



**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE**

FACULDADE DE CIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICA E INFORMÁTICA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO  
GEOGRÁFICA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Modelação topográfica e análise multitemporal de áreas  
degradadas pela exploração de carvão mineral no distrito de  
Moatize, 2003 a 2023 – Concessão 867c Vulcan Moçambique**

**Edelson Felix Mutedemane Assado**

Maputo, Julho 2024

# **UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE**

FACULDADE DE CIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICA E INFORMÁTICA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO  
GEOGRÁFICA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

## **DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Modelação topográfica e análise multitemporal de áreas degradadas pela  
exploração de carvão mineral no distrito de Moatize, 2003 a 2023 –  
Concessão 867c Vulcan Moçambique**

**Edelson Félix Mutedemane Assado**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sistema de Informação Geográfica da Universidade Eduardo Mandane, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Sistemas de Informação Geográfica para o Desenvolvimento Sustentável.

**Orientador:** Prof. Doutor. Ernesto Lenathy Muheca  
(Ph.D. em Geodesia Espacial)

**Co-Orientador:** Mcs. Narciso Bero Américo  
Patrício

Maputo, Julho 2024

**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE**

**FACULDADE DE CIÊNCIAS**

**DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICA E INFORMÁTICA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO  
GEOGRÁFICA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Modelação topográfica e análise multitemporal de áreas degradadas pela exploração de  
carvão mineral no distrito de Moatize, 2003 a 2023 – Concessão 867c Vulcan  
Moçambique**

**Edelson Felix Mutedemane Assado**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sistema de Informação Geográfica da Universidade Eduardo Mondlane, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Sistema de Informação Geográfica para o Desenvolvimento Sustentável.

Aprovado em 03 de Julho de 2024, por :

---

**Doutora. Sheyla Ratan Rodrigues Cassy**  
(Arguente - DMI-UEM)

---

**Prof. Doutor. José António Nhavoto**  
(Presidente - DMI-UEM)

---

**Prof. Doutor. Ernesto Lenathy Muheca**  
(Orientador – DMI-UEM)

**Co-Orientador: Mcs. Narciso Bero Américo  
Patrício**

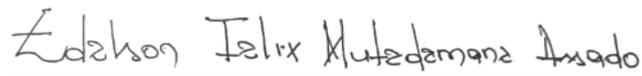
Maputo, Julho 2024

## DECLARAÇÃO DE HONRA

Declaro por minha honra que este trabalho de fim de curso nunca foi apresentado, na sua essência, para a obtenção de qualquer grau académico, e que constitui o resultado da minha investigação pessoal, estando indicadas no texto e nas referências bibliográficas as fontes que utilizei para a elaboração do mesmo.

Este trabalho é apresentado em cumprimento parcial dos requisitos para obtenção do grau de Mestrado em Sistema de Informação Geográfica para o Desenvolvimento Sustentável da Universidade Eduardo Mondlane.

Maputo, Julho de 2024



(Edelson Felix Mutedemane Assado)

## DEDICATÓRIA

À Deus Pai pela bênção e proteção nesta caminhada da vida

Aos meus Pais Félix (em Memoria) e Antónia que sempre apoiaram-me e souberam orientaram-me

A minha esposa amada Ernestina e aos meus queridos filhos Hernandes, Allana, e Edelson pelo amor incondicional.

## AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Superior Politécnico de Tete (ISPT), pela oportunidade dada de continuar com os meus estudos.

Ao Professor Doutor Ernesto Lenathy Muheca, pelo apoio desde o primeiro contacto com a Universidade Eduardo Mondlane, e como meu supervisor do Trabalho.

Ao Mestre Narciso Bero Américo Patrício meu Co-supervisor e a doutora Edsonia Lifaniça Sambo, funcionários dos Serviços Provinciais do Ambiente de Tete, pelas orientações dadas durante o estágio.

Aos Serviços Provinciais do Ambiente de Tete, na Pessoa do Senhor Director Marcos, pela oportunidade concedida de estagiar naquela Instituição Pública sem o qual não seria possível tornar este trabalho uma realidade.

Aos meus familiares e amigos que embora distante sempre se fizeram Presentes e necessários

Aos colegas da Turma do Curso de Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica para o Desenvolvimento Sustentável, 1ª Edição 2022 – 2023, pelo companheirismo e espírito de camaradagem.

Todos que não foram listados, mas que, de alguma forma, contribuíram para o sucesso desse trabalho, directa ou indirectamente.

## Resumo

A dinâmica do crescimento económico mundial trás consigo a necessidade e procura desenfreada por recursos minerais, de modo a satisfazer as das necessidades do mercado, e o carvão mineral sendo um elemento com alto poder energético, é um dos minerais que mais teve mercado nos últimos anos, tanto para a indústria siderúrgica, como para a produção de energia eléctrica. O distrito de Moatize tem um potencial geológico em recursos minerais invejável, o que atraiu grandes companhias mundiais interessadas na exploração do carvão mineral, fazendo, assim Moçambique como um actor relevante no mundo na exploração de carvão mineral. O mundo tem se ressentido dos efeitos das mudanças climáticas, secas severas e cheias que tem fustigados o nosso país de forma cíclica, as alterações do ciclo hidrológico são notáveis e cada vez mais imprevisível. A mineração é uma das áreas que mais tem contribuído para esta mudança, pois para a materialização da mesma são devastadas grandes áreas florestais e dependendo do método empregado podemos ter áreas mineradas descobertas e sem o devido acompanhamento ambiental para a reabilitação destas áreas.

Para materialização do estudo baseou-se em Imagem do Satélite *Landsat 7* para o ano 2003 e *Landsat 8*, mudanças de uso e cobertura do solo e degradação das áreas foram mapeadas em quatro espaços temporais nomeadamente 2003, 2013, 2018 e 2023. Para a produção dos Mapas de uso e cobertura do solo, alteração do índice de vegetação (NDVI) bem como de áreas degradadas pela mineração foi usado o programa, *ArcGIS Pro 2.7.0*. Para a classificação do uso e cobertura do solo foi usada o método de classificação supervisionada com treinamento das amostras para cinco classes de uso e cobertura vegetal nomeadamente: corpos de água, áreas urbanas, vegetação, solo exposto, áreas mineradas. Os resultados obtidos dos estudos, na concessão 867C da Vulcan Moçambique para o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) mostraram que a vegetação da área de estudo não é saudável e a mineração tem impacto negativo na vida vegetal. Da análise multitemporal de uso e cobertura do solo pela qual a validação estatística foi acima de 80% classificando-se como boa, verifica-se que a mineração de carvão mineral teve uma forte influência nas mudanças geomorfológicas da área estudo. À partir da detenção de mudanças no uso e cobertura do solo verificou-se a vegetação como a classe que mais mudanças sofreu para as classes de mineração, Solos exposto, área de urbanização e corpos de água.

**Palavras-chaves:** Análise Multitemporal, Áreas Degradadas, Mineração, Moatize.

## Abstract

The dynamics of global economic growth bring with it the need and unbridled demand for mineral resources, in order to satisfy market needs, and mineral coal, being an element with high energy power, is one of the minerals that has had the most market share in recent years, both for the steel industry and for the production of electrical energy. The District of Moatize has an enviable geological potential in mineral resources, which has attracted large global companies interested in the exploration of mineral coal, thus making Mozambique a relevant actor in the world in the exploration of mineral coal. The world has been feeling the effects of climate change, severe droughts and floods that have hit our country in a cyclical way, changes in the hydrological cycle are notable and increasingly unpredictable. Mining is one of the areas that has contributed most to this change, as large forest areas are devastated to make it happen and depending on the method used, we can have uncovered mined areas without due environmental monitoring for the rehabilitation of these areas.

To materialize the study, it was based on Landsat 7 Satellite Image for the year 2003 and Landsat 8, changes in land use and occupation and degradation of areas were mapped in five temporal spaces, namely 2003, 2010, 2014, 2018 and 2023. The ArcGIS Pro 2.7.0 program was used to produce maps of land use and occupation, changes in vegetation index (NDVI) and areas degraded by mining. To classify land use and cover, the Supervised Classification method was used with training of samples for five classes of use and vegetation cover, namely: Water bodies, Urban Areas, Vegetation, Exposed soil, mined areas. The results obtained from the study, in concession 867C of Vulcan Mozambique for Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) the values obtained show that the vegetation in the study area is not healthy and mining has a negative impact on plant life. From the multitemporal analysis of land use and cover, in which the statistic validation was above 80%, classifying it as good, it appears that coal mining had a strong influence on the geomorphological changes of the study area. From the detection of changes in land use and cover, Vegetation was found to be the class that suffered the most changes for the Classes of Mining, exposed Soil, urbanization area and bodies of water.

**Keywords:** Multitemporal Analysis, Degraded Areas, Mining and Moatize.

## Lista de abreviaturas e siglas

<b>ADVZ</b>	Agência de Desenvolvimento do Vale do Zambeze
<b>DEM</b>	<i>Digital Elevation Model</i>
<b>GAP</b>	<i>Gap Analysis Program</i>
<b>IGBP</b>	<i>International Geosphere-Biosphere Program</i>
<b>IHDP</b>	<i>International Program Human Dimensions of Global Environmental Change</i>
<b>MAE</b>	Ministério de Administração Estatal
<b>MRLC</b>	<i>Multi-Resolution Land Characteristics</i>
<b>MSS</b>	<i>Multispectral Scanner Subsystem</i>
<b>NASA</b>	<i>National Aeronautics And Space Administration</i>
<b>NDVI</b>	<i>Normalized difference vegetation index</i>
<b>NE</b>	Norte Este
<b>NLCD</b>	<i>National Land Cover Database</i>
<b>NO</b>	Norte-Oeste
<b>OLI</b>	<i>Operational Land Imager</i>
<b>SE</b>	Sul-Este
<b>SO</b>	Sul-Oeste
<b>TIRS</b>	<i>Thermal Infrared Sensor</i>
<b>TM</b>	<i>Thematic Mapper</i>
<b>UCS</b>	Uso e Cobertura do Solo
<b>USGS</b>	<i>United State Geological Survey</i>

## Lista de Tabelas

Tabela 1: Tipos de solo.....	9
Tabela 2: Vida útil dos satélites LANDSAT.....	14
Tabela 3: Bandas espectrais do satélite Landsat 7 .....	15
Tabela 4: Bandas Espectrais do satélite Landsat 8 (OLI) .....	16
Tabela 5: Bandas espectrais do Satélite Landsat 8 (TIRS) .....	17
Tabela 6: Esquema de classificação de 2006 (NLCD) – classe - Água .....	22
Tabela 7: Esquema de classificação de 2006 (NLCD) – classe – Água.....	22
Tabela 8– Esquema de classificação de 2006 (NLCD) – classe – Árido .....	23
Tabela 9: Esquema de classificação de 2006 (NLCD) – classe – Árido .....	23
Tabela 10 : Esquema de classificação de 2006 (NLCD) – classe – Herbácea, Plantada/Cultivada, Zonas húmidas .....	24
Tabela 11: UCS para uso com dados de sensores remotos .....	25
Tabela 12: Estrutura de uma matriz de confusão .....	28
Tabela 13: Classificação associada ao índice Kappa .....	30
Tabela 14: Variação de uso e cobertura do solo por km <sup>2</sup> 2003 – 2023.....	40
Tabela 15: Variação da mudança por percentagem no uso e cobertura do solo .....	41
Tabela 16: Índice de Acurácia para a classificação de uso e cobertura do solo 2003 .....	42
Tabela 17: Índice de Acurácia para a classificação de uso e cobertura do solo 2013 .....	43
Tabela 18: Índice de Acurácia para classificação de uso e cobertura do solo 2018.....	43
Tabela 19: Índice de Acurácia para classificação de uso e cobertura do solo 2023.....	44

## Lista de Figuras

Figura 1: Mapa de Localização da área de estudo .....	5
Figura 2. Fluxos grama do processo. ....	33
Figura 3: Mapa do modelo topográfico de curva de nível .....	35
Figura 4: Mapa do modelo topográfico de declividade .....	36
Figura 5: Mapa de NDVI época chuvosa .....	37
Figura 6: Mapa de NDVI época seca .....	38
Figura 7: Mapa de uso e cobertura do solo de 2003-2013 .....	39
Figura 8: Mapa de uso e cobertura do solo de 2018 a 2023.....	39
Figura 9: Mudanças no uso e cobertura do solo por km <sup>2</sup> 2003 – 2023 .....	40
Figura 10: Mudança por percentagem no uso e cobertura do solo por Km <sup>2</sup> .....	41
Figura 11: Mapa de Detenção de Mudanças 2003- 2023.....	45
Figura 12: Detenção de Mudanças área/km <sup>2</sup> .....	46

## **Anexos**

Anexo 1: Mapa de NDVI época chuvosa 01/03/ 2003 .....	52
Anexo 2: Mapa de NDVI época seca 01/10/ 2023.....	53
Anexo 3: Mapa de NDVI época chuvosa 01/03/ 2023 .....	54
Anexo 4: Mapa de NDVI época seca 01/09/ 2023.....	55
Anexo 5: Mapa uso e cobertura do solo 01/03/ 2003.....	56
Anexo 6: Mapa uso e cobertura do solo 23/10/ 2013.....	57
Anexo 7: Mapa uso e cobertura do solo 12/10/ 2018.....	58
Anexo 8: Mapa uso e cobertura do solo 01/09/ 2023.....	59

## Índice

Resumo .....	I
Abstract .....	II
Lista de abreviaturas e siglas .....	III
Lista de tabelas .....	IV
Lista de figuras .....	VI
Lista de figuras .....	VII
1 Introdução .....	1
1.1 Enquadramento .....	1
1.2 Motivação .....	3
1.3 Objectivos .....	3
1.3.1 Objectivo Geral.....	3
1.3.2 Objectivos Específicos .....	3
1.4 Problema .....	4
1.5 Hipóteses.....	4
1.6 Localização da área de estudo .....	5
1.7 Caracterização física e geográfica da área de estudo.....	6
1.7.1 Vegetação.....	6
1.7.2 Clima .....	7
1.7.3 Hidrografia.....	7
1.7.4 Relevo.....	8
1.7.5 Solos .....	9
1.7.6 Recursos minerais.....	10
1.7.7 Características sócio-económicas .....	11
2 Revisão da literatura .....	13
2.1 Sensoriamento remoto .....	13

2.2	Sistema <i>Landsat</i> .....	13
2.3	Principais sistemas sensores – sensores orbitais .....	15
2.3.1	Satélite <i>Landsat 7 ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus)</i> .....	15
2.3.2	Satélite <i>Landsat 8 OLI - (Operational Land Imager)</i> e Satélite <i>Landsat 8 TIRS - (Thermal Infrared Sensor)</i> .....	16
2.4	Índice de vegetação por diferença normalizada.....	17
2.5	Índice de água por diferença normalizada .....	18
2.6	Índice de vegetação ajustado ao solo .....	18
2.7	Esquemas de classificação de uso e cobertura do solo .....	18
2.7.1	Banco de dados nacional de cobertura do solo.....	21
2.7.2	Sistema de classificação de cobertura do solo para uso com dados do sensor remoto dos serviços geológicos americano .....	24
2.8	Métodos de classificação de imagens de sensoriamento remoto .....	25
2.9	Acurácia, precisão e exatidão do dado digital .....	26
2.9.1	Acurácia do dado digital.....	27
2.9.2	Matriz de confusão .....	27
2.9.3	Coefficiente Kappa .....	28
2.10	Mineração.....	31
2.11	Degradação ambiental.....	32
3	Metodologia.....	33
3.1	Fonte de dados e software.....	33
3.2	Análise e processamento de dados.....	34
4	Resultados.....	35
4.1	Modelação topográfica .....	35
4.2	Índice de vegetação da diferença normalizada 2003 – 2023 .....	37
4.2.1	Diferença de índice de vegetação normalizada da época chuvosa e seca .....	37
4.3	Análise multitemporal de uso e cobertura do solo 2003-2023 .....	38
4.4	Validação estatística.....	42

4.4.1	Matriz de confusão de uso e cobertura do solo 2003 – 2023 .....	42
4.5	Alteração no uso e cobertura do solo no período 2003-2023 .....	45
5	Conclusão e Recomendações .....	47
5.1	Conclusão.....	47
5.2	Recomendações .....	48
6	Referencias .....	49
7	Anexos.....	52

# **1 Introdução**

## **1.1 Enquadramento**

A dinâmica do crescimento económico mundial traz consigo a necessidade e procura desenfreada por recursos minerais, de modo a satisfazer as necessidades do mercado, e o carvão mineral sendo um elemento com alto poder energético, é um dos minerais que mais teve mercado nos últimos anos, tanto para a indústria siderúrgica, como para a produção de energia eléctrica. O distrito de Moatize tem um potencial geológico em recursos minerais invejável, o que atraiu grandes companhias mundiais interessadas na exploração do carvão mineral, fazendo, assim Moçambique como um Actor relevante no mundo na exploração de carvão mineral.

O processo de exploração desse recurso trouxe consigo consideráveis consequências ambientais negativas pelo aumento da procura de áreas urbanas e a degradação das áreas mineradas, uma vez que para extração deste recurso o método usado é a mineração ao céu aberto. Este método foi adaptado por ser seguro e altamente produtivo, porém é um método com consequências altamente prejudiciais ao ambiente, por devastar grandes áreas de floresta, deixar vastas crateras abertas, e assim como espalhar nas áreas adjacentes de exploração mineira grandes quantidade de poeira de partículas minerais.

Um dos grandes problemas que o país enfrenta é a fraca monitorização das áreas degradadas pela mineração de modo a cumprir com o plano de recuperação ambiental das áreas mineradas assumidas pelas empresas no acto da obtenção das licenças de exploração. As empresas mineradoras têm um o plano de recuperação ambiental ambicioso, porém a fiscalização e monitoramento por parte das instituições governamentais moçambicanas vocacionadas mostra-se deficiente nomeadamente, a Inspeção Geral do Ministério dos Recursos Minerais e Energia (IGREME), Agência de Qualidade Ambiental (AQUA), tutelada pelo Ministério da Terra e Ambiente e os Serviços Províncias do Ambiente (SPA) da província de Tete.

De modo a dar uma contribuição académica e científica, o autor do presente trabalho desenvolveu com convicção que será útil para o conhecimento das áreas degradadas pela mineração com recurso ao mapeamento do uso e cobertura do solo no espaço temporal 2003 a

2023 de modo a identificar áreas degradadas, e possível mitigação a quem de direito os impactos ambientais provenientes da exploração do carvão mineral.

## **1.2 Motivação**

O presente estudo é um contributo para evidenciar o nível de degradação ambiental decorrente da exploração do carvão mineral no distrito de Moatize concretamente nos povoados abrangidos pela Concessão Mineira 867C respectivamente Chipanga, Malabue, Bagamoio, Mitete Ntchenga, Mpandoe, usando a técnica sensoriamto remoto, pois a modelação topográfica, bem como o mapeamento de uso e cobertura do solo da área de estudo, mostra as alterações na morfologia do terreno, bem como as mudanças no uso e cobertura do solo, com base nesta informação, e possível fazer um monitoramento das áreas desflorestadas, das áreas mineradas, bem como como áreas urbanizadas, ilustrando assim, a importância da aplicação dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e de Sensoriamento Remoto no contributo do uso dos recursos naturais para o desenvolvimento sustentável.

## **1.3 Objectivos**

### **1.3.1 Objectivo Geral**

Analisar as áreas degradadas pela exploração de carvão mineral no período 2003 a 2023.

### **1.3.2 Objectivos Específicos**

De modo a alcançar-se o objetivo geral foram definidos como objetivos específicos os seguintes:

- Modelar a topografia da área da concessão;
- Mapear as mudanças geomorfológicas da área Minerada;
- Identificar áreas degradadas pela mineração;
- Analisar a vegetação nos períodos secos e chuvosos dos anos predefinidos;
- Analisar o desmatamento florestal nas áreas mineradas;
- Analisar a perda de vegetação por influência do crescimento de áreas urbanas.

## **1.4 Problema**

O mundo actual tem se ressentido dos efeitos das mudanças climáticas, caracterizado por secas, cheias e ciclones severa, que tem fustigados particularmente o nosso país de forma cíclica. As alterações do ciclo hidrológico são notáveis e cada vez mais imprevisível. A mineração é uma das áreas que mais tem contribuído para estas mudanças, pois para a materialização da mesma são devastadas grandes áreas florestais e dependendo do método empregado podemos ter áreas mineradas descobertas e sem o devido acompanhamento ambiental para a reabilitação destas áreas após o encerramento da actividade de exploração.

## **1.5 Hipóteses**

Constituem pressuposto de trabalho:

- Mapear as mudanças geomorfológicas na área minerada, que permitirá entender o nível da alteração geomorfológica e o nível de reabilitação ambiental;
- Mapear o uso de cobertura do solo que permitirá compreender as mudanças de ocupação do solo, áreas degradada;
- Avaliar o índice de vegetação por diferença Normalizada (NDVI) permitirá entender o nível de desflorestamento nas áreas mineradas bem como áreas florestais perdidas ou recuperadas.

## 1.6 Localização da área de estudo

A área de estudo localiza-se a Oeste do distrito de Moatize, na região Este da província de Tete, região central de Moçambique, limitada pelas coordenadas geográficas 15° 27' e 16° 38' Latitude Sul, 33° 22' e 34° 28' Longitude Este (Figura 1). O distrito de Moatize tem uma área de 8.455 km<sup>2</sup> localizando-se na região do baixo Zambeze, e é delimitado a Norte pelos distritos de Tsangano e Chiúta, a Sul pelos distritos de Tambara, Guro e Doa, a Este pela República do Malawi e a Oeste pelos distritos de Marara, cidade de Tete e Changara. A área da Concessão Mineira (onde se insere o Projeto de exploração mineira), localiza-se a cerca de 15 km (por Estrada) a Este da capital da Província de Tete, e encontra-se rodeada pelas planícies de inundação dos rios Revúbuè e Zambeze. A licença de concessão mineira 867C da Empresa Vulcan, válida até 1 Março de 2032, abrange 23 780 hectares, destacando-se como principais elementos geográficos a Vila de Moatize, o Rio Revúbuè que limita superiormente o sector Norte, o Rio Moatize a Nordeste, e o Rio Muarazi que limita inferiormente o sector Sul e a Mina de Benga no sector Sudeste.

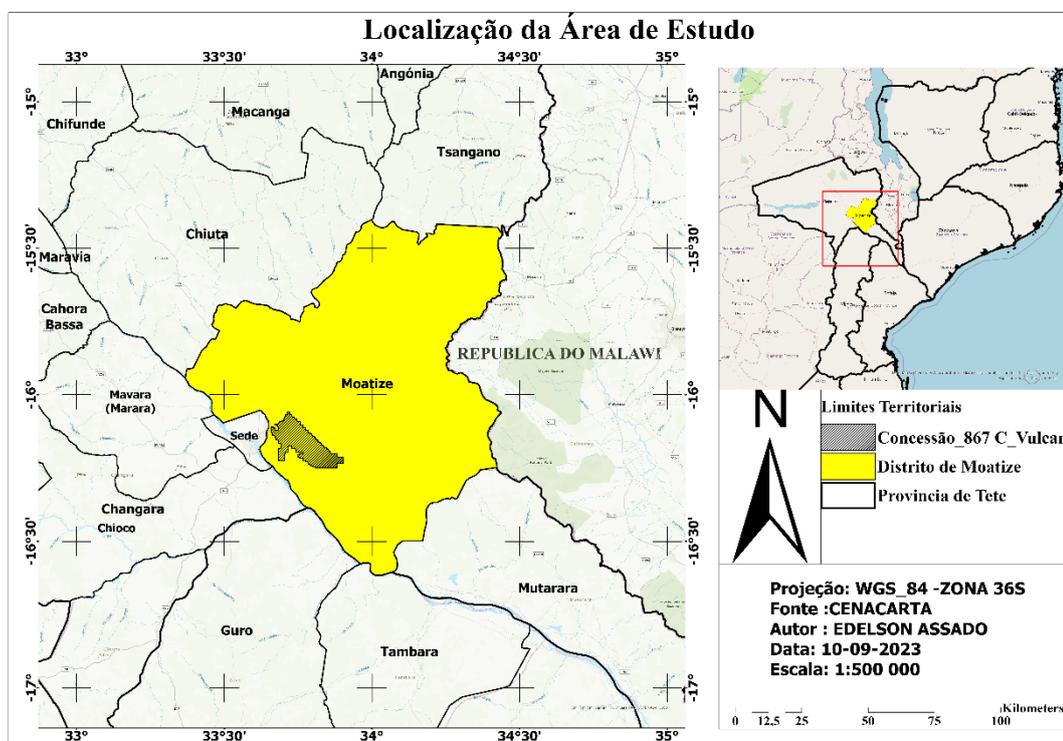


Figura 1: Mapa de Localização da área de estudo

## 1.7 Caracterização física e geográfica da área de estudo

### 1.7.1 Vegetação

Os tipos de vegetação na área de estudo foram identificados e descritos com base no sistema de classificação da vegetação utilizado por Wild e Barbosa (1967), baseado nas Unidades de Mapeamento definidas com base nas espécies dominantes e nas condições ecológicas das áreas, incluindo tipo de solo, topografia, clima e precipitação.

Ocorrem na área de estudo apenas dois tipos de vegetação, nomeadamente, a mata de savana decídua seca e a savana arbustiva decídua seca (Wild e Barbosa, 1967).

Segundo os autores acima referenciados a Mata de Savana Decídua Seca, vulgarmente designada por Mata de Mopane, tem como espécie dominante a *Colophospermum mopane*, associada a outras espécies como a *Acácia nigrescens*, *Dalbergia melanoxylon*, *Acácia nilótica*, *Combretum apiculatum*, *Ziziphus mauritania* e *Afzelia quanzensis*, formando assim uma savana típica (com árvores de altitude média, 10-15 metros) e por vezes misturada com o embondeiro (*Adansonia digitata*).

A unidade de Savana Arbustiva Decídua Seca abrange uma porção significativa do Vale do Zambeze. Barbosa (1967) lista 22 espécies principais pertencentes a diferentes famílias geralmente características deste tipo de vegetação, incluindo *Pterocarpus brenanii*, *Diplorhynchus condilocarpon*, *Colophospermum mopane* de porte arbustivo, *Combretum spp*, *Cordyla africana*, *Longocarpus capassa*, *Albizia harveyi*, *Dalbergia melanoxylon*, *Cassia spp*. e *kirkia acuminata* e o embondeiro (mas de forma esporádica).

As florestas de mopane são matas dominadas pela espécie arbórea *Colophospermum mopane*, observa-se uma crescente pressão humana sobre estas áreas e um conseqüente declínio das florestas de mopane, devido à maior procura dos seus recursos, o que altera a composição e estrutura destas florestas, Estes recursos incluem madeira para construção, ferramentas, esculturas e utensílios de cozinha, lenha, corda, medicamentos e resina e a muito procurada larva do Mopane (*Gonimbrasia belina*) (ADVZ, 2015).

### **1.7.2 Clima**

O clima da província de Tete no geral é caracterizado por três tipos de clima, tropical húmido, tropical seco e clima modificado pela altitude, o distrito de Moatize é caracterizado por dois tipos de clima nomeadamente, clima tropical húmido na parte norte do distrito e tropical seco na parte sul do distrito. Os dois tipos de clima observam duas estações do ano distintas, a saber a estação chuvosa e a seca (INDE, 2013).

Na estação chuvosa a precipitação média anual na estação mais próxima (cidade de Tete) é cerca de 644 mm, enquanto a evapora transpiração potencial média anual está na ordem de 1,626 mm, A maior queda pluviométrica ocorre sobretudo no período compreendido entre Dezembro de um ano a Fevereiro do ano seguinte, variando significativamente na quantidade e distribuição, quer durante o ano, quer de ano para ano. A estação seca ocorre tipicamente entre Maio e Outubro, com médias mensais de precipitação inferiores a 6 mm, e a temperatura média está na ordem dos 26.5°C. As médias anuais mínimas e máxima são de 20.5°C e 32.5°C, respetivamente (MAE, 2014).

### **1.7.3 Hidrografia**

A área em estudo localiza-se na Bacia Hidrográfica do Rio Zambeze, destacando-se o Rio Revubué que constitui um dos seus principais afluentes perenes na sua margem esquerda, com uma bacia hidrográfica com cerca de 15 550 km<sup>2</sup> (MAE, 2014).

Para além do rio Zambeze, os cursos de água mais importantes são os rios N'Kondezi e Moatize que afluem no rio Révubuè, que por sua vez é afluente do rio Zambeze. No interior do distrito, mais concretamente em Moatize - Sede e Mecungas, encontram-se algumas nascentes e aquíferos com níveis freáticos com características comportamentais dependentes de quedas pluviométricas. São estas fontes naturais que permitem a captação de água para o abastecimento das populações.

#### 1.7.4 Relevo

O relevo regional da Província de Tete é dominada pela intersecção do Lago Niassa (Vale do Grande Rift) e pelas Bacias Hidrográficas do Baixo Zambeze, que drenam numa direcção Sudeste para a costa (ERM e Impacto, 2013).

Geomorfologicamente o distrito de Moatize ocorre parcialmente no vasto Complexo Gnaisso Granítico do Moçambique Belt onde sobressaem em forma de “*Inselbergs*” as rochas intrusivas do Pós-Karoo (MAE, 2014).

O distrito de Moatize é caracterizado por zonas de relevo agreste constituídas por inúmeros montes (Monte Kaphiridzanje - pico mais alto com cerca de 1.500 m - Zóbwè, Chingo, Khongodza, M'gunda, Inhangoma, Chitsita, Necungas e Muambe), por vezes de vertentes escarpadas, especialmente na parte Norte e Nordeste do distrito. A noroeste uma região planáltica com altitudes que atingem os 1.000 m e ao sul, região meso-planáltica com altitudes que atingem os 350 m. Outras zonas são mais aplanadas ou formadas por pequenas colinas de vertente suave. É um distrito de relevo predominado por planaltos, montanhas e algumas planícies, desde Moatize -Sede até Kaphiridzanje, variando cerca de 300 m a 1970 m de altitude. - O distrito de Moatize atinge os 1100 m, na zona mais a norte (junto a Tsangano) (ADVZ, 2015).

Vasconcelos (1995) reforça que no interior encontra-se a bacia carbonífera de Moatize, que em termos de relevo, situa-se num graben com uma largura variando de 2,5 km a 8 km e uma extensão de mais de 20 km, estando a superfície, plana e levemente ondulada, situada a uma altitude entre 140 m e 220 m acima do nível do mar. As zonas bordejantes do graben, de idade pré-câmbrica, situam-se a altitudes maiores (cerca de 300 m). Outra manifestação de relevo importante na área é a Serra da Caroeira, que é constituída por rochas sedimentares do Karoo Superior e situa-se na margem direita do rio Zambeze a poucos quilómetros da província de Tete (Vasconcelos, 1995).

### 1.7.5 Solos

De acordo com a sua localização geográfica a República de Moçambique possui uma grande variedade de solos típicos das regiões tropicais e subtropicais. As várias classificações pedológicas tomam em conta a composição mineralógica, a cor, a origem, a idade e os processos morfológicos e biológicos recentes.

Assim, apesar das variações das rochas e do relevo serem muito importantes e expressivas na determinação dos tipos de solo, é evidente certa zonalidade na repartição das principais unidades pedológicas (Muchangos, 1999)

A carta pedológica destaca simultaneamente aspetos relacionados com a idade, a influência do clima e da natureza geológica e das condições hídricas e morfológicas locais (Gouveia e Marques, 1973). De acordo com a mesma distinguem-se em Moçambique os seguintes grandes tipos de solo (Tabela 1): pouco evoluídos, sialíticos, fersialíticos, ferralíticos e hidromórficos.

Tabela 1: Tipos de solo

<b>Classe</b>	<b>Tipo de solo</b>
<b>Pouco evoluídos</b>	Aluvionares
	Regosolos
	litósolos
	litolicos
<b>Sialíticos</b>	Vertisolos
	Aridicos
<b>Fersialíticos</b>	Fersiálicos
	Psamo Fersiálicos
	ferralítico
	Para-ferraliticos

<b>ferralítico</b>	Psamo-ferralíticos
	Psamo-paraferalítico
<b>hidromorficos</b>	Minerais
	Organicos
	Psamo-hidromorficos

Fonte: Gouveia; Marques, (1973).

No centro de Moçambique os solos (zonais) mais abundantes são os solos ferralíticos, fersialíticos e sialíticos. Estes solos ocorrem nos complexos granito-gneissicos do norte de Moçambique até ao vale do rio Zambeze e uma grande parte das províncias de Tete, Sofala e Manica.

Segundo MAE (2014) no distrito de Moatize destacam-se os seguintes: solos castanho acinzentados, castanho-avermelhados pouco profundos sobre rochas calcárias e os derivados de rochas basálticas, estes últimos, podendo ser avermelhados, castanho-avermelhados ou pretos, são ainda de profundidade variável e caracterizados por apresentarem boas capacidades de retenção de nutrientes e água, fendilhados quando secos e plásticos e pegajosos quando húmidos, ocorrem ainda em pequenas manchas solos aluvionares, em particular nos terraços dos rios Révubùè e Zambeze.

### **1.7.6 Recursos minerais**

Moatize é caracterizado resumidamente por importantes jazigos de carvão mineral (do tipo hulha), e inúmeras jazidas de titanomagnetites vanadíferas (ferro, titânio e vanádio). Os jazigos de carvão fazem parte de uma extensa área que se estende de Chingodzi ao rio Mecombedzi, situada a Sul da região montanhosa do distrito, localizando-se os jazigos mais importantes na chamada Bacia Carbonífera de Moatize-Minjova (MAE, 2014).

A geologia regional está dividida em três unidades estratigráficas – nomeadamente as formações do Pós Karoo (Cretácico a Quaternário), Supergrupo Karoo (Carbonífero – Cretácico) e as formações Pré-Karoo (Précâmbrico) (SRK, 2010 citado por ERM e Impacto, 2013).

Segundo a Carta Nacional de Geologia (Instituto Nacional de Geologia de Moçambique, 1987) Moatize está inserida numa região de formações pré-cambrianas pertencentes ao complexo gabro-anortosítico com rochas do período do Proterozóico. O complexo gabroanortosítico é formado por rochas básicas e ultrabásicas, tais como gabros, anortositos, noritos, leuco gabros e outras.

É nesta região onde se encontra a maior bacia carbonífera de Moçambique (bacia carbonífera de Moatize) pertence ao Supergrupo do Karoo. As camadas de carvão pertencem à Formação de Moatize (Pérmico Inferior), sendo composta por arenito arcósico branco acinzentado, arenito fino argiloso ou micáceo com fósseis de plantas, e intercalações de argilito negro com camadas de carvão (GTK Consortium, 2006).

### **1.7.7 Características sócio-económicas**

De uma forma geral, a população encontra-se desigualmente distribuída ao nível do distrito, devido à conjugação de factores físico-naturais (solos férteis, recursos faunísticos e florestais) e factores socio-políticos, devido à guerra civil, apelidada de guerra dos 16 anos e vias de acesso.

A agricultura é a actividade dominante, como acontece com os restantes distritos de moçambique, assim no distrito de Moatize envolve quase a maioria dos agregados familiares a agricultura é praticada manualmente em pequenas explorações familiares em regime de consociação de culturas com base em variedades locais, e é feita predominantemente em condições de sequeiro, que nem sempre é bem-sucedida, uma vez que o risco de perda das colheitas é alto, dada a baixa capacidade de armazenamento de humidade no solo durante o período de crescimento das culturas.

É nas margens do rio Zambeze e seus afluentes, que é possível fazer agricultura irrigada, com recurso a meios mecânicos de propulsão, no interior do distrito, existem algumas terras onde é

possível utilizar pequenos sistemas de rega para produção agrícola, desde que haja algum investimento para a construção de sistemas de armazenamento de água. (MAE, 2014).

Durante o período da guerra dos 16 anos uma parte das pessoas refugiaram-se no vizinho Malawi, e outras deslocaram-se para cidade de Tete, o regresso das pessoas às suas zonas de origem, tem gerado conflitos pela posse e uso da terra.

## **2 Revisão da literatura**

### **2.1 Sensoriamento remoto**

A técnica de sensoriamento remoto tem sido cada vez mais aplicada, não somente, no meio florestal, mas, também, para auxiliar na monitorização de outras actividades. Muito associada a monitorização de espaços naturais, o sensoriamento remoto se expande para outras áreas, como por exemplo, no auxílio do planeamento da expansão urbana e no processo de colheita de culturas anuais. O sensoriamento remoto é uma ferramenta que permite mapear, monitorar e fiscalizar extensas áreas da superfície de forma rápida, diminuindo os custos com visitas ao campo (Meneses, 2001).

Dessa forma, o sensoriamento remoto pode ser entendido como a informação gerada por sensores resultantes da interação da radiação eletromagnética com os objectos da superfície terrestre (Lima, 2008). A interação da radiação eletromagnética com o meio físico terrestre, natural ou não, se vale de um conjunto de técnicas que transformam em informação, os dados obtidos pela reflectância dos “alvos” e objectos de estudo (Ponzonni, 1992). As informações obtidas não necessitam de contato direto entre os sensores e o meio, destacando a grande aplicabilidade dessas técnicas.

A qualidade das informações geradas está directamente relacionada a quatro domínios de resolução: espacial, espectral, radiométrica e temporal (Moreira, 2005). Porém as resoluções espacial e espectral são fundamentais na escolha das imagens, a resolução espacial pode ser definida como a mínima área entre dois objetos que o sensor é capaz de identificar (Rosa, 2003). Quanto maior a resolução espacial, menor poderá ser o objectos para ser individualizado na imagem.

### **2.2 Sistema *Landsat***

O programa Landsat foi desenvolvido pela NASA (*National Aeronautics And Space Administration*), EUA por volta dos anos de 1970 (Lima, 2008). O programa contava com o lançamento de sete satélites, porém, actualmente, encontram-se em operação o *Landsat-7*, tendo o seu lançamento em 1999 e o *Landsat-8*, lançado em fevereiro de 2013 (Tabela 2) abaixo. O satélite *Landsat-5* foi lançado em 1984 e interrompeu sua operação em 2011. Apresentava a

bordo, os sensores TM (*Thematic Mapper*) e MSS (*Multispectral Scanner Subsystem*), uma órbita de aproximadamente 98° de inclinação, com uma altitude de 705 metros (Dainese, 2001). A recolha de imagem era feita dentro de uma faixa de 185 metros, com um período de revisita (observa) de 16 dias (Chuvieco, 1990). O sensor TM apresenta uma resolução espacial de 30m x 30m, nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 (visível, infravermelho médio e próximo) e para a banda 6 (infravermelho termal) uma resolução de 120m x 120m.

Tabela 2: Vida útil dos satélites *LANDSAT*

Satélite	1970									1980									1990									2000									2010									2020													
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8
LANDSAT-1																																																											
LANDSAT-2																																																											
LANDSAT-3																																																											
LANDSAT-4																																																											
LANDSAT-5																																																											
LANDSAT-6																																																											
LANDSAT-7																																																											
LANDSAT-8																																																											

Lançamento/Operação

Operação

Operação/Término

Falha no Lançamento

Fonte: Serviços Geológicos Americano (USGS) 2023

## 2.3 Principais sistemas sensores – sensores orbitais

### 2.3.1 Satélite Landsat 7 ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*)

O sensor ETM+, a bordo do satélite *Landsat 7*, foi o sucessor operacional do instrumento TM e manteve configurações técnicas muito semelhantes a ele oferecendo a versatilidade e eficiência obtidas nas versões anteriores. Além disso, contribuiu para ampliar o uso dos produtos, pois conseguiu melhorar a acurácia do sistema, ampliou a resolução espacial da banda 6 (infravermelho termal) para 60 metros, além de tornar a banda pancromática operante e permitir a geração de composições coloridas com 15 metros de resolução (Tabela 7). Em 31/05/2003 o sensor apresentou problemas de funcionamento e a partir dessa data as cenas do Landsat 7 foram enviadas em modo SLC-Off para serem utilizadas necessitam de correções prévias e análise de acurácia no posicionamento e calibração dos *pixels* (USGS, 2023).

Tabela 3: Bandas espectrais do satélite *Landsat 7*

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área Imageada	Res. Radiométrica
ETM+ ( <i>Enhanced Thematic Mapper Plus</i> )	(B1) Azul	0.45-0.515 $\mu\text{m}$	30 m	16 dias	183 km	8 bits
	(B2) Verde	0.525-0.605 $\mu\text{m}$				
	(B3) Vermelho	0.63 - 069 $\mu\text{m}$				
	(B4) Infravermelho próximo	0.76 - 0.90 $\mu\text{m}$				
	(B5) Infravermelho médio	1.55 - 1.75 $\mu\text{m}$	60 m			
	(B6) Infravermelho termal	10.4 - 12.5 $\mu\text{m}$				
	(B7) Infravermelho médio	2.09 - 2.35 $\mu\text{m}$	30 m			
	(B8) Pancromático	0.52 - 0.90 $\mu\text{m}$	15 m			

Fonte: Serviços Geológicos Americano (USGS) 2023

### 2.3.2 Satélite *Landsat 8 OLI - (Operational Land Imager)* e Satélite *Landsat 8 TIRS - (Thermal Infrared Sensor)*

O *Landsat-8*, lançado em 2013, apresenta a bordo os sensores OLI (*Operational Land Imager*) e o TIRS (*Thermal Infrared Sensor*). Os sensores OLI trabalham com nove bandas multiespectrais, com uma resolução espacial nas bandas 1, 7 e 9 de 30m x 30m. Apresenta melhorias, como a banda 8 que é pancromática, com uma resolução espacial de 15m x 15m. As bandas 1 (ultra azul) e 9 (cirrus) são úteis para estudos costeiros e deteção de nuvens, respectivamente (Tabela 4). No total, apresenta 11 bandas, sendo a 10 e 11 utilizadas pelo sensor TIRS, com faixas térmicas fornecendo a temperatura de superfície de forma mais precisa (Tabela 5) (USGS, 2023).

Tabela 4: Bandas Espectrais do satélite *Landsat 8 (OLI)*

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área Imageada	Res. Radiométrica
OLI (Operational Land Imager)	(B1) Costal	0.433 - 0.453 $\mu\text{m}$	30 m	16 dias	185 km	12 bits
	(B2) Azul	0.450 - 0.515 $\mu\text{m}$				
	(B3) Verde	0.525 - 0.600 $\mu\text{m}$				
	(B4) Vermelho	0.630 - 0.680 $\mu\text{m}$				
	(B5) Infravermelho próximo	0.845 - 0.885 $\mu\text{m}$				
	(B6) Infravermelho médio	1.560 - 1.660 $\mu\text{m}$				
	(B7) Infravermelho médio	2.100 - 2.300 $\mu\text{m}$				
	(B8) Pancromático	0.500 - 0.680 $\mu\text{m}$	15 m			
	(B9) Cirrus	1.360 - 1.390 $\mu\text{m}$	30 m			

Fonte: Serviços Geológicos Americano (USGS 2023)

Tabela 5: Bandas espectrais do Satélite *Landsat 8* (TIRS)

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Resolução Radiométrica	Área Imageada
TIRS (Thermal Infrared Sensor)	(B10) Infravermelho de onda longa (LWIR) - 1	10.30 - 11.30 $\mu\text{m}$	100 m	16 dias	12 bits	185 km
	(B11) Infravermelho de onda longa (LWIR) - 2	11.50 - 12.50 $\mu\text{m}$				

Fonte: Serviços Geológicos Americano (USGS 2023)

## 2.4 Índice de vegetação por diferença normalizada

O índice NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) proposto por Rouse *et al.* (1973) é apresentado na equação 1, com as abreviaturas de bandas do *Landsat 7-8* apresentado nas Tabelas 2 e 3.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}, \quad (1)$$

onde NIR = Infravermelho próximo, RED = Vermelho.

O NDVI tem sido empregado para detectar os efeitos da sazonalidade, o estágio fenológico da vegetação, duração do período de crescimento, pico de verde e variações fisiológicas das folhas (Ponzoni e Shimabukuro, 2009). Valores mais elevados correspondem à vegetação sadia, com maior densidade de biomassa verde (entre 0,10 e 1). E os valores mais baixos (entre 0,10 e -1) ocorrem em locais com vegetação estressada e degradada, de porte pequeno representando pouca biomassa. Índices extraídos de bandas espectrais de imagens de sensoriamento remoto são de interesse na identificação de padrões espaciais na presença de vegetação e corpos hídricos, como em Minhoni *et al.* (2017) que utilizaram o NDVI para distinguir macrófitas aquáticas no reservatório da Usina Hidrelétrica de Barra Bonita.

## 2.5 Índice de água por diferença normalizada

O índice NDWI (*Normalized Difference Water Index*) foi proposto por Gao (1996) utilizando as bandas espectrais do infravermelho próximo (0,86 µm) e infravermelho médio (1,24 µm) com o intuito de delinear feições na água. Como é visto na Tabela 1, essa faixa não é contemplada pelo satélite, por isso utilizou-se a banda no comprimento de onda do verde no cálculo do NDWI por conseguir distinguir satisfatoriamente áreas secas de áreas húmidas (Ponzoni e Shimabukuro, 2009). A Equação 2 apresenta a formulação matemática do NDWI utilizando as bandas do Landsat-8, com as abreviaturas apresentadas na Tabela 2-3.

$$NDWI = \frac{GREEN - NIR}{GREEN + NIR} \quad (2)$$

onde, GREEN= Verde, NIR = Infravermelho próximo.

## 2.6 Índice de vegetação ajustado ao solo

Já para avaliar coberturas vegetais com espaços abertos, ou seja, com interferência de solo exposto, Huete (1988) desenvolveu o Índice de Vegetação Ajustado para o Solo (SAVI – *Soil-Adjusted Vegetation Index*), expresso pela Equação 3 utilizando as bandas do *Landsat-8*, com as abreviaturas apresentadas na Tabelas 2 e 3.

$$SAVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED + L} (1 + L), \quad (3)$$

Onde, NIR = Infravermelho próximo, RED = Vermelho, L = Infravermelho de onda longa.

## 2.7 Esquemas de classificação de uso e cobertura do solo

A cobertura do solo refere-se ao tipo de material presente na paisagem, por exemplo, água, culturas, florestas, zonas húmidas, materiais produzidos pelo Homem, como o asfalto, outros. O uso da terra refere-se ao que as pessoas fazem na superfície da terra por exemplo, agricultura, comércio, povoamento humano, e outros. O ritmo, a magnitude e a escala das alterações humanas na superfície terrestre não têm precedentes na história da humanidade.

Consequentemente, os dados sobre a cobertura e o uso do solo são fundamentais para questões da Agenda 21 das Nações Unidas, como o combate à desflorestação, a gestão do crescimento sustentável dos assentamentos e a proteção da qualidade e do abastecimento de recursos hídricos (Jensen *et al.*, 2002). À luz dos impactos humanos na paisagem, há necessidade de estabelecer conjuntos de dados de base contra os quais as mudanças na cobertura e uso do solo possam ser avaliadas (Warner *et al.*, 2009; Weng, 2014).

O Programa Internacional Geosfera-Biosfera (IGBP) e o Programa Internacional Dimensões Humanas das Mudanças Ambientais Globais (IHDP) sugerem que nas próximas décadas, os efeitos globais da mudança no uso e cobertura da terra podem ser tão significativos, ou mais, do que aqueles associados a potenciais alterações climáticas. Ao contrário das alterações climáticas em si, as alterações no uso e cobertura do solo são aspectos conhecidos e indiscutíveis das alterações ambientais globais. Estas mudanças e os seus impactos estão agora presentes, desde o potencial aquecimento climático até à degradação dos solos e perda de biodiversidade e desde a produção de alimentos até à propagação de doenças infecciosas (IGBP-IHDP, 2002). Os dados de cobertura da terra revelam-se especialmente valiosos para prever a distribuição tanto de espécies individuais como de conjuntos de espécies em vastas áreas que de outra forma não poderiam ser pesquisadas. Vários modelos preditivos ganharam popularidade à medida que a disponibilidade e a precisão dos conjuntos de dados de cobertura do solo melhoraram. Por exemplo, as informações sobre a cobertura do solo derivadas de sensoriamento remoto são amplamente utilizadas no Programa de Análise de Lacunas (GAP), que é o maior esforço de modelação de distribuição de espécies. O objectivo é desenvolver mapas detalhados de preferências de *habitat* para espécies-alvo e monitorar a fenologia das plantas (Kerre Ostrovsky, 2003).

Todas as classes de interesse devem ser seleccionadas e definidas cuidadosamente para classificar com sucesso os dados de sensoriamento remoto em informações sobre uso e/ou cobertura da terra (Congalton e Green, 2009). Isto requer a utilização de um esquema de classificação contendo definições taxonomicamente corretas de classes de informação organizadas de acordo com critérios lógicos. Se uma classificação difícil (nítida) for realizada, então as classes no sistema de classificação normalmente deverão ser:

- Mutualmente exclusivos;
- Exaustivos;
- Hierárquicos.

Mutualmente exclusivos significa que não há sobreposição taxonómica ou imprecisão de quaisquer classes (ou seja, floresta decídua e floresta perene são classes distintas). Exaustivos significa que todas as classes de cobertura do solo presentes na paisagem são contabilizadas e nenhuma foi omitida. Hierárquicos significa que as classes de subnível por exemplo, residencial unifamiliar, residenciais multifamiliares podem ser hierarquicamente combinadas em uma categoria de nível superior (por exemplo, residencial) que faça sentido. Isto permite a produção de mapas temáticos simplificados quando necessário. Também é importante que o analista perceba que existe uma diferença fundamental entre classes de informação e classes espectrais. Classes de informação são aquelas que os seres humanos definem. Por outro lado, classes espectrais são aquelas inerentes aos dados do sensor remoto e devem ser identificadas e rotuladas pelo analista. Por exemplo, numa imagem de detecção remota de uma área urbana, é provável que existam habitações residenciais unifamiliares. Um sensor remoto de resolução espacial relativamente grosseira, como o SPOT (20 × 20 m), pode ser capaz de registrar alguns *pixels* relativamente puros de vegetação e alguns *pixels* puros de estradas de concreto/asfalto ou telhas de asfalto. Contudo, é mais provável que nesta área residencial os valores de brilho dos *pixels* sejam função da reflectância das misturas de vegetação, asfalto e concreto.

Poucos planificadores ou administradores desejam ver um mapa rotulado com classes como (1) concreto, (2) asfalto, (3) vegetação e (4) mistura de vegetação e concreto/asfalto (a menos que estejam interessados em um mapa de superfícies impermeáveis). Em vez disso, eles normalmente preferem que o analista renomeie a classe mista como residencial unifamiliar. O analista deverá fazer isso somente se de facto houver uma boa associação entre a classe mistura e a habitação unifamiliar. Assim, vemos que um analista deve muitas vezes traduzir classes espectrais em classes de informação para satisfazer requisitos burocráticos. Um analista deve compreender bem as características espaciais e espectrais do sistema de sensores e ser capaz de relacionar esses parâmetros do sistema com os tipos e proporções de materiais encontrados na cena e nos IFOVs de *pixel*. Se esses parâmetros e relacionamentos forem compreendidos, as classes espectrais muitas vezes podem ser cuidadosamente renomeadas como classes de informação.

Vários esquemas de classificação rígidos foram desenvolvidos que podem incorporar prontamente dados de uso e/ou cobertura da terra obtidos pela interpretação de dados de sensoriamento remoto. Apenas alguns desses esquemas de classificação serão apresentados:

- Sistema de classificação de uso/cobertura do solo dos US Geological Survey para uso com dados de sensores remotos;
- Esquema de classificação do conjunto de dados nacionais cobertura da terra (NLCD) dos EUA.

### **2.7.1 Banco de dados nacional de cobertura do solo**

O consórcio *Multi-Resolution Land Characteristics (MRLC)*, um grupo de agências federais liderado pelos EUA. *Geological Survey*, originalmente uniu forças em 1992 para usar imagens *Landsat Thematic Mapper* 30 × 30 m para criar um conjunto de dados de cobertura do solo “de parede a parede” da nação chamado *National Land Cover Database (NLCD)*. O esquema de classificação utilizado pelo NLCD foi adaptado do Anderson *Land Cover Classification System* e está listado na Tabela 6 (MRLC, 2014).

O NLCD 2006 representa a primeira base de dados produzida com um ciclo de repetição de 5 anos e com produtos adicionais especificamente concebidos para a monitorização da cobertura do solo (por exemplo, percentagem de superfície impermeável e percentagem de cobertura de copas de árvores). NLCD 2011 está programado para lançamento em 2014 (Homer et al., 2012). O programa CD dos NL mudou a sua ênfase do mapeamento para a monitorização, a fim de abordar as questões emergentes da utilização sustentável (Tabela 6).

Tabela 6: Esquema de classificação de 2006 (NLCD) – classe - Água

Classe/Valor	National Land Cover Database (NLCD) Esquema de Classificação de 2006
<b>Água</b>	Em áreas de águas abertas ou cobertura permanente de gelo/neve
11	Águas Abertas – áreas de águas abertas, geralmente com <25% de cobertura de vegetação ou solo.
12	Gelo/Neve Perene – áreas caracterizadas por uma cobertura perene de gelo e/ou neve, geralmente > 25% da cobertura total. Áreas desenvolvidas com uma elevada percentagem (> 30%) de materiais construídos (por exemplo, asfalto, betão, edifícios, etc.).
21	Espaço aberto e desenvolvido – uma mistura de materiais de construção, mas principalmente vegetação na forma de gramado e grama. Superfícies impermeáveis representam <20% da cobertura total. Inclui grandes unidades habitacionais unifamiliares, parques, campos de golfe cursos e vegetação plantada em ambientes desenvolvidos para recreação, controle de erosão ou fins estéticos.

*Fonte: (Homer et al., 2012; MRLC, 2014).*

Tabela 7: Esquema de classificação de 2006 (NLCD) – classe – Água

Classe/Valor	National Land Cover Database (NLCD) esquema de classificação de 2006
22	Desenvolvido, Baixa Intensidade – áreas com mistura de materiais de construção e vegetação. As superfícies permeáveis representam 20% a 49% da cobertura total. Estas áreas geralmente incluem apenas unidades habitacionais unifamiliares.
23	Desenvolvidas, Média Intensidade – áreas com mistura de materiais de construção e vegetação. As superfícies impermeáveis representam 50% a 79% da cobertura total. Estas áreas geralmente incluem apenas unidades habitacionais unifamiliares.
24	Desenvolvidas de alta intensidade – áreas altamente desenvolvidas onde as pessoas residem ou trabalham em grande número, como apartamentos, casas geminadas e áreas comerciais/industriais. Superfícies impermeáveis representam 80% a 100% da cobertura total.

*Fonte: (Homer et al., 2012; MRLC, 2014).*

Tabela 8– Esquema de classificação de 2006 (NLCD) – classe – Árido

<b>Classe/Valor</b>	<b>National Land Cover Database (NLCD) esquema de classificação de 2006</b>
<b>Árido</b>	Caracterizado por rocha nua, cascalho, areia, lodo, argila ou outro material terroso, com pouca ou nenhuma vegetação “verde” presente independentemente de sua capacidade inerente de sustentar a vida. A vegetação, se presente, é mais espaçada e arbustiva do que nas categorias de vegetação verde; a cobertura de líquen pode ser extensa.
31	Terra estéril (rocha/areia/argila) – leito rochoso, pavimento desértico, escarpas, taludes, deslizamentos, material vulcânico, detritos glaciais, dunas de areia, minas, cascalheiras e outros materiais terrosos. A vegetação representa <15% da cobertura total. Cobertura florestal arbórea (vegetação lenhosa natural ou semi - natural, > 6 m de altura); a copa das árvores representa 25% a 100% da cobertura.
41	Floresta Decídua – áreas dominadas por árvores geralmente com mais de 5 m de altura e > 20% da cobertura vegetal total. > 75% de as espécies arbóreas perdem a folhagem simultaneamente em resposta às mudanças sazonais.
42	Floresta Perenifolia – áreas dominadas por árvores geralmente com mais de 5 m de altura e > 20% da cobertura vegetal total. > 75% de as espécies arbóreas mantêm suas folhas o ano todo. O dossel nunca fica sem folhagem verde.

*Fonte: (Homer et al., 2012; MRLC, 2014).*

Tabela 9: Esquema de classificação de 2006 (NLCD) – classe – Árido

<b>Classe/Valor</b>	<b>National Land Cover Database (NLCD) esquema de classificação de 2006</b>
43	Floresta Mista – áreas dominadas por árvores geralmente com mais de 5 m de altura e > 20% da cobertura vegetal total. Nem as espécies decíduas nem as perenes representam > 75% da cobertura total de árvores. Arbustivo caracterizado por vegetação lenhosa natural ou seminatural com caules aéreos, geralmente <6 m de altura, com indivíduos ou aglomerados que não se tocam para se interligarem. Espécies perenes e decíduas de arbustos verdadeiros, árvores jovens e Estão incluídas árvores ou arbustos pequenos ou atrofiados devido às condições ambientais.
51	Dwarf Scrub – Áreas exclusivas do Alasca dominadas por arbustos < 20 cm de altura com copa arbustiva tipicamente > 20% da vegetação total. Este tipo é frequentemente associado a gramíneas, ciperáceas, ervas e vegetação não vascular.
52	Arbusto/Arbusto – áreas dominadas por arbustos; < 5 m de altura com copa arbustiva normalmente > 20% da vegetação total. Aula inclui arbustos verdadeiros, árvores jovens numa fase inicial de sucessão ou árvores atrofiadas devido às condições ambientais.

*Fonte: (Homer et al., 2012; MRLC, 2014).*

Tabela 10 : Esquema de classificação de 2006 (NLCD) – classe – Herbácea, Plantada/Cultivada, Zonas húmidas

<b>Classe/Valor</b>	<b>National Land Cover Database (NLCD) esquema de classificação de 2006</b>
<b>Herbácea</b>	Caracterizada por vegetação herbácea natural ou seminatural que representa 75% a 100% da cobertura.
71	Pastagens/Herbáceas – áreas dominadas por vegetação gramínea ou herbácea, geralmente > 80% da total vegetação. Estas áreas não estão sujeitas a uma gestão intensiva, como a lavoura, mas podem ser utilizadas para pastagem.
<b>Plantada/Cultivada</b>	Caracterizada por vegetação herbácea plantada ou manejada intensivamente para produção de alimentos, rações ou fibras. A vegetação herbácea representa 75% a 100% da cobertura.
81	Pastagem/Feno – gramíneas, leguminosas ou misturas de gramíneas e leguminosas plantadas para pastagem de gado ou produção de culturas de sementes ou feno, normalmente num ciclo perene. A vegetação de pastagem/feno representa > 20% da vegetação total.
82	Culturas Cultivadas – áreas utilizadas para a produção de culturas anuais, como milho, soja, hortaliças, tabaco, e algodão, e também culturas lenhosas perenes, como pomares e vinhas. A vegetação cultivada é responsável por > 20% da vegetação total. Esta classe também inclui todas as terras ativamente cultivadas.
<b>Zonas húmidas</b>	Onde o solo ou substrato é periodicamente saturado ou coberto com água.
90	Pântanos lenhosos – áreas onde a vegetação florestal ou arbustiva representa > 20% da cobertura vegetal e ao solo ou substrato é periodicamente saturado ou coberto com água.
95	Pântanos Herbáceos Emergentes – Áreas onde herbáceas perenes

*Fonte: (Homer et al., 2012; MRLC, 2014).*

### **2.7.2 Sistema de classificação de cobertura do solo para uso com dados do sensor remoto dos serviços geológicos americano**

O sistema de classificação de uso/cobertura do solo dos Serviços Geológicos Americano (USGS) para uso com dados de sensor remoto (Anderson *et al.*, 1976) é principalmente uma abordagem orientada a recursos sistema de classificação da cobertura do solo em contraste com as pessoas ou sistemas de classificação de uso da terra de atividades, como o Padrão de Classificação Baseada em Terra. A justificativa é que “embora haja uma necessidade óbvia de um sistema de classificação do uso do solo orientado para o urbano, também é necessário um sistema de classificação orientado a recursos, cuja ênfase principal seria o restante 95 por cento da área terrestre dos Estados Unidos. O sistema atende a essa necessidade com oito das nove categorias originais de Nível 1 que tratam áreas de terra que não estão em categorias urbanas

ou urbanizadas (Tabela 7). O sistema é projectado para ser impulsionado principalmente pela interpretação de dados de sensores remotos obtidos em várias escalas e resoluções.

Tabela 11: UCS para uso com dados de sensores remotos

<b>Nível de classificação</b>	
<b>1 Terreno Urbano ou Construído</b>	11 Residencial, 12 Comercial e Serviços, 13 Industriais, 14 Transportes, Comunicações e Utilidades, 15 Complexos Industriais e Comerciais, 16 Misto Urbano ou Construído, 17 Outros Terrenos Urbanos ou Construídos.
<b>2 Terra agrícola</b>	21 Terras agrícolas e pastagens, 22 Pomares, Bosques, Vinhas, Viveiros e, Ornamentais Áreas Hortícolas, 23 Operações de Alimentação Confinada, 24 Outras Terras Agrícolas.
<b>3 Pastagens</b>	31 Pastagens Herbáceas, 32 Pastagens de arbustos-matos, 33 Pastagens Mistas, 4 Terra Florestal, 41 Terra de Floresta Decídua, 42 Terra Florestal Evergreen, 43 Terra Florestal Mista.
<b>5 Agua</b>	51 Fluxos e Canais, 52 Lagos, 53 Reservatórios, 54 Baías e estuários.
<b>6 Pântano</b>	61 Pântano Florestado, 62 Pântanos Não Florestados.
<b>7 Terra árida</b>	71 Salinas Secas, 72 Praias, 73 Áreas arenosas além das praias, 74 Rocha exposta nua, 75 Minas de exploração, pedreiras e poços de cascalho, 76 Áreas de Transição, 77 Terra Árida Mista.
<b>8 Tundra</b>	81 Tundra de arbustos e arbustos, 82 Tundra Herbácea, 83 Tundra de solo descoberto, 84 Tundra Molhada, 85 Tundra Mista.
<b>9 Neve ou Gelo Perene</b>	91 Campos de neve perenes, 92 Geleis.

*Fonte: (Anderson et al., 1976)*

## **2.8 Métodos de classificação de imagens de sensoriamento remoto**

A classificação de imagens consiste no estabelecimento de um processo de decisão no qual um grupo de *pixels* é definido como pertencente a uma determinada classe. Neste sentido, os sistemas computacionais auxiliam o usuário na interpretação das imagens orbitais.

Os métodos de classificação digital podem ser agrupados em função da presença ou não de uma fase de treinamento onde o analista interage com o computador. O método é dito não-supervisionado quando o classificador não utiliza a prior nenhum conhecimento sobre as classes

existentes na imagem e define, sem a interferência do analista, a estratificação da cena, atribuindo a cada *pixel* uma determinada classe. Tal abordagem corresponde à técnica de segmentação de imagens, onde as mesmas são divididas em certas classes sem conhecimento prévio. O algoritmo define estas classes com base em regras estatísticas pré-selecionadas (Richards, 1986).

O método de classificação é dito supervisionado quando existe um conhecimento prévio de algumas áreas em que se deseja trabalhar, o que permite a seleção de amostras de treinamento confiáveis. O algoritmo classificador opera com base na distribuição de probabilidade de cada classe selecionada (Adeniyi, 1985). Numa linguagem mais popular, o analista inicialmente treina o classificador, para depois associar os demais *pixels* a uma determinada classe (previamente definida), através de regras estatísticas preestabelecidas. As classificações não-supervisionada e supervisionada podem ser utilizadas simultaneamente para minimizar as desvantagens inerentes de cada método, obtendo-se, assim, uma maior eficiência na caracterização dos alvos agrícolas e florestais nas imagens. Tal método é conhecido como classificação híbrida.

## **2.9 Acurácia, precisão e exatidão do dado digital**

A discussão sobre a análise da confiabilidade temática da imagem requer que inicialmente sejam definidos os termos acurácia, precisão e exatidão, os quais geralmente são usados de forma confusa. Husch *et al.* (1982) definem precisão como o grau de concordância de uma série de observações ou medidas, enquanto a acurácia esta relacionada a proximidade de uma observação ou medida do seu valor real. Pode-se, então, associar a precisão os erros aleatórios ou acidentais, e acurácia aos efeitos dos erros aleatórios e sistemáticos conjuntamente (Gemael, 1994). Uma observação pode ser considerada como exata se não tiver ocorrido o erro sistemático ou viés. As faltas de exactidão das observações são geralmente oriundas dos erros sistemáticos e tendem a se acumular num mesmo sentido. Considerando uma amostragem, a acurácia seria expressa pelo desvio padrão da amostra do valor real da população. A precisão poderia ser relacionada ao desvio padrão da média da amostra. É possível que uma amostragem possua uma alta precisão, ou seja, de pequeno desvio em relação a média, e ao mesmo tempo, devido a falta de exatidão, um grau acurácia inferior.

### 2.9.1 Acurácia do dado digital

Em qualquer mapa temático obtido através da classificação digital pode ser efetuada a análise da acurácia referente as seguintes componentes (Montgomery e Schuch, 1993):

- Posicional, que se refere a precisão espacial do mapa e que é variável de acordo com a escala do mapa. Por exemplo, mapas na escala 1:100.000, possuem uma precisão espacial média de 50 metros considerando as mais diversas fontes de erros;
- Temático, refere-se a precisão da classificação das diferentes categorias que compõem o mapa. Estas devem de acordo com a escala e o grau de generalização da informação refletir no mapa a mesma classe no terreno.
- A Área Total obtida por categoria também é uma componente importante, no entanto não muito significativa. As componentes citadas são interdependentes, no entanto a avaliação é geralmente realizada de forma independente, considerando se a precisão posicional verificada é compatível com a escala do levantamento e com a retificação da imagem. Neste trabalho serão tratados somente os procedimentos de avaliação temática proveniente da classificação digital. Isto não impede que os mesmos procedimentos possam ser utilizados na avaliação de outros mapas temáticos.

### 2.9.2 Matriz de confusão

Para avaliar o desempenho de uma classificação de forma objetiva é necessário utilizar critérios quantitativos. Dentre os métodos de avaliação da qualidade de classificações discutidos na literatura, os mais utilizados são baseados na matriz de confusão ou matriz de erros. Segundo Congalton e Green (1999), a matriz de confusão é uma maneira muito eficaz para representar a precisão do mapa. Uma matriz de confusão ou matriz de erros é uma matriz quadrada que expressa a relação do número de unidades de amostra atribuída a uma categoria particular de duas classificações. Nessa matriz, geralmente, as colunas representam os dados de referência (verdade de campo) e as linhas representam a classificação obtida com algum método de classificação automática.

Em uma matriz de confusão, a frequência observada na diagonal ( $n_{ii}$ ) representa os elementos classificados corretamente. A coluna marginal ( $n_{i+}$ ) representa o total de elementos

classificados para uma categoria  $i$ . A linha marginal ( $n_{+i}$ ) representa o total de elementos de referência amostrados para uma categoria  $i$  (Tabela 7) abaixo.

Congalton (1991) afirma que se a matriz for mal construída, toda a análise é insignificante. Portanto, os seguintes fatores devem ser considerados para a construção de uma matriz corretamente: padrão, unidade e número de amostras. Estes fatores fornecem informações essenciais para a avaliação de uma matriz.

Tabela 12: Estrutura de uma matriz de confusão

**j = Colunas (Referência)**

**Total de Linhas**

	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>k</b>	<b><math>n_{i=}</math></b>
--	----------	----------	----------	----------------------------

$i =$ Linhas (Classificação)	<b><math>n_{11}</math></b>	<b><math>n_{12}</math></b>	<b><math>n_{1K}</math></b>	<b><math>n_{1+}</math></b>
	<b><math>n_{21}</math></b>	<b><math>n_{22}</math></b>	<b><math>n_{2K}</math></b>	<b><math>n_{2+}</math></b>
	<b><math>n_{kk}</math></b>	<b><math>n_{kk}</math></b>	<b><math>n_{kk}</math></b>	<b><math>n_{K+}</math></b>
	<b><math>n_{+1}</math></b>	<b><math>n_{+2}</math></b>	<b><math>n_{+K}</math></b>	<b><math>n</math></b>

Total de Colunas  $n_{+i}$

*Fonte: Adaptada de Congalton e Green (1999)*

### 2.9.3 Coeficiente Kappa

Cohen (1960) define Kappa (K) como um coeficiente de concordância entre dados da classificação e verdade de campo para escalas nominais. Desta forma, K, assim como G, também representa a concordância entre a classificação e a realidade de campo. Ele determina a concordância esperada a posteriori, ou seja, a concordância esperada somente poderá ser determinada após a construção da matriz de confusão (Bernardes *et al.*, 2006).

O coeficiente de concordância K pode ser determinado pela equação 4.

$$K = \frac{P_0 - P_c}{1 - P_c} \quad (4)$$

Onde :

$P_0$  = exatidão global (proporção de unidades que concordam); e

$P_c$  = proporção de unidades que concordam por casualidade, representada pela equação 5.

$$P_c = \frac{\sum_{i=1}^M n_{i+} n_{+i}}{N^2} \quad (5)$$

Onde:

M = número de classes;

$n_{i+}$  = total de elementos classificados para uma categoria i;

$n_{+i}$  = total de elementos de referência amostrados para uma categoria i; e

N = número total de amostras.

O resultado da estatística Kappa normalmente é comparado aos valores contidos na tabela 8, proposta por Landis & Koch (1977), a fim de indicar a qualidade do mapa temático. Embora essa tabela tenha sido desenvolvida para analisar resultados de diagnósticos clínicos, a mesma tem sido referência para classificar mapas resultantes da utilização de imagens de sensoriamento remoto (Prado, 2009).

Tabela 13: Classificação associada ao índice Kappa

<b>Índice Kappa</b>	<b>Desempenho</b>
$< 0$	Péssimo
$0 < k \leq 0,2$	Ruim
$0,2 < k \leq 0,4$	Razoável
$0,4 < k \leq 0,6$	Bom
$0,6 < k \leq 0,8$	Muito Bom
$0,8 < k \leq 1,0$	Excelente

*Fonte: Adaptada de Landis e Koch (1977).*

## 2.10 Mineração

A mineração é uma actividade extremamente importante e positiva para economia e desenvolvimento social, entretanto ao longo dos anos é até hoje é vista como uma actividade exclusivamente extractiva e geradora de danos socioambientais.

Segundo Damasceno, Gisele 2017, Minas a céu aberto são minas de superfície que adoptam a forma de grandes buracos, cada vez mais profundos e largos, apresentando uma forma mais ou menos circular. As explorações ao descoberto empregam-se com frequência, embora não sempre, para extrair carvão e linhito. A principal diferença entre estas minas e as de céu aberto é que o material de desperdício extraído para descobrir a camada de carvão, ao invés de se transportar a zonas de descarte longínquas, se volta a deixar na cavidade criada pela exploração recente. Portanto, as minas vão avançando pouco a pouco, recheando o terreno e devolvendo à superfície, na medida do possível, o aspecto que tinha antes de começar a extração. Ao invés de uma mina a céu aberto, que costuma se fazer cada vez maior, uma exploração ao descoberto atinge seu tamanho máximo em muito pouco tempo. Quando se completa a exploração, o fosso que fica pode ser convertido em um lago ou se rechear com o material procedente da escavação realizada ao começar a mina.

Para Curi e Adilson (2017), a classificação dos métodos provém da opção escolhida para se processar a lavra, ou seja, a céu aberto ou subterrânea. Para tal definição, leva-se em conta a situação dos operadores, e não a da jazida. A lavra é considerada a céu aberto se não há necessidade de acesso humano ao meio subterrâneo para realizá-la. Os principais métodos de lavra a céu aberto (com as correspondentes denominações em língua inglesa, internacionalmente consagradas) são aqueles de exploração a seco, ou seja, a lavra por bancadas (*open pit mining*), a lavra em tiras ou fatias (*strip mining ou open cast mining*) e a lavra de pedreiras (*quarry mining ou dimensioned stones mining*).

## 2.11 Degradação ambiental

De acordo com o número 1 do artigo 1 da lei 10/99 de 7 de Junho lei de floresta e Fauna bravia estabelece áreas degradadas como áreas com alterações adversas das características do ambiente, que inclui, entre outras, a poluição, a desertificação, a perda de habitante, a erosão e o desflorestamento.

Segundo o número 8 da lei 20/97 de 1 de outubro lei do ambiente degradação ambiental e alteração adversas das características do ambiente e inclui entre outras, a poluição, desertificação, erosão e o desflorestamento. No número 9 da mesma lei define desflorestamento como a destruição ou abate indiscriminado de matas e florestas sem a reposição devida.

A recuperação de áreas degradadas está fortemente ligada à ciência da restauração ecológica, definida como o processo que auxilia o restabelecimento de um ecossistema degradado, danificado ou destruído.

O conceito de recuperação ou restauração de áreas degradadas é bastante discutido, no entanto, considerando a recuperação de solos degradados por mineração, três abordagens podem ser definidas:

- Restauração: retorno do meio à sua condição original (Relevo);
- Reabilitação: retorno parcial às condições originais;
- Recuperação: retorno das condições ecossistemas do solo para uma nova condição, com estrutura e funções diferenciadas da condição natural, em situações onde ocorreu alteração no solo, assim como na mineração (Bradshaw, 1997; Fengler, 2018).

### 3 Metodologia

#### 3.1 Fonte de dados e software

Para materialização do presente trabalho baseou-se em dados do satélite Landsat 7 para o ano 2003 e *Landsat 8* para os anos de 2013, 2018, 2023 em uma série temporal de 20 anos referente aos meses de Março e Setembro as imagens e o modelo digital de elevação (DEM) foram obtidas da base de dados dos Serviços Geológicos Americano (USGS).

Para a obtenção dos dados de entrada para o presente trabalho recorreu-se ao Instituto Nacional de Minas no sector de cadastro mineiro para obtenção dos *shapfiles* das áreas de concessões mineiras e a Cenacarta para obtenção do *shapfile* da divisão administrativa, as imagens dos Satélites *Landsat 7-8* foram devidamente selecionadas tomando em consideração a resolução espacial de 30 metros, a cobertura de nuvens de modo a seleccionar a imagem com melhor resolução e menor cobertura de nuvens possível, e o modelo Digital de elevação foi obtido a partir do satélite *Landsat 7-8*.

Os dados foram processados pelos *Software ArcGIS Pro 2.7.0* e o MS Excel, realizou-se a modelação topográfica e o cálculo do índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI), para mapeamento do uso e cobertura do solo usou-se a técnica de classificação supervisionada com base no algoritmo de máxima verossimilhança com treinamento das amostras para as classes de uso e cobertura do solo.

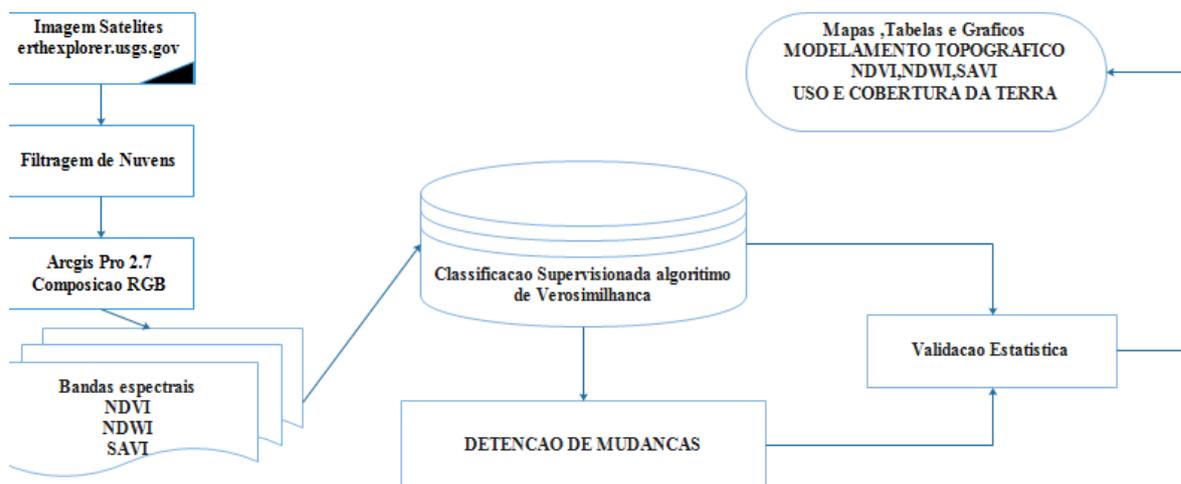


Figura 2. Fluxos grama do Processo.

### 3.2 Análise e processamento de dados

Os dados coletados foram processados e analisados com base no *Software ArcGIS Pro 2.7.0* de modo a fazer a modelação topográfica da área da concepção, o cálculo do índice de vegetação por diferença Normalizada, e classificação supervisionada.

A modelação topográfica foi feita a partir do modelo digital de elevação, para a modelação das curvas de nível seguiu-se o comando caixa de ferramenta, ferramenta de análise 3d, *raster*, superfície, curva de nível, e para declividade seguiu-se o comando caixa de ferramenta, ferramenta de análise 3d, *raster*, superfície, declividade.

Para o cálculo do índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) usou-se a diferença na energia solar refletida entre o comprimento de onda vermelho e comprimentos de onda do infravermelho próximo representado pela fórmula abaixo.

Onde valores positivos crescentes indicam aumento da vegetação verde e valores negativos indicam superfícies sem vegetação, como água, terra árida.

A classificação supervisionada foi feita baseada em pixel com o esquema padrão NLCD 2011, definindo-se 5 classes de classificação nomeadamente: corpos de água, área urbana, vegetação, solo exposto, áreas mineradas. Após a classificação foi feita a matriz de confusão e sua classificação associada ao índice kappa proposto por Landis e Koch (1977) ver (Tabela 8).

## 4 Resultados

### 4.1 Modelação topográfica

Com base num modelo digital de elevação (MDE) obtida na base de dados dos Serviços Geológicos Americano (USGS) em 23 de Setembro de 2023 foi possível fazer a modelação topográfica da área de estudo.

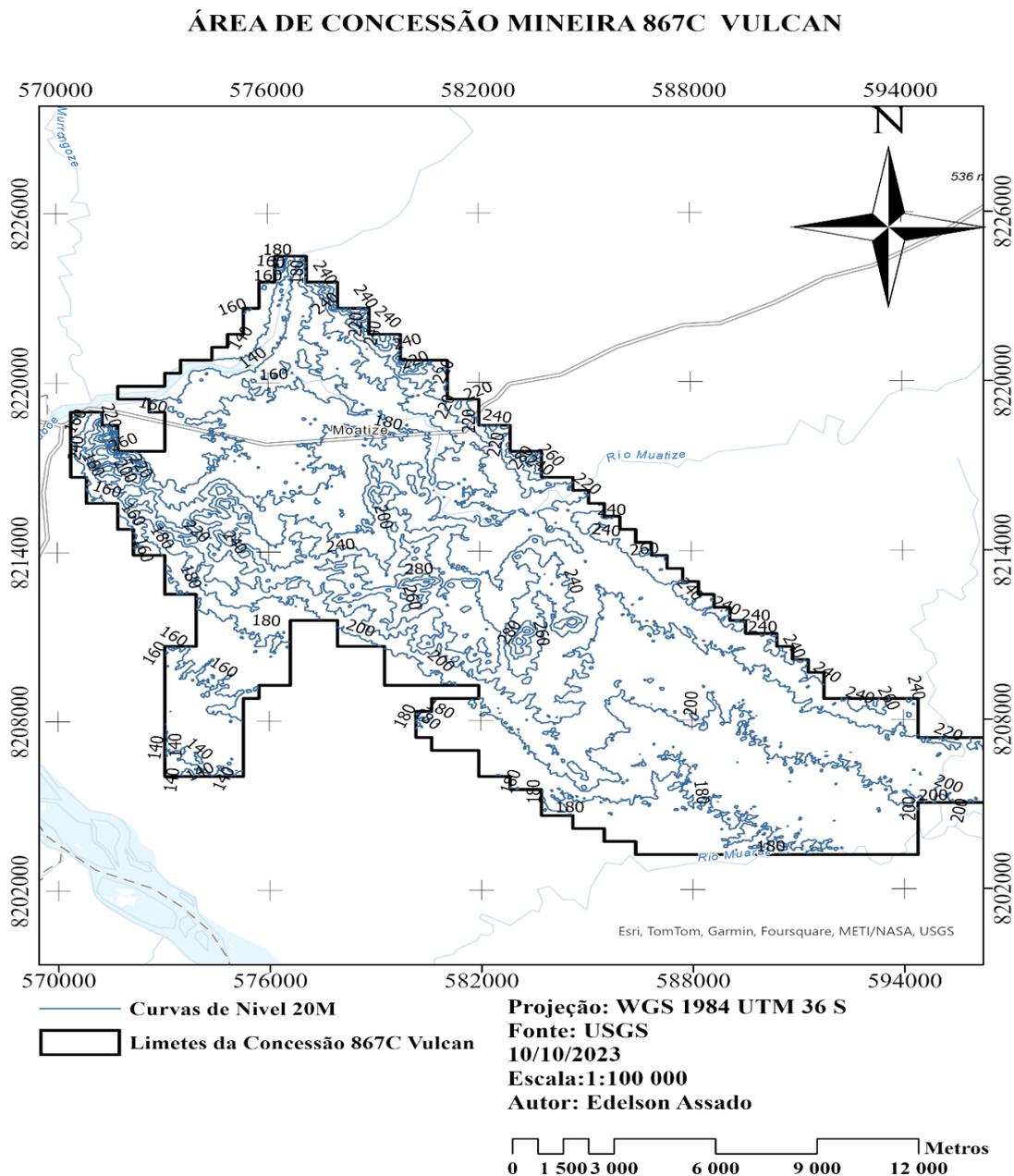


Figura 3: Mapa do modelo topográfico de curva de nível

## DECLIVIDADE DA ÁREA DE CONCESSÃO MINEIRA 867C VULCAN

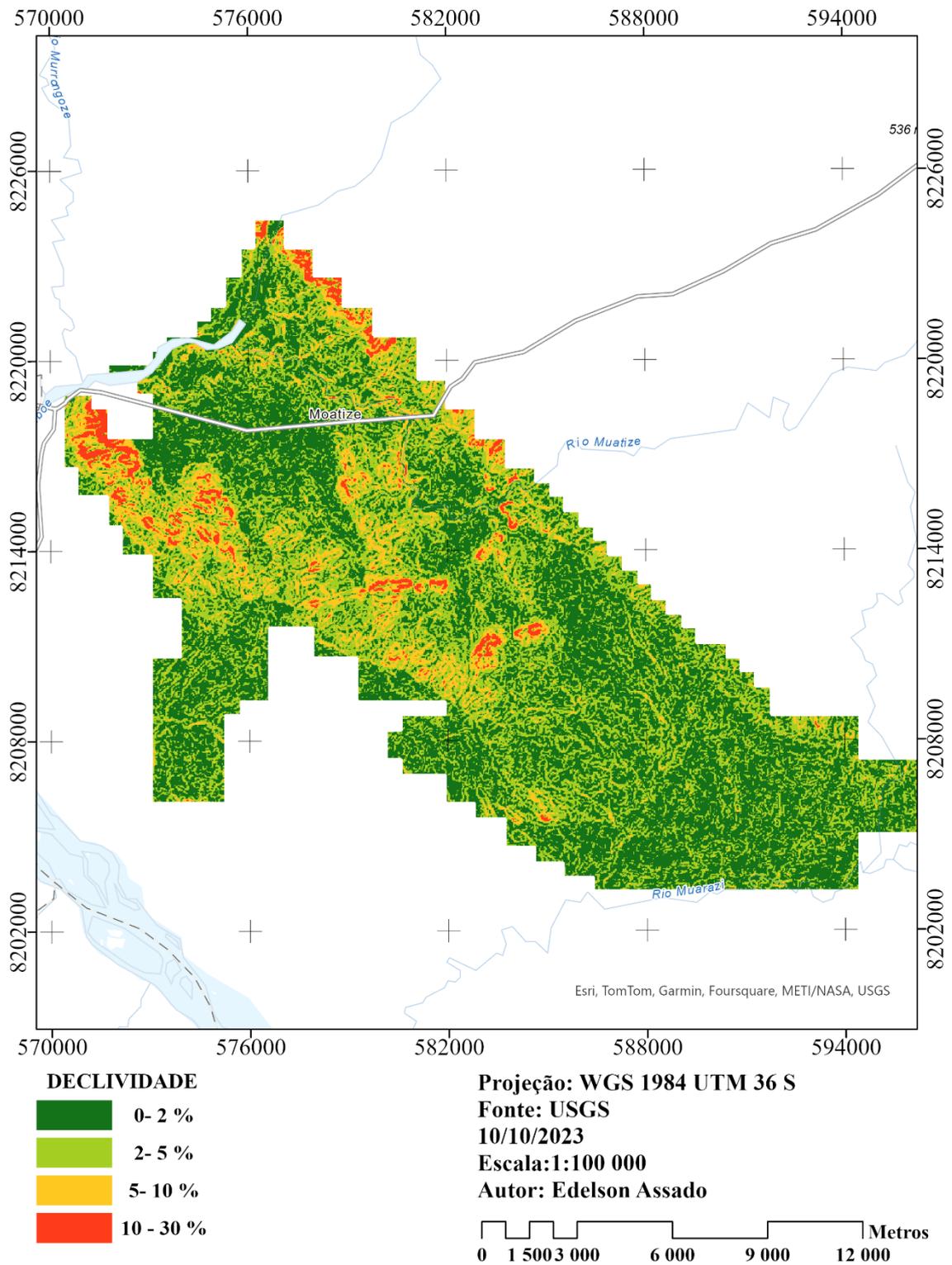


Figura 4: Mapa do modelo topográfico de declividade

Do mapa de modelação com o traçado de curvas de nível, (Figura 3) acima é possível verificar que a geomorfologia da área do estudo na qual as altitudes variam de 220 metros à 300 metros no sentido NE e SE e 140 metros à 180 metros no sentido NO e SO, onde a altitude mínima e de 140 metros e máxima é de 300 m no sentido SO a NE.

O relevo da área de estudo situa-se em uma superfície plana levemente ondulada com uma variação altimétrica de 160 metros a topografia e acidentada com declividade ingreme de 30 % (Figura 4) acima.

## 4.2 Índice de vegetação da diferença normalizada 2003 – 2023

### 4.2.1 Diferença de índice de vegetação normalizada da época chuvosa e seca

Feita a análise do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), para o período de 2003 a 2023 verifica-se áreas com valores de NDVI na época chuvosa que variam na ordem de 0,055 a 0,435 para o ano de 2003 e -0,073 a 0,482 para o ano de 2023 (figura 5) abaixo.

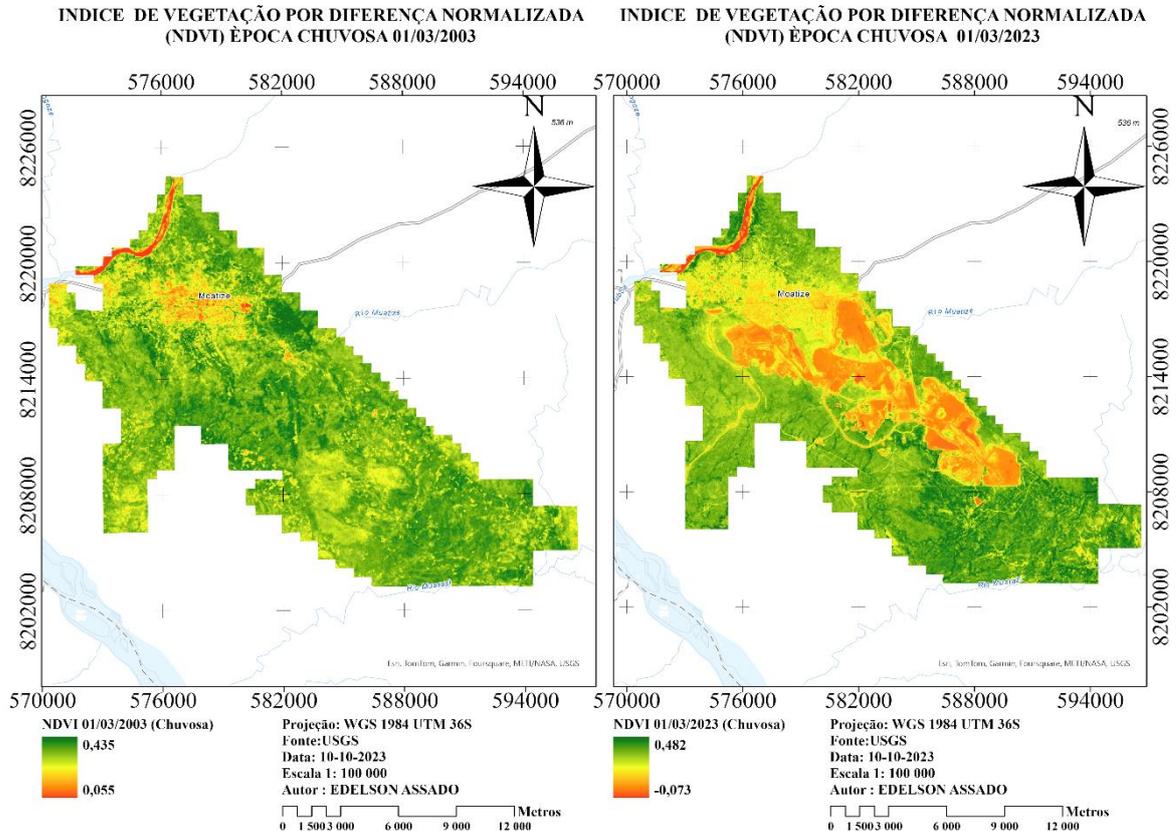


Figura 5: Mapa de NDVI época chuvosa

Para época seca os valores variaram entre -0,039 a 0,342 para o ano de 2003 e -0,076 a 0,306 para o ano de 2023 (figura 6) abaixo, os valores decrescentes de NDVI indicam uma degradação dos recursos terrestres (perda de vegetação), Os tipos de cobertura vegetal predominantes são savana arbórea, arbustiva e pradaria.

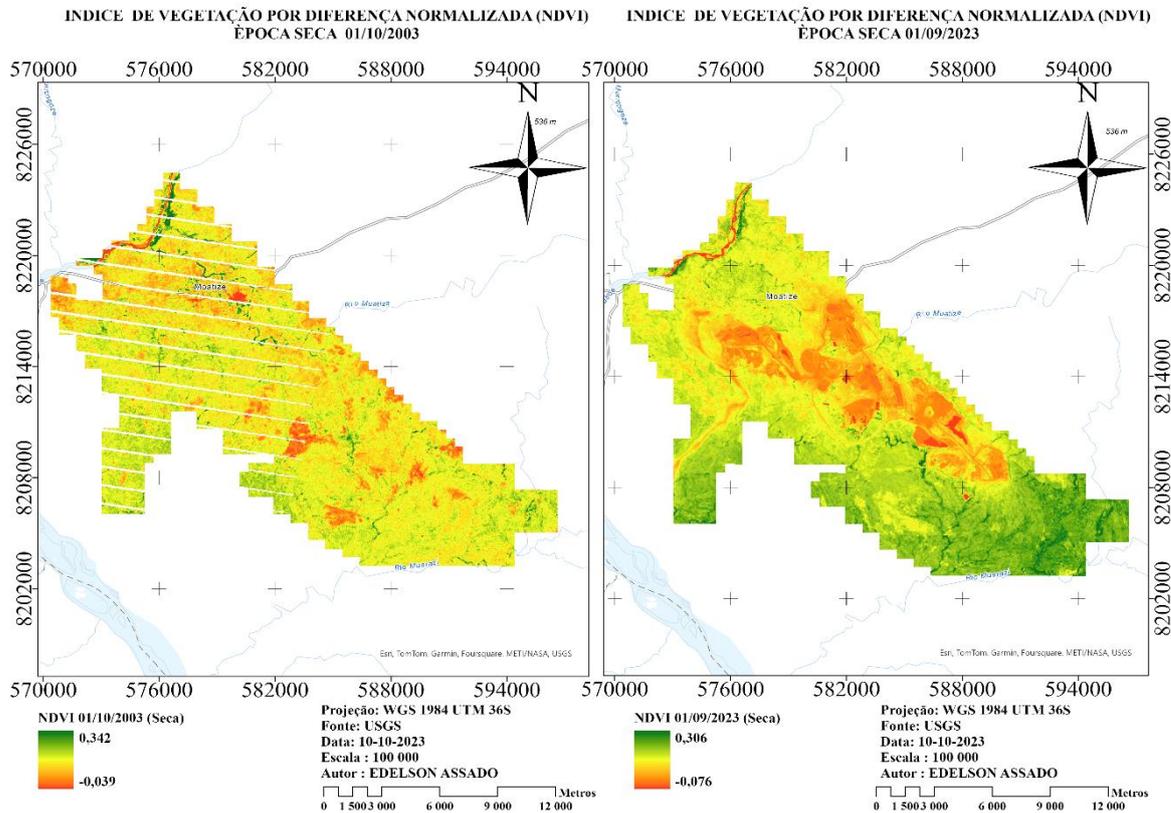


Figura 6: Mapa de NDVI época seca

#### 4.3 Análise multitemporal de uso e cobertura do solo 2003-2023

As figuras abaixo ilustram a análise das mudanças de uso e cobertura do solo área/km<sup>2</sup> no período 2003 a 2023.

Portanto no que tange a mudanças da área/km<sup>2</sup> no período 2003 a 2013 (Figuras 7) abaixo fez-se uma análise multitemporal de 10 anos e posteriormente uma análise de 5 anos para os períodos subsequentes 2013 a 2018 e 2018 a 2023 (Figura 8) abaixo. A escolha da análise de 10 anos no primeiro período 2003 a 2013 justifica-se por este período as mudanças não foram significativas na morfologia da área, pois foi o período de pesquisa e prospeção e Desenvolvimento (implantação do projecto).

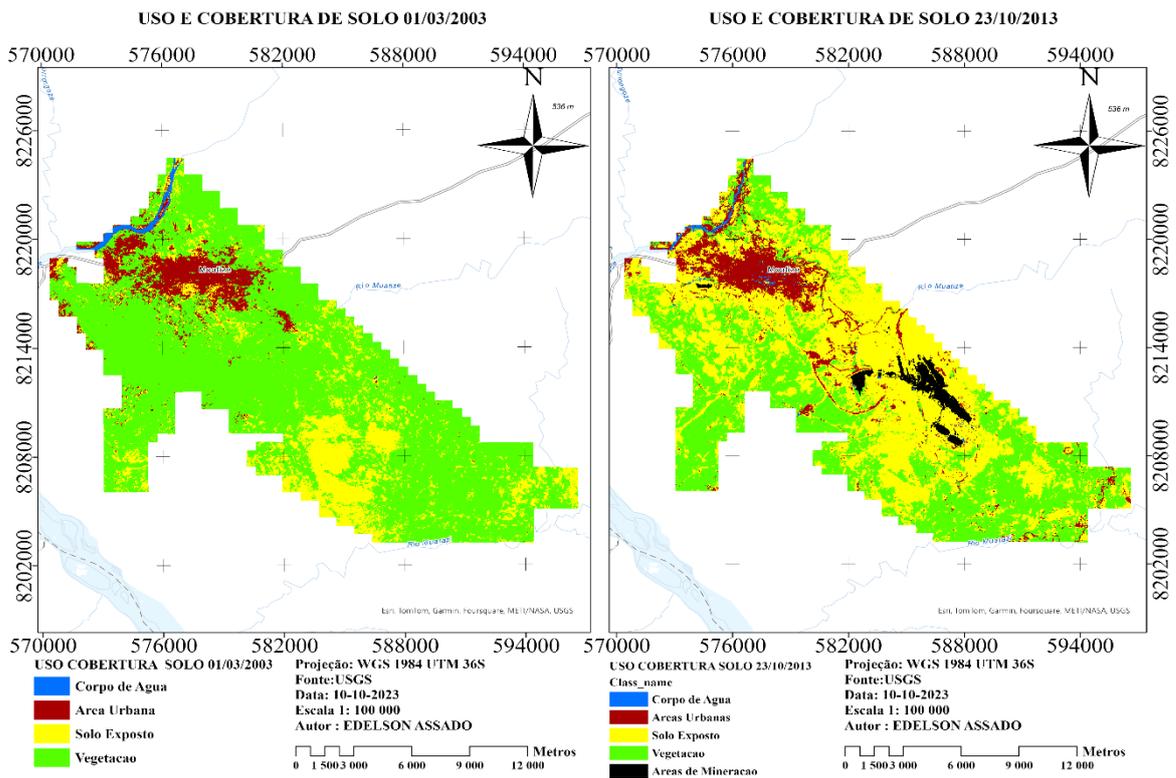


Figura 7: Mapa de Uso e Cobertura do Solo de 2003-2013

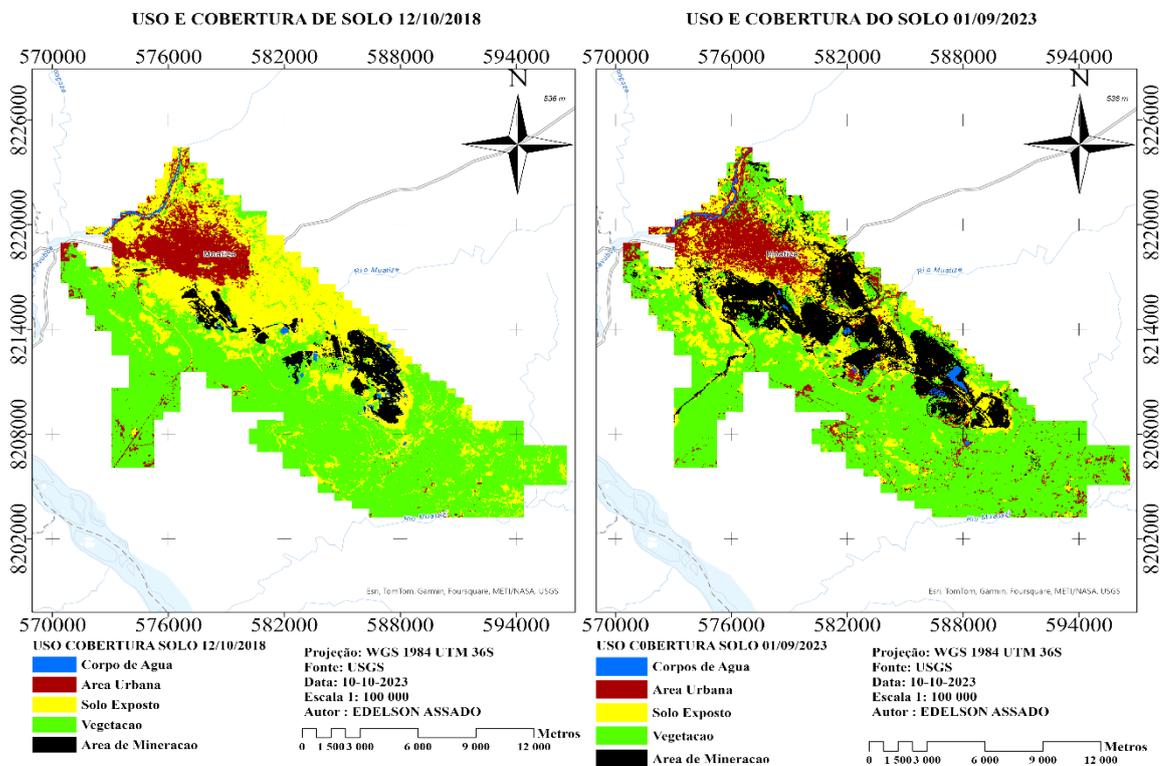


Figura 8: Mapa de Uso e Cobertura do Solo de 2018 a 2023

Tabela 14: Variação de uso e cobertura do solo por km<sup>2</sup> 2003 – 2023

CLASSES	2003 (Área_km2)	2013 (Área_km2)	2018 (Área_km2)	2023 (Área_km2)
Area de Mineração		6,00	13,06	40,89
Area Urbana	18,31	22,37	21,83	27,33
Corpo de Agua	1,76	1,40	1,76	1,83
Solo Exposto	42,79	118,46	72,68	44,66
Vegetação	181,21	95,83	134,74	129,32

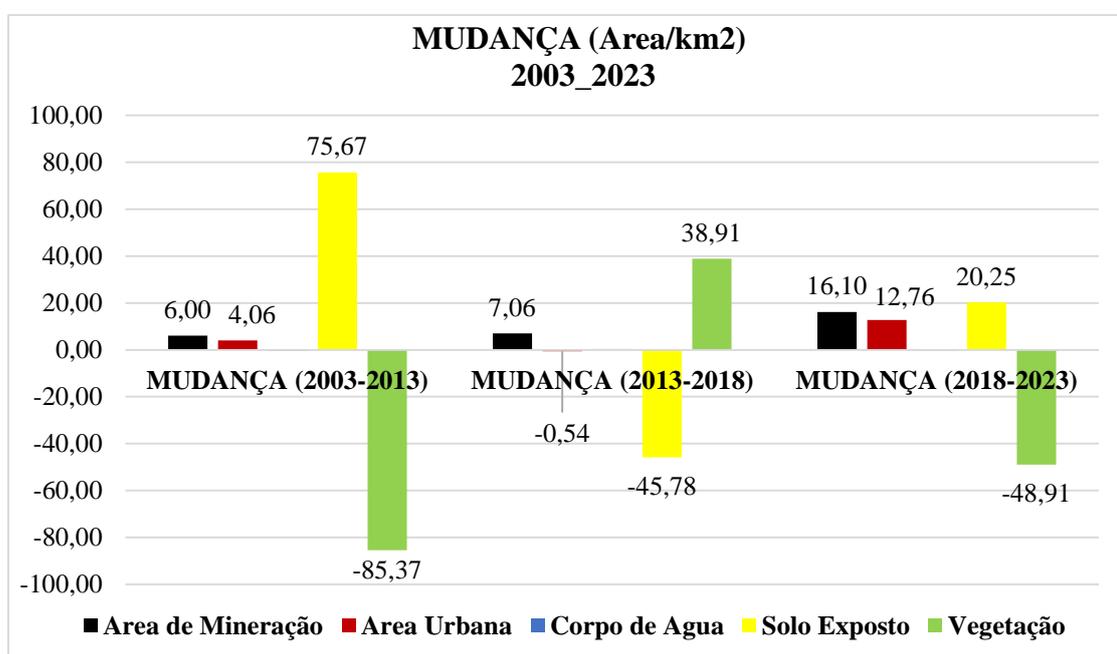


Figura 9: Mudanças no uso e cobertura do solo por km<sup>2</sup> 2003 – 2023

Dos resultados apresentada nos mapas (Figuras 7, 8) acima, os dados da variação do uso e cobertura do solo (Tabela 10) acima e do gráfico (Figura 9) verifica-se mudanças significativas no uso e cobertura do solo no período 2003 a 2023, onde o maior destaque vai para o crescimento contínuo das área de mineração de 6 km em 2013 para 40,89 km<sup>2</sup> em 2023, e área urbana em 18,31 km<sup>2</sup> em 2003 para 27,33 km<sup>2</sup> em 2023 e uma perda significativa de área de vegetação no mesmo período de 181,29 km<sup>2</sup> em 2003 para 129,32 km<sup>2</sup> em 2023.

Tabela 15: Variação da mudança por porcentagem no uso e cobertura do solo

CLASSES	MUDANÇA % (2003-2013)	MUDANÇA % (2013-2018)	MUDANÇA % (2018-2023)
<b>Area de Mineração</b>		117,67	213,09
<b>Area Urbana</b>	22,17	-2,41	25,19
<b>Corpo de Agua</b>	-20,45	25,71	3,98
<b>Solo Exposto</b>	176,84	-38,65	-38,55
<b>Vegetação</b>	-47,12	40,60	-4,02

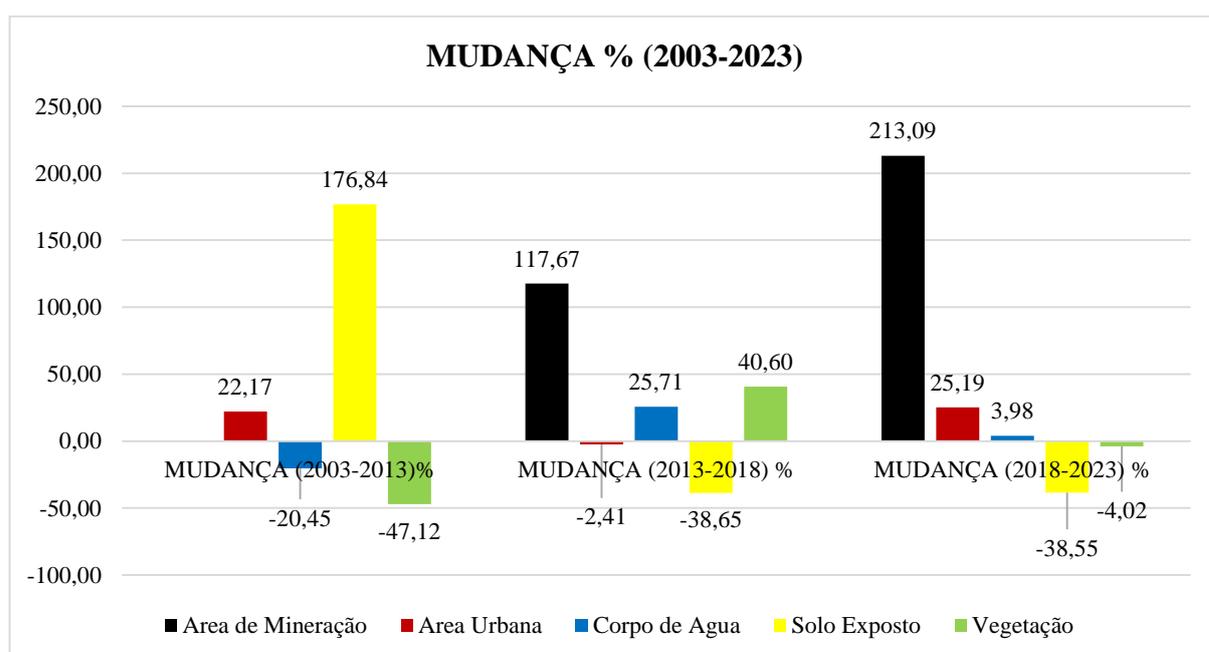


Figura 10: Mudança por porcentagem no uso e cobertura do solo por Km<sup>2</sup>

Pelos resultados da Tabela 11 acima e Figura 10, é possível verificar que a porcentagem de mudança por área no uso e cobertura do solo no período 2003 a 2023, foi significativa com uma redução 47,12 % dos 181,21 km<sup>2</sup> de áreas vegetação e 20,45 % dos 1,76 km<sup>2</sup> de corpos de águas no período de 2003 a 2013, e teve um crescimento da área de mineração em 117,67 % no período 2013 a 2018 e a vegetação teve uma recuperação de 40,60 % de 95,83 km<sup>2</sup> para 134,74 km<sup>2</sup> no

mesmo período, e no período 2018 a 2023 teve um crescimento contínuo das áreas mineração de 13,06 km<sup>2</sup> para 40,89 km<sup>2</sup> correspondente a 213,09 %.

#### 4.4 Validação estatística

##### 4.4.1 Matriz de confusão de uso e cobertura do solo 2003 – 2023

A matriz de confusão fornece a base para descrever a precisão da classificação e caracterizar os erros, ajudando a refinar a classificação.

A validação estatística da classificação foi calculada a partir da distribuição aleatória de pontos de controlo para cada imagem (2003,2013,2018,2023). Criou-se ponto para a validação da precisão no Arcgis e exportou-se os pontos para o Google Earth pro, e por meio da observação visual fez-se a validação da precisão. Utilizou-se como parâmetro estatístico a Matriz de Confusão Landis & Koch (1977) (Tabela 9) acima.

Tabela 16: Índice de Acurácia para a classificação de uso e cobertura do solo 2003

Class Value	Corpo de Agua	Área Urbana	Solo Exposto	Vegetação	Total	U_ Accuracy	Kappa
Corpo de Agua	10	0	0	0	10	1	0
Área Urbana	0	5	5	0	10	0,5	0
Solo Exposto	0	0	10	0	10	1	0
Vegetação	0	0	0	15	15	1	0
Total	10	5	15	15	45	0	0
P_Accuracy	1	1	0,67	1,00	0,00	0,89	0
Kappa	0	0	0	0	0	0	0,85

Tabela 17: Índice de Acurácia para a classificação de uso e cobertura do solo 2013

Class Value	Corpos de Agua	Áreas Urbanas	Solo Exposto	Vegetação	Área de Mineração	Total	U_ Accuracy	Kappa
Corpos de Agua	5	4	0	1	0	10	0,5	0
Áreas Urbanas	1	8	1	0	0	10	0,8	0
Solo Exposto	0	0	23	1	0	24	0,96	0
Vegetação	0	0	0	19	0	19	1	0
Área de Mineração	0	0	0	0	10	10	1	0
Total	6	12	24	21	10	73	0	0
P_Accuracy	0,83	0,67	0,96	0,90	1	0	0,89	0
Kappa	0	0	0	0	0	0	0	0,86

Tabela 18: Índice de Acurácia para classificação de uso e cobertura do solo 2018

Classe Value	Corpos de Agua	Áreas Urbana	Solo Exposto	Vegetação	Áreas de Mineração	Total	U_ Accuracy	Kappa
Corpos de Agua	1	0	0	0	0	1	1	0
Áreas Urbana	0	2	1	0	0	3	0,67	0
Solo Exposto	0	0	14	1	0	15	0,93	0
Vegetação	0	0	3	25	0	28	0,89	0
Áreas de Mineração	0	0	0	0	3	3	1	0
Total	1	2	18	26	3	50	0	0
P_Accuracy	1	1	0,78	0,96	1	0	0,90	0
Kappa	0	0	0	0	0	0	0	0,83

Tabela 19: Índice de Acurácia para classificação de uso e cobertura do solo 2023

Class Value	Corpo de Água	Area Urbana	Solo Exposto	Vegetação	Área de Mineração	Total	U_Accuracy	Kappa
Corpo de Água	10	0	0	0	0	10	1	0
Area Urbana	0	5	3	1	1	10	0,5	0
Solo Exposto	0	0	15	4	0	19	0,79	0
Vegetação	0	0	1	16	0	17	0,94	0
Area de Mineração	0	0	1	1	8	10	0,8	0
Total	10	5	20	22	9	66	0	0
P_Accuracy	1	1	0,75	0,73	0,89	0	0,82	0
Kappa	0	0	0	0	0	0	0	0,76

Assim para a Classificação do ano 2003 obteve-se uma acurácia de 0,89 e o índice de kappa de 0,85 (Tabela 12) acima , para o ano de 2013 acurácia 0,89 e o índice Kappa de 0,86 (Tabela 13) acima, para 2018 acurácia 0,90, e o Índice kappa 0,83 (Tabela 14) acima ,e para o ano 2023 acurácia 0,82 e o índice kappa 0,76 (Tabela 15) acima, os valores acima levam uma classificação boa pois os valores do índice kappa obedecem ao critério satisfatório de Landis & Koch (1977).

4.5 Alteração no uso e cobertura do solo no período 2003-2023

DETECÇÃO DE MUDANÇA NO PERÍODO 2003 -2023  
(Área/(km<sup>2</sup>))

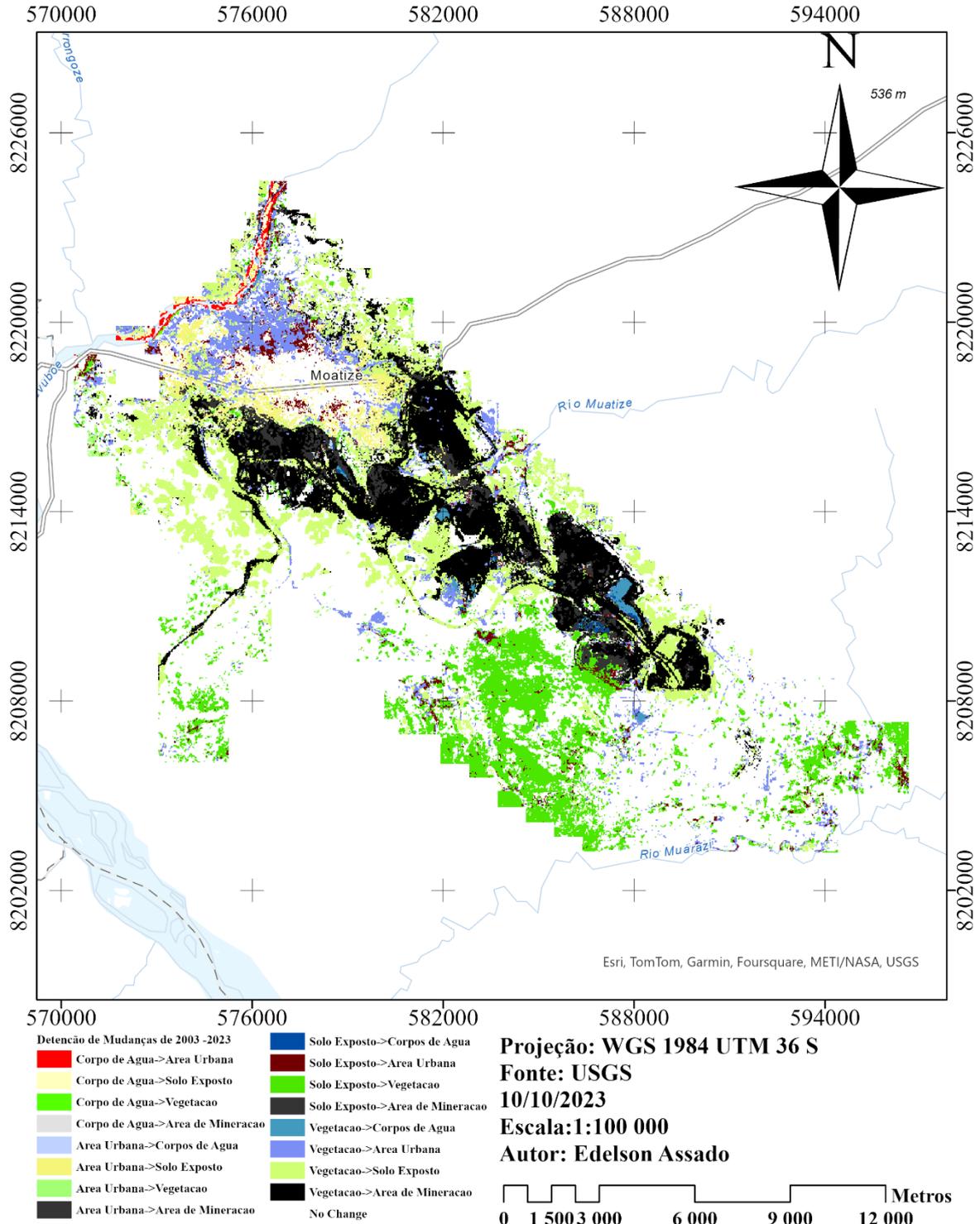


Figura 11: Mapa de Detecção de Mudanças 2003- 2023

O mapa acima (Figura 11) ilustra as mudanças ocorridas no uso e cobertura do solo no período em referência, destacando a classe de Vegetação como a classe que mais mudanças sofreu para as Classes de Mineração, Solo Exposto, área de Urbanização e corpos de água.

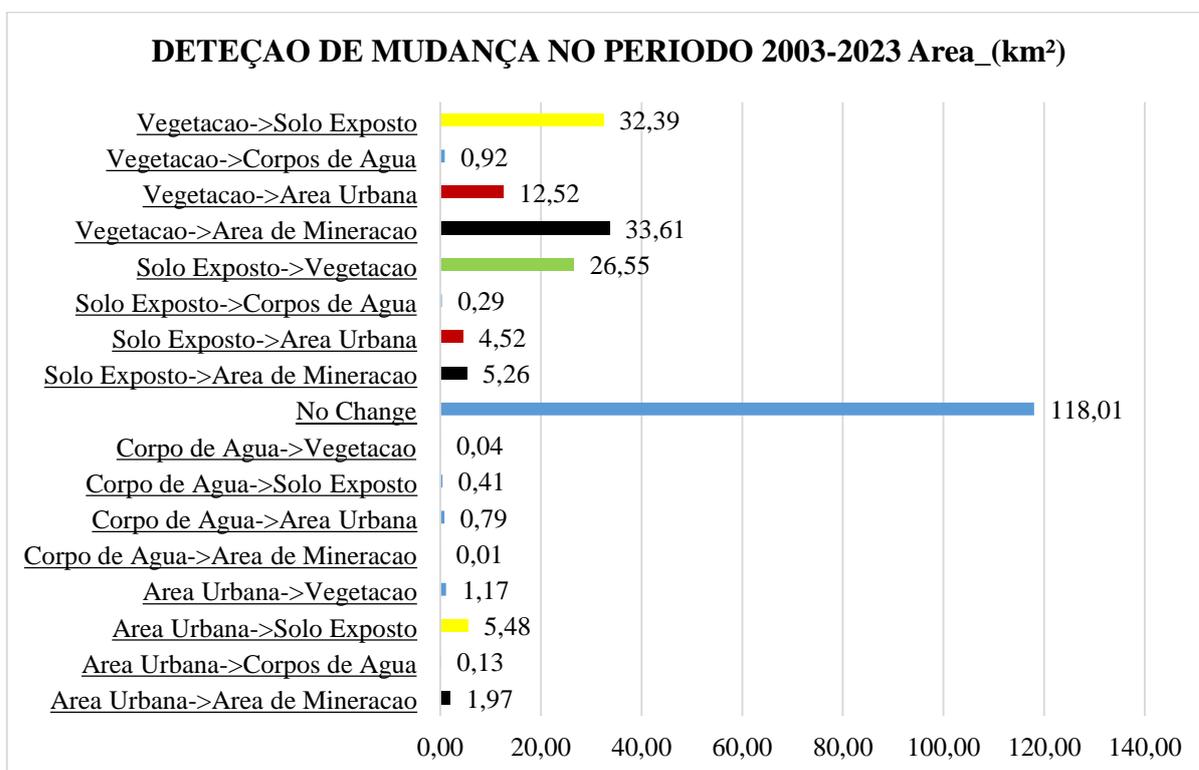


Figura 12: Detecção de Mudanças área/km<sup>2</sup>

É possível observar pelo gráfico de detenção de Mudanças (Figura 12) no período em estudo desperta atenção para um crescimento contínuo da área de Mineração, tendo se perdido uma área de vegetação de aproximadamente 33,61 km<sup>2</sup>, solo 5,26 e uma área urbana de 1,97 km<sup>2</sup>, também a mineração influenciou no crescimento da área urbana da cidade de Moatize pelo que se verifica um desmatamento de 12,5 km<sup>2</sup>, de área de vegetação para urbanização.

## 5 Conclusão e Recomendações

### 5.1 Conclusão

Os resultados obtidos do estudo, na concessão 867C da Vulcan Moçambique utilizando as imagens do *Landsat 7* e *8* com a série temporal 2003 a 2023 obtidas dos serviços geológico americano (USGS) mostraram que no período de 20 anos o Índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) teve uma variação para época Chuvosa de 0,055 a 0,435, para o ano de 2003 e de -0,073 a 0,482 para o ano de 2023, para época Seca -0,039 a 0,342 para o ano 2003 e -0,076 a 0,306 para o ano de 2023, pelos valores obtidos mostram que a vegetação da área de estudo não é saudável e a mineração teve impacto negativo na vida vegetal. Da análise multitemporal de uso e cobertura do solo pela qual a validação estatística com base na matriz de confusão para os quatro períodos analisados os valores de acurácia e índice Kappa foram acima de 80% classificando-se como boa, verifica-se que a mineração de carvão mineral teve uma forte influência na mudança geomorfológicas da área de estudo, um aumento crescente das áreas de mineração no período 2003 a 2023 de 6 km<sup>2</sup> em 2013 para 40,89 km<sup>2</sup> em 2023 bem como da áreas urbana, e uma redução significativa da área de vegetação onde maior parte do desmatamento é resultante da mineração. À partir da deteção de mudanças no uso e cobertura do solo verificou-se a vegetação como a classe que mais mudanças sofreu para as classes de mineração, solo exposto, área de urbanização e corpos de água.

O aumento em extensão da área de mineração e o contínuo desmatamento das áreas de vegetação deve preocupar ao estado Moçambicano bem como a sociedade residente no Município de Moatize, pois as operações de extração do carvão mineral se avizinham ao Município e fica mais evidente a disseminação de poeiras, ruídos e vibrações que podem causar problemas de saúde e uma má qualidade de vida a população circunvizinha da área concessionada. A utilização de sistemas de informação geográfica por meio dados de sensoriamento remoto mostra-se uma ferramenta eficiente na monitorização da exploração dos recursos naturais.

## 5.2 Recomendações

De acordo com os resultados obtidos dos estudos, na concessão 867C da Vulcan Moçambique recomenda-se:

- O aumento em extensão da área de mineração e o contínuo desmatamento das áreas de vegetação deve preocupar ao Estado Moçambicano bem como a sociedade residente no Município de Moatize;
- O Estado deve propor fortes medidas de mitigação para contenção e controle da disseminação de poeiras, ruídos e vibrações que podem causar problemas de saúde e uma má qualidade de vida a população circunvizinha da área concessionada;
- A empresa Vulcan Moçambique deve implementar com rigor o plano de gestão ambiental de modo a reduzir os impactos da Exploração dos recursos.
- O estado por via da Inspeção Geral do Ministério dos Recursos Minerais e Energia (IGREME), Agência de Qualidade Ambiental do Ministério da Terra e Ambiente (AQUA), e os Serviços Provinciais do Ambiente (SPA) deve usar o sistema de informação geográfica por meio dados de sensoriamento remoto para a monitorização da exploração dos recursos naturais.

## 6 Referencias

- Adeniyi, P. O. (1985). Digital analysis of multitemporal Landsat data for land-use/land-cover classification in a semi-arid area of Nigeria. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 51 (11), 1761-1774.
- Anderson, J. R. (1976). *A land use and land cover classification system for use with remote sensor data* (Vol. 964). US Government Printing Office.
- Bernardes, T. (2006). Caracterização do ambiente agrícola do Complexo Serra Negra por meio de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica. 2006. 119 p. *Lavras, MG*.
- Bradshaw, A. D. (2002). Using natural processes. *The restoration and management of derelict land: modern approaches*, 181-189.
- Borges, E. F., & de Barros Silva, A. (2009). Técnicas de segmentação de imagens e classificação por região: mapeamento da cobertura vegetal e uso do solo, Mucugê-BA. *Mercator-Revista de Geografia da UFC*, 8 (17), 209-220.
- Congalton, R. G., e Green, K. (2019). *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices*. CRC press.
- Congalton, R. G. (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote sensing of environment*, 37 (1), 35-46.
- Curi, A. (2017). Lavra de minas. Oficina de Textos.
- Chuvieco, E., e Congalton, R. G. (1988). Using cluster analysis to improve the selection of training statistics in classifying remotely sensed data. *Photogrammetric engineering and remote sensing*.
- DAMASCENO, G. C. (2017). Geologia, mineração e meio ambiente. Cruz das Almas: *UFRB*.
- Fengler, F. H. (2018). Aplicação da análise dimensional em indicadores ambientais de áreas degradadas pela exploração de cassiterita.
- Homer, C. G., Fry, J. A., & Barnes, C. A. (2012). *The national land cover database* (No. 2012-3020). US Geological Survey.

[https://salcaldeira.com/index.php/pt/component/docman/cat\\_view/32-legislacao/79-ambiente](https://salcaldeira.com/index.php/pt/component/docman/cat_view/32-legislacao/79-ambiente) .

Acessado a 05 de outubro de 2023.

[https://salcaldeira.com/index.php/pt/component/docman/cat\\_view/32-legislacao/69-floresta-e-fauna-bravia](https://salcaldeira.com/index.php/pt/component/docman/cat_view/32-legislacao/69-floresta-e-fauna-bravia). Acessado a 05 de outubro de 2023.

Lambin, E. F. (1999). Land-use and land-cover Change (LUCC)-implementation strategy. *A core project of the international geosphere-biosphere programme and the international human dimensions programme on global environmental change*.

National Research Council, Division on Earth, Life Studies, Board on Earth Sciences, Mapping Science Committee, Committee on Geography, & Committee on the Geographic Foundation for Agenda 21. (2002). *Down to earth: Geographic information for sustainable development in Africa*. National Academies Press.

Kerr, J. T., e Ostrovsky, M. (2003). From space to species: ecological applications for remote sensing. *Trends in ecology & evolution*, 18(6), 299-305.

Landis, J. R., e Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *biometrics*, 159-174.

Lima, C. A. (2008). O cerrado rupestre no estado de Goiás com base em imagens Landsat ETM+.

MENESES, P. R., e MADEIRA-NETTO, J. D. S. (2001). Sensoriamento remoto. Reflectância dos alvos naturais. Universidade de Brasília. Brasília – DF. Embrapa Cerrados, Planaltina – DF. 262p.

Ponzoni, F. J., e Disperati, A. A. (2001). Comportamento espectral da vegetação. Sensoriamento remoto reflectância dos alvos naturais. Brasília, DF: Universidade de Brasília, 157-99.

Richards, e Baumann. (1986). *Remote sensing digital image analysis*. Springer Berlin Heidelberg.

Nellis, M. D., Foody, G. M., & Warner, T. A. (Eds.). (2009). *The SAGE handbook of remote sensing*. SAGE.

Weng, Q. (Ed.). (2014). *Global urban monitoring and assessment through earth observation*. Crc Press.

Agência de Desenvolvimento do Vale do Zambeze (ADVZ) - perfil ambiental distrital de Moatize – edição 2015 Esta publicação está disponível na Internet em [https://biblioteca.biofund.org.mz/biblioteca\\_virtual/avaliacao-ambiental-estrategica-plano-multisectorial-plano-especial-de-ordenamento-territorial-do-vale-do-zambeze-e-modelo-digital-de-suporte-a-decisoes-perfil-ambiental-distrital-de-moatize/](https://biblioteca.biofund.org.mz/biblioteca_virtual/avaliacao-ambiental-estrategica-plano-multisectorial-plano-especial-de-ordenamento-territorial-do-vale-do-zambeze-e-modelo-digital-de-suporte-a-decisoes-perfil-ambiental-distrital-de-moatize/).

Distritais, P. (2014). Perfil do Distrito de Moatize, Província de Tete. Ministério da Administração Estatal, República de Moçambique.

Muchangos, A. D. (1999). Moçambique paisagens e regiões naturais.

Moçambique, E. N. (2009) *atlas geográfico de Moçambique: vol. 1*. Ed. Escolar.

GTK Consortium. (2006). Map Explanation; Volume 2: Folhas 1631–1934. *Geology of Degree Sheets*, Mecumbura, Chioco, Tete, Tambara, Guro, Chemba, Manica, Catandica, Gorongosa, Rotanda, Chimoio e Beira, *Mozambique*.

GTK Consortium. (2006). Map Explanation; Volume 4: Sheets 1430-1432 and 1530-1534. *Geology of Degree Sheets* Inhamambo, Maluwera, Chifunde, Zumbo, Fíngoè-Mágoè, Songo, Cazula and Zóbuè, *Mozambique*. Ministério dos Recursos Minerais, Direcção Nacional de Geologia, Maputo, Mozambique. 457pp.

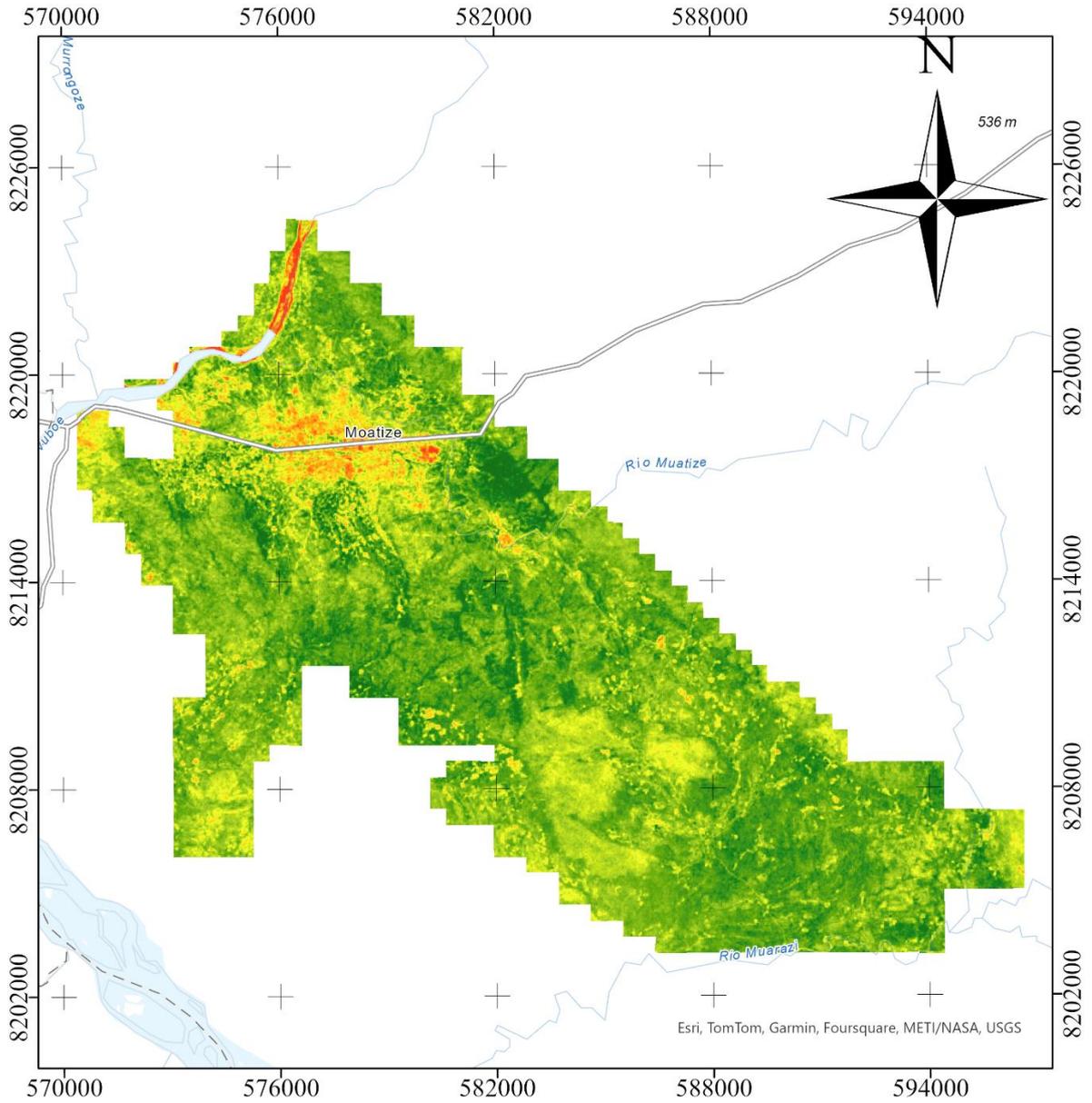
Gouveia, D. H., e Azevedo, A. L. (1949). Características e Distribuição dos solos de Moçambique.

Vasconcelos, L. (1995). Contribuição para o conhecimento dos carvões na Bacia Carbonífera de Moatize, Província de Tete, República de Moçambique (Doctoral dissertation, Tese de Doutoramento, Universidade do Porto, Portugal, 2 volumes).

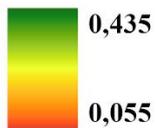
Wild, H., e Fernandes, A. (1967). Flora Zambesiaca. Mozambique, Malawi, Zambia, Rhodeseia, Botswana. Supplement: vegetation map of the Flora Zambesiaca area.

7 Anexos

**INDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI)  
ÉPOCA CHUVOSA 01/03/2003**



**NDVI 01/03/2003 (Chuvosa)**



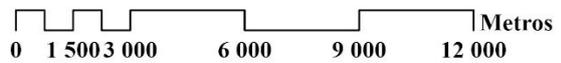
**Projeção: WGS 1984 UTM 36S**

**Fonte: USGS**

**Data: 10-10-2023**

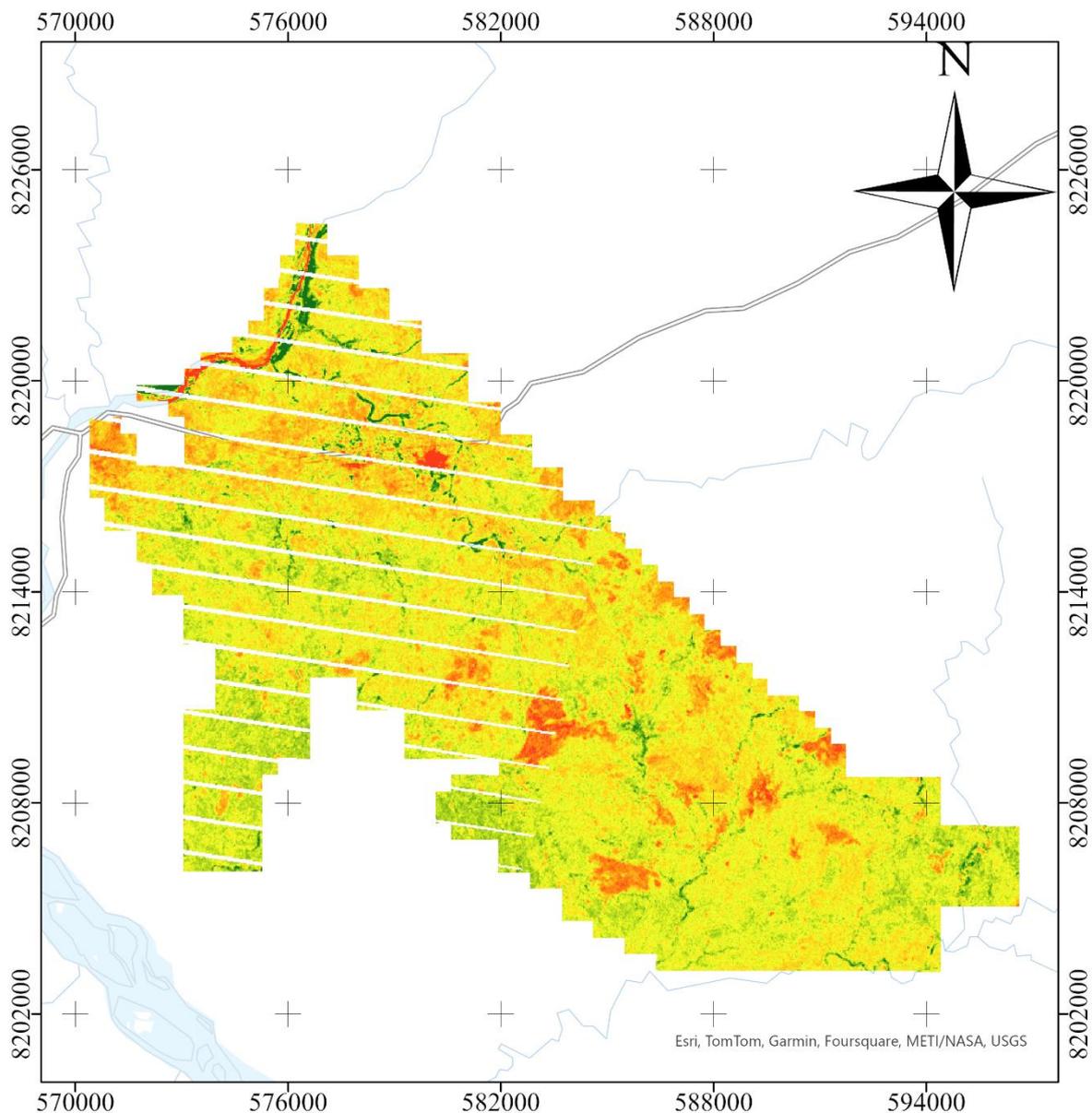
**Escala : 100 000**

**Autor : EDELSON ASSADO**

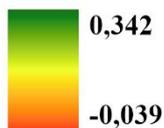


Anexo 1: Mapa de NDVI época chuvosa 01/03/ 2003

**INDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI)  
ÉPOCA SECA 01/10/2003**



**NDVI 01/10/2003 (Seca)**



**Projeção: WGS 1984 UTM 36S**

**Fonte: USGS**

**Data: 10-10-2023**

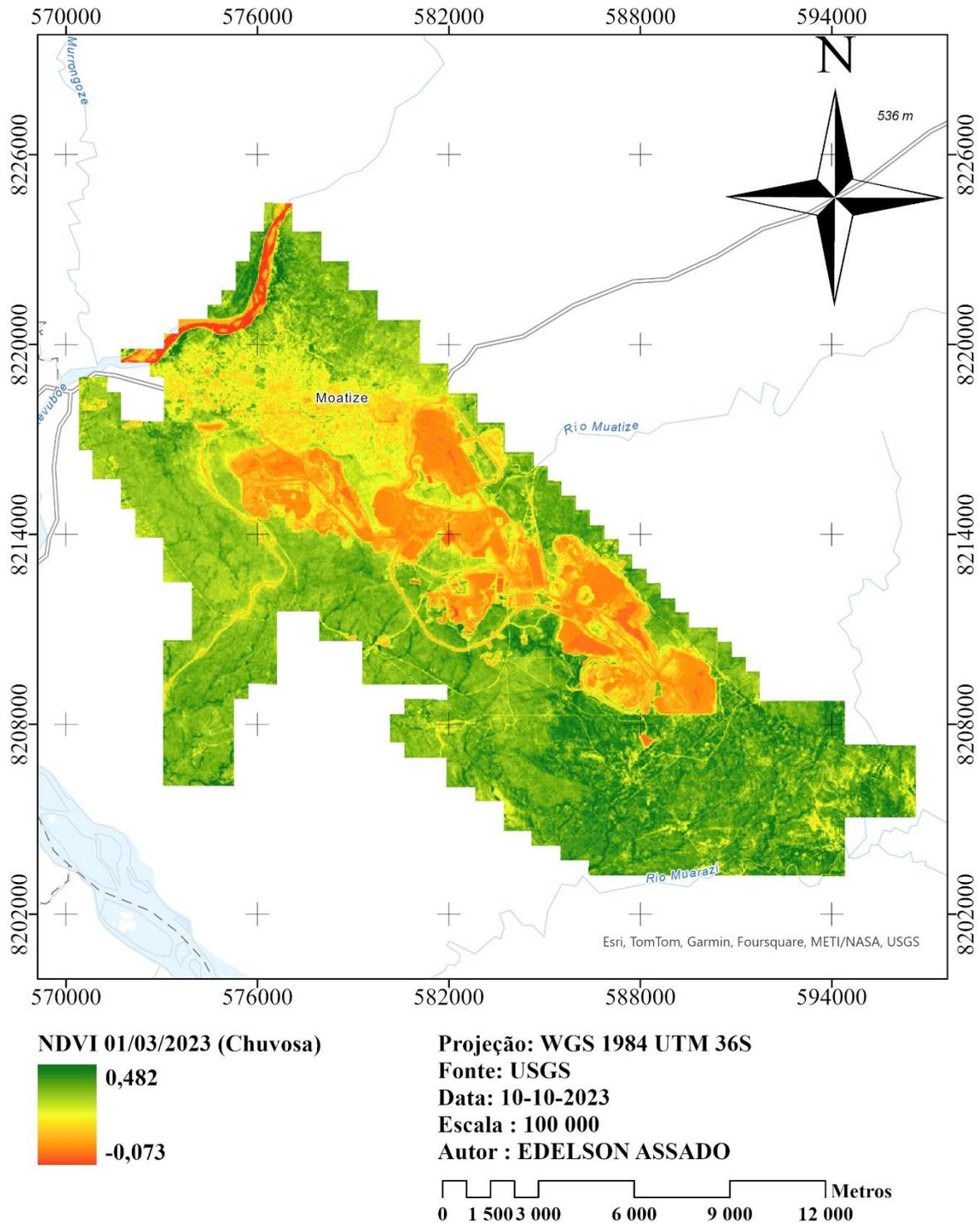
**Escala : 100 000**

**Autor : EDELSON ASSADO**



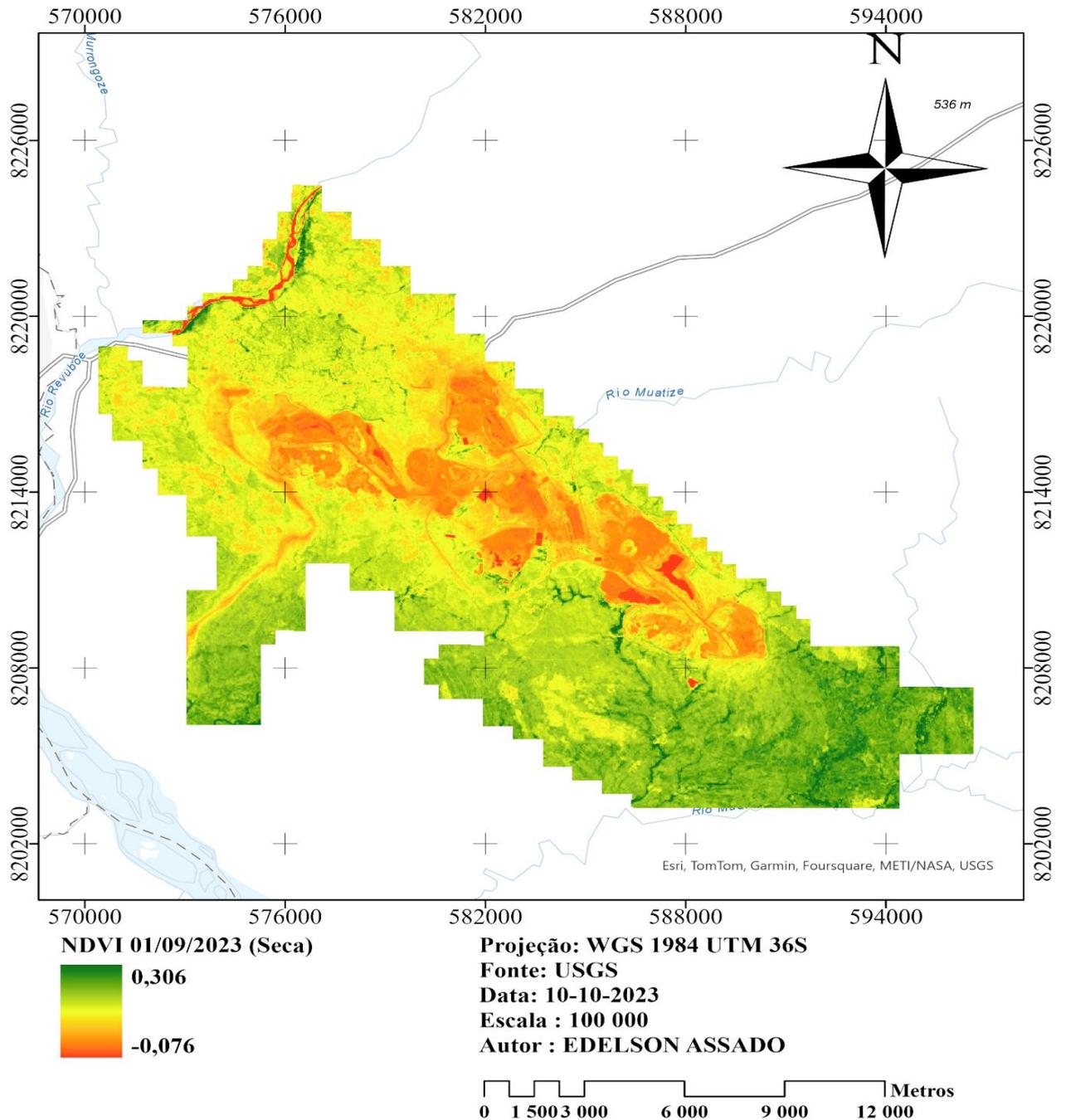
Anexo 2: Mapa de NDVI época seca 01/10/ 2023

## INDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI) ÈPOCA CHUVOSA 01/03/2023



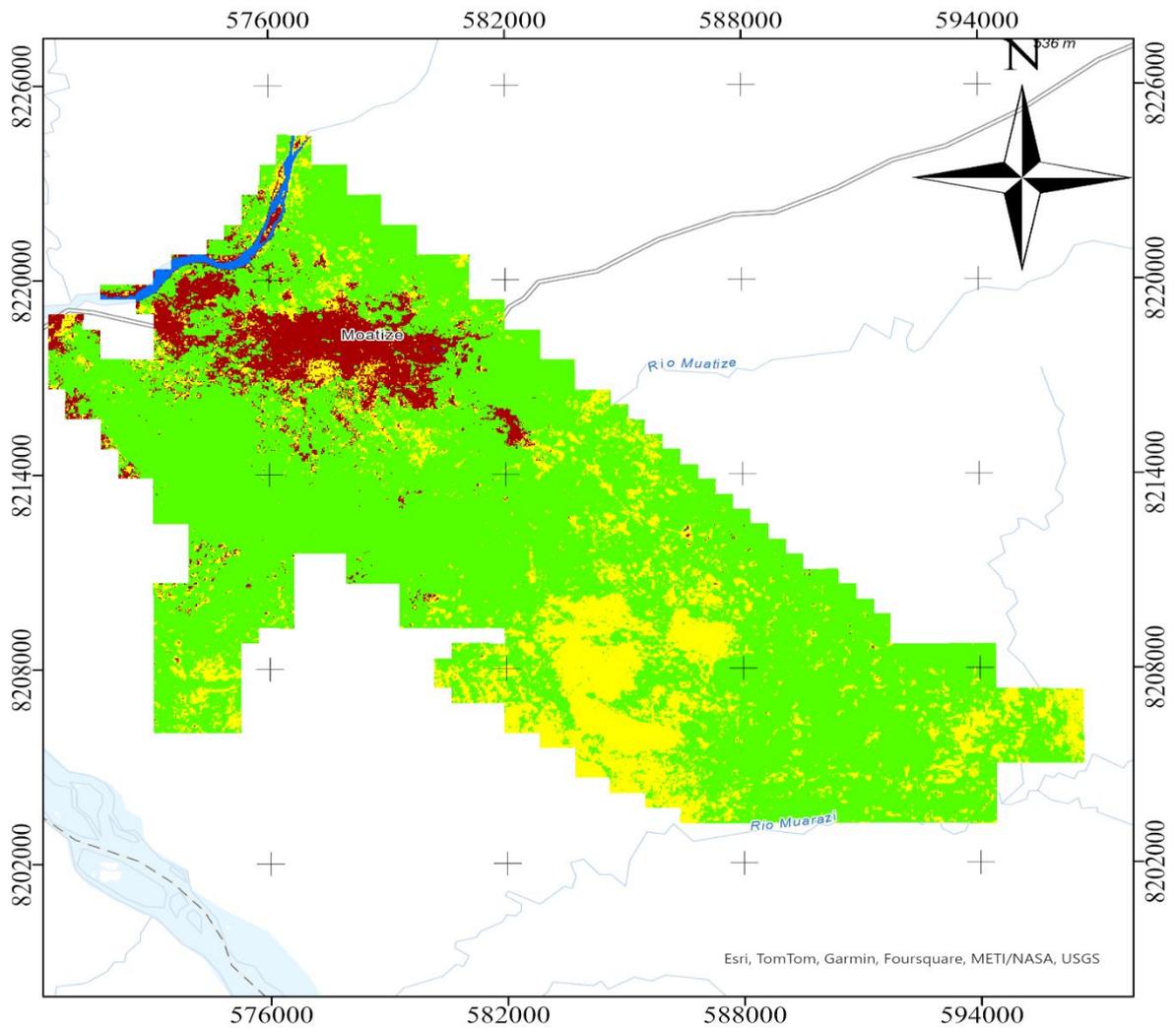
Anexo 3: Mapa de NDVI época chuvosa 01/03/ 2023

## INDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI) ÉPOCA SECA 01/09/2023



Anexo 4: Mapa de NDVI época seca 01/09/ 2023

### USO E COBERTURA DE SOLO 01/03/2003



#### USO COBERTURA SOLO 01/03/2003

- Corpo de Agua
- Area Urbana
- Solo Exposto
- Vegetacao

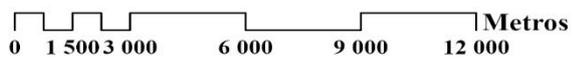
Projeção: WGS 1984 UTM 36S

Fonte:USGS

Data: 10-10-2023

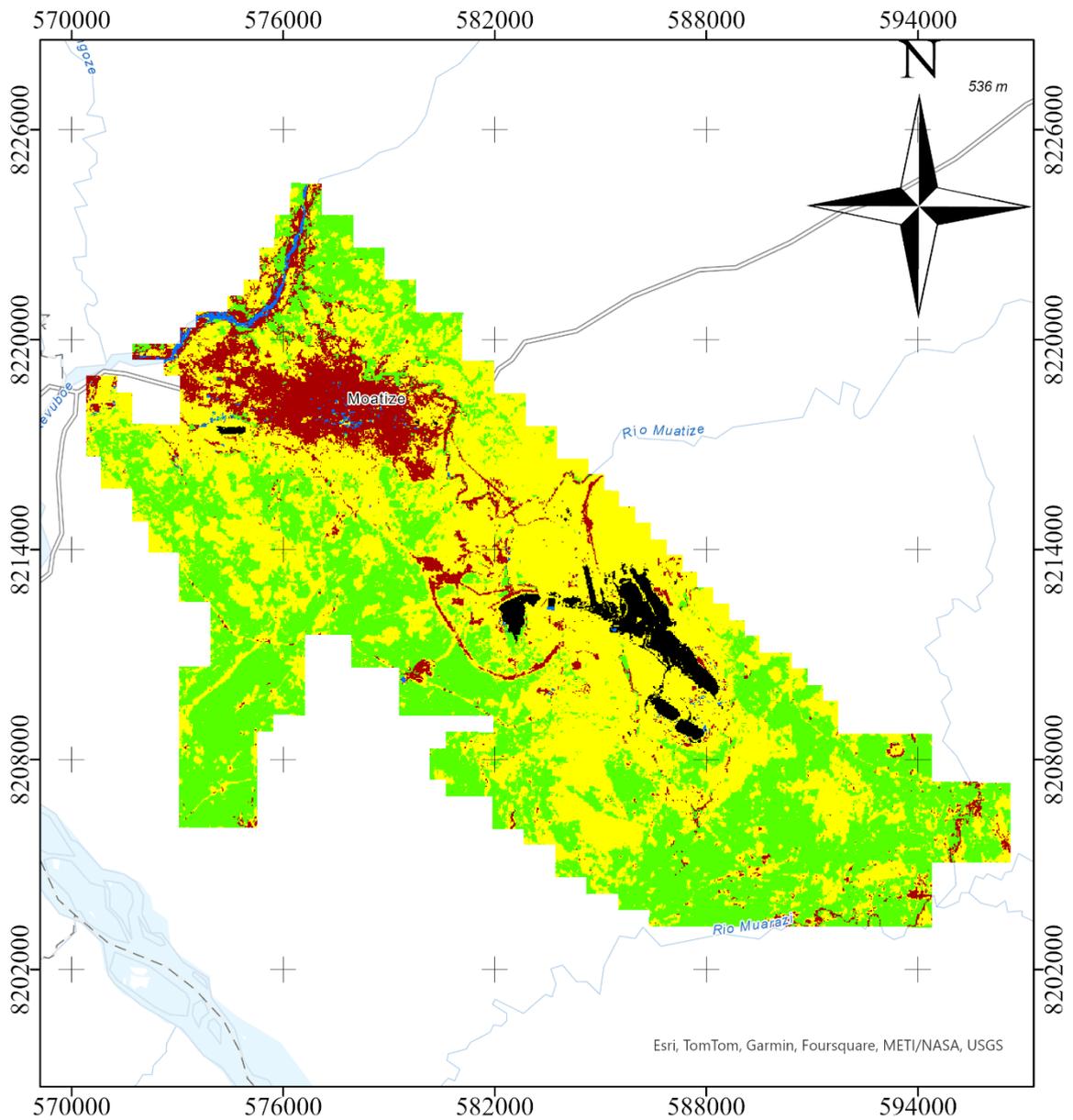
Escala 1: 100 000

Autor : EDELSON ASSADO



Anexo 5: Mapa de Uso e Cobertura do Solo 01/03/ 2003

## USO E COBERTURA DE SOLO 23/10/2013



### USO COBERTURA SOLO 23/10/2013

Class\_name

- Corpo de Agua
- Areas Urbanas
- Solo Exposto
- Vegetacao
- Areas de Mineracao

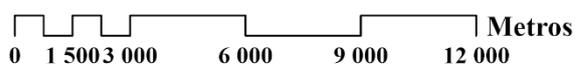
**Projeção: WGS 1984 UTM 36S**

**Fonte: USGS**

**Data: 10-10-2023**

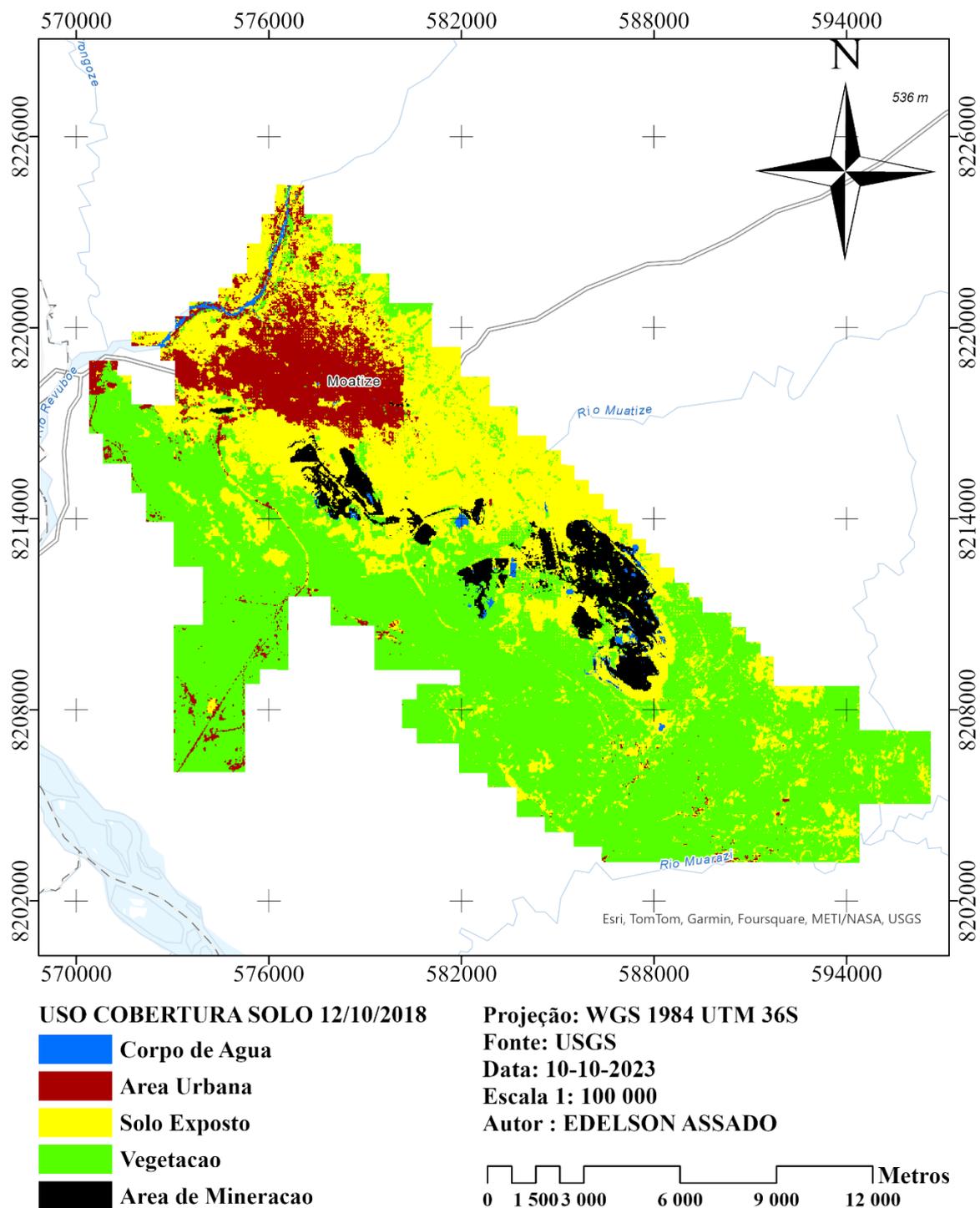
**Escala: 1: 100 000**

**Autor : EDELSON ASSADO**



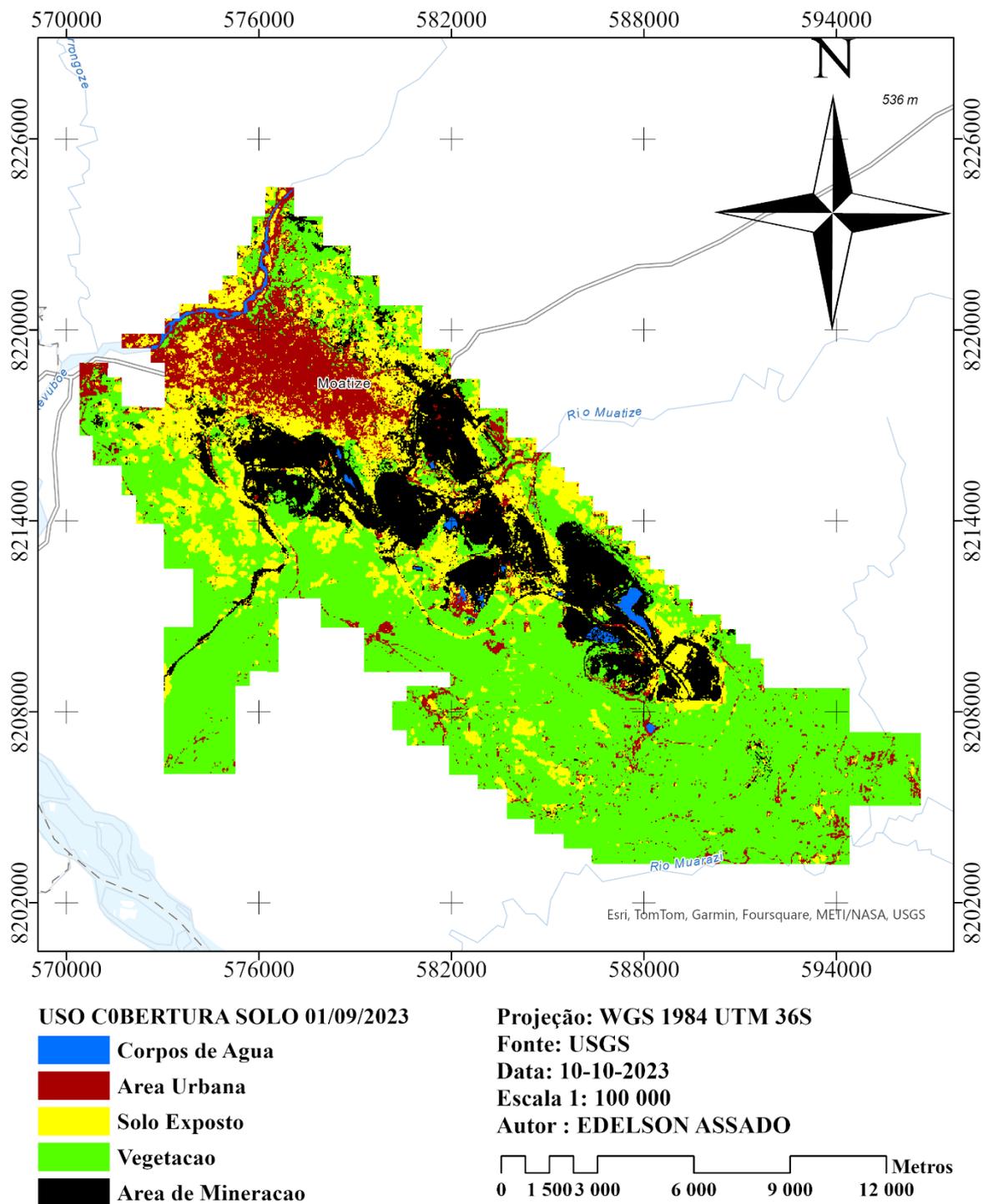
Anexo 6: Mapa de Uso e Cobertura do Solo 23/10/ 2013

## USO E COBERTURA DE SOLO 12/10/2018



Anexo 7: Mapa de Uso e Cobertura do Solo 12/10/ 2018

## USO E COBERTURA DO SOLO 01/09/2023



Anexo 8: Mapa de Uso e Cobertura do Solo 01/09/ 2023