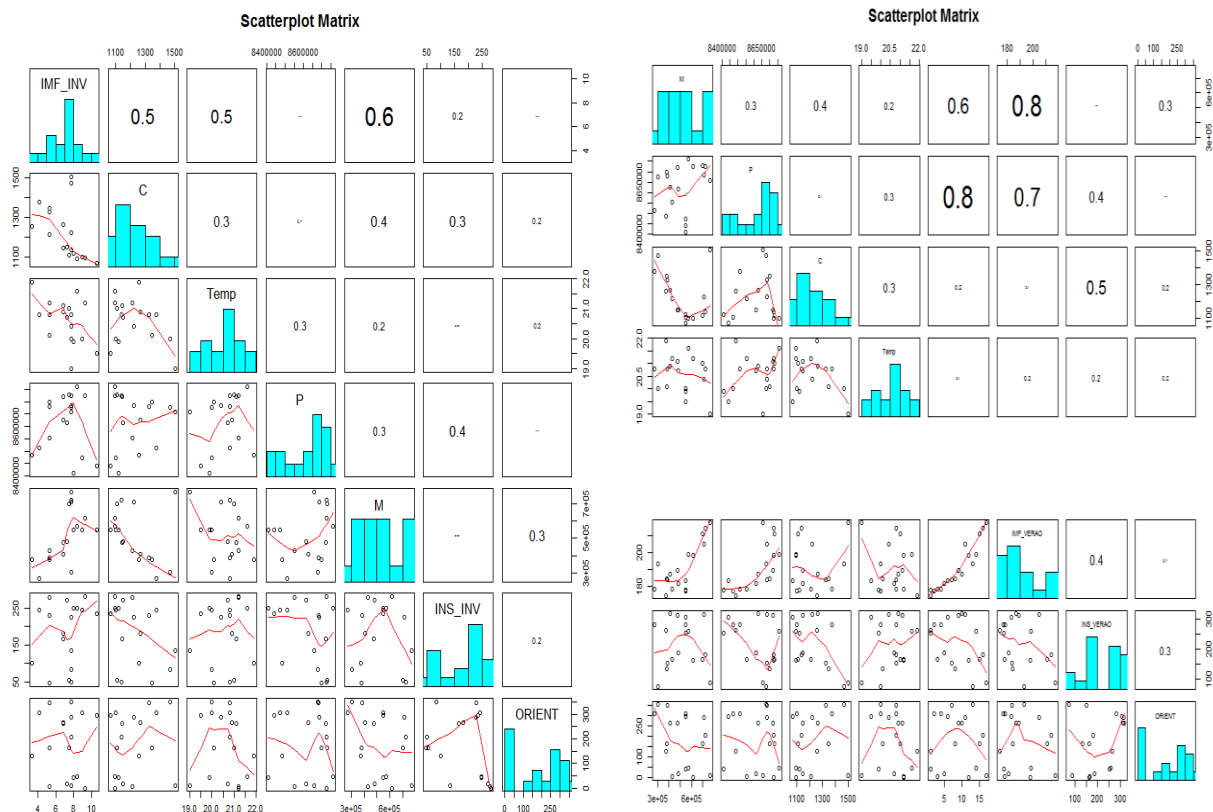


Figura 68 - Matriz scatterplot do IMF de inverno e verão

Verificou-se que as variáveis explicatórias com maior correlação com o IMF inverno são a C (50%), temperatura (50%) e o M (60%) e com o IMF de verão M (80%), P (70%). Para determinar o modelo de IMF, várias combinações de variáveis foram efetuadas tendo sido analisados os outputs das estatísticas das regressões, ANOVA e avaliação dos resíduos.

De acordo com a análise estatística da regressão e a ANOVA para o IMF de inverno (Figura 69 e 70) verificou-se que para um intervalo de 95% o modelo com as variáveis da temperatura (Temp), e da altitude (C), apresentou o melhor ajustamento com grande grau elevado de significância. Foi alcançado um ajustamento de 61% e um p-value de 0.0003209 que é inferior 0.05. O modelo obtido pela Equação 6 poderá explicar o IMF de inverno. Na análise dos resíduos do modelo criado verificou-se a existência de independência, homogeneidade e normalidade dos resíduos não existindo valores observados que condicionassem os resíduos (distância de Cook menor que 0.5) (Figura 71).

```

Call:
lm(formula = IMF_INV ~ C + Temp)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.4518 -0.7913 -0.1104  0.5417  2.0174

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  54.335171   9.440989   5.755 3.8e-05 ***
C            -0.009824   0.002203  -4.459 0.000460 ***
Temp        -1.709183   0.397964  -4.295 0.000638 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 1.147 on 15 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.6579,    Adjusted R-squared:  0.6123
F-statistic: 14.42 on 2 and 15 DF,  p-value: 0.0003209

```

Figura 69 - Estudo estatístico do modelo do Índice Modificado de Fournier de inverno

```

> anova(lm)
Analysis of Variance Table

Response: IMF_INV
      Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
C       1  13.668  13.6685  10.398 0.0056714 **
Temp    1  24.248  24.2477  18.445 0.0006384 ***
Residuals 15  19.718   1.3146

```

Figura 70 - Anova do modelo do Índice Modificado de Fournier de inverno

O modelo de IMF do inverno foi descrito na equação 6.

$$IMF_{inverno} = -0.009824 C - 1.709183 Temp + 54.335171 \quad (6)$$

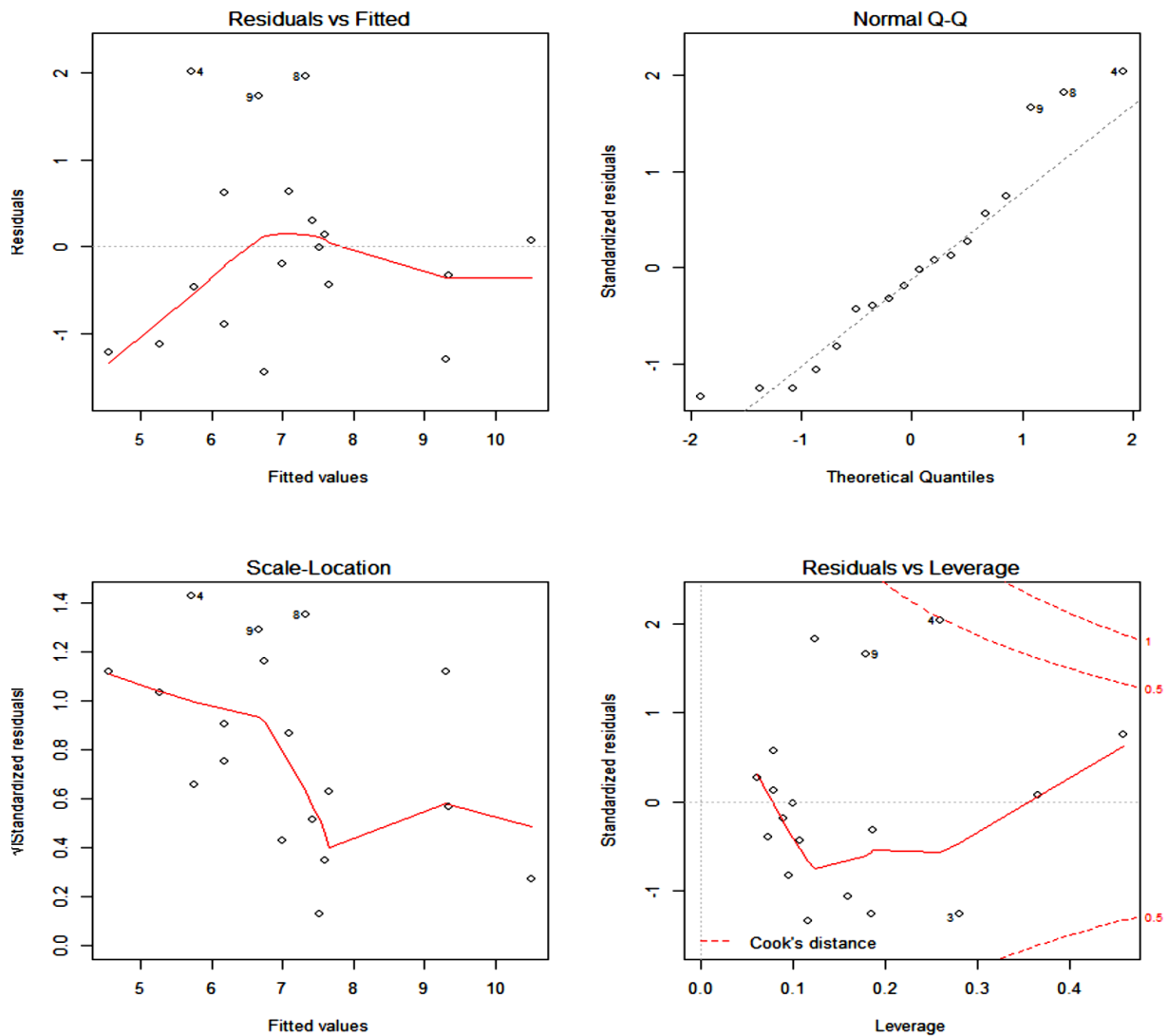


Figura 71 - Avaliação dos resíduos do modelo Índice Modificado de Fournier inverno

Os outputs obtidos para o IMF de verão (Figura 72 e 73) mostraram que para um intervalo de 95% o modelo com as variáveis distância à meridiana (M), distância à perpendicular (P), altitude (C), e a orientação das vertentes (ORIENT) apresentou o melhor ajustamento, com um valor de cerca de 90% e um p-value de  $3.641 \times 10^{-7}$  que é inferior 0.05. Pela figura 74, verificou-se também que no modelo criado existiu independência, homogeneidade e normalidade dos resíduos e não existiram valores observados que condicionassem os resíduos (distância de Cook menor que 0.5). Estes resultados mostraram que o modelo descrito pela equação 7 poderá explicar o IMF de verão

```

Call:
lm(formula = IMF_VERAO ~ M + P + ORIENT + C)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-5.983 -2.531  0.255  3.165  5.262

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -3.489e+02  8.260e+01  -4.224 0.000993 ***
M             7.278e-05  8.405e-06   8.659 9.3e-07 ***
P             5.352e-05  9.935e-06   5.387 0.000124 ***
ORIENT       1.118e-02  8.604e-03   1.300 0.216196
C             3.172e-02  8.648e-03   3.668 0.002839 **
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 4.305 on 13 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.9243,    Adjusted R-squared:  0.901
F-statistic: 39.66 on 4 and 13 DF,  p-value: 3.641e-07

```

Figura 72 - Estudo estatístico do modelo do Índice Modificado de Fournier de verão

```

> anova(rlm2)
Analysis of Variance Table

Response: IMF_VERAO
          Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
M           1 1858.62  1858.62 100.2985 1.768e-07 ***
P           1  784.68   784.68  42.3446 1.981e-05 ***
ORIENT      1   47.14    47.14   2.5441 0.134721
C           1  249.31   249.31  13.4536 0.002839 **
Residuals 13  240.90    18.53

```

Figura 73 - Anova do modelo de Índice Modificado de Fournier de verão

O modelo do IMF será calculado com base na equação 7.

$$IMF_{\text{verão}} = 7.278e \times 10^{-5} M + 5.352 \times 10^{-5} P + 1.118 \times 10^{-2} \text{ Orient} + 3.172 \times 10^{-2} C + 3.489 \times 10^2 \quad (7)$$

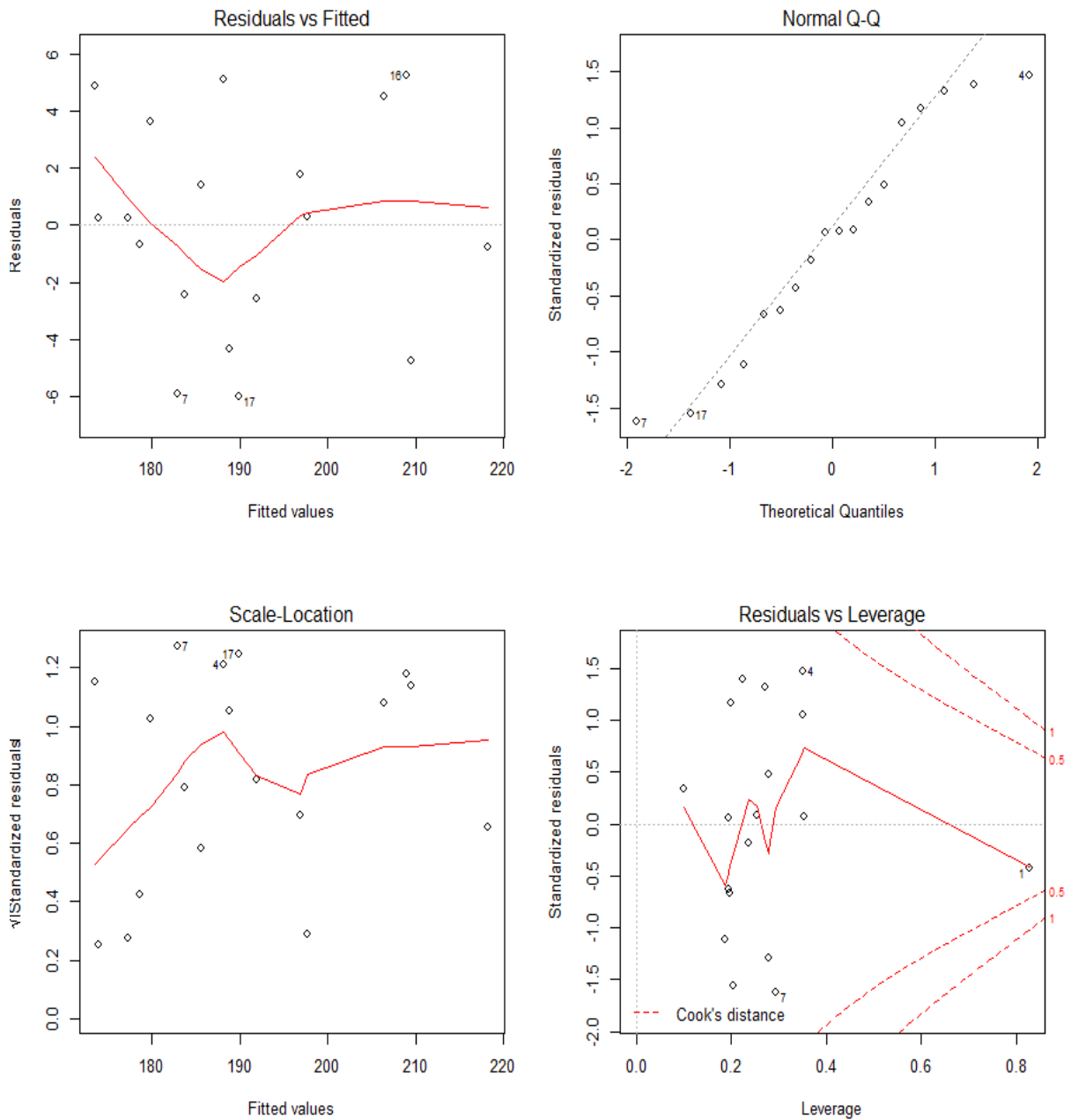


Figura 74 - Avaliação dos resíduos do modelo de Índice Modificado de Fournier de verão

Com base nas equações 6 e 7 e com os mapas dos estados erosivos (foram obtidos os mapas IMF que mostram a agressividade da chuva na província do Moxico no inverno e no verão (Figura 75).

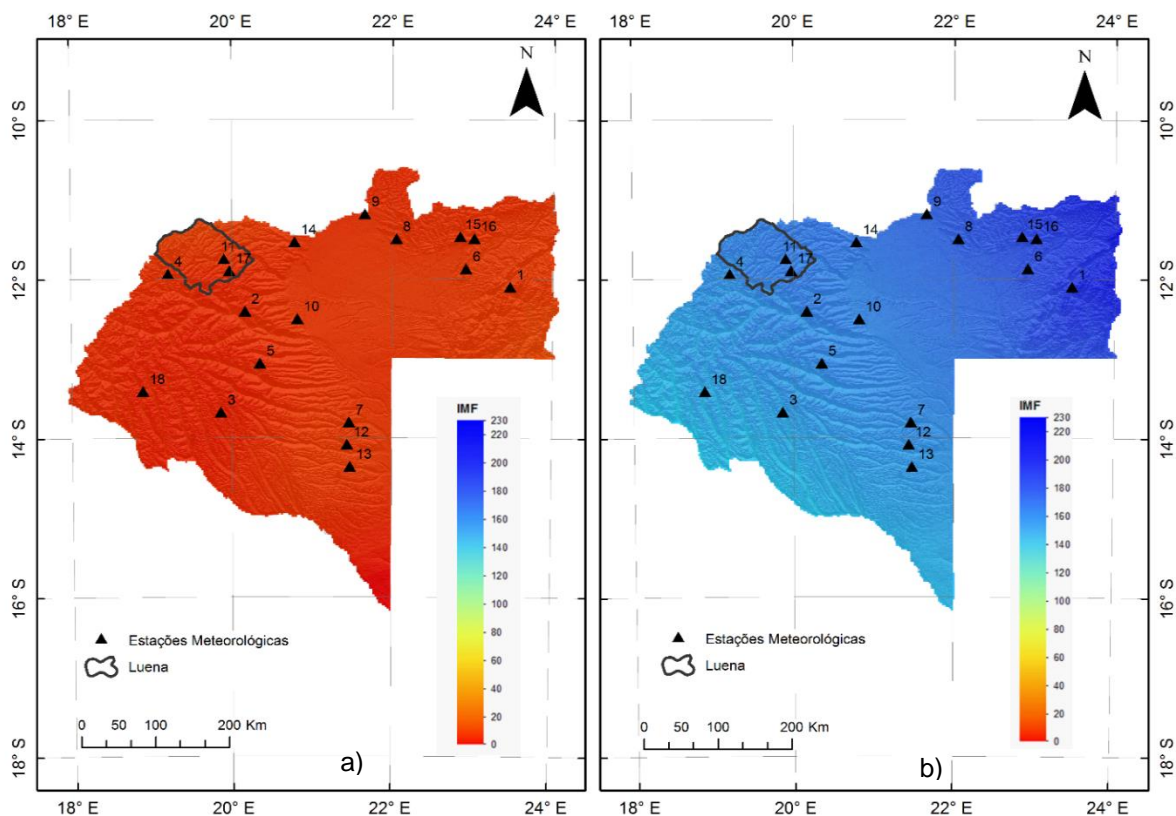


Figura 75 - a) Mapa do IMF de inverno; b) Mapa do IMF de verão

Com base no estudo da estatística univariada verificou-se que no inverno o valor mínimo de IMF é 0 mm, o máximo é 13 mm e a média 6.9 mm. No verão o valor mínimo é 160 mm, o máximo 230 mm e a média 187.4 mm. De acordo com a classificação de Corine-CEC (1992) (Tabela 10) verificou-se que em toda a província do Moxico, o IMF de inverno está classificado muito baixo e de verão muito alto.

### 3.10 Mapa de Suscetibilidade ao Risco de Erosão por Ravinas

Do cruzamento do mapa de estados erosivos pela estimação do IMF, resultou o mapa de suscetibilidade ao risco de erosão por ravinas.

O resultado do cruzamento dos dois tipos de informação produziu a seguinte tabela de suscetibilidade ao risco de erosão hídrica para os períodos de verão e de inverno nas 3 ravinas em estudo.

Tabela 17: Resultado do cruzamento entre o mapa dos estados erosivos e do IMF

Estados. Erosivos	IMF	Inverno	Verão
		I – Muito Baixa (< 60 mm)	V – Muito Alta (> 160 mm)
Médio (3)		1 (Muito baixa)	5 (Muito alta)
Alto (4)		2 (Baixa)	5 (Muito alta)
Muito Alto (5)		3 (Média)	5 (Muito alta)

O mesmo resultado apresentado espacialmente nas 3 ravinas para os períodos inverno e verão (Figura 76 a 81).

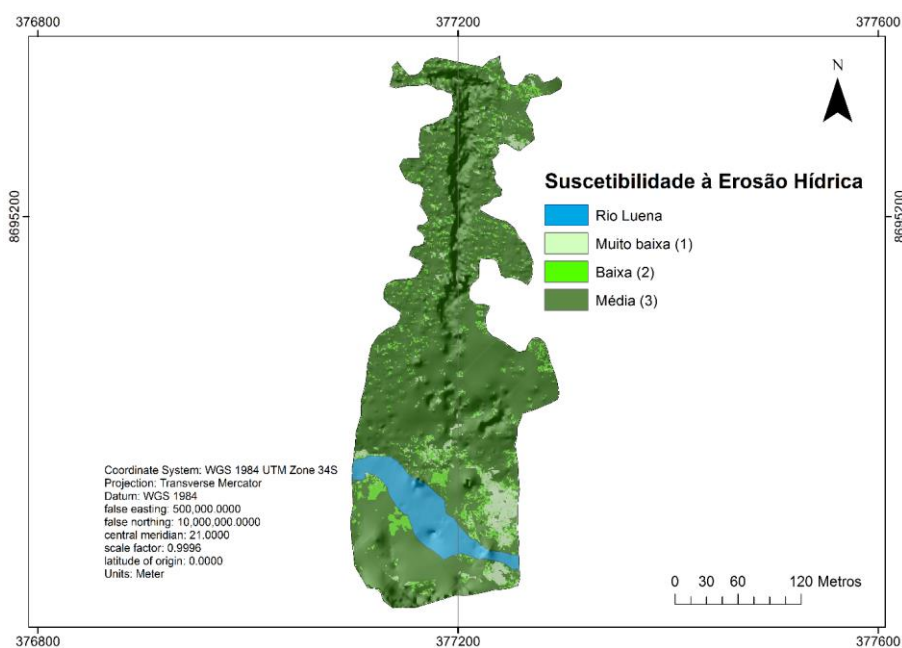


Figura 76 - Mapa de suscetibilidade à erosão hídrica de inverno da ravina 1

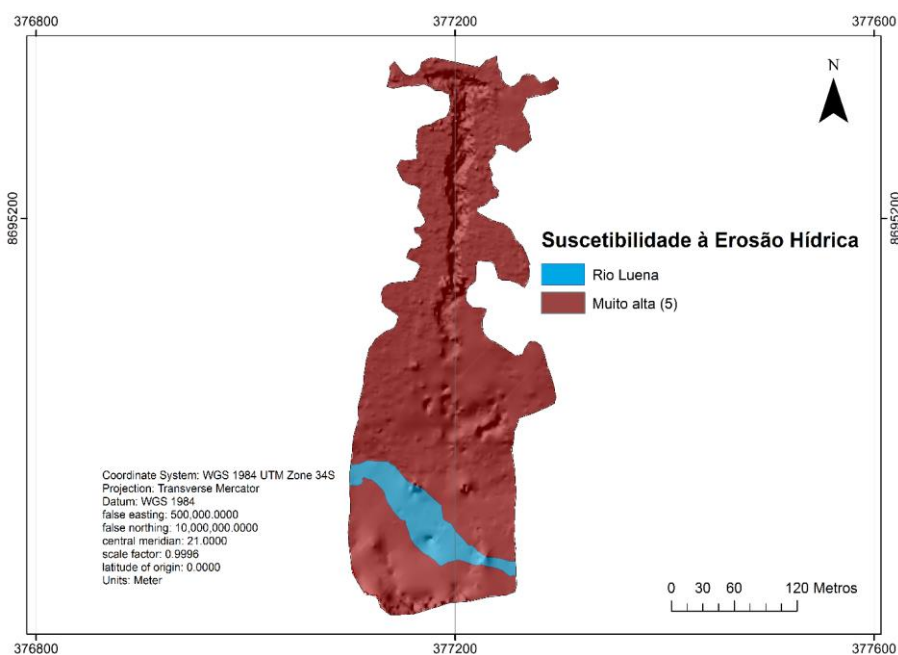


Figura 77 - Mapa de suscetibilidade à erosão hídrica de verão da ravina 1

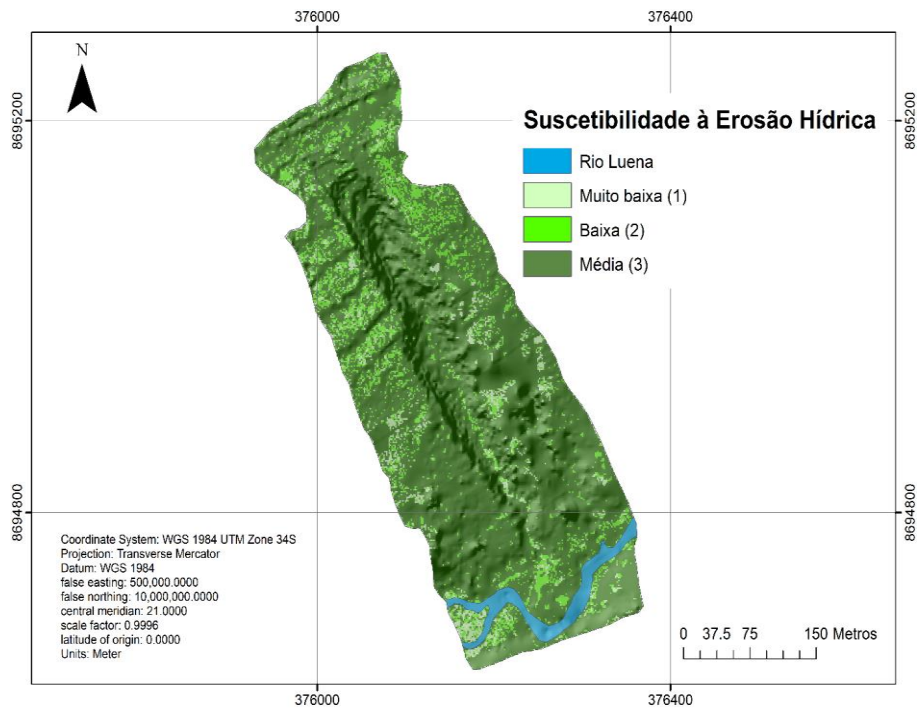


Figura 78 - Mapa de suscetibilidade à erosão hídrica de inverno da ravina 2

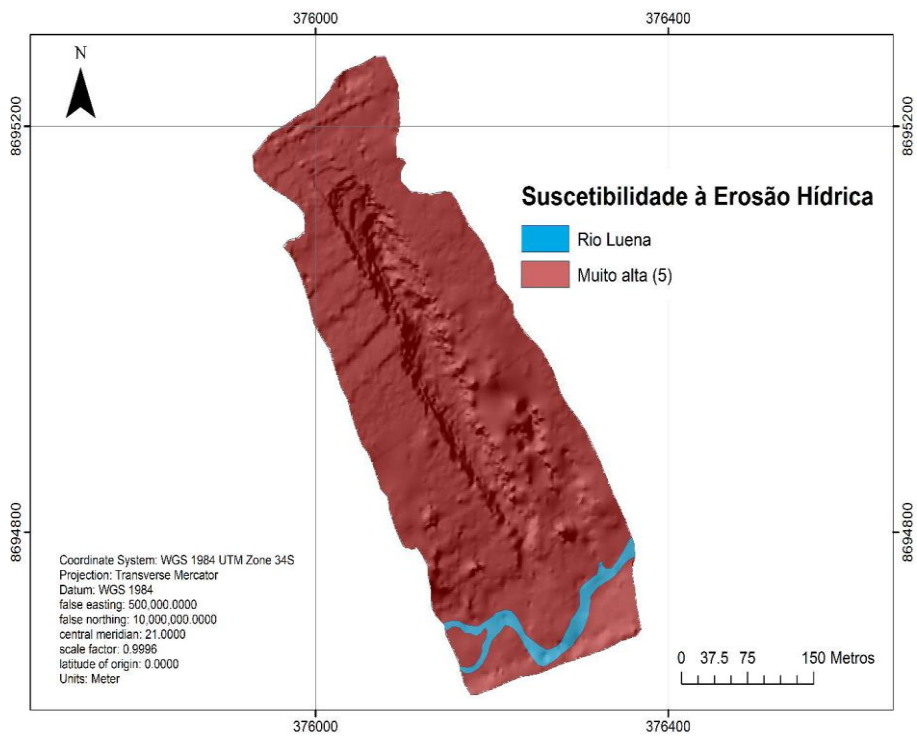


Figura 79 - Mapa de suscetibilidade à erosão hídrica de verão da ravina 2

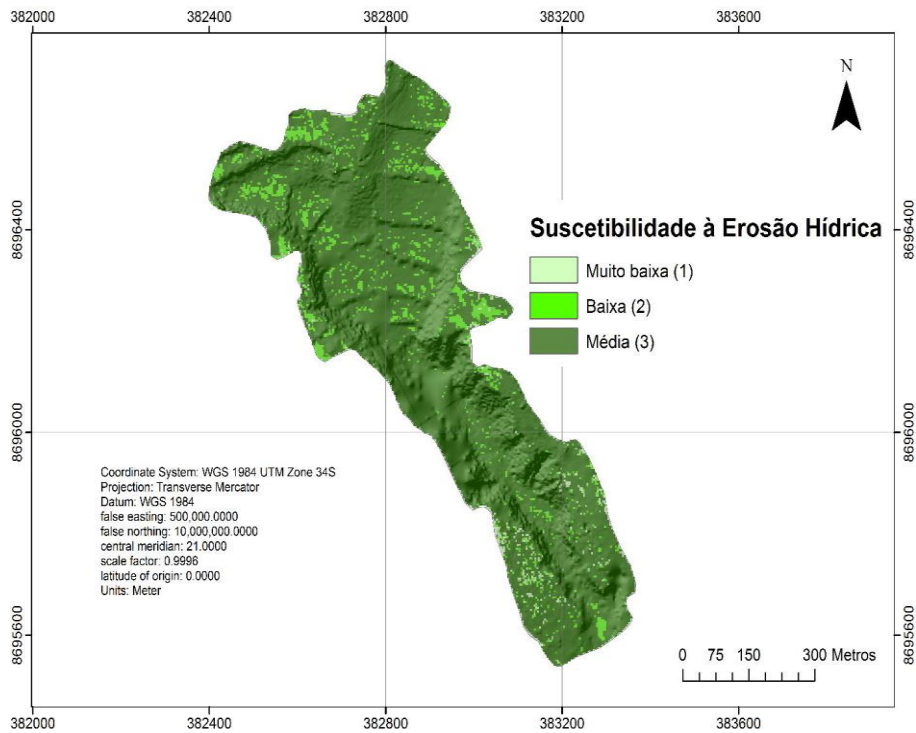


Figura 80 - Mapa de suscetibilidade à erosão hídrica de inverno da ravina 3

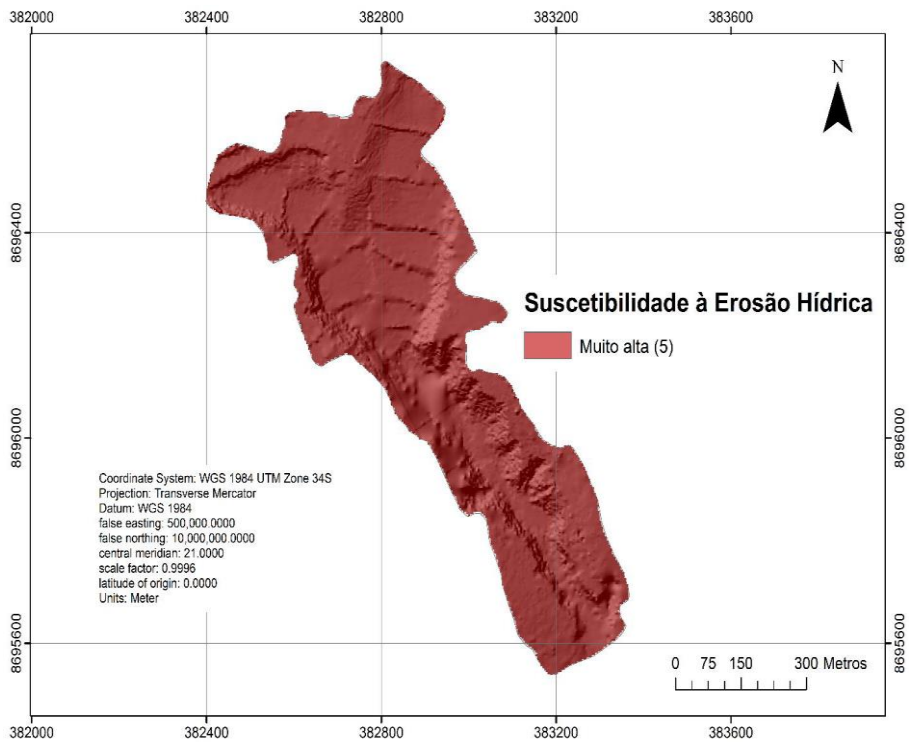


Figura 81 - Mapa de suscetibilidade à erosão hídrica de verão da ravina 3

De acordo com os resultados apresentados, é possível verificar que as áreas estudadas apresentam um risco moderado no inverno, onde a precipitação é quase

nula segundo fontes do INAMET. A suscetibilidade média de erosão hídrica nestas ravinas ocupa mais de 80% da área total.

Por outro lado, já no período de verão, na época das chuvas, atinge-se um nível preocupante de suscetibilidade à erosão hídrica. As 3 ravinas apresentam em 100% das suas áreas um nível de *alto risco*.

A tabela 18 expressa os valores percentuais de cada ravina no período de inverno

Tabela 18 - Percentagem da área de suscetibilidade de erosão no inverno

Classificação	Ocupação de inverno (%)		
	ravina 1	ravina 2	ravina 3
Muito baixa	5	4	1
Baixa	9	13	8
Média	86	83	91

Por outro lado, a tabela 19 expressa os valores percentuais de cada ravina no período de verão.

Tabela 19 - Percentagem da área de suscetibilidade de erosão no verão

Classificação	Ocupação de verão (%)		
	ravina 1	ravina 2	ravina 3
Muito Alta	100	100	100

## 4. Conclusão e desenvolvimentos futuros

### 4.1 Conclusão

O trabalho de investigação consistiu na elaboração da cartografia da suscetibilidade à erosão hídrica em três ravinas na cidade do Luena – Moxico, designadas por (1) Elavoco, (2) Caminhos de Ferro e (3) 7 Cunhas. A base do estudo consistiu na criação de um ortofotomosaico em RGB e um Modelo Digital de Superfície (MDS) nas 3 áreas de estudo. Para a aquisição das imagens aéreas foi utilizado o VANT DJI PHANTOM 3 ADVANCED. A produção dos ortofotomosaicos e dos MDS foi realizado no software Agisoft Photoscan 1.2.4. A produção dos índices de vegetação e da integração dos

diferentes tipos de informação para a produção dos mapas foi realizada em ambiente SIG (ArcGis 10.1). O estudo estatístico foi elaborado no R v3.4.3.

Apesar das áreas de estudo estarem localizadas numa região que segundo o INAMET tem uma precipitação acima da média, as fotos tiradas no período de verão (período chuvoso) e o mapa de cobertura vegetal mostram que as áreas de estudo têm pouca vegetação (savana), devido ao tipo de solo (silte e arenoso), que é considerado pobre naquela parcela do País. Por outro lado, a área de estudo, sofreu uma alteração de ocupação do solo devido à proximidade ao centro da cidade, áreas que eram consideradas savanas foram ocupadas pela população e tornaram-se regiões suburbanas e como tal a população desmatou a pouca vegetação que existia para a construção de residências. A região apresenta assim uma fragilidade ambiental que é intensificada pela presença de fenómenos naturais extremos, como as grandes chuvas do verão, provocando a erosão do solo.

A área de estudo, apresenta uma altitude acima dos 1200 m acima do nível médio do mar, com um relevo não plano, existindo declives acentuados que contribuem juntamente com o tipo de solo (silte e arenoso), para a criação de condições propícias para deslizamento de sedimentos no período chuvoso.

Os mapas produzidos para a proteção do solo, mostram uma classificação de proteção baixa, muito baixa e sem proteção em mais 70% de área nas três ravinas estudadas.

Quanto à erodibilidade do solo, todas as ravinas apresentam três classes de erodibilidade: média, alta e extrema. A ravina das 7 Cunhas é a que apresenta maior área de erodibilidade extrema (cerca de 40%).

Os mapas dos estados erosivos, apresentam a potencialidade intrínseca do terreno à erosão. Verifica-se nas três ravinas mais de 80% do terreno é classificada com erosividade alta.

O estudo da agressividade da chuva foi realizado em duas épocas distintas: O período de chuvas (verão) e no período do cacimbo (inverno). No verão a posição geográfica está fortemente correlacionada com a precipitação da região, desta forma mostrou-se que a nordeste na província de Moxico a precipitação é maior. Já no período de

Inverno é a altitude e a temperatura que influenciam a precipitação. É nas zonas mais altas que ocorre alguma precipitação nesse período.

O mapa da agressividade da chuva, calculada a partir do Índice Modificado de Fournier, mostra que no verão em toda província de Moxico a agressividade da chuva é muita alta, acima dos 160 mm. No inverno a província apresenta uma agressividade muito baixa, menor que 7mm.

Relativamente à suscetibilidade à erosão hídrica, verificou-se que no período sem chuva (Inverno) as três áreas de estudo são consideradas de risco médio de suscetibilidades à erosão. No período do verão as 3 áreas de estudo, na sua totalidade, foram classificadas como de alta suscetibilidade à erosão hídrica.

#### **4.2 Desenvolvimentos futuros**

Estes resultados poderão ser melhorados com introdução simulações hidrológicas para estimar o fluxo de água e a quantidade de sedimentos arrastados anualmente (ou outros períodos mais curtos) nessas ravinas. Modelos hidrológicos construídos com o HEC-RAS do “The U.S. Army Corps of Engineers (USACE) Hydrologic Engineering Center (CEIWR-HEC)” seria uma das hipóteses, uma vez que a ferramenta HEC-GeoRAS permite processar dados geoespaciais no ArcGIS. A importância de Modelos Digitais de Terreno com boa resolução espacial e temporal e a coleta de dados meteorológicos mensais desde a época em que começou o processo de erosão, são aspetos chave para uma boa modelação.

Futuramente, pretendemos quantificar o arrastamento de sedimentos por ano ou por período (verão e/ou inverno), é possível verificar a elevada suscetibilidade à erosão hídrica principalmente nos períodos de grande precipitação. Visualmente, quer por imagens de satélite quer por imagens de VANT, constata-se que que as ravinas estão a aumentar rapidamente em grande escala. O processo erosão está bastante ativo e provocará danos ambientais, sociais e económicos irreparáveis num curto espaço de tempo. As autoridades deverão tomar medidas rápidas para retardar a erosão e minimizar os eventuais danos causados por esta situação. A intervenção efetuada na

ravina das 7 cunhas será uma das hipóteses, bem como a alteração da ocupação e uso do solo nessas zonas problemáticas.

Tendo em conta a metodologia aplicada neste trabalho poder-se-á desenvolver projetos mais abrangentes de forma a englobar a província no seu todo e procurar criar mapas de suscetíveis ao risco de calamidades naturais como cheias, queimadas ou incêndios florestais entre outras, dando resposta as necessidades atuais que os gestores do território e a proteção civil necessitam para otimizarem o seu trabalho quotidiano.

## Bibliografia

Arnoldus, H. M. J. (1980). An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation, 127-132.

Bertoni, J., & Lombardi Neto, F. (1990). Conservação do solo. Ícone. São Paulo.

Bogunoviae, M., Husnjak, S., Kusan, S., Vidaeek, Z., Sraka, M., & Mihaliae, A. (1999). Assessment of Soil Erosion by Water in the Butoniga Catchment Area in Croatia. In *6th International Meeting on Soils with Mediterranean Type of Climate. J. Bech (Ed). Extended Abstracts. Universitat de Barcelona, Barcelona (Spain)* (pp. 997-999).

Cardoso Franco, E.P., Raposo, J.A., (1997). Carta Generalizada dos Solos de Angola (4ª aproximação), IICT, Lisboa

CORINE-CEC. (1992). CORINE soil erosion risk and important land resources. An assesment to evaluate and map the distribution of land quality and soil erosion risk. Office for official publications of the European Communities. EUR 13233. Luxemburgo.

de Angola, O. C. (1955). Serviço Meteorológico de Angola. Luanda. (186) Missão Geográfica de angola.

Diniz, A. C. (2006). Características Mesológicas de Angola, Descrição e Correlação dos Solos e da Vegetação das Zonas Agrícolas Angolanas. Instituto Português de Apoio ao Desenvolvimento.

FAO. (1965). Soil Erosion by Water: Some Measures for its Control on Cultivated Lands. FAO Agricultural Development Paper, 81, 284.

Fernández, H. M. N. P. V. (2012). Elaboración de un modelo digital del terreno de la zona norte de la Sierra de Grândola (Alentejo, Portugal) (Doctoral disertación, Universidad de Sevilla).

Ferreira, J. C., & Diogo, J. J. (2015). Mitigação do efeito da erosão do solo na cidade do Luena: Contenção de ravinas e gestão sustentável dos solos. In VIII Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa, Aveiro.

Figueiredo, T. D. (2009). Gully erosion in winter crops: a case study from Bragança area, NE Portugal.

Fournier, F. (1960). Climat et érosion. Ed. Presses Universitaires de France. Paris. 202pp.

Husnjak, S. (2000). Erosion mapping of the Butoniga Catchment in Croatia. Workshop on technologies for and management of erosion and desertification control in the Mediterranean region. UNEP-MAP-PAP. Sliema.

Instituto Nacional de Estatística – INE. (2016). Resultados Definitos do Recenseamento Geral da População e da Habitação de Angola 2014, Luanda: Instituto Nacional de Estatística. (<http://ine.gov.ao> em 05/05/2016).

Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica de Angola - INAMET. (2016). Acesso em 31 de agosto, 2016. Disponível em:<http://ciencia.ao/sistema-nacional-de->

Jordán A. (2000). El medio físico del Campo de Gibraltar. Unidades georfoedáficas y riesgo de erosión. Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla. Sevilla.

Jordán A., Bellinfante N. (2000). Cartografía de la erosividad de la lluvia estimada a partir de datos pluviométricos mensuales en el Campo de Gibraltar (Cádiz). *Edafología* 7-3:83-92.

Lal, R., & Elliot, W. (1994). Erodibility and erosivity. *Soil erosion research methods*, 1, 181-208.

Marques, M. M. (1977). Esboço das grandes unidades geomorfológicas de Angola. *Instituto de Investigação Científica Tropical, Garcia de Orta, Serviços Geológicos, Lisboa*, 2 (1), 41-43. Lillesand, T., Kiefer, R. W., & Chipman, J. (2014). *Remote sensing and image interpretation*. John Wiley & Sons

Mendes, P. E. O. (2012). Análise da Serie Temporal da Componente 2 do Projecto Auditoria da Água do Lado Angolano da Bacia Hidrográfica do Rio Cubango/Okavango.

Nunes, M. S. D., & Quinta-Nova, L. C. (2015). Cartografia do risco de incêndio florestal e do risco de erosão hídrica no concelho de Pampilhosa da Serra. *Agroforum*, (34), 7-21.

Oliveira, M. (1988). Física dos solos. Alguns aspectos de interesse agronómico. Vila Real, 78 pp.

PAP/RAC. (1997). Guidelines for mapping and measurement of rainfall-induced erosion processes in the Mediterranean coastal areas. PAP-8/PP/GL.1. PAP/RAC (MAP/UNEP). Split.

Rizzi, S. P. (2004). Caracteres morfo-fisiológicos e produtividade de cultivares de aveia branca. Caracteres morfofisiológicos e produtividade de cultivares de aveia-branca.

Rouse Jr, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1973). Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation.

Silva, A. F. D. (2005). A geologia da República de Angola desde o Paleoarcaico ao Paleozóico Inferior.

Valcárcel, M., Taboada, M. T., Paz, A., & Dafonte, J. (2003). Ephemeral gully erosion in northwestern Spain. *Catena*, 50(2-4), 199-216.

Velasco, I., & Cortés, G. (2009). Indices de Fournier modificado y de concentración de la precipitación, como estimadores del factor de riesgo de la erosión, en Sinaloa, México. In *Avances en estudios sobre desertificación: aportaciones al Congreso Internacional sobre Desertificación en memoria del profesor John B. Thornes*, (Murcia, 2009) = *Advances in studies on desertification: contributions to the International Conference on Desertification in memory of professor Jo* (pp. 431-434). Universidad de Murcia.

Zahn, C. E. (1983). O processo de urbanização: características e evolução. BIRKHOLZ. Lauro Bastos, etal.

Zavala, L. M. M. (2001). Análisis territorial de la comarca del Andévalo Occidental: una aproximación desde el medio físico (Doctoral dissertation, Universidad de Sevilla).

Zhou, Q., & Liu, X. (2004). Error analysis on grid-based slope and aspect algorithms. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 70 (8), 957-962.