

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL**

**ANÁLISE DE SUSCETIBILIDADE À EROSÃO E APTIDÃO
À URBANIZAÇÃO COMO CONTRIBUIÇÃO AO
PLANEJAMENTO URBANO NO DF.**

CAMILA LIMA DE OLIVEIRA CAMPOS

ORIENTADOR: ELEUDO ESTEVES DE A. SILVA JR., DSc.

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL II EM ENGENHARIA
AMBIENTAL**

BRASÍLIA – DF: DEZEMBRO/2020

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL**

**ANÁLISE DE SUSCETIBILIDADE À EROÇÃO E APTIDÃO
À URBANIZAÇÃO COMO CONTRIBUIÇÃO AO
PLANEJAMENTO URBANO NO DF.**

CAMILA LIMA DE OLIVEIRA CAMPOS

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA AMBIENTAL.

APROVADA POR:

**ELEUDO ESTEVES DE ARAUJO SILVA JUNIOR, DSc (ENC/UnB)
(ORIENTADOR)**

**RAFAEL CERQUEIRA SILVA, DSc (ENC/UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**BRUNO RODRIGUES DE OLIVEIRA, MSc
(EXAMINADOR EXTERNO)**

DATA: BRASÍLIA/DF, 18 DE DEZEMBRO DE 2020.

FICHA CATALOGRÁFICA

CAMPOS, CAMILA LIMA DE OLIVEIRA
ANÁLISE DE SUSCETIBILIDADE À EROSÃO E APTIDÃO À URBANIZAÇÃO
COMO CONTRIBUIÇÃO AO PLANEJAMENTO URBANO NO DF.

xi, 72 p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Ambiental, 2020)

Monografia de Projeto Final – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia.
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Aptidão à urbanização

2. SIG

3. Suscetibilidade à erosão

4. Planejamento urbano

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CAMPOS, C. L. O. (2020). *ANÁLISE DE SUSCETIBILIDADE À EROSÃO E APTIDÃO À URBANIZAÇÃO COMO CONTRIBUIÇÃO AO PLANEJAMENTO URBANO NO DF*. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 72 p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DA AUTORA: Camila Lima de Oliveira Campos

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: Análise de Suscetibilidade à Erosão e Aptidão à Urbanização como Contribuição ao Planejamento Urbano no DF.

GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Ambiental / 2020

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



CAMILA LIMA DE OLIVEIRA CAMPOS

caaoliveira07@gmail.com

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer à minha mãe Janaina, meus avós Linda e Ubaldo, meus padrinhos Renatta e Thyago e toda a minha família materna, por terem proporcionado o meu acesso a uma educação de qualidade, que eu julgo ter sido fundamental para o meu ingresso na Universidade de Brasília e para a formação do meu caráter e personalidade como um todo.

Ao meu pai Luiz Gustavo, irmãs Maria Luiza e Maria Eduarda, meus tios Maria Nilza e João Vicente e o restante da minha família paterna, pelo intenso acolhimento, pela torcida e constante encorajamento para que eu seguisse persistindo.

À minha irmã Catarina e primo Arthur, por terem sido uma fonte de alegria e acalento infantil durante esses últimos anos.

Um especial agradecimento ao meu orientador Eleudo, que já nas primeiras reuniões sabia qual tema de pesquisa mais se encaixaria ao meu perfil e aos meus interesses, e que sempre esteve disposto a ser uma fonte de conhecimento e compreensão, mesmo com todas as suas atribuições na UnB.

Ao Bruno pelo incondicional carinho e apoio, pelas infindáveis noites na BCE e principalmente por cuidar de mim nos momentos de estresse e ansiedade. E também aos meus amigos e amigas – de vida e de curso – por todo o incentivo, auxílio, conselhos e ideias partilhadas.

Por fim, agradeço a Deus por ter iluminado meu caminho até aqui, e ter colocado na minha vida todas essas pessoas e oportunidades que viriam a tornar-me quem sou hoje.

RESUMO

O rápido crescimento populacional e conseqüentemente a ocupação do solo desordenada são fatores que ocasionam sérios problemas sociais, econômicos e ambientais. No que tange as conseqüências ambientais de tais intervenções, os fenômenos erosivos resultantes representam não apenas riscos à saúde e bem-estar das comunidades, mas também prejuízos financeiros. Nesse contexto, torna-se essencial a utilização de ferramentas de visualização, compreensão e análise do território, de forma a auxiliar o planejamento e gestão dos espaços destinados à ocupação urbana. A metodologia aplicada pelo presente trabalho faz uso de ferramentas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) - em especial o *software* QGIS - e fontes de dados gratuitas para o cálculo da suscetibilidade à erosão e aptidão a urbanização com base na análise cruzada de parâmetros como pedologia, declividade e áreas não edificantes. A área de estudo escolhida para verificação da metodologia localiza-se ao sul do território do Distrito Federal, na região administrativa do Jardim Botânico e próxima ao Setor Habitacional Tororó, uma localidade que recentemente demonstra um alto potencial de expansão urbana e, por isso, sofre as pressões das intervenções antrópicas. O uso do QGIS permitiu a aplicação da metodologia de forma simples e gratuita por meio das suas ferramentas nativas e possibilidade de instalação de complementos. Os resultados obtidos, que demonstram uma baixa suscetibilidade à erosão e muito alta aptidão à urbanização na maior parte do território da área de estudo, comprovam a simplicidade e clareza da metodologia proposta.

Palavras-chave: Aptidão à urbanização. Suscetibilidade à erosão. SIG. Planejamento urbano.

ABSTRACT

The rapid population growth and consequent disorganized city occupation are aspects that cause serious social, economic and environmental issues. Regarding the environmental consequences of such interventions, the resulting erosive phenomena represent not only risks to the health and well-being of communities, but also financial losses. In this context, it is essential to use tools that allow the visualization, understanding and analysis of the territory, in order to assist the planning and management of spaces for urban occupation. The methodology applied by the present study makes use of Geographic Information Systems (GIS) tools – especially QGIS software – and free data sources for calculating the erosion susceptibility and aptitude for urbanization based on a cross analysis of parameters such as pedology, slope and non-edifying areas. The chosen area for verification of the methodology is located south at the territory of Federal District, Brazil, in the Administrative Region of Jardim Botânico, next to Housing Sector Tororó, a region that recently demonstrates a high potential for urban expansion and, therefore, suffers the pressures of anthropic interventions. The use of QGIS allowed the application of the proposed methodology in a simple and free way, through its native tools and the possibility of installing add-ons. The results, which demonstrate a low erosion susceptibility and a very high aptitude for urbanization in most the study area's territory, prove the simplicity and clarity of the proposed methodology.

Keywords: Aptitude for urbanization. Erosion susceptibility. GIS. Urban planning.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	2
2.1. OBJETIVO GERAL	2
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
3.1. SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)	3
3.2. PLANEJAMENTO URBANO	5
3.2.1. Cartografia geotécnica para planejamento urbano	8
3.3. SUSCETIBILIDADE À EROÇÃO E APTIDÃO À URBANIZAÇÃO	10
4. METODOLOGIA	13
4.1. ÁREA DE ESTUDO	15
4.2. MATERIAIS	16
4.3. FASE PRELIMINAR	16
4.3.1. Obtenção de dados	18
4.3.2. Processamento de Modelos Digitais de Elevação (MDE)	19
4.3.2.1. Importação dos dados	19
4.3.2.2. Mapa hipsométrico	20
4.3.2.3. Perfil topográfico	21
4.3.2.4. Mapa de declividades	22
4.3.2.5. Mapa de orientação de vertentes	23
4.3.2.6. Mapa de sombreamento de relevo	24
4.3.3. Processamento Digital de Imagens (PDI)	24
4.3.3.1. Importação dos dados	25
4.3.3.2. Composição RGB	25
4.3.3.3. Manipulação de contraste	27
4.3.3.4. Operações aritméticas	27

4.3.3.5. Componentes principais	29
4.3.3.6. Segmentação de imagens	29
4.3.3.7. Classificação	30
4.3.4. Operações cartográficas	31
4.3.5. Elaboração de cartas	31
4.4. FASE I - CARTA DE SUSCETIBILIDADE À EROSÃO	32
4.5. FASE II - CARTA DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO	33
5. RESULTADOS E ANÁLISES	35
5.1. FASE PRELIMINAR	35
5.1.1. Carta de Localização	35
5.1.2. Carta de Pedologia	35
5.1.3. Processamento de Modelos Digitais de Elevação (MDE)	36
5.1.3.1. Carta de Hipsometria	37
5.1.3.2. Carta de Declividades	38
5.1.3.3. Carta de Orientação de Vertentes	39
5.1.3.4. Carta de Relevo Sombreado	40
5.1.4. Processamento Digital de Imagens (PDI)	41
5.1.4.1. Carta Imagem	41
5.1.4.2. Operações aritméticas	42
5.1.4.3. Carta de Uso e Cobertura	47
5.1.5. Operações cartográficas	48
5.1.5.1. Carta de Áreas de Preservação Permanente – APPs	48
5.2. FASE I – CARTA DE SUSCETIBILIDADE À EROSÃO	49
5.3. FASE II – CARTA DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO	51
6. CONCLUSÕES	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1 - Proposta de elaboração de cartas geotécnicas em detalhamento progressivo. (Souza e Sobreira, 2014)	13
Figura 4.2 - Etapas e fases da metodologia (modificado de Silva Junior, 2019).	14
Figura 4.3 - Fluxograma da metodologia proposta (adaptado de Silva Junior, 2019)	15
Figura 4.4 - Localização da área de estudo no território do DF (modificado de CODEPLAN, 2020).....	15
Figura 4.5 - Hipsometria: classes	21
Figura 4.6 - Representação da linha escolhida para o perfil topográfico	22
Figura 4.7 - Declividade: classes.....	23
Figura 4.8 - Rosa dos ventos com indicação dos ângulos	24
Figura 4.9 - Diferença no espalhamento do histograma com contraste (INPE, 2006)	27
Figura 5.1 - Carta de Localização.....	35
Figura 5.2 - Carta de Pedologia	36
Figura 5.3 - Carta de Hipsometria	37
Figura 5.4 - Perfil topográfico	38
Figura 5.5 - Carta de Declividades	39
Figura 5.6 - Carta de Orientação de Vertentes	40
Figura 5.7 - Carta de Relevo Sombreado	41
Figura 5.8 - Carta Imagem.....	42
Figura 5.9 - NDVI	43
Figura 5.10 - NDMI.....	44
Figura 5.11 - SAVI (calculado por meio da Equação 4.3)	45
Figura 5.12 - SAVI (calculado por meio do algoritmo GRASS "i.vi").....	46
Figura 5.13 - NDBI.....	47
Figura 5.14 - Carta de Uso e Cobertura do Solo	48
Figura 5.15 - Carta de APPs	49
Figura 5.16 - Carta de Suscetibilidade à Erosão.....	50
Figura 5.17 - Carta de Risco de Perda de Solos por Erosão (adaptado de Distrito Federal, 2017).....	50
Figura 5.18 - Carta de Aptidão à Urbanização	51
Figura 5.19 - Comparativo entre as Cartas de Uso e Ocupação e Aptidão à Urbanização .	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Classes de declividade (adaptado de Souza e Sobreira, 2014).....	23
Tabela 4.2 - Distribuição de bandas do Sentinel-2 (adaptado de ESA, 2020)	26
Tabela 4.3 - Critérios utilizados na elaboração da Carta de Suscetibilidade à Erosão (adaptado de Silva Junior, 2019)	33
Tabela 4.4 - Critérios de suscetibilidade à erosão dos tipos de solo (Distrito Federal, 2017)	33

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 4.1 - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI).....	28
Equação 4.2 - Índice de Umidade por Diferença Normalizada (NDMI).....	28
Equação 4.3 - Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI).....	28
Equação 4.4 - Índice de Diferença Normalizada para Áreas Construídas (NDBI).....	29

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES

APM – Área de Proteção de Manancial

APP – Área de Preservação Permanente

ARIE – Área de Relevante Interesse Ecológico

ARINE – Área de Regularização de Interesse Específico

ARIS – Área de Regularização de Interesse Social

DF – Distrito Federal

GRN – *Green* (Verde)

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IHS – *Intensity, Hue, Saturation* (Intensidade, Matiz, Saturação)

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

MDE – Modelo Digital de Elevação

MidIR – *Medium InfraRed* (Infravermelho médio)

NDBI – *Normalized Difference Build-up Index* (Índice de Diferença Normalizada para Áreas Construídas)

NDMI – *Normalized Difference Moisture Index* (Índice de Umidade por Diferença Normalizada)

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

NDWI – *Normalized Difference Water Index* (Índice de Água por Diferença Normalizada)

NIR – *Nearest InfraRed* (Infravermelho Próximo)

PDI – Processamento Digital de Imagens

PDOT – Plano Diretor de Ordenamento Territorial

RED – *Red* (Vermelho)

RGB – *Red, Green, Blue* (Vermelho, Verde, Azul)

SAVI – *Soil Adjusted Vegetation Index* (Índice de Vegetação Ajustado ao Solo)

SIG – Sistemas de Informações Geográficas

SRC – Sistema de Referência de Coordenadas

UC – Unidade de Conservação

ZEE – Zoneamento Ecológico-Econômico

ZUEQ – Zona Urbana de Expansão e Qualificação

1. INTRODUÇÃO

O crescimento desordenado da população urbana nos últimos anos é responsável pela imposição de pressões sobre o meio ambiente, uma vez que os conglomerados urbanos em expansão demandam a construção de habitações, infraestruturas e equipamentos públicos de forma quase imediata.

Quando implantados sem o adequado planejamento e estudo das limitações e potencialidades do meio físico, tais intervenções são fontes de problemas sociais, econômicos e ambientais. Observa-se que as consequências ambientais decorrentes da ocupação desordenada do solo ocasionam um cenário de degradação ambiental com possibilidade de ocorrência de eventos danosos.

Os fenômenos erosivos resultantes da impermeabilização e compactação do solo, retirada de cobertura vegetal e consumo de recursos naturais são muitas vezes o fator causal de incidentes que podem pôr em risco a saúde e bem-estar das comunidades, além de representarem prejuízos financeiros não só à população como também às autoridades governamentais e corporações.

Nesse contexto, a utilização de ferramentas que permitam a visualização e compreensão do território, bem como estudos de suscetibilidade e análise de riscos tornam-se instrumentos de apoio à tomada de decisões por parte dos projetistas e gestores do espaço urbano.

Cabe destacar a cartografia geotécnica e o geoprocessamento aplicados ao planejamento urbano, com o objetivo de estudar as características do ambiente buscando critérios de adequabilidade entre o território e a atividade antrópica (uso do solo) como ferramentas essenciais para o monitoramento, planejamento e gestão ambiental.

Assim, o presente trabalho visa apresentar as potencialidades do uso de ferramentas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), como o software QGIS, na obtenção de informações que sirvam de parâmetro para a tomada de decisão no âmbito do planejamento urbano. Para isso, o trabalho busca aplicar o SIG, a cartografia geotécnica e o geoprocessamento para a produção de cartas de suscetibilidade à erosão e aptidão a urbanização como instrumentos de auxílio à gestão territorial.

Primeiramente, será apresentada neste estudo uma revisão teórica e bibliográfica dos conteúdos associados aos seus objetivos, com a apresentação de conceitos e observações feitas por autores de diversas áreas relacionadas aos temas. Em seguida, é descrita a

metodologia aplicada ao estudo, que envolve fases de processamento de modelos numéricos de terreno, de imagens de sensoriamento remoto e operações cartográficas, que serão empregadas na análise de dados relativos à elevação e pedologia, além dos critérios normativos associados ao planejamento urbano no Distrito Federal - DF. Finalmente, são apresentadas a análise dos resultados obtidos e suas conclusões.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Uso de ferramentas de SIG com destaque para o *software* gratuito QGIS como ferramenta de análise e obtenção de produtos relativos à suscetibilidade à erosão e aptidão à urbanização, de forma a fornecer subsídios para o planejamento urbano do DF.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o potencial do sistema QGIS para a produção de cartas de suscetibilidade à erosão e aptidão à urbanização por meio de álgebra de mapas;
- Avaliar a adequabilidade dos resultados quando comparados com os atuais instrumentos de planejamento urbano; e
- Identificar a usabilidade da metodologia como forma de contribuição a tais instrumentos.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)

De acordo com Câmara e Davis (2001), o geoprocessamento é caracterizado como uma área de conhecimento que visa o emprego de técnicas matemáticas e computacionais com a finalidade de analisar dados geográficos. O conjunto das ferramentas utilizadas para o geoprocessamento constituem os SIGs, os quais possibilitam, além da concentração de informações oriundas de diversas origens e da produção de banco de dados georreferenciados, a automação da elaboração de produtos cartográficos, proporcionando assim análises complexas.

Victoria *et. al.* (2014) denominam como SIG o grupo de ferramentas computacionais que possuam a capacidade de processamento e análise de informações geográficas, possibilitando a extração de informação e a tomada de decisão a partir da intersecção de dados diversos. Os autores dão destaque à função de análise espacial inerente aos SIGs, ou seja, a análise de dados que relacionam eventos e objetos a localizações geográficas.

De forma complementar, Câmara e Monteiro (2001) apontam que o SIG e o estudo da geoinformação estão relacionados principalmente ao uso de computadores com a finalidade de representar e visualizar dados geográficos.

Em síntese, é possível denominar como SIG o conjunto de ferramentas de manipulação de informações geográficas, constituídos por programas (*softwares*) que integram dados georreferenciados a um sistema de coordenadas, visando representar tais conjuntos de dados de forma espacialmente disposta e auxiliar a tomada de decisões nas mais diversas áreas.

Davis e Câmara (2001) definem que os SIGs podem ser utilizado em diversas áreas, desde agricultura e manejo florestal até redes de saneamento e telefonia. Entre as principais aplicações dos SIGs, os autores destacam três áreas predominantes, a saber:

- Elaboração de mapas;
- Como ferramenta para análise espacial de fenômenos; e
- Como forma de armazenamento e recuperação de dados geográficos em bancos de dados.

Pina e Santos (2000) ressaltam a importância do SIG na manipulação de dados espaciais, uma vez que tais sistemas são capazes de concentrar altas quantidades de

informações geográficas, buscando estruturá-las e integrá-las de maneira adequada. Os SIGs permitem, em relação a tais informações, sua melhor visualização, organização, espacialização, integração e análise. As autoras consideram que a tecnologia visa aprimorar a eficiência produtiva e possibilitar o melhor gerenciamento do conhecimento de cunho estratégico.

Os SIGs são, segundo Lambiazzi e Pamboukian (2016), importantes instrumentos para a tomada de decisão e para o planejamento estratégico de projetos, uma vez que proporcionam análises espaciais com base em mapas temáticos.

Entre as principais funcionalidades dos SIGs destaca-se o geoprocessamento, matéria que visa analisar, processar e obter resultados a partir dos dados referenciados espacialmente e armazenados no sistema, os quais podem ser constituídos por imagens de satélite, dados vetoriais, modelos digitais de terreno ou elevação, entre outros.

Câmara e Davis (2001) ressaltam o valor do geoprocessamento e do surgimento dessa tecnologia ao observarem que, até recentemente, a análise de informações espacialmente distribuídas era feita de forma complexa e limitada por meio de documentos e mapas impressos, que não permitiam a sobreposição e combinação de informações.

O geoprocessamento funciona a partir do tratamento e manipulação de dados que podem ser representados de forma vetorial ou matricial, com a finalidade de obter resultados que reproduzam de forma geográfica um fenômeno ou situação. Segundo Victoria *et. al* (2014), dados vetoriais usam um ou mais pares de coordenadas com a finalidade de representar as informações em duas dimensões, seja em formato de ponto, polígonos ou linhas, além de relacioná-las com seus atributos, enquanto dados matriciais são compostos por grades, ou seja, linhas e colunas que formam uma matriz de valores que representam informações de interesse no espaço.

De acordo com Câmara e Monteiro (2001), os principais tipos de dados tratados no geoprocessamento são:

- Dados temáticos, que representam espacialmente grandezas de forma qualitativa e admitem representações matriciais e vetoriais;
- Dados cadastrais, constituídos por objetos geográficos, ou seja, grandezas representadas graficamente que possuem atributos a elas relacionados. Dados cadastrais são representados de forma vetorial e seus atributos são armazenados em bancos de dados;

- Redes, em que cada objeto geográfico possui uma localização geográfica exata. São representados, assim como os dados cadastrais, em forma de vetor e seus atributos também armazenados em bancos de dados;
- Modelos numéricos de terreno, representam quantitativamente a variação de uma grandeza de forma contínua no espaço geográfico. São armazenados de forma matricial ou vetorial; e
- Imagens, comumente obtidas por satélites e fotografias aéreas, representam de forma geral a superfície terrestre e são sempre representadas matricialmente.

Entre os principais softwares de SIG, destacam-se o sistema ArcGIS Desktop, da empresa americana ESRI, o QGIS, software de código livre e gratuito, e o SPRING, desenvolvido no Brasil pela Divisão de Processamento de Imagens (DPI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

3.2. PLANEJAMENTO URBANO

Caracteriza-se como planejamento urbano e territorial o conjunto de procedimentos que envolvem a tomada de decisões que visam conquistar os objetivos socioeconômicos, culturais e ambientais através de políticas, estratégias, regulamentações e outros mecanismos institucionais cuja função seja reformular a estrutura das cidades e regiões. O planejamento urbano mira no próspero crescimento econômico das populações, de modo a atender as necessidades dos indivíduos, principalmente aqueles em situação de vulnerabilidade e exclusão (ONU-Habitat, 2015).

A aplicabilidade do conceito se traduz quando se nota a inevitabilidade do crescimento dos espaços urbanos e a ocupação que dela decorre, muitas vezes de forma irregular, onde os atores governamentais não são capazes de acompanhar a velocidade do processo. Frequentemente, a urgência da expansão das cidades nem sempre é seguida pelo desenvolvimento de planos e ferramentas reguladoras com o objetivo de controlar e orientar a gestão territorial.

Araújo (2018) cita como principais consequências das ocupações urbanas feitas de forma irregular os assentamentos em áreas sujeitas a desmoronamento, inundações, e com carência de serviços como saneamento básico e abastecimento de água, além de dificuldades na infraestrutura viária. A irregularidade da expansão toca o aspecto ambiental principalmente quando é feita em Áreas de Preservação Permanente (APP), quando a supressão vegetal e o uso e ocupação passam a comprometer as margens, a qualidade e a

vazão de cursos d'água e de nascentes, além da capacidade de abastecimento dos mananciais e dos lençóis freáticos.

Segundo Carvalho (2014), as limitações e potencialidades do meio físico são fatores fundamentais na ocorrência de problemas decorrentes da intervenção e edificação em áreas urbanas. A autora cita, também, a ocupação de tais áreas inadequadas como resultado de um processo de expansão feito de forma acelerada e motivado principalmente por mera especulação imobiliária. A autora também considera que essa atividade é responsável por ocasionar graves perdas à economia, além de provocar significativo risco de acidentes e desastres naturais, comprometendo assim a vida e bem-estar da população.

Bezerra (2004) aponta os desgastes do solo como uma das principais complicações derivadas das intensas e desorganizadas ocupações urbanas desencadeadas pela forte expansão populacional do século XIX e pelo subsequente estágio de excessivo uso dos recursos naturais.

Nesse cenário de acelerada expansão das áreas urbanas nos últimos anos, passaram a ser exigidas providências de correção e de gestão territorial na administração das cidades e dos municípios brasileiros, como a obrigatoriedade prevista em lei da elaboração de um Plano Diretor a todos os municípios que possuam população de 20 mil habitantes ou mais. Porém, os vários exemplos de aplicação dos Planos Diretores e de outros instrumentos de gestão territorial têm evidenciado a falta de atenção ou a atenção insatisfatória que é dada às limitações e características do meio físico ao se investigar os impactos de áreas já ocupadas e ao se planejar locais de expansão futura. (Rodrigues e Augusto Filho, 2009)

Maniçoba e Oliveira (2014) observam que o mesmo fato se deu no DF, com o crescimento acelerado da população residente em áreas urbanas. Assim, embora seja uma cidade oriunda de um plano inicial fundamentado nos princípios do urbanismo moderno, Brasília manifesta as mesmas grandes dificuldades das outras grandes capitais brasileiras.

O Plano Diretor de Ordenamento Territorial - PDOT vigente no DF é previsto pela Lei Complementar nº 803, de 25 de abril de 2009. Segundo a Lei:

Art. 2º - O PDOT tem por finalidade propiciar o pleno desenvolvimento das funções sociais da propriedade urbana e rural e o uso socialmente justo e ecologicamente equilibrado de seu território, de forma a assegurar o bem-estar de seus habitantes. (Distrito Federal, 2009a)

O principal propósito do PDOT do DF é ser um documento que possibilite estabelecer diretrizes para o crescimento urbano e ofereça suporte para o desenvolvimento econômico de Brasília por meio do estabelecimento de uma série de normas e fundamentos a serem respeitados pelos atores que edificam, desenvolvem e operam o território. (DF, 2009b). Um dos instrumentos do PDOT-DF é o Zoneamento, que delimita as áreas do território do DF em zonas de acordo com suas aptidões e características. No âmbito da expansão urbana, destaca-se a Zona Urbana de Expansão e Qualificação, que, segundo a lei do PDOT:

Art. 74º - A Zona Urbana de Expansão e Qualificação é composta por áreas propensas à ocupação urbana, predominantemente habitacional, e que possuem relação direta com áreas já implantadas [...] sendo também integrada por assentamentos informais que necessitam de intervenções visando a sua qualificação. (Distrito Federal, 2009a)

Além do PDOT, outra importante ferramenta de auxílio ao ordenamento territorial é o Zoneamento Ecológico-Econômico do DF (ZEE-DF). O ZEE foi regulamentado pelo Decreto nº 4.297 de 10 de julho de 2002 para atender a Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que determina o zoneamento ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente. O ZEE do DF, especificamente, foi recentemente instituído pela Lei nº 6.269, de 29 de janeiro de 2019, que versa, em seu Art. 1º:

Parágrafo único. O ZEE-DF é um zoneamento de riscos, tanto ecológicos quanto socioeconômicos, a ser obrigatoriamente considerado para a definição de zoneamentos de usos, no âmbito do planejamento e gestão territorial. (Distrito Federal, 2019a)

É importante, também, estabelecer o conceito de APP como áreas não edificáveis, uma vez que é estabelecido pelo Código Florestal – Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012 – que a ocupação e supressão de vegetação são vedadas nas regiões inseridas nos seus limites, à exceção de usos considerados pelo poder público como de utilidade pública ou interesse social. (Brasil, 2012). A Lei conceitua, em seu Art. 3º:

II - Área de Preservação Permanente - APP: área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas; (Brasil, 2012)

Além disso, é essencial observar outras restrições impostas ao parcelamento de solo, como aquelas estabelecidas pela Lei do Parcelamento de Solo – Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979:

Art. 3º - Somente será admitido o parcelamento do solo para fins urbanos em zonas urbanas, de expansão urbana ou de urbanização específica, assim definidas pelo plano diretor ou aprovadas por lei municipal. (Redação dada pela Lei nº 9.785, de 1999)

Parágrafo único - Não será permitido o parcelamento do solo:

I - em terrenos alagadiços e sujeitos a inundações, antes de tomadas as providências para assegurar o escoamento das águas;

II - em terrenos que tenham sido aterrados com material nocivo à saúde pública, sem que sejam previamente saneados;

III - em terrenos com declividade igual ou superior a 30% (trinta por cento), salvo se atendidas exigências específicas das autoridades competentes;

IV - em terrenos onde as condições geológicas não aconselham a edificação;

V - em áreas de preservação ecológica ou naquelas onde a poluição impeça condições sanitárias suportáveis, até a sua correção. (Brasil, 1979)

Portanto, o planejamento urbano é uma disciplina que depende não somente dos critérios econômicos e políticos, mas também das leis e diretrizes que estabelecem as normas do ponto de vista social e ambiental para a expansão urbana, como o PDOT, o ZEE, o Código Florestal e a Lei do Parcelamento de Solo.

3.2.1. Cartografia geotécnica para planejamento urbano

O mapeamento geotécnico pode ser definido como a série de medidas que são tomadas em conjunto com a finalidade de elaborar mapas e cartas cujo teor seja relevante para a área da Geotecnia e do conhecimento geotécnico. No caso da cartografia geotécnica,

tais medidas visam o levantamento, avaliação e análise dos elementos e propriedades do meio físico (Zuquette e Gandolfi, 2004).

De acordo com Anderson *et. al.* (1982), existe uma complexidade em definir a diferença exata entre as definições de mapa e carta. Por não existir um consenso exato entre os estudiosos, é complicado determinar com precisão qual é a distinção entre o sentido dos dois conceitos. Porém, Zuquette e Gandolfi (2004) expressam que a diferença se encontra no fato de que um mapa contém apenas informações a respeito de uma dada característica do ambiente, sem interpretá-las, enquanto uma carta deve apresentar a reprodução dessas informações e, obrigatoriamente, as suas interpretações. Assim, a carta é um documento que deriva do mapa, a partir das associações e interpretações dos dados nele contidos.

De acordo com o IBGE (1999), define-se mapa como uma forma de representação plana, geralmente em pequenas escalas, que possui fins temáticos, culturais ou ilustrativos, de uma área delimitada por elementos físicos ou político-administrativos. Por outro lado, o conceito de carta é definido como a representação em média e larga escala, dividida em folhas de maneira sistemática, possibilitando a avaliação precisa de direções, distâncias e localização de pontos, áreas e detalhes.

Sobreira e Souza (2012) entendem que a cartografia geotécnica consiste na produção de documentos que visem definir as restrições, qualidades e exigências do uso e ocupação do solo em áreas urbanas ou rurais, por meio da representação das diversas tipologias de rochas e solos, levando em conta seus atributos mecânicos e hidráulicos.

A cartografia geotécnica pode ser vista como um instrumento de auxílio ao planejamento urbano, uma vez que possibilita adquirir informações quanto ao uso mais eficiente e a melhor ocupação de uma área, além de estimular o desenvolvimento sustentável, permitindo que as intervenções humanas causem menos perdas no meio ambiente (Rodrigues e Filho, 2004).

Ainda que seu uso no território do Distrito Federal não seja regulamentado por lei, a cartografia geotécnica também é estabelecida como item obrigatório para o planejamento urbano, conforme dita o Art. 22º da Lei nº 12608/2012:

§ 2º Os Municípios incluídos no cadastro deverão:

(...)

V - elaborar carta geotécnica de aptidão à urbanização, estabelecendo diretrizes urbanísticas voltadas para a segurança dos novos parcelamentos do solo e para o aproveitamento de agregados para a construção civil. (Brasil, 2012)

Segundo Zuquette e Gandolfi (2004), no âmbito do planejamento urbano, o mapeamento geotécnico fornece as informações necessárias para avaliar as melhores formas de ocupação do território e apresenta os meios para que seja definida a viabilidade de cada local para as diferentes etapas e objetivos da gestão territorial e da expansão urbana. Tal conjunto de informações possibilita analisar a vulnerabilidade de uma área a fenômenos como inundações, deslizamento e carreamento de solos, movimentos de massa gravitacionais, entre outros.

3.3. SUSCETIBILIDADE À EROSÃO E APTIDÃO À URBANIZAÇÃO

A suscetibilidade à erosão pode ser definida como o potencial que fenômenos geodinâmicos externos possuem de provocar alterações no meio físico, sem considerar os seus efeitos aos seres humanos. A probabilidade de tais fenômenos é diretamente ligada à predisposição própria desse meio, da mesma forma que pode vir a ser influenciada pelo modo de uso e ocupação do solo (Sobreira e Souza, 2012).

Cerri e Amaral (1998) concordam, simplificando o conceito de suscetibilidade de uma área a certo evento geológico como a probabilidade de ocorrência deste evento. Segundo os autores, existe uma diferença entre suscetibilidade e risco: o risco deve obrigatoriamente considerar o componente de intensidade dos danos que podem ser causados por tal fenômeno geológico. Assim, é fundamental considerar, durante a análise de riscos, os prejuízos físicos, materiais e financeiros que a ocorrência de um evento pode causar a pessoas, instituições e outras organizações.

Segundo Sobreira e Souza (2012), a avaliação de suscetibilidade deve considerar os processos causados por agentes de maior magnitude, em áreas de maior abrangência, qualquer que seja a atual ocupação dessas áreas. Segundo os autores, essa análise visa obter resultados que representem uma visão mais geral da região e que permitam produzir cartas de caráter qualitativo. Portanto, conclui-se que tais cartas possibilitariam indicar as áreas menos aptas para a forma de uso e ocupação que se deseja empregar, além de suas restrições, proporcionando maior eficiência em casos de planejamento a nível macro.

Bastos (1999) denomina a erodibilidade, ou suscetibilidade à erosão, como um parâmetro complexo, de grande interferência na formação dos processos erosivos, uma vez que é influenciado por uma alta quantidade de fatores químicos, biológicos, físicos e mecânicos. A suscetibilidade à erosão é uma propriedade que pode ser interpretada como a

fragilidade do solo a ter suas partículas destacadas ou transportadas pela força de um desses fatores.

Segundo Infanti Jr e Fornasari Filho (1998), existem dois conjuntos de fatores predominantes na formação de processos erosivos: fatores antrópicos e fatores naturais. Os fatores antrópicos, como o desmatamento e o modo de uso e ocupação do solo, costumam dar início ao processo imediatamente ou após determinado período; já os fatores naturais, como os tipos de solo, as características do relevo, chuva, cobertura vegetal, entre outros, são os responsáveis por configurar a intensidade da erosão.

Segundo Salomão e Antunes, (1998), o levantamento dos tipos de solos é uma ferramenta importante no âmbito do planejamento urbano, uma vez que indicam a adequação de áreas para ocupação do meio físico de acordo com as propriedades das unidades pedológicas, que podem ser relacionadas às unidades geotécnicas.

Infanti Jr. e Fornasari Filho (1998) também ressaltam que as características do solo, como textura, estrutura e permeabilidade, são influências diretas na capacidade de infiltração de água da chuva nos solos. A coesão entre as partículas e a porosidade relacionadas a esses fatores, em conjunto com a espessura do solo, são aspectos que condicionam o acúmulo de água na superfície e conseqüentemente o escoamento que pode vir a causar um processo erosivo.

Infanti Jr. e Fornasari Filho (1998) expressam também a interferência da declividade e das formas de relevo na magnitude do processo erosivo. Vertentes com declividades mais acentuadas e comprimentos de rampa ou encosta mais extensos resultam em maior intensidade de erosão, ainda que terrenos de baixa declividade e rampas e vertentes compridas também possam vir a apresentar fortes processos erosivos, uma vez que sejam sobrecarregados por altas vazões de escoamento superficial.

A grave capacidade destrutiva das erosões urbanas é responsável por ameaçar e pôr em risco os habitantes de uma cidade e suas casas e equipamentos públicos, logo, é o condicionante de maior importância no planejamento da expansão urbana e da construção de obras de infraestrutura. Além disso, a erosão produz altas cargas de sedimentos, que podem causar o assoreamento dos córregos, rios e demais cursos d'água e reservatórios que se encontrem no perímetro urbano, dificultando assim o abastecimento de água da população (Iwasa e Fendrich, 1998).

A expansão das cidades e a conseqüente construção e implantação de equipamentos que estas exigem demandam a análise de aptidão das áreas propícias para a urbanização. A aptidão à urbanização, segundo Sobreira e Souza (2012), pode ser definida como a

capacidade de uma determinada região a suportar tais intervenções e procedimentos de ocupação e construção de infraestruturas, com o menor nível de impacto e maior segurança. Segundo os autores, é necessário mapear e caracterizar os fatores físicos que condicionam o comportamento do meio ambiente frente à pressão que já é aplicada ou a ser imposta pela sua modificação. O mapeamento deve levar em conta a abordagem integrada dos aspectos físicos, ambientais, jurídicos e socioeconômicos dessas áreas, e seus resultados têm de ser apresentados em escala de detalhe para os agentes públicos e privados aos quais interessam as potencialidades e restrições das áreas de expansão.

4. METODOLOGIA

A metodologia aplicada na presente pesquisa tem como base uma série de procedimentos propostos por Souza e Sobreira (2014) para elaboração de cartas geotécnicas em fluxo de detalhamento progressivo. A proposta dos autores visa, conforme a Figura 4.1, auxiliar a tomada de decisão em relação ao ordenamento territorial e planejamento urbano no que diz respeito a novas áreas de expansão, prevenção de riscos e resposta a emergências.



Figura 4.1 - Proposta de elaboração de cartas geotécnicas em detalhamento progressivo. (Souza e Sobreira, 2014)

O método do detalhamento progressivo, como mostra a Figura 4.1, envolve três fases sucessivas: Geral, em escalas que variam entre 1:50.000 e 1:25.000; Intermediária, com escalas entre 1:25.000 e 1:10.000; e Detalhe, com escalas maiores que 1:2.000. O presente trabalho leva em conta dois níveis do detalhamento progressivo: escalas 1:25.000 e 1:10.000, as escalas geral e intermediária, respectivamente.

O trabalho foi construído em três principais etapas gradualmente dispostas: inventário, tratamento e processamento de dados e operações cartográficas, conforme proposto por Silva Junior (2019), que realizou uma adaptação da Metodologia da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP), como visto na Figura 4.2. Porém, neste trabalho, como a finalidade é testar a metodologia para geração de cartas de suscetibilidade à erosão

e aptidão à urbanização, a sua aplicação é limitada à fase Intermediária, pertencente ao item “Zoneamento” da metodologia de Silva Junior (2019). Portanto, não foram analisados os fatores de prognóstico e ações, que visam estabelecer critérios de risco associados a ocupações em áreas de maior suscetibilidade e baixa aptidão à urbanização.



Figura 4.2 - Etapas e fases da metodologia (modificado de Silva Junior, 2019).

Para este trabalho, desejou-se aplicar a metodologia por meio do uso do *software* de geoprocessamento QGIS, uma vez que é possível sua utilização de forma gratuita, além de provar ser um programa de uso intuitivo, com *plugins* e operações diversas e abrangentes que produzem bons e confiáveis resultados.

O QGIS trabalha com dados matriciais (*raster*), dados vetoriais e malhas de dados. O programa permite a criação, gerenciamento e análise de dados, além da composição e exportação de mapas. O QGIS permite, também, a instalação de complementos e *plugins* baseados em linguagens de programação como C++ e Python, além de ser integrado às ferramentas dos outros *softwares* GIS GRASS e SAGA, contendo os seus algoritmos pré-instalados no programa.

A metodologia proposta e os resultados esperados em cada etapa são demonstrados pelo fluxograma representado pela Figura 4.3, que representa as quatro etapas que foram seguidas por este trabalho: 1. Construção da Base Cartográfica, 2. Processamento Digital de Imagens, 3. Processamento de Modelos Numéricos de Terreno e, por fim, 4. Operações Cartográficas.

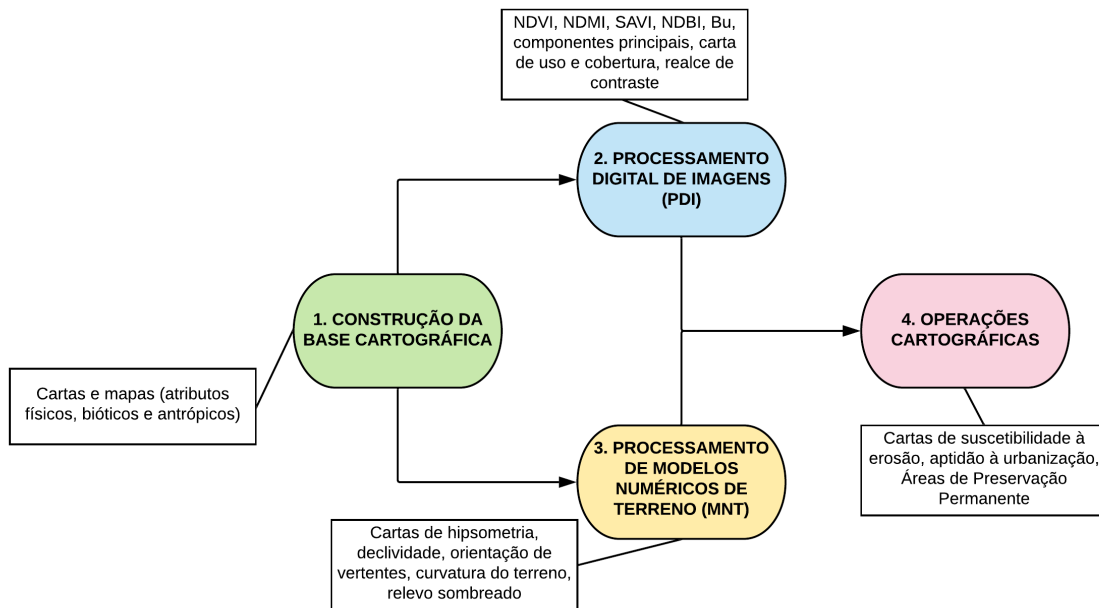


Figura 4.3 - Fluxograma da metodologia proposta (adaptado de Silva Junior, 2019)

4.1. ÁREA DE ESTUDO

Para a aplicação da metodologia proposta pelo presente estudo, foi escolhida uma área pertencente ao território do DF, situada em torno da DF-140, na região administrativa do Jardim Botânico e próxima ao Setor Habitacional Tororó, localizada conforme ilustrado pela Figura 4.4:

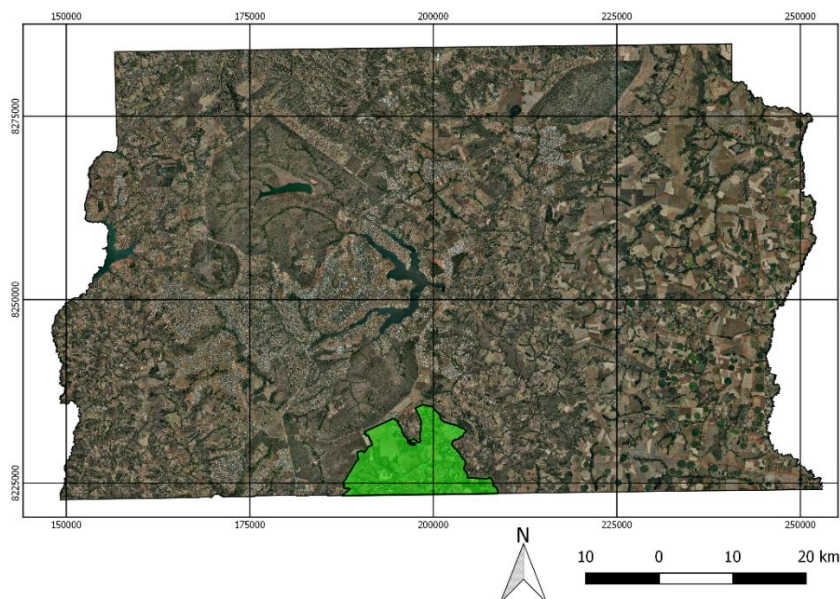


Figura 4.4 - Localização da área de estudo no território do DF (modificado de CODEPLAN, 2020)

A área de estudo é definida pelo PDOT como Zona Urbana de Expansão e Qualificação – ZUEQ – 14, sendo este um dos fatores que motivou a sua escolha. Segundo o PDOT, as ZUEQs são espaços que possuem vocação para a urbanização, seja por relacionarem-se diretamente com núcleos urbanos já estabelecidos, seja por se situarem ao longo de corredores de transporte ou eixos de conexão entre tais núcleos. Essas áreas caracterizam-se como zonas de estruturação e articulação do tecido urbano, e sua identificação visa antecipar a tendência de ocupação do espaço, aproveitando o solo de forma adequada. Além disso, nota-se um grande interesse imobiliário na área nos últimos anos, considerando o crescimento populacional e a implantação de novos condomínios residenciais no Setor Habitacional Tororó, o que certamente influenciará a pressão urbana sobre as áreas naturais da região.

4.2. MATERIAIS

Os materiais que foram utilizados no trabalho são constituídos por produtos cartográficos, modelos digitais de elevação, e dados ambientais e urbanísticos do DF, descritos detalhadamente no item seguinte: “4.3. Fase preliminar”.

Os programas computacionais e equipamentos utilizados foram:

- QGIS 3.10.12, com os *plugins* provenientes do GRASS GIS e SAGA pré-instalados de forma padrão;
- Microsoft Excel 2016;
- Bloco de Notas (nativo do Sistema operacional Windows); e
- Notebook Acer NITRO 5: Processador Intel Core i7-9750H; CPU @ 2.60GHz 2.59GHz; Memória RAM 16GB DDR4; placa de vídeo Placa GeForceGTX 4GB GDDR5, com Sistema Operacional Windows 10 Pro Versão 20H2 de 64 bits.

4.3. FASE PRELIMINAR

A fase de inventário baseou-se na construção de uma base cartográfica, que visou reunir cartas e mapas que caracterizassem os atributos físicos, bióticos e antrópicos da área de interesse. Esta fase envolveu principalmente a obtenção e produção de dados que seriam necessários para as etapas posteriores. O uso de fontes públicas e institucionais nessa fase se mostrou de grande auxílio, uma vez que representam fontes de informações gratuitas e de

qualidade, geradas por especialistas e colaboradores ligados ao governo e aos institutos de pesquisa. Entre os principais bancos de dados geográficos gratuitos, destacam-se:

- GeoPortal: plataforma interativa do DF que reúne dados espaciais de diversos tipos, operada pela Secretaria de Estado de Desenvolvimento Urbano e Habitação do DF - SEDUH (<https://geoportal.seduh.df.gov.br>);
- *EarthExplorer*: plataforma de pesquisa e aquisição de dados de sensoriamento remoto desenvolvida pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos - USGS (<http://earthexplorer.usgs.gov>);
- TOPODATA: o Banco de Dados Geomorfológicos do Brasil, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE (<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>);
- O portal de mapas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (<https://mapas.ibge.gov.br/>);
- GeoInfo: a infraestrutura de dados espaciais da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (<http://inde.geoinfo.cnpm.embrapa.br/>);
- O portal de Metadados da Agência Nacional de Águas - ANA (<https://metadados.ana.gov.br/>);
- GeoSGB: o sistema de geociências do Serviço Geológico do Brasil - CPRM (<http://geosgb.cprm.gov.br/>).
- *Sentinel Hub*: um serviço que permite o acesso a imagens de satélite provenientes de diversos provedores - Sentinel, Landsat, entre outros - operado pela empresa de tecnologia em SIG *Sinergise* (<https://www.sentinel-hub.com/>)

O GeoPortal é, atualmente, uma das ferramentas de maior importância no fornecimento de dados georreferenciados do DF. Por meio de uma plataforma interativa e de uso intuitivo, a interface proporciona a visualização e obtenção de informações gratuitas e confiáveis provenientes dos órgãos públicos, autarquias e empresas relacionadas ao Governo do DF. A criação do GeoPortal deu-se com o objetivo de visualizar as informações referentes à Infraestrutura de Dados Espaciais do DF (IDE/DF), que determina que todos os órgãos do DF forneçam seus dados no mesmo padrão. Como ferramenta de obtenção de dados, o GeoPortal permite o download de camadas em formato vetorial (*shapefile*) e matricial (*raster*).

4.3.1. Obtenção de dados

A construção da base de dados teve como princípio a obtenção de materiais e informações que foram utilizados não só para a concepção dos produtos finais que este trabalho visa gerar, mas também para o uso como parâmetro de análise e comparação de resultados.

Os dados obtidos para o desenvolvimento do projeto envolvem:

- Base cartográfica contínua do DF em formato vetorial (IBGE, 2016). Escala 1:100.000;
- Dados vetoriais do zoneamento urbanístico do PDOT-DF (SEDUH, 2020);
- Mapa de reconhecimento de solos do Distrito Federal (EMBRAPA, 1978). Escala 1:100.000;
- Modelo Digital de Elevação (MDE) SRTM (INPE, 2011). Escala 1:250.000;
- Imagens de sensoriamento remoto Sentinel-2 (ESA, 2020);
- Dados vetoriais de hidrografia do DF (SEDUH, 2020);
- Mapas do Zoneamento Econômico Ecológico do DF (Distrito Federal, 2017);

A montagem dessa base iniciou-se na criação de um novo projeto no QGIS, com o sistema de referência de coordenadas (SRC) SIRGAS 2000, Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) fuso 23S. A escolha desse sistema de coordenadas fundamenta-se no fato de ser um sistema que se baseia em coordenadas métricas, que facilitam a visualização e manuseio de escalas e grades de coordenadas na geração de cartas e no georreferenciamento de produtos.

A importação de dados para a interface do QGIS se dá por meio do menu superior “Camada/Adicionar camada” ou simplesmente pelo arraste dos arquivos para a seção “Camadas”, padrão da área de trabalho do programa. As camadas podem ser adicionadas, também, por meio de servidores de dados *online*. Uma vez que algumas camadas importadas nessa fase não possuíam o SRC desejado, foi necessário reprojeta-las por meio da ferramenta “Reprojetar camada”, parte dos geocalgoritmos padrão do QGIS, acessada através do menu “Processar/Caixa de ferramentas”.

Além disto, notou-se que alguns dados importados extrapolavam a abrangência da área de interesse, tornando o seu processamento mais lento e trabalhoso, em função da quantidade de informações e do poder de processamento do equipamento utilizado. Como forma de tornar o trabalho no software mais rápido, foi preciso limitar os dados importados

por meio do recorte geométrico dessas informações. Para camadas em forma vetorial, o recorte é feito por meio do menu superior “Vetor/Geoprocessamento/Recortar”, utilizando como camada de entrada aquela que se deseja recortar, e como camada de corte o polígono da área de estudo. Para camadas matriciais, o mesmo procedimento é feito pelo menu “*Raster/Extrair/Recortar raster...*”.

Outra função do QGIS que se mostrou necessária durante a aplicação da metodologia foi a possibilidade de instalação de complementos, ou *plugins*, que permitissem a realização de determinados cálculos. Os complementos são algoritmos criados pela comunidade (organizações e desenvolvedores independentes) e disponibilizados para download na interface do QGIS por meio do menu “Complementos/Gerenciar e instalar complementos...”.

4.3.2. Processamento de Modelos Digitais de Elevação (MDE)

Os modelos digitais de elevação (MDE) são, segundo Victoria *et.al.* (2014) modelos matemáticos de reprodução da superfície, através da representação de dados dispostos em coordenadas x, y e z, ou seja, com valor de localização e altitude. São gerados em formato matricial a partir de imagens estereoscópicas, perfilamento a laser, interpolação de cartas topográficas e levantamentos de elevação SRTM e AsterGDEM (*Shuttle Radar Topography Mission* e *Aster Global Digital Elevation Model*, respectivamente).

Os MDE são muito utilizados como forma de representar a topografia de um terreno, portanto neste trabalho seu uso foi voltado especialmente para esse fim, por meio da geração de produtos como carta de hipsometria, carta de declividade, carta de orientação de vertentes, carta de relevo sombreado e de curvatura de relevo.

4.3.2.1. Importação dos dados

O MDE é um *raster* de uma única banda em tons de cinza, com valores numéricos representando a elevação, que considera não apenas a altura do terreno, mas também as edificações, vegetação e outros elementos que possuem valor de altura. Por meio das propriedades da camada, é possível consultar os seus metadados, onde são representadas as estatísticas da matriz, como altitudes máxima, mínima e média e a sua resolução espacial (tamanho do *pixel*).

A importação dos dados de MDE do serviço TOPODATA foi realizada como descrito no item 4.2.1 desse trabalho. As quatro folhas de MDE que cobrem o território do DF como um todo foram identificadas como as de rótulos 15S48_ZN, 15S495ZN, 16S48_ZN e 16S495ZN.

Após a importação das camadas *raster*, foi necessário criar um mosaico que unisse as quatro camadas em uma. O mosaico foi criado por meio do menu *Raster/Miscelânea/Mesclar*. Após a criação, a camada mosaico foi reprojeta para o SRC desejado e recortada por meio de um plano de corte correspondente aos limites da área de estudo, conforme passos descritos no item 4.2.1.

4.3.2.2. Mapa hipsométrico

Um mapa hipsométrico visa representar a elevação de um terreno por meio de cores. Geralmente, são utilizadas rampas de cores onde tons mais frios, como verde, representam altitudes mais baixas e tons quentes como laranja e vermelho representam maiores altitudes.

O principal dado para a geração desse mapa no QGIS é o MDE. Após a importação e recorte do MDE para a área de interesse, os dados de elevação são carregados em um intervalo de valores conhecidos como Corte de Contagem Cumulativa. Porém, para representar a elevação de maneira correta, esses valores devem ser representados em um Intervalo Mínimo/Máximo, ou seja, os valores mínimos e máximos de altitude representados pelos *pixels* do MDE. Para isso, deve-se acessar as propriedades da camada e no menu lateral “Simbologia”, alterar a opção de renderização da banda para o carregamento de valores “Min/Max”, com precisão real. Neste caso, notou-se que os valores de elevação do MDE da área de estudo variam entre 841.53 m e 1212.05 m.

O MDE é representado de forma contínua. Para gerar um mapa hipsométrico, essa representação deve ser feita de forma discreta, ou seja, traduzir as informações de forma que as fronteiras entre os dados sejam bem definidas. Isso é feito por meio da reclassificação do MDE, método que visa converter a representação de forma contínua para uma representação discreta por meio do agrupamento dos valores de elevação em classes.

A reclassificação no QGIS é feita por meio de um algoritmo GRASS chamado “r.recode”, acessado a partir do menu superior “Processar/Caixa de ferramentas”. O algoritmo visa reclassificar o *raster* de acordo com um conjunto de regras pré-estabelecidas pelo usuário.

Neste trabalho, o conjunto de regras foi determinado por intervalos em forma de texto, escrito por meio do aplicativo “Bloco de Notas” do Windows e salvo em formato .txt. O número de intervalos – ou classes – adequado depende dos valores mínimos e máximos do MDE a ser trabalhado. Neste caso, foi definido um intervalo de 50 metros entre as classes de elevação, para melhor visualização e representação dos dados de forma discreta.

Após a execução do algoritmo, a camada de saída é um *raster* de banda simples, e assim como o MDE, deve ser renderizado em valores de mínimo e máximo para sua melhor representação. Para associar as classes à rampa de cores, foi preciso alterar o tipo de renderização para banda simples falsa-cor e classificar a camada em intervalos iguais de cores, seguindo o número de classes estabelecido previamente, conforme Figura 4.5:

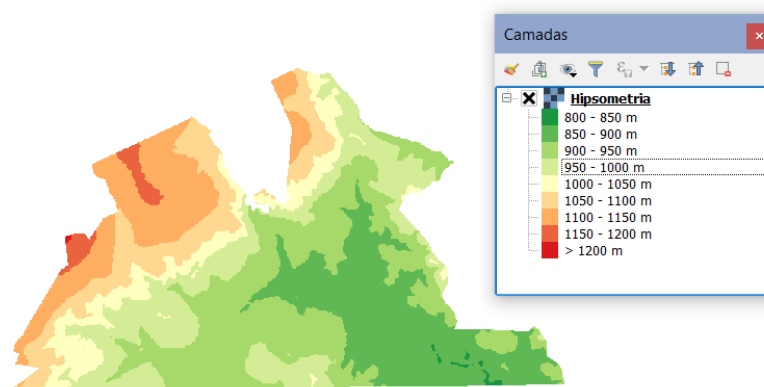


Figura 4.5 - Hipsometria: classes

4.3.2.3. Perfil topográfico

Um perfil topográfico é uma forma de representar as variações de altitude em um corte vertical, ou transecto, em coordenadas cartesianas.

A representação do perfil topográfico também depende do MDE. Neste trabalho, o cálculo do perfil topográfico foi feito por meio da instalação do complemento “*Profile tool*”, de autoria de Borys Jurgiel, Patrice Verchere, Etienne Tourigny e Javier Becerra. Com o auxílio desta ferramenta, é possível selecionar como dado de entrada a camada do MDE e gerar o perfil topográfico a partir das coordenadas de uma linha definida pelo usuário, que representa o transecto do perfil. O perfil topográfico resultante é apresentado pela ferramenta nos formatos de gráfico e tabela, com os dados de elevação e distância entre os pontos na forma de coordenadas cartesianas y e x, respectivamente.

Neste trabalho, os perfis topográficos foram construídos a partir de uma linha que corta a área de estudo no sentido noroeste-sudeste, conforme Figura 4.6. A tabela resultante

foi exportada para o software Excel para a produção de um gráfico que representa o perfil topográfico do corte.

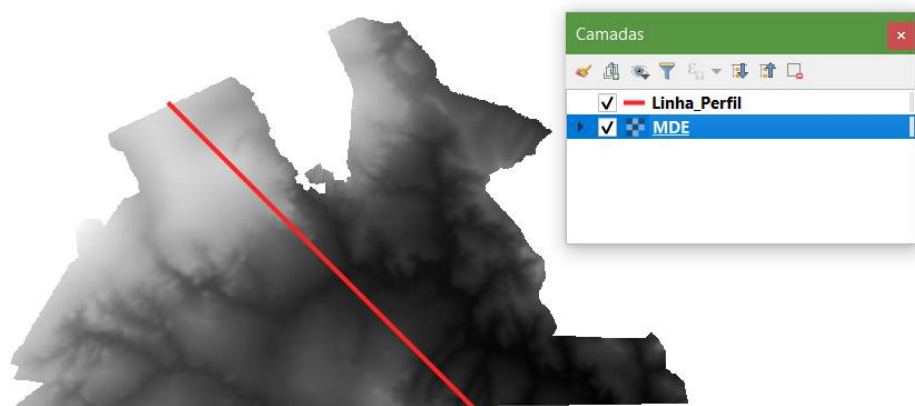


Figura 4.6 - Representação da linha escolhida para o perfil topográfico

4.3.2.4. Mapa de declividades

Um mapa de declividades visa a representação das declividades do terreno, ou seja: a relação entre diferença de altitude entre dois pontos e a distância horizontal entre eles, também chamada de tangente da inclinação da superfície do terreno.

O cálculo das declividades pode ser gerado a partir do menu superior *Raster/Análise/Declividade*. Por padrão, a ferramenta calcula as declividades em graus, mas possibilita que o resultado seja também por porcentagem. Para visualização e melhor compreensão do mapa de declividades, é comum dividir as declividades resultantes em classes, em um método de fatiamento que é feito por meio de um algoritmo chamado “r.reclass”, que demanda um conjunto de regras estabelecidas pelo usuário para o fatiamento das classes de declividade.

Neste trabalho, visando facilitar a visualização dos ângulos de inclinação da superfície do terreno, a classificação dos diferentes níveis de declividade seguiu as classes temáticas em graus sugeridas por Souza e Sobreira (2014), descritas na Tabela 4.1:

Tabela 4.1 - Classes de declividade (adaptado de Souza e Sobreira, 2014)

Classe	Características	Intervalo percentual
Muito baixa	Englobam terraços fluviais e planícies de inundação, além de topos de morro aplainados	0° a 5°
Baixa	Área onde a inclinação das encostas não significa grande empecilho à ocupação	5° a 15°
Média	Uso e ocupação condicionados por estudos geológico-geotécnicos	15° a 25°
Alta	Áreas muito inclinadas, sem vocação para a ocupação urbana	25° a 45°
Muito alta	Áreas altamente inclinadas, inviáveis para outros usos que não a preservação	superiores a 45°

As regras para a classificação foram escritas por meio do Bloco de Notas e carregadas na ferramenta. Após o processamento, foi atribuído um gradiente de cores aos valores de declividade, conforme a Figura 4.7:

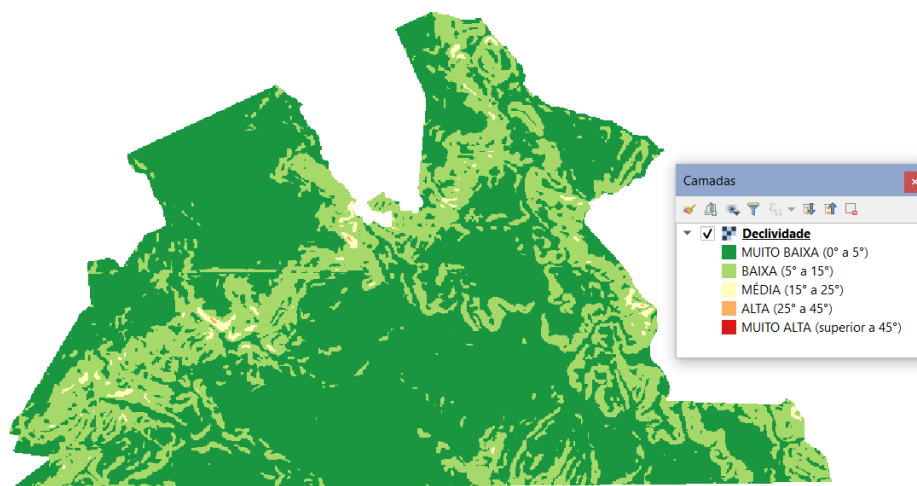


Figura 4.7 - Declividade: classes

4.3.2.5. Mapa de orientação de vertentes

No QGIS, o mapa de orientação de vertentes pode ser gerado através do menu superior *Raster/Análise/Aspecto*. O *raster* de saída apresenta a orientação das vertentes em graus, conforme os quatro pontos cardeais e seus intermediários (Figura 4.8).

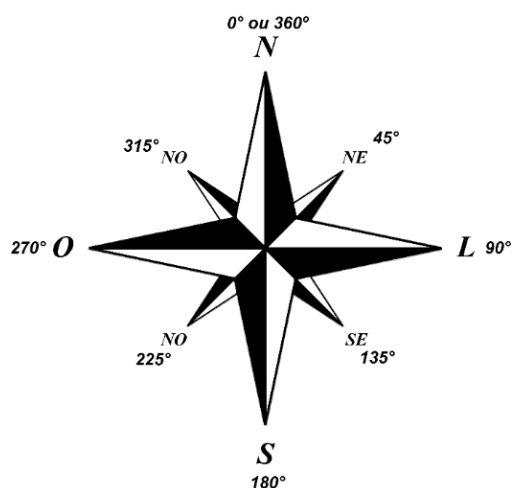


Figura 4.8 - Rosa dos ventos com indicação dos ângulos

A Carta de Orientação de Vertentes é um produto interessante uma vez que, além de identificar os pontos de encontro de escorregamentos de materiais e escoamento de chuvas, esta possui relação direta com a insolação no local, e permite análises mais detalhadas em outros usos, por exemplo a seleção de áreas para plantio.

4.3.2.6. Mapa de sombreamento de relevo

O QGIS gera o mapa de sombreamento do relevo de forma bem simples. Para gerar o mapa no programa, basta acessar o menu superior “*Raster/Análise/Sombreamento*”.

4.3.3. Processamento Digital de Imagens (PDI)

Segundo Davis e Câmara (2001), o processamento digital de imagens (PDI) é uma das funções de manipulação e análise de dados geográficos, que é responsável pelo tratamento de imagens de satélite e scanners. De acordo com Crósta (1992) o PDI visa principalmente proporcionar métodos que facilitem a identificação e extração de informações contidas nessas imagens.

Um conceito importante para o processamento de imagens é o histograma: segundo Crósta (1992), um histograma é a representação gráfica da distribuição de intensidade de tons de cinza de uma imagem.

4.3.3.1. Importação dos dados

A importação das imagens de sensoriamento remoto foi feita conforme explicado no item 4.2.1 desse trabalho, assim como o recorte dos dados em larga escala de acordo com a poligonal de área de estudo do projeto. As imagens de sensoriamento remoto são *rasters* que podem conter uma banda espectral (em tons de cinza) ou múltiplas bandas, como é o caso de imagens coloridas.

Para este trabalho, foi feito o download de imagens da missão Sentinel-2 pertencente ao Programa Copernicus de observação da Terra, da Agência Espacial Europeia - ESA. Essa fonte de imagens foi escolhida pois pode ser obtida de forma gratuita em diversas plataformas, além de possuir imagens de boa resolução: a plataforma *Sentinel Hub*, mencionada no item 4.3 deste trabalho, possibilita o download das imagens de resolução espacial de 10, 20 e 60 metros. O *Sentinel Hub* também permite o download dos dados de nível 2A da missão, que são dados que possuem correção atmosférica, ou seja: a luz que é refletida pela superfície da Terra e atinge o sensor é excluída, gerando assim dados de alta qualidade.

A cena Sentinel-2 que cobre a área de estudo foi identificada como a de número 22LHH. Durante a pesquisa, buscou-se imagens recentes, com o menor grau possível de cobertura de nuvens para facilitar o processamento dos dados. Assim, foi realizado o download das imagens obtidas em 06 de outubro de 2020, que possuem 0.0% de cobertura de nuvens.

4.3.3.2. Composição RGB

O Sentinel-2 tem 13 bandas espectrais, que vão do visível e do infravermelho próximo, até infravermelho de ondas curtas. Porém, as 13 bandas não são encontradas em todas as resoluções espaciais que a missão é capaz de obter. São 4 bandas de resolução 10m, 6 bandas de 20m e 3 bandas de 60m – estas últimas, voltadas principalmente para a correção atmosférica e detecção de nuvens. A distribuição de bandas por resolução segue a Tabela 4.2:

Tabela 4.2 - Distribuição de bandas do Sentinel-2 (adaptado de ESA, 2020)

Resolução (m)	Nº da banda	Comprimento de onda central (nm)	Nome da banda
10	2	490	Azul
	3	560	Verde
	4	665	Vermelho
	8	842	Infravermelho próximo
20	5	705	<i>Red Edge 1</i>
	6	740	<i>Red Edge 2</i>
	7	783	<i>Red Edge 3</i>
	8a	865	<i>Red Edge 4</i>
	11	1610	Infravermelho de onda curta 1
	12	2190	Infravermelho de onda curta 2
60	1	443	Aerossol
	9	940	Vapor de água
	10	1375	<i>Cirrus</i>

Para facilitar a visualização e posterior processamento dos dados presentes em cada banda do Sentinel-2, é necessário realizar um processo de combinação desses *rasters*, também chamado de composição. Uma vez que a maioria dos monitores e demais dispositivos eletrônicos reproduz imagens no sistema de cores RGB (*Red*, *Green* e *Blue* – Vermelho, Verde e Azul, respectivamente), as composições coloridas seguem o seu princípio.

As principais composições coloridas são as que produzem resultados em Cor Verdadeira e Falsa-cor. No caso do Sentinel-2, a composição RGB de Cor Verdadeira é aquela que une as bandas de números 4, 3 e 2, respectivamente. No QGIS, o processo de composição é feito por meio do menu *Raster/Miscelânea/Mesclar*, já mencionado no item 4.3.2.1 deste trabalho. A ferramenta visa unir as bandas selecionadas em um único *raster*. Como nesta etapa o objetivo é combinar as bandas, e não a sua fusão, é necessário marcar a opção que comanda a ferramenta a dispor cada arquivo em uma banda separada do *raster* resultante, produzindo assim um *raster* multibanda.

4.3.3.3. Manipulação de contraste

A manipulação de contraste, segundo Crósta (1992), possui a função de tornar as informações contidas em uma imagem mais visíveis e claras ao olho humano, por meio da modificação dos níveis de intensidade no histograma dos dados visuais. Quanto mais espalhados os dados do histograma no eixo horizontal, maior o contraste da imagem; histogramas com intervalos de dados mais estreitos nesse eixo representam imagens com menor contraste, como visto na Figura 4.9:

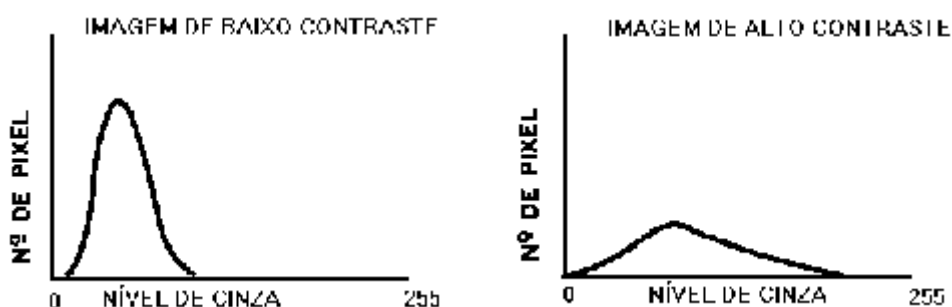


Figura 4.9 - Diferença no espalhamento do histograma com contraste (INPE, 2006)

No QGIS, a manipulação de contraste das imagens foi realizada por meio das propriedades das camadas. No menu “Simbologia” é possível melhorar o contraste alterando o campo correspondente para estender a visualização entre os valores mínimos e máximos de *pixel*. Na janela de propriedades também é possível acessar o menu “Histograma” e manipular o contraste das bandas individualmente.

4.3.3.4. Operações aritméticas

As operações entre os *raster* foram feitas por meio da ferramenta Calculadora de *Raster*, acessada por meio do menu “*Raster/Calculadora Raster*”. O QGIS permite, em especial, calcular por meio do algoritmo GRASS “i.vi” os índices NDVI e SAVI por meio da seleção das bandas *raster* de entrada.

- NDVI: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

O NDVI é calculado por meio das refletâncias das bandas de infravermelho próximo (NIR: *Nearest InfraRed*) e do vermelho (RED), conforme Equação 4.1:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (4.1)$$

No QGIS, o NDVI foi calculado por meio da Calculadora *Raster* substituindo os valores NIR e RED da equação 4.1 pelas bandas nº 8 e 4: Infravermelho próximo e Vermelho, respectivamente.

- NDMI: Índice de Umidade por Diferença Normalizada

O NDWI, de forma semelhante ao NDVI, é calculado por meio das refletâncias das bandas de infravermelho próximo (NIR: *Nearest InfraRed*), porém em adição à banda do verde (GRN) (Meneses e Almeida, 2012), conforme Equação 4.2:

$$NDWI = \frac{GRN - NIR}{GRN + NIR} \quad (4.2)$$

Para o cálculo do NDWI foram substituídos, na Calculadora *Raster*, o valor GRN da equação 4.2 pela banda nº 3 (Verde).

- SAVI: Índice de Vegetação Ajustado ao Solo

O SAVI é uma transformação do cálculo do NDVI, considerando uma constante de ajuste L determinada de forma empírica, visando a minimização da instabilidade de índices como o NDVI em função das variabilidades de tipos de solo, conforme Equação 4.3. O QGIS considera L = 0.5 como forma de acomodar a maioria dos tipos de cobertura de solo.

$$SAVI = \frac{(1 + L) \times (NIR - RED)}{NIR + RED + L} \quad (4.3)$$

- NDBI: Índice de Diferença Normalizada para Áreas Construídas

O NDBI é calculado conforme a Equação 4.4 (Zha *et. al.*, 2003):

$$NDBI = \frac{SWIR - NIR}{SWIR + NIR} \quad (4.4)$$

Onde SWIR representa a refletância da banda de infravermelho de onda curta. No QGIS, o NDBI foi calculado por meio da Calculadora *Raster*, substituindo o valor de SWIR pela banda nº 11.

4.3.3.5. Componentes principais

A técnica de componentes principais visa diminuir a redundância de análise, tendo em vista as correlações entre bandas individuais de uma imagem, ou seja, informações correlacionadas de forma visual e numérica, presentes em mais de uma banda. A transformação cria novas imagens, determinando a extensão da correlação entre as bandas e removendo-as (Santos, 2010 e Crósta, 1992). Segundo Meneses e Almeida (2012), a técnica visa reduzir o conjunto de dados e manter a informação existente, minimizando assim o custo de análise de variáveis em grande número.

No QGIS, a análise de componentes principais foi feita por meio da instalação do complemento “*Semi-Automatic Classification Plugin*”, também chamado de SCP, de autoria de Luca Congedo, selecionando como entrada a composição RGB de Cor Verdadeira (RGB 4-3-2).

4.3.3.6. Segmentação de imagens

O processo de segmentação de imagens consiste no agrupamento de *pixels* por meio das semelhanças entre suas características, decompondo a imagem em áreas discretas (polígonos), de forma manual ou automática. O processo é constituído pela detecção de regiões homogêneas, por meio da consideração da vizinhança em que um *pixel* se insere, e não apenas o seu valor espectral individual. A segmentação é uma etapa que prepara a imagem para uma classificação posterior. O limiar de similaridade e o tamanho mínimo dos polígonos são definidos pelo usuário (Meneses e Almeida, 2012).

No QGIS, a segmentação de imagens foi feita por meio da ativação do complemento “Orfeo ToolBox”, também chamado de OTB, desenvolvido pela Agência Espacial Francesa (CNES), e já vem instalado de forma nativa em versões mais recentes do QGIS.

O OTB é uma biblioteca de ferramentas de processamento de imagens de sensoriamento remoto, e é possível realizar a segmentação por meio do algoritmo “*Segmentation*”. Neste trabalho, foi utilizado o método da média móvel (*meanshift*) para a segmentação da composição RGB 432. O processo gerou uma camada vetorial (*shapefile*), em que os *pixels* semelhantes são agrupados em feições, em formato de polígonos.

4.3.3.7. Classificação

Segundo Crósta (1992), a classificação de imagens visa associar cada *pixel* da imagem a uma classe que represente um aspecto real da superfície, como solo, vegetação, edificação, entre outros. O processo pode ser realizado observando as características individuais do *pixel* – classificação *pixel a pixel* - ou pelas características da sua vizinhança – classificação por região. A técnica permite a classificação de forma supervisionada ou não supervisionada.

A classificação supervisionada exige a identificação das classes de alguns *pixels* pelo usuário, em seguida o computador localiza os demais *pixels* pertencentes à essas classes, com base em regras estatísticas pré-estabelecidas. A classificação não supervisionada também é feita de forma estatística, mas neste caso o computador decide quais serão as classes presentes e atribui a elas os *pixels* correspondentes.

Neste trabalho, optou-se pelo método de classificação supervisionada. Com o auxílio dos polígonos resultantes da etapa de segmentação, foi criado um *shapefile* de treinamento, para auxiliar a ferramenta de classificação a identificar as classes. Foram utilizadas classes correspondentes ao mapa de uso e cobertura do solo de 2019 disponibilizado pela SEDUH por meio do GeoPortal, para objetivos de futuras comparações:

- Agricultura;
- Água;
- Área Construída;
- Formação Florestal;
- Formações Não-Florestais; e
- Solo Exposto.

Na criação do *shapefile* de amostras para treinamento da ferramenta, foram transferidos do resultado da segmentação em torno de 3 ou 4 polígonos correspondentes para cada classe na imagem.

Para computar as estatísticas da imagem foi utilizado o algoritmo do OTB “*ComputeImageStatistics*”, que gera um arquivo texto em formato .xml com os resultados. Após essa etapa, foi possível aplicar a ferramenta de treinamento para o classificador de imagens por meio do algoritmo do OTB “*TrainImagesClassifier*”, onde são necessários como dados de entrada a imagem que se deseja classificar, o arquivo vetorial com as amostras, e o arquivo contendo as estatísticas de imagens. Finalmente, para realizar a classificação de fato, foi acessado o algoritmo OTB “*ImageClassifier*”, selecionando como dado de entrada o modelo gerado pela ferramenta imediatamente anterior e o arquivo de estatísticas.

4.3.4. Operações cartográficas

Além do PDI e do processamento do MDE, será realizada a delimitação das APPs dos cursos d’água e nascentes presentes na área de estudo. As APPs devem ter no mínimo 30 metros de largura para cursos d’água, lagos e lagoas em áreas urbanas e no mínimo 50 metros para o entorno de nascentes e olhos d’água perenes, segundo o Código Florestal (Brasil, 2012).

Para esta etapa, foi utilizada a camada vetorial de Hidrografia Geral do DF, obtida a partir do Geoportal e recortada para a área de interesse. Não foram encontradas nascentes na área de estudo segundo as informações do Geoportal. A delimitação das APPs foi feita por meio da ferramenta *Buffer* do QGIS, acessada a partir do menu superior “Vetor/Geoprocessamento/Buffer de distância fixa”. A ferramenta *Buffer* gera um polígono radial de largura fixa ao redor de uma camada vetorial selecionada, neste caso, um *buffer* de 30m em torno das camadas de hidrografia de rios e córregos, lagos e represas.

4.3.5. Elaboração de cartas

A elaboração de cartas no QGIS foi feita por meio da ferramenta “Compositor de Impressão”. No compositor, é possível montar uma carta adicionando um novo mapa, que representa a visão simultânea da área de visualização do programa e das camadas carregadas.

Além do mapa com as camadas que se deseja representar, foram inseridas no compositor as informações básicas de uma carta padrão, como:

- Título da carta;
- Escala;
- Norte;
- Grade de coordenadas;
- Legenda;
- Convenções cartográficas;
- Informações técnicas.

4.4. FASE I - CARTA DE SUSCETIBILIDADE À EROSÃO

A fase I do trabalho visou gerar uma carta que representasse a suscetibilidade à erosão da área de estudo. A carta foi gerada a partir do cruzamento de dados de declividade e de pedologia, produzidos e compilados pela fase de inventário. Este processo foi realizado por meio da álgebra de mapas e de operações booleanas.

No QGIS, a álgebra de mapas para o cruzamento das informações dos dados de declividade e pedologia foi feita por meio da ferramenta “Calculadora de campo”, acessada por meio da tabela de atributos de um *shapefile*. Após a importação dos dados de solos e declividade de área de estudo, foi necessário converter em vetor (vetorizar) os dados de declividade, uma vez que esta é, originalmente, uma fonte de dados matriciais. Este processo foi feito por meio do menu “*Raster/Converter/Converter raster para vetor (vetorizar)...*”.

Então, as duas camadas vetoriais foram unidas, preservando suas feições e atributos originais, por meio do menu “*Vetor/Geoprocessamento/União*”. Na camada resultante deste processo, foi criado um novo campo numérico, para armazenar os resultados da “Calculadora de campo”. Para realizar o cruzamento dos dados, foi elaborada uma expressão na “Calculadora de campo” por meio dos operadores *AND*, *OR* e = (E, OU e igual) e de estruturas condicionais como o *if* (SE).

O objetivo foi criar classes de suscetibilidade à erosão: muito alta, alta, média, baixa e muito baixa suscetibilidade, com base nos critérios propostos por Silva Junior (2019), descritos na Tabela 4.3:

Tabela 4.3 - Critérios utilizados na elaboração da Carta de Suscetibilidade à Erosão
(adaptado de Silva Junior, 2019)

Declividade	Tipo de Solo		
	Latossolos	Neossolos quartzarênicos, Nitossolos e Gleissolos	Cambissolos
Menor que 5°	Muito baixa	Baixa	Média
Entre 5° e 15°	Baixa	Média	Alta
Maior que 15°	Média	Alta	Muito Alta

Os critérios de suscetibilidade à erosão dos tipos de solo usados neste trabalho são provenientes da Matriz Ecológica do Zoneamento Ecológico-Econômico do DF (Distrito Federal, 2017), conforme a Tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Critérios de suscetibilidade à erosão dos tipos de solo (Distrito Federal, 2017)

Classe de solo	Erodibilidade K (t h MJ-1 mm-1)	Nível de sensibilidade
Latossolos	< 0,0015	Muito baixa
Argissolos e Espodossolos	0,0015 a 0,0025	Baixa
Neossolos quartzarênicos, Nitossolos e Gleissolos	0,0025 a 0,0035	Média
Neossolosflúvicos e Plintossolos	0,0035 a 0,0045	Alta
Cambissolos	> 0,0045	Muito alta

A Carta de Suscetibilidade à Erosão será empregada para comparação com os resultados das próximas fases da metodologia. O produto também será fonte de operações em tabulação cruzada, que têm como objetivo fazer observações quanto aos aspectos dos processos erosivos que podem vir a ocorrer na área de estudo. Serão utilizados, para esta análise, os resultados da fase preliminar do trabalho, como por exemplo os mapas de orientação de vertentes e curvatura de terreno.

4.5. FASE II - CARTA DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO

A fase II do trabalho teve como objetivo a elaboração de cartas de aptidão à urbanização com base nos resultados de suscetibilidade à erosão e de delimitação das APPs,

uma vez que estas caracterizam áreas não edificantes. Esta fase do trabalho visou obter produtos que pudessem servir de auxílio aos planejadores e gestores do espaço urbano. O cruzamento das informações de suscetibilidade à erosão e áreas de APP também foi realizado por meio da álgebra de mapas e de operações booleanas, assim como feito na fase I, seguindo os critérios de Silva Junior (2019), descritos na Tabela 4.5:

Tabela 4.5 - Critérios utilizados na elaboração da Carta de Aptidão à Urbanização (adaptado de Silva Junior, 2019)

Declividade		Tipo de Solo		
		Latossolos	Neossolos quartzarênicos, Nitossolos e Gleissolos	Cambissolos
Sem interferência em APP	Menor que 5°	Muito Alta	Alta	Média
	Entre 5° e 15°	Alta	Média	Baixa
	Maior que 15°	Média	Baixa	Muito baixa
Com interferência em APP	Menor que 5°	NULA	NULA	NULA
	Entre 5° e 15°	NULA	NULA	NULA
	Maior que 15°	NULA	NULA	NULA

5. RESULTADOS E ANÁLISES

5.1. FASE PRELIMINAR

5.1.1. Carta de Localização

A Figura 5.1 apresenta a Carta de Localização da área de estudo em relação ao território do Distrito Federal, tendo como base a cartografia geral do DF (IBGE, 2016). Contornada pela cor vermelha, a área é definida pelo PDOT-DF como Zona Urbana de Expansão e Qualificação – ZUEQ e localiza-se próxima ao Setor Habitacional Tororó.

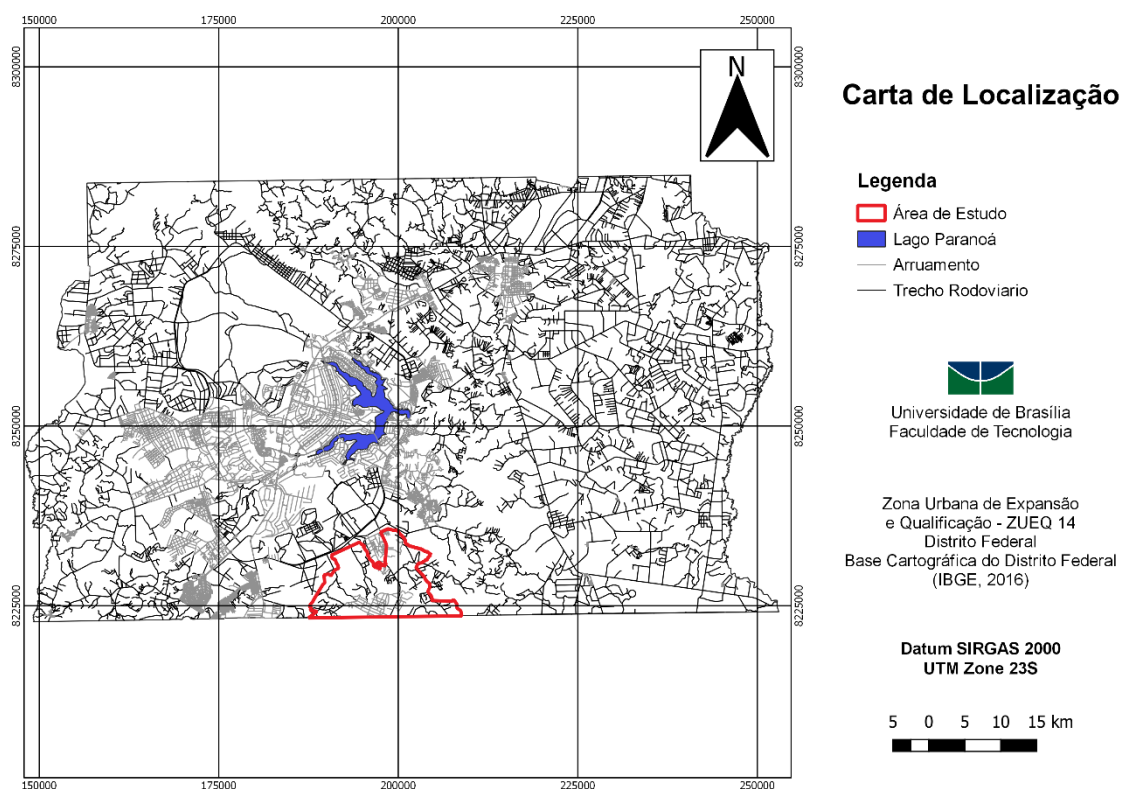


Figura 5.1 - Carta de Localização

5.1.2. Carta de Pedologia

Foi realizada uma adaptação do Mapa de Reconhecimento de Solos do Distrito Federal (EMBRAPA, 1978) de acordo com as novas classificações do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2018). Como visto pela Figura 5.2, os solos

predominantes na região de estudo são compostos por Cambissolos e Latossolos. Segundo a matriz ecológica do ZEE-DF (Distrito Federal, 2017), os Cambissolos possuem parâmetros de erodibilidade muito altos, e a depender da declividade, podem apresentar riscos significativos de perda por erosão. O fenômeno inverso é apresentado pelos Latossolos, onde os valores de erodibilidade são menores, representando também uma menor sensibilidade à erosão.

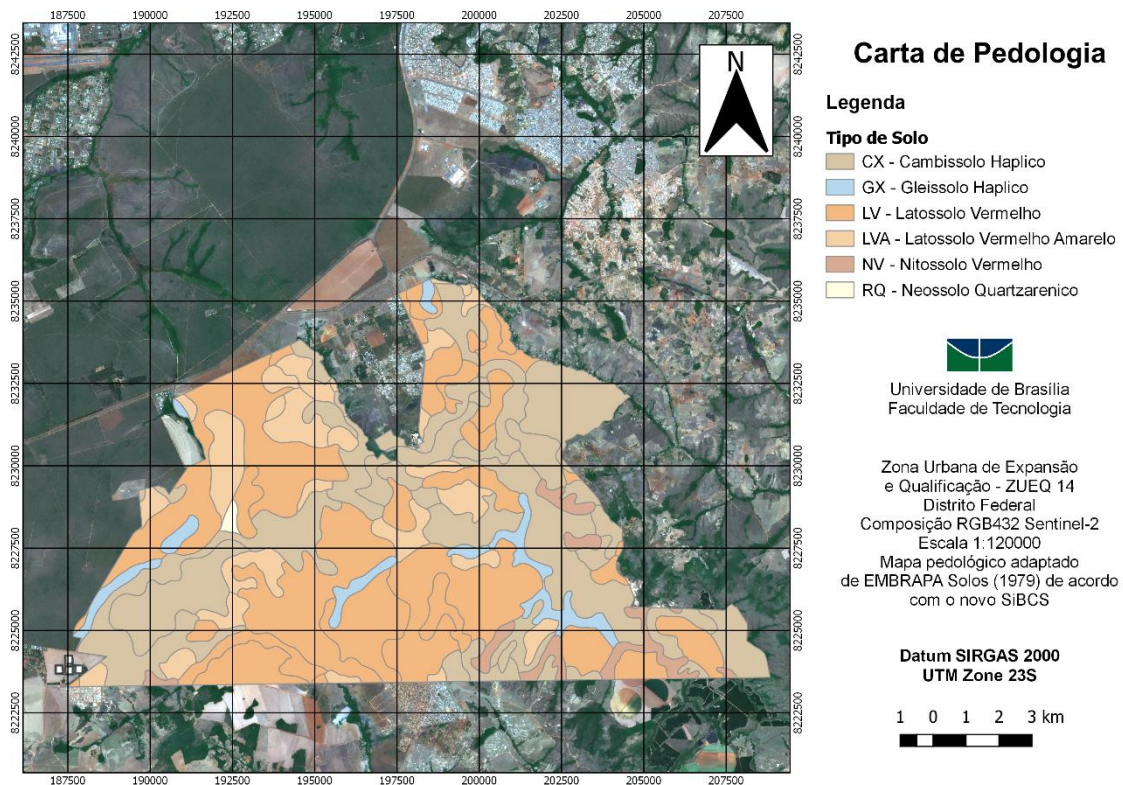


Figura 5.2 - Carta de Pedologia

5.1.3. Processamento de Modelos Digitais de Elevação (MDE)

A etapa de processamento de MDE teve como objetivo gerar produtos que permitissem a visualização das características topográficas da área de estudo. Os dados de elevação utilizados (MDE SRTM, de fonte INPE, 2011) permitiram a análise dos atributos do relevo como forma de identificar parâmetros que pudessem contribuir para a suscetibilidade à erosão dos diferentes espaços pertencentes à área de estudo.

5.1.3.1. Carta de Hipsometria

O mapa que representa os dados de elevação (hipsometria) é um dos resultados mais básicos que se pode adquirir quando se deseja avaliar as formas do relevo de uma região. É um processo que representa de forma simples os dados de elevação contidos em um produto mais complexo, como um MDE.

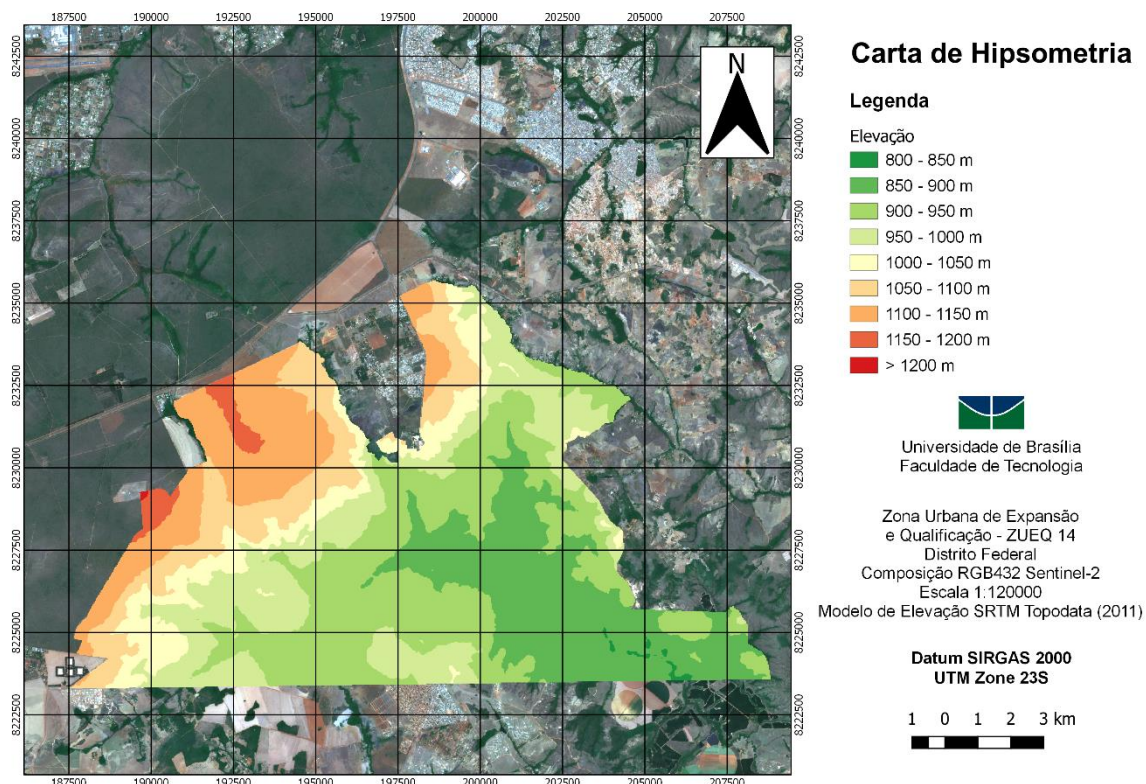


Figura 5.3 - Carta de Hipsometria

A Figura 5.3 apresenta a Carta de Hipsometria da área de estudo, com cotas que variam a partir de 800 metros até superiores a 1200 metros, divididas em intervalos de 50 metros entre cada classe. O resultado comprova que grande parte da área se localiza em áreas de altitude menores que 1000 metros, que se aproxima bastante das altitudes médias registradas no Distrito Federal.

Pela Carta de Hipsometria é possível observar, também, que há uma região estreita entre as classes de 950 m a 1050 m. A forma dessa região denota que há uma diferença de cotas em um espaço horizontal menor, o que certamente caracteriza uma maior declividade no terreno, fato que foi aferido nos próximos resultados do Processamento de MDE. Essa

declividade também pode ser observada ao se analisar o formato da curva de perfil topográfico (Figura 5.4), que apresenta uma queda relativamente brusca nos valores de altitude correspondentes aos mencionados. A curva de perfil topográfico foi gerada a partir dos valores de elevação correspondentes a um transecto que corta a área de estudo no sentido Noroeste-Sudeste, conforme visto na seção de Metodologia, Figura 4.6.

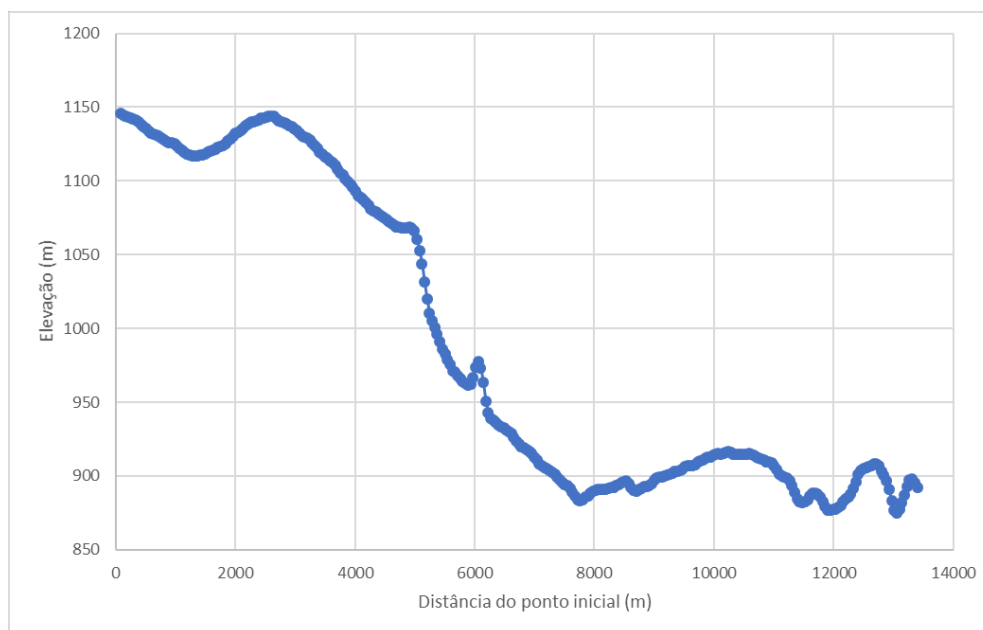


Figura 5.4 - Perfil topográfico

5.1.3.2. Carta de Declividades

A diferença de cotas por distância horizontal, parâmetro traduzido pela declividade, é um conceito dos mais importantes quando se deseja analisar a suscetibilidade à erosão de uma região, como é o objetivo deste trabalho. Por meio do cálculo da angulação em graus ou porcentagem, é possível inferir se uma área é mais ou menos declivosa.

A Figura 5.5 apresenta a Carta de Declividades calculadas para a poligonal de estudo. É possível notar que a área apresenta em sua maior parte regiões com baixa ou muito baixa declividade, o que permite construir uma base favorável para o planejamento em relação à ocupação urbana nestes locais.

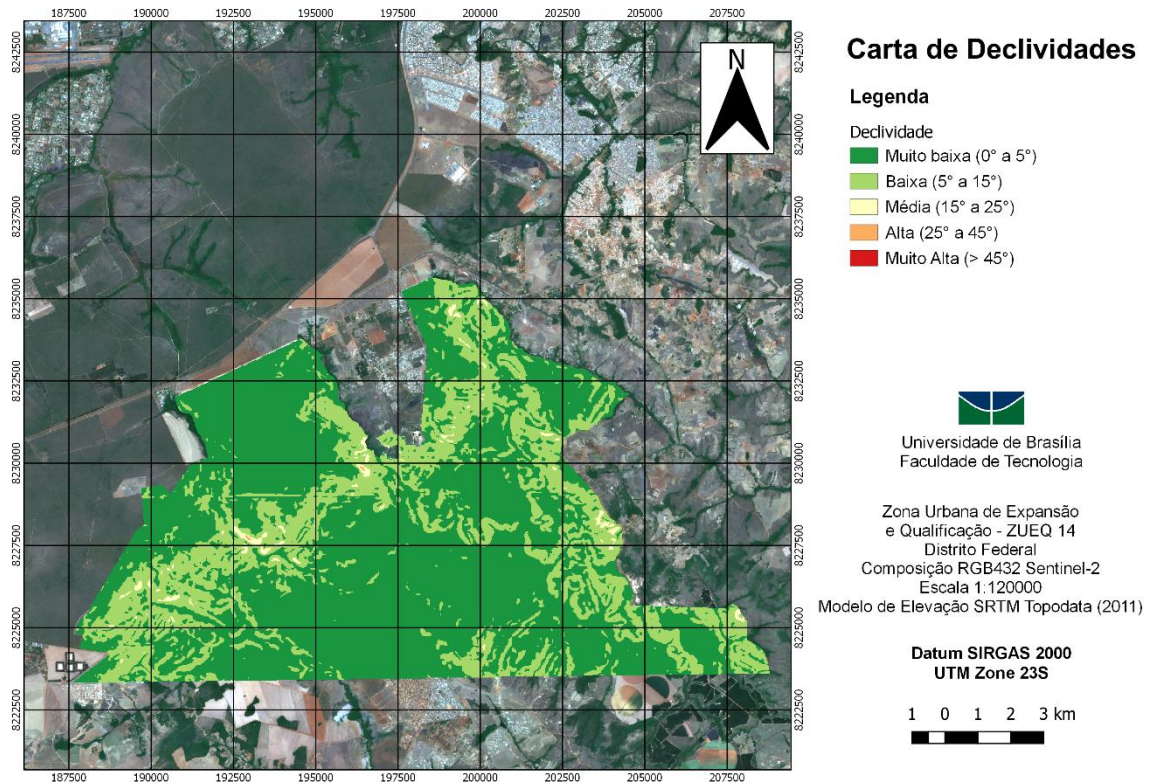


Figura 5.5 - Carta de Declividades

5.1.3.3. Carta de Orientação de Vertentes

Um mapa de orientação de vertentes é um produto muito importante na identificação do sentido do caimento de cada vertente desde o topo até a parte mais baixa da inclinação, ou seja, denota em graus a orientação de qualquer fenômeno de movimento de massa ou escoamento que se inicia na vertente.

A Figura 5.6 apresenta a Carta de Orientação de Vertentes para a área em estudo. Nota-se que o relevo da região é orientado de maneira concordante com a presença de corpos d'água, uma vez que estes são formados naturalmente nos locais que acumulam a água que escoam dos pontos mais altos, onde as vertentes se encontram.

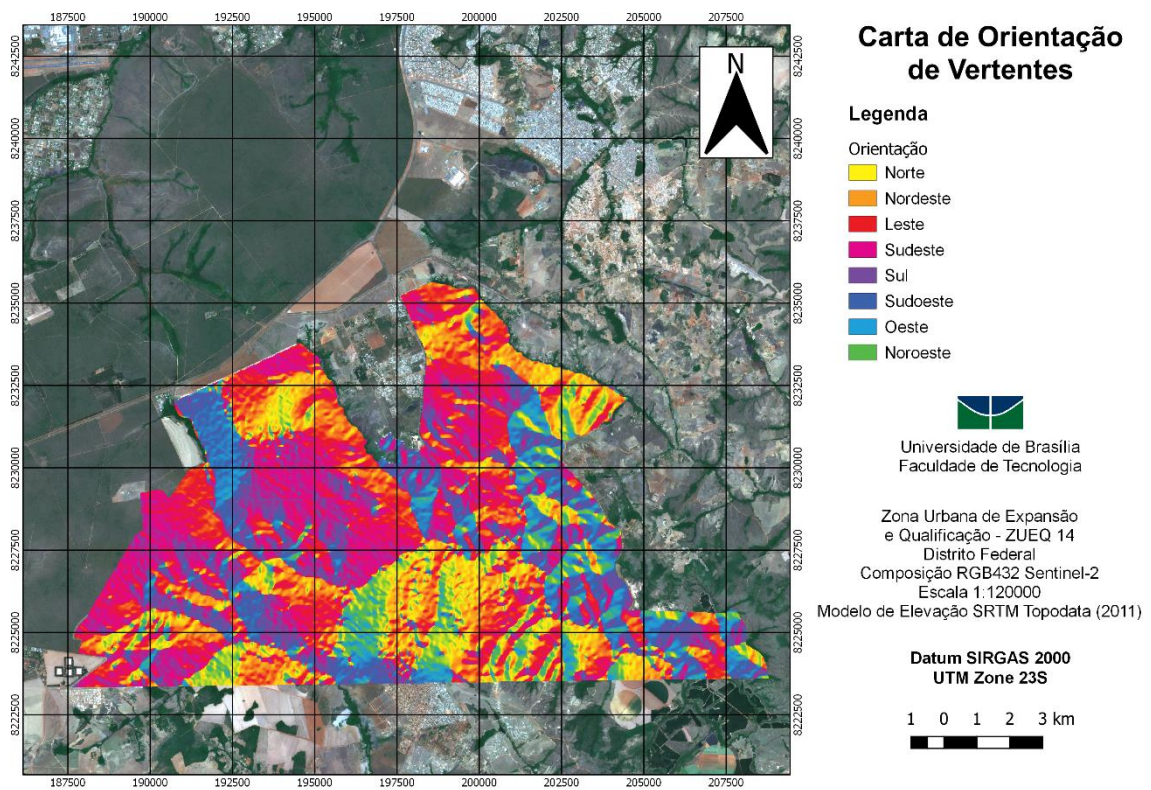


Figura 5.6 - Carta de Orientação de Vertentes

5.1.3.4. Carta de Relevo Sombreado

O mapa de relevo sombreado é outra forma de representar o relevo de uma região e fornece uma aparência mais tridimensional, com sombras e luzes para representar os aspectos topográficos.

A Figura 5.7 apresenta a Carta de Relevo Sombreado da área de estudo. Com este resultado é possível observar com aparência semelhante à tridimensional a região de maior declividade, conforme já observado nas Figuras 5.3 e 5.5.

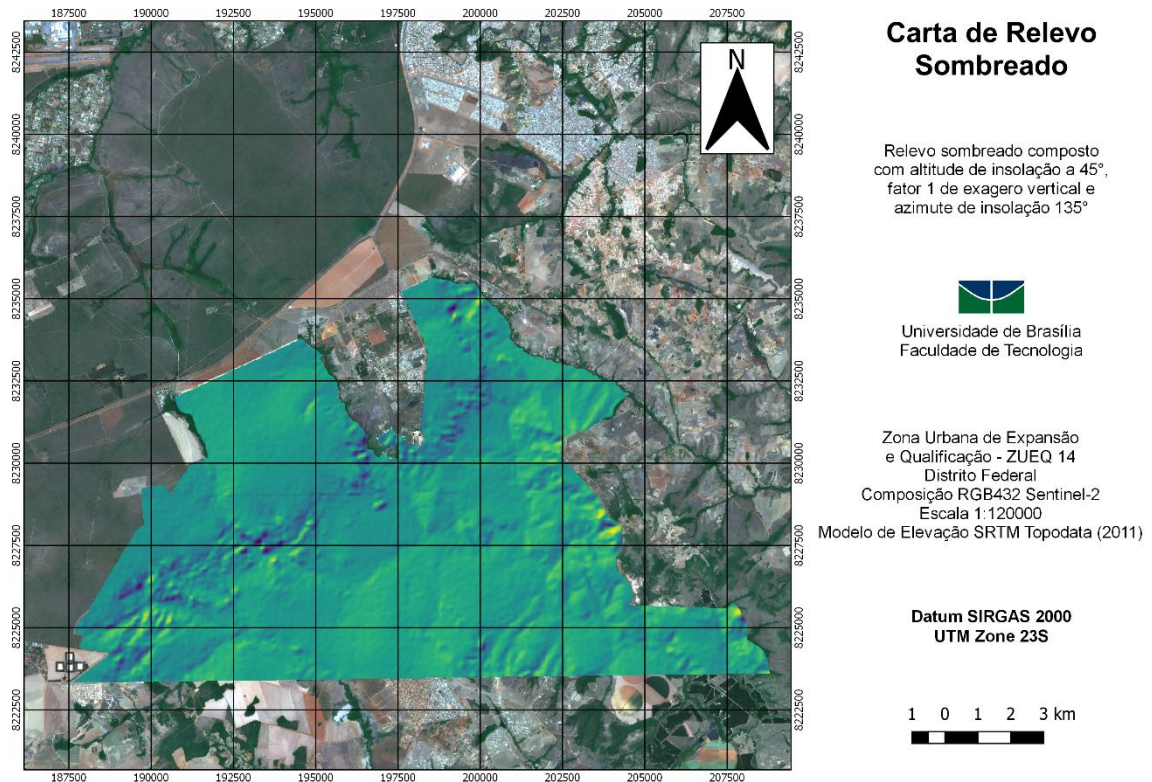


Figura 5.7 - Carta de Relevo Sombreado

5.1.4. Processamento Digital de Imagens (PDI)

5.1.4.1. Carta Imagem

A Carta Imagem foi criada com dados do satélite Sentinel-2, como já especificado no item 4.3.3.2 deste trabalho. Uma vez que originalmente as bandas usadas para a composição RGB foram as bandas 4, 3 e 2, bandas de resolução 10 m, o produto obtido também possui esta resolução. Em comparação com outras fontes de imagens de sensoriamento remoto, como o Landsat que produz imagens de resolução 20m por exemplo, o Sentinel-2 prova ser uma das melhores fontes gratuitas no quesito resolução espacial.

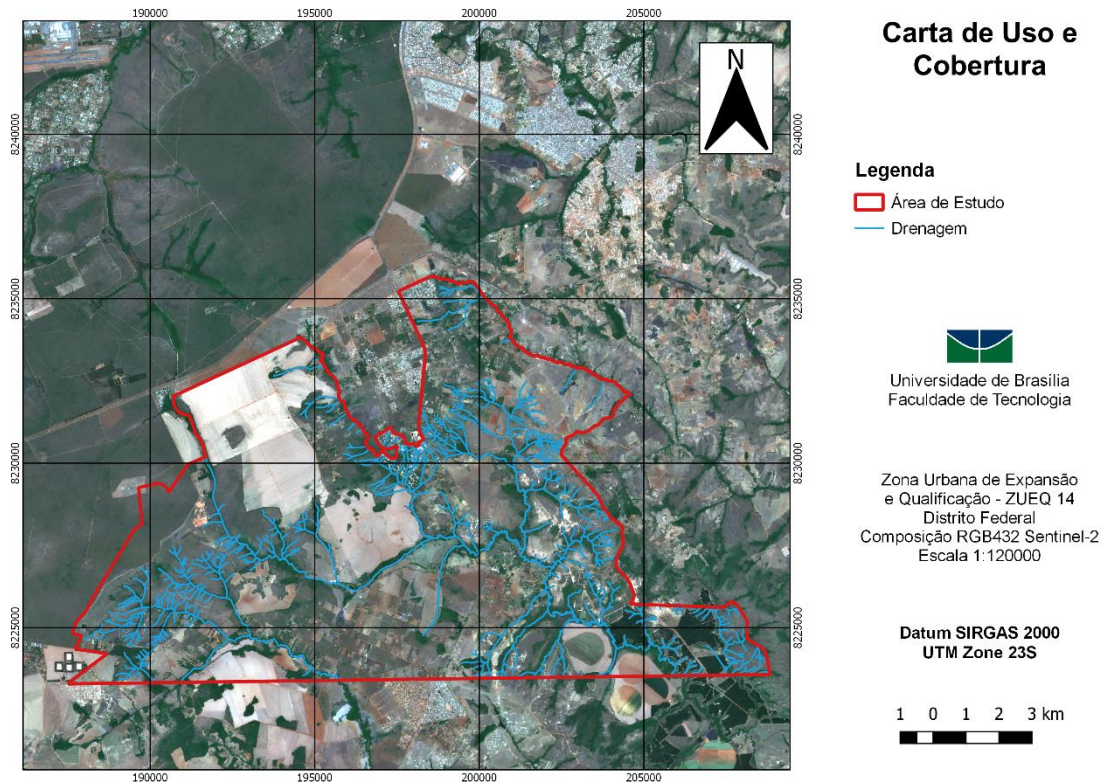


Figura 5.8 - Carta Imagem

5.1.4.2. Operações aritméticas

Operações aritméticas são definidas pela aplicação de regras matemáticas que combinam as bandas originais de imagens diferentes, ou várias bandas de uma mesma imagem, de forma pixel a pixel, visando realçar as diferenças espectrais entre elas. Neste trabalho, foram calculadas as operações aritméticas de diferença normalizada, representadas pelos índices NDVI, NDMI, SAVI e NDBI conforme Jensen (2009) e Meneses e Almeida (2012).

- NDVI

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, ou *Normalized Difference Vegetation Index*, é um índice desenvolvido para estudos de vegetação, e é constituído pela soma, diferença e divisão entre bandas espectrais. O NDVI visa estimar a proporção de biomassa e quantificar diferentes espécies vegetais. (Crósta, 1992). Os resultados variam entre -1 e 1, onde o limite superior representa possibilidade de maior presença de vegetação,

e o limite inferior representa um maior indício de solos descobertos, rochas, nuvens ou neve (Jensen, 2009).

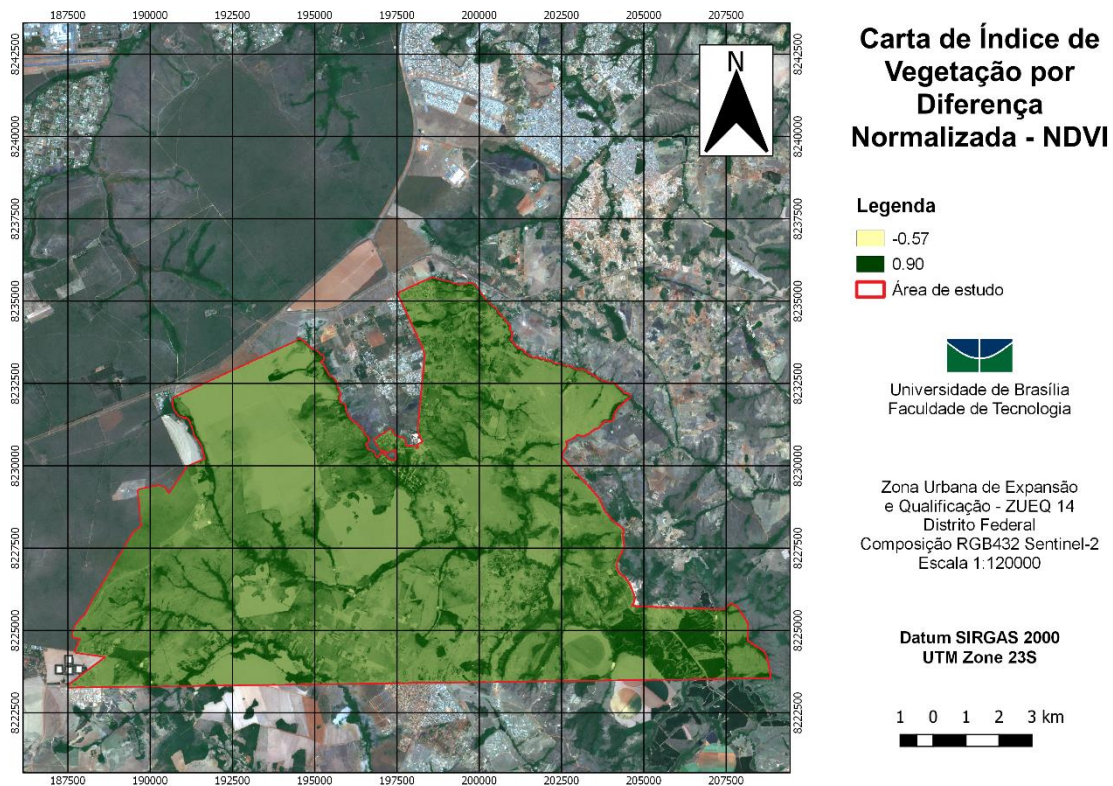


Figura 5.9 - NDVI

A Figura 5.9 apresenta o resultado do cálculo do NDVI da região. É possível perceber, uma vez que a maior parte do produto se mostra em tom esverdeado (cor correspondente aos maiores valores, conforme a legenda), que os resultados apontam uma grande incidência de superfícies cobertas por vegetação na região.

Buscou-se calcular o NDVI por meio do algoritmo GRASS “i.vi” para objetivos de comparação entre o NDVI calculado pelo algoritmo e pela Equação 4.1, e os dois resultados foram idênticos.

- NDMI

O Índice de Umidade por Diferença Normalizada, ou *Normalized Difference Moisture Index*, também chamado de Índice de Água (*Water Index*) - NDWI, representa o

conteúdo de umidade da superfície. Os valores de NDWI também variam entre -1 e 1. Quanto maior o valor de NDWI, maior o conteúdo de umidade da superfície.

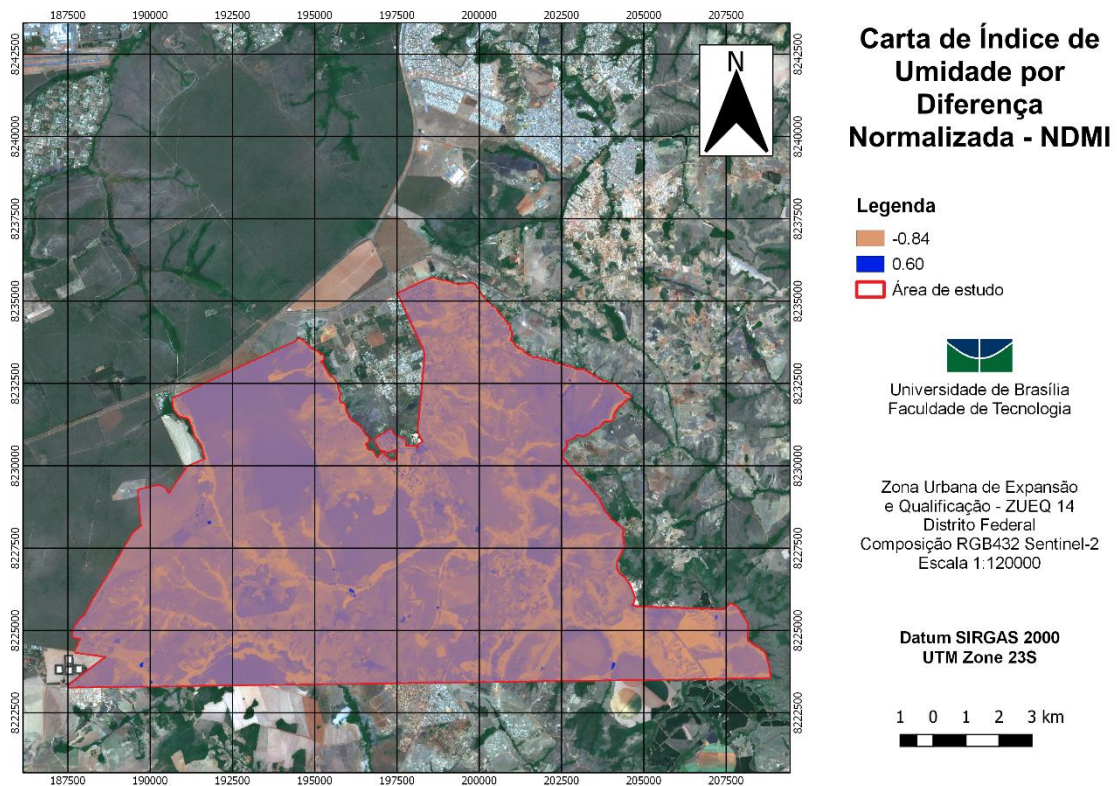


Figura 5.10 - NDMI

A Figura 5.10 apresenta os resultados do NDMI para a área de estudo. É possível notar alguns pontos de cor azul mais intensa, o que representa locais onde há maior conteúdo de umidade, podendo ser aferidos como lagos ou massas d'água. Essa informação será confirmada ao se interpretar os dados de APP, em etapas posteriores. Outras regiões de cor azul menos intensa indicam regiões com certo conteúdo de umidade no solo, mas não o suficiente para constituir um corpo ou massa d'água, como áreas de plantio e irrigação.

É importante notar que a imagem Sentinel que gerou este produto foi obtida durante o período de seca do DF, o que influencia no conteúdo de umidade do solo, uma vez que este período é caracterizado por um regime de menor incidência de precipitação.

- SAVI

Em áreas que possuem baixos índices de cobertura vegetal e superfície do solo muito exposta, a refletância da luz nos espectros vermelho e infravermelho próximo pode influenciar os valores do índice de vegetação. O Índice de Vegetação Ajustado ao Solo, ou *Soil Adjusted Vegetation Index*, surgiu como uma forma de fornecer mais precisão aos resultados de produtos NDVI, uma vez que estes podem apresentar instabilidade causada por variâncias na cor do solo e condições de umidade, por exemplo. O SAVI possui a vantagem do uso de sistemas sensores calibrados (Jensen, 2009) e é uma forma de corrigir a influência do brilho do solo quando a cobertura vegetal é baixa.

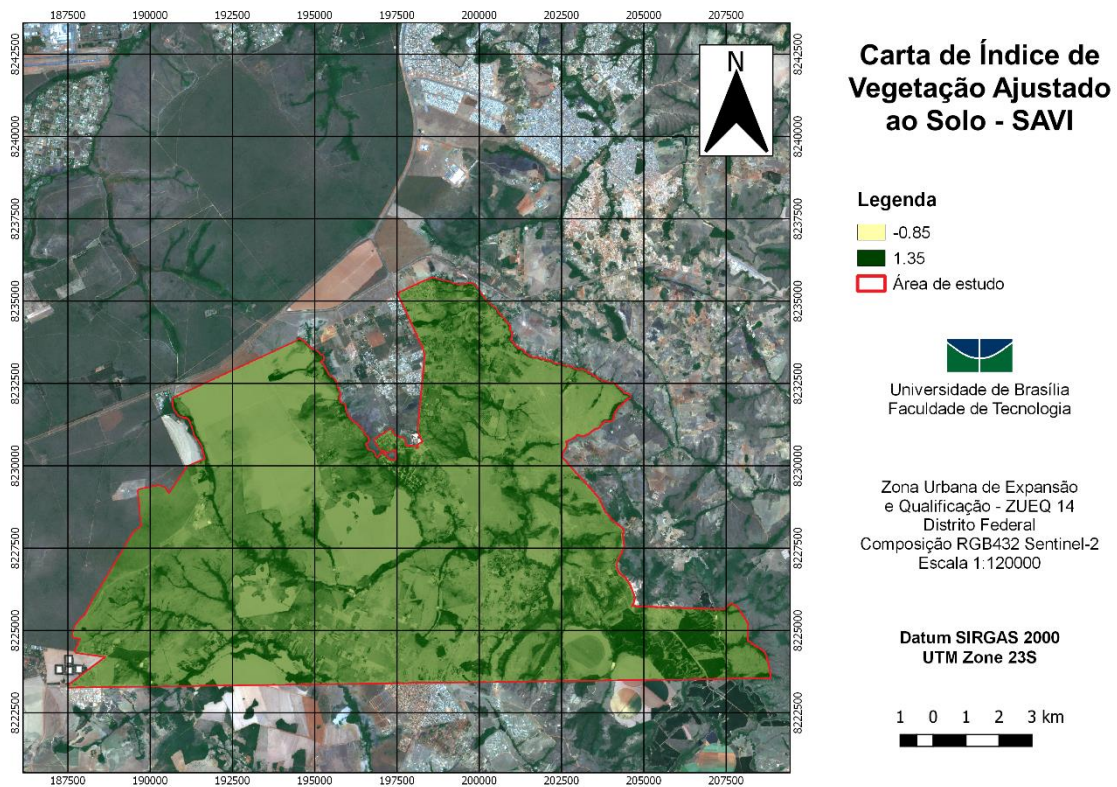


Figura 5.11 - SAVI (calculado por meio da Equação 4.3)

Uma vez que os valores de SAVI variam entre -1 e 1 no máximo, observa-se, na Figura 5.11 um erro nos valores destes índices quando calculados por meio da Equação 4.3. na Calculadora Raster. Assim, buscou-se realizar o mesmo processo de forma automática por meio do algoritmo GRASS “i.vi”. Os resultados são apresentados na Figura 5.12:

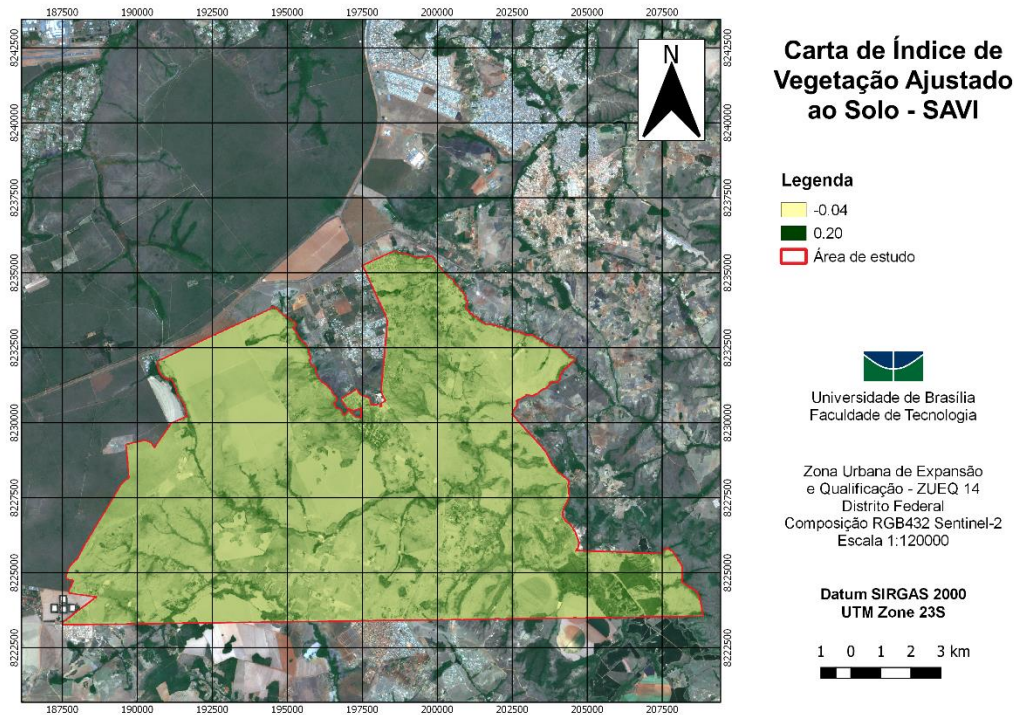


Figura 5.12 - SAVI (calculado por meio do algoritmo GRASS "i.vi")

Nota-se que os resultados obtidos por meio do algoritmo são aceitáveis, considerando os limites permitidos para o índice. Quanto mais próximo de 1 o valor de SAVI, maiores são os indícios de cobertura vegetal na superfície, como no NDVI. Comparando a Figura 5.12 com a Figura 5.9, nota-se diferença nos valores obtidos para os dois índices, indicando que a cor e as condições de umidade do solo muito provavelmente podem ter causado imprecisão nos resultados de NDVI.

Ainda assim, os locais com maior presença de vegetação, próximos ao limite superior do índice, permanecem os mesmos.

- NDBI

O Índice de Diferença Normalizada para Áreas Construídas, *Normalized Difference Built-up Index*, em inglês, visa monitorar a distribuição espacial e crescimento das áreas urbanas. Os resultados do NDBI variam entre -1 e 1, onde os valores menores ou iguais a zero representam *pixels* contidos em áreas não construídas, como superfícies com vegetação, e os maiores valores representam *pixels* contidos em áreas construídas e estéreis.

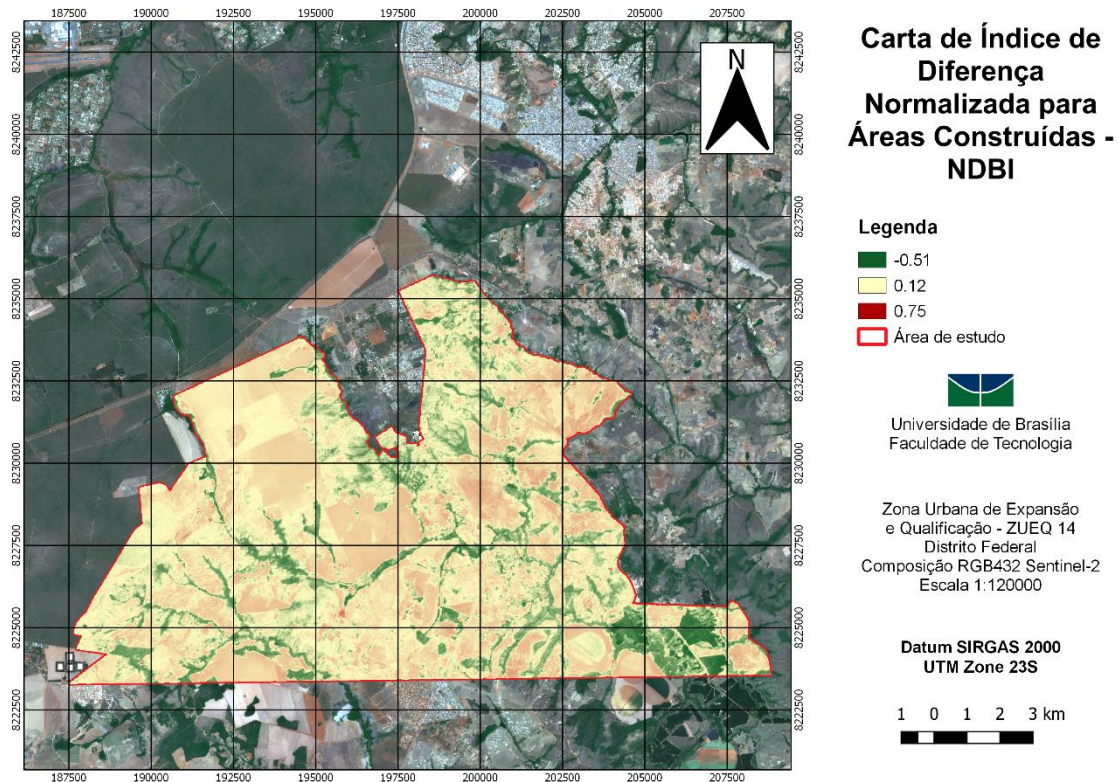


Figura 5.13 - NDBI

A Figura 5.13 apresenta os resultados para o NDBI da área de estudo. Neste caso, observa-se que as áreas com a vegetação mais preservada e menor índice NDBI correspondem àquelas com maiores índices NDVI e SAVI. Há também algumas áreas de índice de degradação médios, que podem ser aferidas como áreas destinadas à agricultura, conforme será analisado no próximo item, que apresenta os usos e coberturas do solo.

5.1.4.3. Carta de Uso e Cobertura

A Carta de Uso e Cobertura é um produto importante pois permite observar quais regiões tiveram sua vegetação natural retirada para o uso de agricultura ou para o uso urbano, além de apresentar as regiões com vegetação nativa de vários tipos e também aquelas onde há ocorrência de solo exposto.

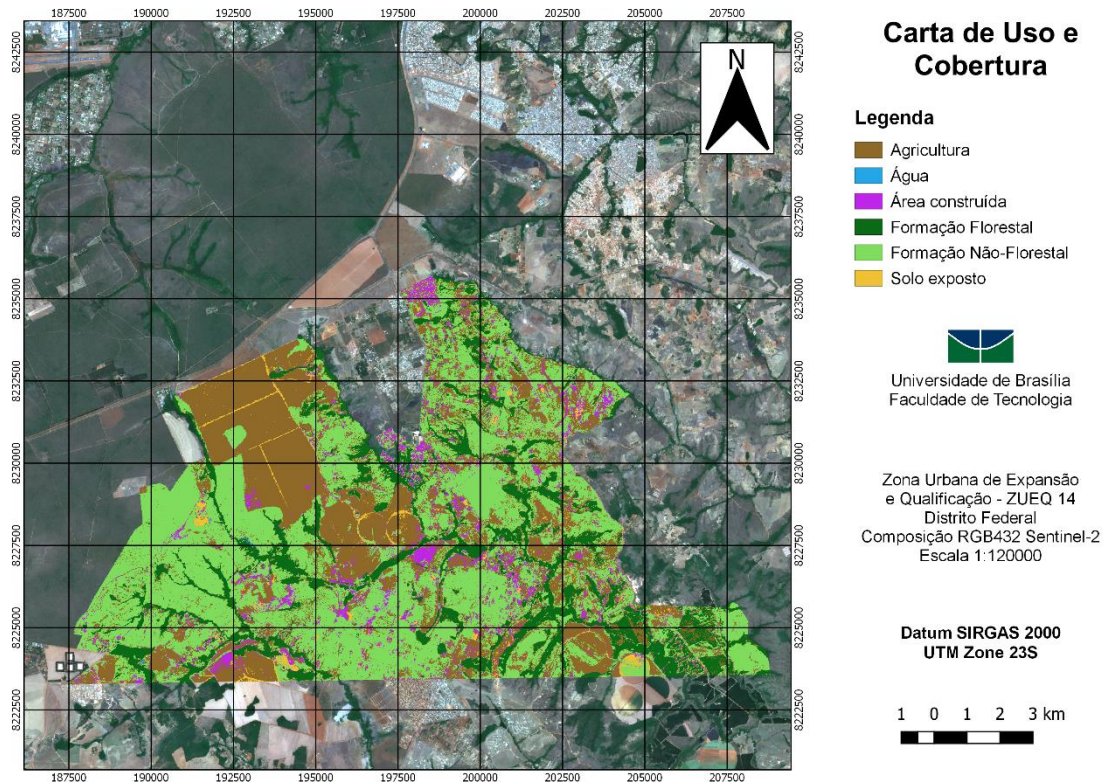


Figura 5.14 - Carta de Uso e Cobertura do Solo

A Figura 5.14 apresenta os usos e coberturas da área de estudo. É um produto gerado a partir da classificação de imagens e é principalmente relevante de ser analisado em conjunto com a Carta de Aptidão à Urbanização, uma vez que pode apresentar edificações em locais não aptos para este uso.

5.1.5. Operações cartográficas

5.1.5.1. Carta de Áreas de Preservação Permanente – APPs

A Figura 5.15 apresenta as Áreas de Preservação Permanente – APPs observadas na área de estudo, calculadas a partir dos dados de Hidrografia Geral do DF. Nota-se que todas as APPs são formadas por raios de 30 metros em torno dos corpos d'água, uma vez que a legislação (Brasil, 2012) só estabelece raios maiores, de 50 metros, em torno de nascentes, e até o fechamento deste trabalho não foram registradas nascentes dentro da poligonal de estudo, segundo dados da SEDUH (2020).

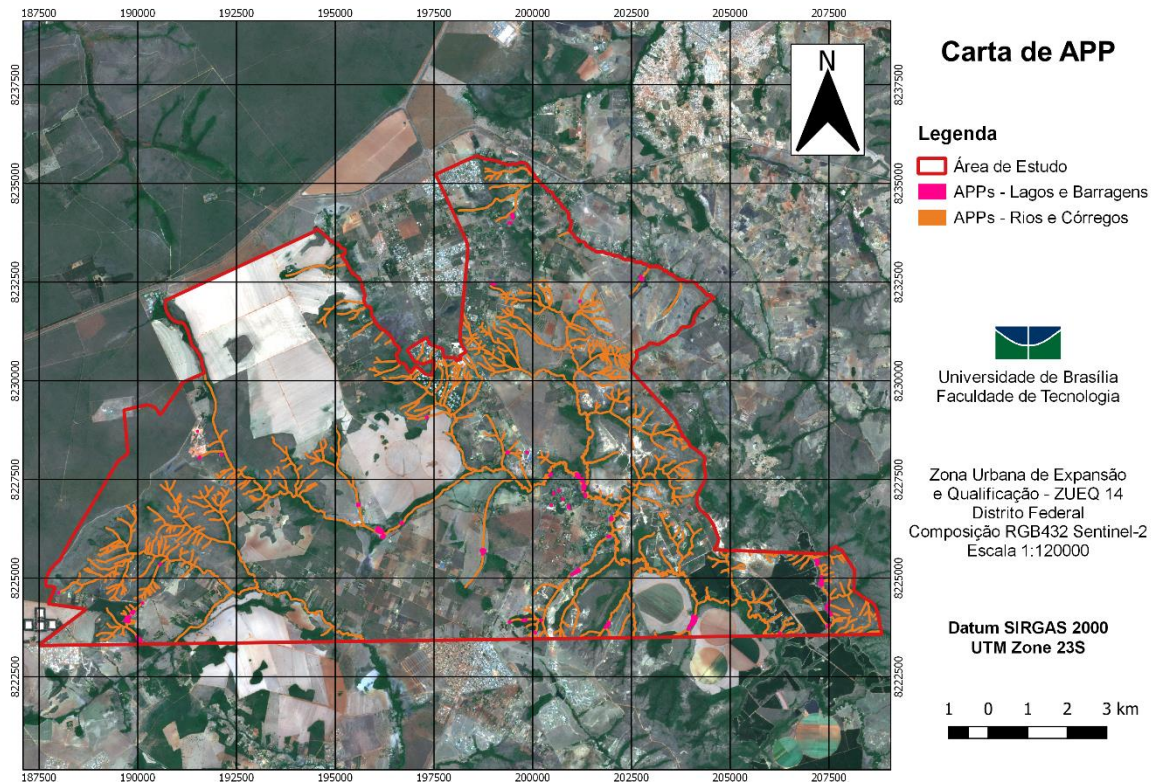


Figura 5.15 - Carta de APPs

5.2. FASE I – CARTA DE SUSCETIBILIDADE À EROSÃO

A Figura 5.16 apresenta a Carta de Suscetibilidade à Erosão construída conforme passos da metodologia descrita no item 4.4 deste trabalho. Em posse dos dados de pedologia e declividade, foram analisadas as relações entre eles por meio da álgebra de mapas e operações booleanas. Observa-se, na figura, que predominam zonas de suscetibilidade à erosão muito baixas, com exceção das faixas de alta declividade notadas nos resultados da etapa de processamento digital de MNT, onde evidentemente a suscetibilidade à erosão apresenta valores que vão de altos a muito altos.

Este dado é passível de ser comparado com os dados oficiais do GDF, elaborados e divulgados pelo ZEE-DF (Distrito Federal, 2017), em especial o Mapa 06 – Risco de Perda de Solos por Erosão (Figura 5.17). Por meio da comparação entre as duas cartas, nota-se que os resultados são bastante semelhantes, com poucas diferenças pontuais.

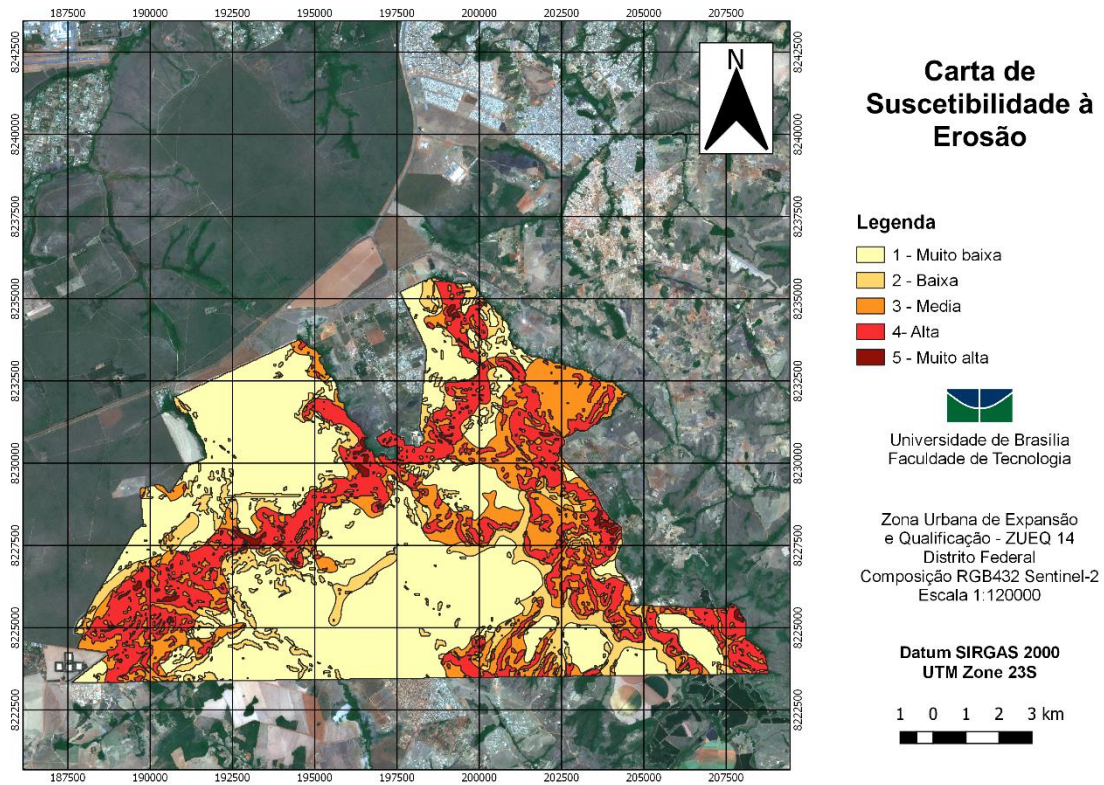


Figura 5.16 - Carta de Suscetibilidade à Erosão

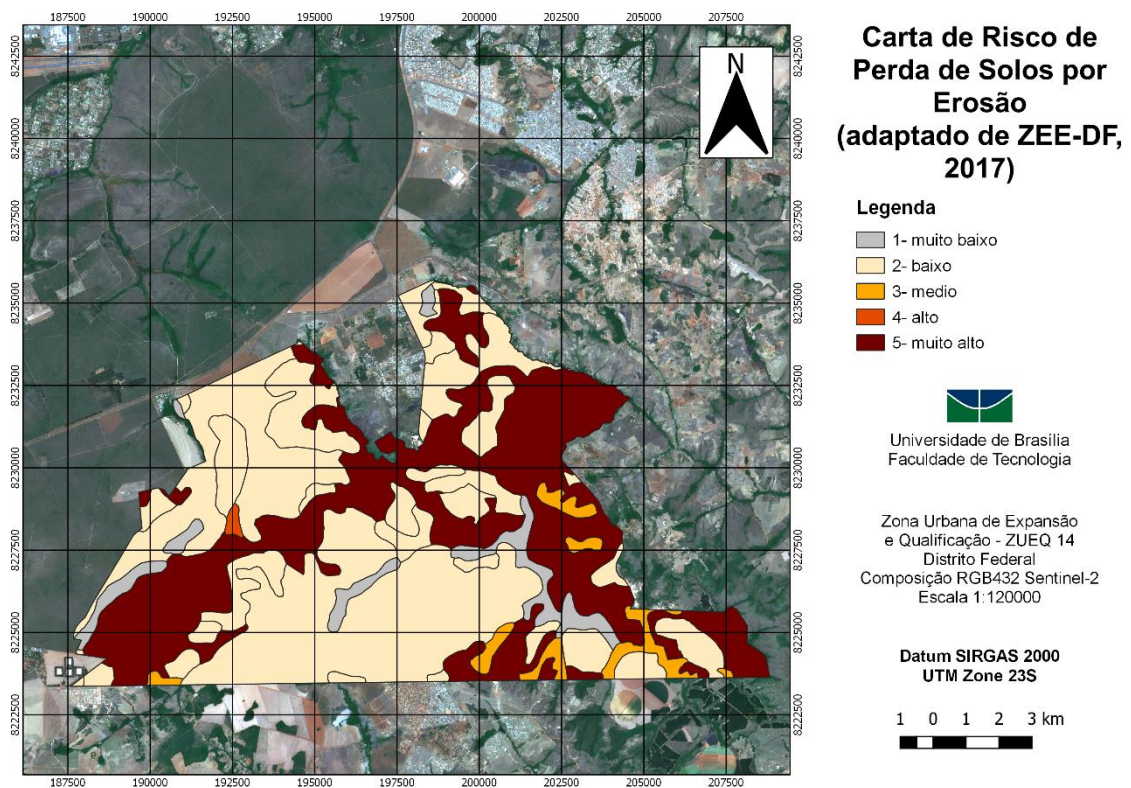


Figura 5.17 - Carta de Risco de Perda de Solos por Erosão
(adaptado de Distrito Federal, 2017)

5.3. FASE II – CARTA DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO

A Carta de Aptidão à Urbanização, apresentada pela Figura 5.18, é o resultado da etapa 4.5 deste trabalho, que visou unir os dados de suscetibilidade à erosão e áreas não edificantes – caracterizadas pelas APPs em um produto que representasse os locais mais propícios à ocupação urbana do ponto de vista de sensibilidade e erodibilidade do solo e declividade, sem levar em conta a probabilidade de ocorrência de desastres naturais. Observa-se que a maior parte da região é composta por locais de aptidão à urbanização muito alta, em função da baixa suscetibilidade à erosão. Há, claramente, locais de aptidão nula, onde as Áreas de Preservação Permanente não permitem a ocupação, e locais de aptidão muito baixa, nas áreas de maior declividade.

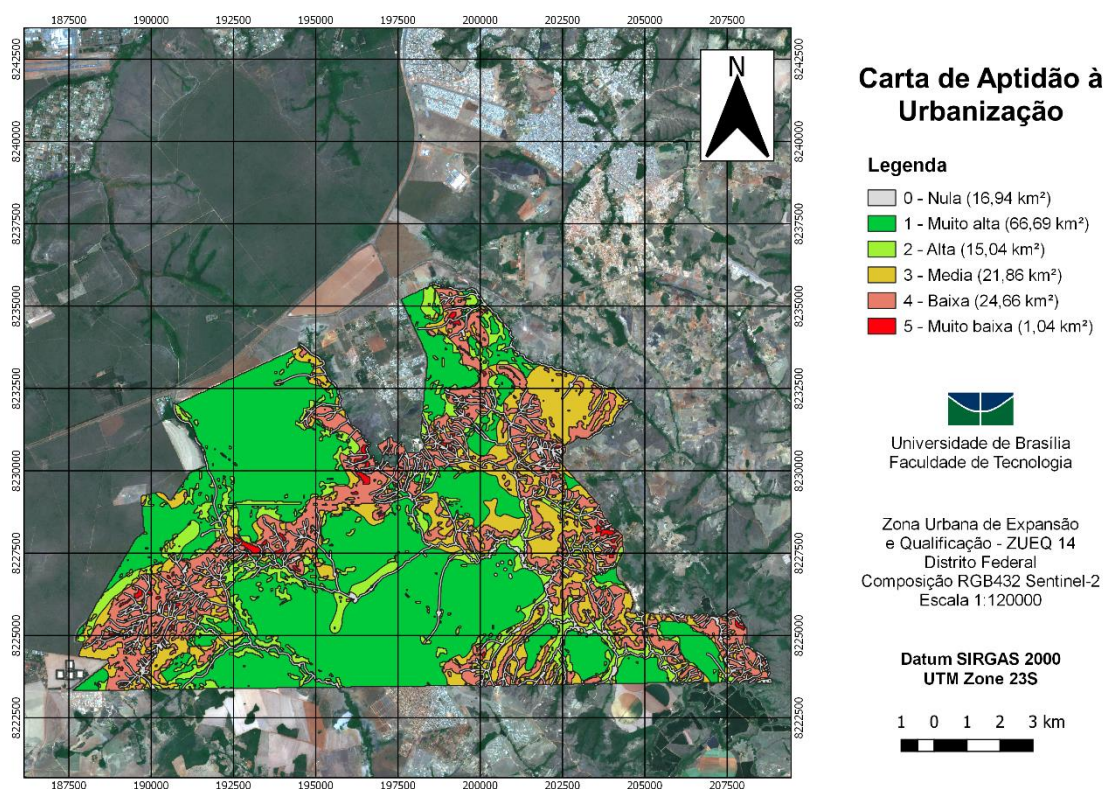


Figura 5.18 - Carta de Aptidão à Urbanização

Nota-se, também, ao comparar estes resultados com aqueles de Uso e Cobertura do Solo (Figura 5.14), que já ocorrem ocupações urbanas em locais de baixa aptidão à urbanização, até mesmo em regiões definidas como APP, que não devem ser ocupadas. A Figura 5.19 apresenta esta comparação por meio do detalhamento de um exemplo de área de ocupação mais intensa e sua contrapartida em aptidão à urbanização.

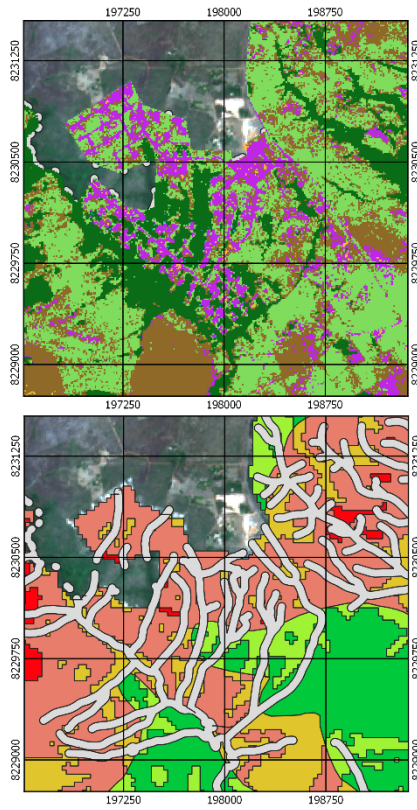
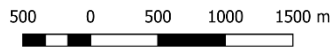
Comparativo: Uso e Ocupação e Aptidão à Urbanização

Uso e Cobertura

- Agricultura
- Água
- Área construída
- Formação Florestal
- Formação Não-Florestal
- Solo exposto

Aptidão à Urbanização

- 0 - Nula
- 1 - Muito alta
- 2 - Alta
- 3 - Média
- 4 - Baixa
- 5 - Muito baixa



Zona Urbana de Expansão
e Qualificação - ZUEQ 14
Distrito Federal
Composição RGB432 Sentinel-2
Escala 1:120000



1:250000

Datum SIRGAS 2000
UTM Zone 23S



Universidade de Brasília
Faculdade de Tecnologia

Figura 5.19 - Comparativo entre as Cartas de Uso e Ocupação e Aptidão à Urbanização

6. CONCLUSÕES

A área de estudo, delimitada pela Zona Urbana de Expansão e Qualificação – ZUEQ 14 é, em sua maior parte, uma região de baixa suscetibilidade à erosão e muito alta aptidão à urbanização, segundo os critérios de declividade, pedologia e áreas não edificantes. A metodologia proposta permitiu, por meio do uso de dados de livre acesso disponibilizados por fontes confiáveis e intuitivas, contribuir para a composição de cartas de suscetibilidade à erosão e aptidão à urbanização. Estes produtos caracterizam uma forma de auxílio aos gestores do espaço urbano na etapa de planejamento, principalmente de embasamento à elaboração de diretrizes e instrumentos de controle e regularização da ocupação urbana, além do zoneamento de áreas de risco.

A Fase Preliminar, destinada à construção de uma base de dados que pudessem ser utilizados para as etapas seguintes, seja como produto de comparação ou dados de entrada, foi realizada com o uso dos dados de elevação (MDE) disponibilizados pelo projeto TOPODATA (INPE, 2011), imagens de sensoriamento remoto do Sentinel-2 (ESA, 2020) de boa qualidade, recentes e sem presença de nuvens, da base cartográfica geral do DF (IBGE, 2016), e dos dados de pedologia provenientes do Mapa de Reconhecimento de Solos do Distrito Federal (EMBRAPA, 1978), que foram atualizados para o padrão do atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2018). Esta fase gerou as Cartas de Localização, de Pedologia, as cartas de Hipsometria, Declividade, Orientação de Vertentes e Relevô Sombreado, além do Perfil Topográfico. A Fase Preliminar também resultou na elaboração da Carta Imagem, das cartas de Uso e Cobertura e Áreas de Preservação Permanente, e dos cálculos dos índices NDVI, NDMI, SAVI e NDBI.

Nota-se que, em função da baixa escala dos produtos utilizados como entrada para a Fase Preliminar, os resultados obtidos nessa fase e naquelas posteriores possuem caráter essencialmente orientativo, uma vez que estes insumos não permitiram alcançar a escala do produto final, resultando em um menor nível de detalhamento.

A Fase I – Carta de Suscetibilidade à Erosão, resultou no produto designado, por meio dos dados da Carta de Declividade e Pedologia gerados na etapa anterior. Também foram utilizados dados vetorizados provenientes do ZEE-DF (Distrito Federal, 2017) para aferição dos resultados, que se mostraram satisfatórios quando comparados com aqueles de fontes governamentais, além de sua elaboração poder ser feita de forma mais simplificada.

É interessante ressaltar que os critérios de risco relacionados à pedologia que foram considerados para gerar este produto levam em conta unicamente a sensibilidade que os diferentes tipos de solo possuem à erosão. A magnitude do risco que cada tipo de solo oferece depende do uso ao qual aquele solo está destinado, e quais são as finalidades do estudo ao qual está submetido. Como o propósito deste estudo é avaliar a suscetibilidade à erosão tendo em vista a aptidão à urbanização, sem levar em conta fenômenos externos, de fato os Cambissolos e Latossolos são os tipos de solo de resposta mais significativa.

A Fase II – Carta de Aptidão à Urbanização foi realizada com base nos resultados de Suscetibilidade à Erosão combinados aos dados de Área de Preservação Permanente, que caracterizam áreas inaptas para a urbanização. Observou-se que a maior parte da área de estudo – em torno de 46% – é classificada como área de aptidão muito alta. Porém, ao comparar tais resultados com a Carta de Uso e Cobertura, notou-se que já ocorrem ocupações em áreas de nula ou muito baixa aptidão à urbanização, seja pela presença de APPs, seja pela alta suscetibilidade à erosão.

No que diz respeito ao QGIS, o *software* utilizado se mostrou de grande utilidade, principalmente no que toca a sua abrangência de ferramentas, além da possibilidade de instalação de complementos desenvolvidos pela comunidade. O QGIS também é um *software* gratuito de larga utilização, o que facilita o encontro de documentação a seu respeito, principalmente manuais e tutoriais em vídeo. Porém, para a realização de certas etapas da metodologia, notou-se que o sistema demandou uma capacidade de processamento maior do equipamento utilizado, em função da alta quantidade de dados a serem processados pelos algoritmos do programa. Assim, é necessário ressaltar que, em especial para as etapas de processamento de MDE e de imagens de sensoriamento remoto, são exigidas melhores condições de processamento no computador a ser utilizado.

Também é interessante ressaltar que foram utilizados apenas dados encontrados em meios gratuitos e confiáveis, como as bases de dados de secretarias estaduais, e institutos e agências nacionais e internacionais. Por fim, foi possível concluir que a metodologia proposta pelo trabalho é eficiente, clara e cabível de ser utilizada como forma de elaboração de parte da base de conhecimento necessária para a gestão dos espaços urbanos e zoneamento de áreas de risco, além de ser facilmente adaptável a outras aplicações que possam fazer uso de metodologias similares.

Uma vez que o critério utilizado para caracterizar a suscetibilidade à erosão de acordo com a pedologia foi unicamente a erodibilidade dos solos segundo o ZEE-DF (Distrito Federal, 2019), recomenda-se para trabalhos futuros, a depender da sua finalidade, que sejam

adotados também outros pesos baseados em parâmetros pedológicos além da erodibilidade para a melhor análise dos riscos oferecidos por cada tipo de solo. Também é aconselhável que estes pesos sejam calibrados com base no mapeamento de fenômenos erosivos, possibilitando assim o melhor agrupamento dos tipos de solo de acordo com tais parâmetros. Recomenda-se também que sejam adaptadas as classes de declividade para os cálculos de suscetibilidade à erosão e aptidão à urbanização.

Outra sugestão para trabalhos futuros é utilizar como peso para o cálculo da suscetibilidade à erosão os dados de cobertura vegetal, um fator importante no condicionamento dos processos erosivos, e que podem ser obtidos a partir de índices como o NDVI e SAVI. Também é interessante buscar insumos de melhor resolução espacial durante a construção da base de dados, de forma a permitir um maior detalhamento dos resultados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson, P.S. *et. al* (1982). “A natureza da cartografia”. In: Anderson, P.S. (ed. e coord.). *Princípios de Cartografia Básica*. Fundação IBGE, Rio de Janeiro, RJ, 10-17.
- Araújo, P.G.O. (2018). *Geração de Carta de Aptidão Geotécnica para Fins de Ocupação Urbana do Setor Habitacional Bernardo Sayão*. Monografia de Projeto Final, Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília, DF, 67 p.
- Bastos, C.A.B. (1999). *Estudo Geotécnico Sobre a Erodibilidade de Solos Residuais Não Saturados*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre, RS, 303f.
- Bezerra, J.F.R. (2004). “Estudo do uso e ocupação do solo como condicionante aos processos erosivos no município de São Luís, Maranhão.” *Anais do V Simpósio Nacional de Geomorfologia*, Santa Maria. Disponível em: <<http://lsie.unb.br/ugb/sinageo/5/5/Jose%20Fernando%20Rodrigues%20Bezerra.pdf>>. Acesso em: 31 out. 2019.
- Brasil (1979). Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979. *Dispõe sobre o Parcelamento de Solo Urbano e dá outras Providências*. Brasília, DF.
- Brasil (1981). Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. *Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências*. Brasília, DF.
- Brasil (2002). Decreto nº 4.297, de 10 de julho de 2002. *Regulamenta o art. 9º, inciso II, da Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981, estabelecendo critérios para o Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil - ZEE, e dá outras providências*. Brasília, DF.
- Brasil (2012). Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. *Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências*. Brasília, DF.
- Câmara, G. e Davis, C. (2001). “Introdução”. In: Câmara, G. *et. al* (orgs. e eds.). *Introdução à Ciência da Geoinformação*. INPE, São José dos Campos, SP, 2-6. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/index.html>>. Acesso em: 12 out. 2019.

- Câmara, G. e Monteiro, A.M.V. (2001). “Conceitos básicos em ciência da geoinformação”. In: Câmara, G. et. al (orgs. e eds.). *Introdução à Ciência da Geoinformação*. INPE, São José dos Campos, SP, 7-41. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/index.html>>. Acesso em: 13 out. 2019.
- Carvalho, T.R.R. (2014). *Suscetibilidade a Processos Geodinâmicos e Aptidão à Urbanização na Bacia do Rio Maracujá, Ouro Preto, MG*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto, Programa de Pós-graduação em Geotecnia, Ouro Preto, MG, 142p. Disponível em: <<https://www.nugeo.ufop.br/teses-e-dissertacoes/154/susctibilidade-a-processos-geodinamicos-e-aptidao-a-urbanizacao-na-bacia-do-rio-maracuja-ouero-preto-mg>>. Acesso em: 31 out. 2019.
- Cerri, L.E.S. e Amaral, C.P. (1998). “Riscos geológicos.” In: Oliveira, A.M.S. e Brito, S.N.A. (eds.). *Geologia de Engenharia*. ABGE, São Paulo, SP, 301-310.
- CODEPLAN (2020). Ortofoto Mosaico 2015 do Distrito Federal. Disponível em: <<http://geoservico.homologacao.codeplan.df.gov.br>>. Acesso em: 13 out. 2020.
- Crósta, A.P. (1992). *Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto*. IG/UNICAMP, Campinas, SP, 170p.
- Davis, C. e Câmara, G. (2001). “Arquitetura de SIG”. In: Câmara, G. et. al (orgs. e eds.). *Introdução à Ciência da Geoinformação*. INPE, São José dos Campos, SP, 42-76. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/index.html>>. Acesso em: 13 out. 2019.
- Distrito Federal (2009a). Lei Complementar nº 803, de 25 de abril de 2009. *Aprova a revisão do Plano Diretor de Ordenamento Territorial do DF – PDOT e dá outras providências*. Brasília, DF
- Distrito Federal (2009b). *Plano Diretor de Ordenamento Territorial do DF – Documento Técnico*. Brasília, DF. Disponível em: <<http://www.seduh.df.gov.br/plano-diretor-de-ordenamento-territorial/>>. Acesso em 04 nov. 2019.
- Distrito Federal (2017). *Matriz Ecológica do ZEE-DF: Caderno Técnico*. Brasília, DF.
- Distrito Federal (2019). Lei nº 6.269, de 29 de janeiro de 2019. *Institui o Zoneamento Ecológico-Econômico do DF - ZEE-DF em cumprimento ao art. 279 e ao art. 26 do Ato das Disposições Transitórias da Lei Orgânica do DF e dá outras providências*. Brasília, DF.
- EMBRAPA (1978). Mapa de reconhecimento de solos do Distrito Federal. Disponível em: <<http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/>>. Acesso em 10 nov. 2020

- EMBRAPA (2018). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Embrapa Solos, Brasília, DF, 5ª ed.
- ESA (2020). “Radiometric Resolutions” In: *Sentinel-2 MSI User Guides*. Disponível em: <<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/resolutions/radiometric>>. Acesso em 24 nov. 2020.
- IBGE (1999). “Noções básicas de cartografia.” In: IBGE, *Manuais Técnicos em Geociências*. IBGE, Rio de Janeiro, RJ, nº 8.
- IBGE (2016). Base cartográfica contínua do estado de Goiás e do Distrito Federal. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/bases-cartograficas-continuas/>>. Acesso em: 18 nov. 2020.
- Infanti Jr, N. e Fornasari Filho, N. (1998). “Processos de dinâmica superficial.” In: Oliveira, A.M.S. e Brito, S.N.A. (eds.). *Geologia de Engenharia*. ABGE, São Paulo, SP, 131-152.
- INPE (2006). *Tutorial de Geoprocessamento*. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/index.html>>. Acesso em: 16 nov. 2019.
- INPE (2011). Projeto Topodata: Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>. Acesso em: 21 set. 2020.
- Iwasa, O.Y. e Fendrich, R. (1998). “Controle da erosão urbana.” In: Oliveira, A.M.S. e Brito, S.N.A. (eds.). *Geologia de Engenharia*. ABGE, São Paulo, SP, 271-281.
- Jensen, J.R. (2009). *Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres*. Parêntese Editora, São José dos Campos, SP, 598 p.
- Lambiazzi, G. e Pamboukian, S.V.D. (2014). *Estudo Comparativo de Softwares de Geoprocessamento para a Elaboração de Projetos de Engenharia*. Iniciação Científica, Universidade Presbiteriana Mackenzie, Escola de Engenharia, São Paulo, SP, 19p. Disponível em: <<https://www.mackenzie.br/universidade/laboratorio/ee/labgeo/trabalhos-desenvolvidos/trabalhos-2014/estudo-comparativo/>>. Acesso em: 20 out. 2019.
- Maniçoba, R.S. e Oliveira, D.V. (2014). “Processo de formação e expansão urbana do DF.” In: *Universitas Humanas*, UniCEUB, Brasília, DF, 11(2), 27-38. Disponível em: <<https://www.publicacoesacademicas.uniceub.br/universitashumanas/article/view/2938>>. Acesso em: 29 out. 2019.
- Meneses, P. R., Almeida, T. (2012). *Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto*. CNPq, Brasília, DF, 266 p.

- ONU-Habitat (2015) *Diretrizes Internacionais para Planejamento Urbano e Territorial. Organização das Nações Unidas*. Nairóbi, Quênia, 40p. Disponível em: <<http://unhabitat.org/books/diretrizes-internacionais-para-planejamento-urbano-e-territorial/>> Acesso em: 29 out. 2019
- Pina, M.F. e Santos, S.M. (2000). *Conceitos Básicos de SIG e Cartografia Aplicados à Saúde*. OPAS, Brasília, DF, 122 p. Disponível em: <http://www.bvsde.paho.org/cursode/fulltext/Livro_cartog_SIG_saude.pdf>. Acesso em: 13 out. 2019
- Rodrigues, V.L. e Augusto Filho, O. (2009). “Mapeamento geotécnico como base para o planejamento urbano e ambiental: município de Jaú (SP).” In: *Revista Brasileira de Geociências*, 39(1), 1-15. Disponível em: <<http://ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/7625>>. Acesso em: 30 out. 2019.
- Salomão, F.X.T. e Antunes, F.S. (1998). “Solos.” In: Oliveira, A.M.S. e Brito, S.N.A. (eds.). *Geologia de Engenharia*. ABGE, São Paulo, SP, 87-99.
- Santos, H.G. et al. (2018). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 5. ed. EMBRAPA, Brasília, DF.
- Santos, A.L.R. et al. (2010). *SPRING 5.1.2: Passo a Passo: Aplicações Práticas*. CAUFES, Alegre, ES, 153p.
- SEDUH (2020). GeoPortal: Infraestrutura de Dados Espaciais do DF. Disponível em: <<https://www.geoportal.seduh.df.gov.br/mapa/>>. Acesso em 20 ago. 2020.
- Silva Junior, E.E.A. (2019). *Geotecnologias e Planejamento Urbano: Proposta Metodológica e Avaliação de Dados Obtidos por Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA) como Contribuição à Cartografia Geotécnica*. Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Brasília, DF, 272p.
- Sobreira, F.G. e Souza, L.A. (2012). “Cartografia geotécnica aplicada ao planejamento urbano”. In: *Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental*. ABGE, São Paulo, SP, 2(1) 79-97. Disponível em: <<https://www.abge.org.br/downloads/revistas/RevistaABGE-art3.pdf>>. Acesso em 04 nov. 2019.
- Souza, L.A. e Sobreira, F.G. (2014). *Guia Para Elaboração de Cartas Geotécnicas de Aptidão à Urbanização Frente aos Desastres Naturais*. Brasília, DF, 68p.
- Victoria, D.C. et al. (2014). “Geoprocessamento”. In: Tôsto, S. G. et al (eds.). *Geotecnologias e Geoinformação: O produtor pergunta, a Embrapa responde*.

Embrapa, Brasília, DF, 94-105. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/987589/geotecnologias-e-geoinformacao-o-produtor-pergunta-a-embrapa-responde>>. Acesso em: 13 out. 2019.

Zha, Y. *et. al.* (2003). *Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery*. International Journal of Remote Sensing, 24:3, 583-594, DOI: 10.1080/01431160304987.

Zuquette, L.V. e Gandolfi, N. (2004). *Cartografia Geotécnica*. Oficina de Textos, São Paulo, SP, 190p.