

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

**ESTUDO DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL PARA**  
**IMPLANTAÇÃO DE UM PÁTIO DE COMPOSTAGEM NA**  
**FAZENDA DA PAPUDA (DF).**

**LAÍS PRISCILA DE SOUSA PINTO**

**ORIENTADOR: WAGNER SANTOS DE ALMEIDA, DSc**

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL 2**  
**EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

**BRASÍLIA/DF: NOVEMBRO/2020**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

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

**ESTUDO DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL PARA IMPLANTAÇÃO  
DE UM PÁTIO DE COMPOSTAGEM NA FAZENDA DA PAPUDA (DF).**

**LAÍS PRISCILA DE SOUSA PINTO**

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:

---

WAGNER SANTOS DE ALMEIDA, DSc

(ORIENTADOR)

---

EVANGELOS DIMITRIOS CHRISTAKOU, DSc

(EXAMINADORA INTERNO)

---

LENILDO SANTOS DA SILVA, DSc

(EXAMINADOR INTERNO)

DATA: BRASÍLIA/DF, 11 DE DEZEMBRO DE 2020.

## FICHA CATALOGRÁFICA

PINTO, LAÍS PRISCILA DE SOUSA

Estudo de vulnerabilidade ambiental para implantação de um pátio de compostagem na fazenda da Papuda (DF).

LXXI, 71 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. Vulnerabilidade ambiental                      2. Compostagem

3. SIG    4. AHP

I. ENC/FT/UnB                                      II. Título (série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Pinto, L.P.S. (2020). *Estudo de vulnerabilidade ambiental para implantação de um pátio de compostagem na fazenda da Papuda (DF)*. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 71 p.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Laís Priscila de Sousa Pinto

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: Estudo de vulnerabilidade ambiental para implantação de um pátio de compostagem na fazenda da Papuda (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.

---

Laís Priscila de Sousa Pinto.

lais-prii@hotmail.com

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar à Deus por todas as bênçãos, oportunidades e graças concedidas a mim.

Aos meus pais, Lucineide e Neyton, pelo incentivo e apoio incondicional dado ao longo dos anos, e o reconhecimento de todas as batalhas para nos proporcionar melhores condições de vida com educação, respeito, carinho, valores e principalmente amor, serão para sempre o meu maior orgulho. Aos meus irmãos Paulo Guilherme e André Lucas pelo apoio familiar e incentivo nas horas mais difíceis.

Ao Marcus, meu noivo, por todo o amor, apoio e cuidado nos momentos difíceis.

Aos meus companheiros e amigos Ana Luiza, Augusto e Samira que sempre estiveram presentes em meios de dificuldade. Ao compartilhar os conhecimentos e esforços durante todo o curso. E aos amigos de turma em geral pela amizade e bons momentos juntos.

Ao meu orientador Prof. Dr. Wagner Santos de Almeida, pela atenção, dedicação e voto de confiança.

Agradeço a Universidade de Brasília – UNB – DF, por ser palco de tudo isso e me proporcionar uma experiência de vida que eu jamais imaginei que teria um dia.

À empresa Centrais de Abastecimento do Distrito Federal, por todo o apoio e material fornecido para a execução do trabalho, em especial ao meu supervisor de estágio, Renato Lino, que gentilmente cedeu o seu tempo para me ajudar a enriquecer a qualidade dos dados dessa pesquisa. Agradeço também a toda a Equipe da Diretoria de Segurança Alimentar pelo companheirismo durante o período de estágio.

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO</b>  | <b>1</b>  |
| <b>1.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b>                       | <b>3</b>  |
| <b>2. OBJETIVO DA PESQUISA</b>                                    | <b>5</b>  |
| <b>2.1 OBJETIVO GERAL</b>   | <b>5</b>  |
| <b>2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>                                  | <b>5</b>  |
| <b>3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>           | <b>6</b>  |
| <b>3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS</b>                                       | <b>6</b>  |
| <b>3.2 POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS</b>                  | <b>7</b>  |
| <b>3.3 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL</b>                            | <b>9</b>  |
| <b>3.4 GERENCIAMENTO E GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS</b>   | <b>10</b> |
| <b>3.5 GRANDES GERADORES</b>                                      | <b>11</b> |
| <b>3.6 COLETA SELETIVA</b>  | <b>13</b> |
| <b>3.7 DIAGNÓSTICO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA CEASA</b>               | <b>14</b> |
| <b>3.8 FUNDAÇÃO DE AMPARO AO TRABALHADOR PRESO (FUNAP/DF)</b>     | <b>17</b> |
| <b>3.9 COMPOSTAGEM</b>  | <b>19</b> |
| 3.9.1 Relação Carbono/Nitrogênio                                  | 22        |
| 3.9.2 Oxigênio  | 23        |
| 3.9.3 Teor de umidade   | 23        |
| 3.9.4 Granulometria   | 24        |
| 3.9.5 pH  | 24        |
| 3.9.6 Temperatura   | 24        |
| 3.9.7 Licenciamento Ambiental                                     | 25        |
| 3.9.8 Processo de compostagem                                     | 26        |
| <b>3.10 MÉTODO AHP</b>  | <b>27</b> |
| <b>3.11 SENSORIAMENTO REMOTO (SR)</b>                             | <b>30</b> |
| <b>3.12 SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)</b>              | <b>32</b> |
| 3.12.1 Mapa de Uso e Cobertura do solo                            | 33        |
| 3.12.2 Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS)                 | 36        |
| 3.12.2.1 Fator de Erosividade da Chuva (R)                        | 37        |
| 3.12.2.2 Fator de Erodibilidade do Solo (K)                       | 37        |
| 3.12.2.3 Fator de Comprimento de Rampa e Grau de Declividade (LS) | 38        |
| 3.12.2.4 Fator de Uso e Manejo do Solo (C)                        | 38        |
| 3.12.2.5 Fator de Prática Conservacionista (P)                    | 38        |
| 3.12.3 Processos Erosivos Lineares                                | 38        |
| 3.12.4 Modelo Digital do Elevação (MDE)                           | 39        |
| <b>4. MATERIAIS E METODOLOGIA</b>                                 | <b>40</b> |

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| <b>4.1</b>  | <b>MATERIAIS</b>                                  | 40 |
| 4.1.1       | Softwares   | 40 |
| 4.1.2       | Imagens   | 40 |
| 4.1.3       | Base Cartográfica                                 | 40 |
| <b>4.2</b>  | <b>METODOLOGIA</b>                                | 43 |
| 4.2.1.      | MAPAS DE USO E COBERTURA DO SOLO                  | 45 |
| 4.2.2.      | MAPAS DE SUSCETIBILIDADE ÀS AÇÕES ANTRÓPICAS      | 45 |
| 4.2.3       | MAPA DE SUSCEPTIBILIDADE À EROÇÃO LAMINAR         | 46 |
| 4.2.2.1     | Fator de Erosividade da Chuva (R)                 | 46 |
| 4.2.2.2     | Fator de Erodibilidade do Solo (K)                | 46 |
| 4.2.2.3     | Fator Topográfico (LS)                            | 47 |
| 4.2.2.4     | Fator C e P                                       | 47 |
| 4.2.4       | MAPA DE SUSCEPTIBILIDADE À EROÇÃO LINEAR          | 48 |
| 4.2.3.1     | Pedologia   | 48 |
| 4.2.3.2     | Geologia  | 49 |
| 4.2.5.      | SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO                       | 51 |
| 4.2.6.      | MAPA DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL POR MEIO DE AHP | 53 |
| <b>5.</b>   | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>                     | 55 |
| <b>5.1.</b> | <b>MAPA DE USO E COBERTURA</b>                    | 55 |
| <b>5.2.</b> | <b>SUSCETIPIBILIDADE ÀS AÇÕES ANTRÓPICAS</b>      | 57 |
| <b>5.3.</b> | <b>MAPA DE SUSCETIBILIDADE À EROÇÃO LINEAR</b>    | 58 |
| <b>5.3.</b> | <b>MAPA DE SUSCETIBILIDADE À EROÇÃO LAMINAR</b>   | 60 |
| <b>5.4.</b> | <b>MAPA DE SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO</b>        | 62 |
| <b>5.5.</b> | <b>MAPA DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL</b>          | 63 |
|             | <b>CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÃO</b>                   | 66 |
|             | <b>REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS</b>                  | 67 |

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1.1: Mapa de localização da área de estudo.....  | 4  |
| Figura 1.2: Fotos da área de estudo - Fazenda da Papuda.....  | 5  |
| Figura 3.1: Hierarquia das ações de manejo dos RS.....  | 15 |
| Figura 3.2: Quantidades e classes dos resíduos.....   | 16 |
| Figura 3.3: Agenda de coleta de amostras presentes no relatório da consultoria.....                             | 17 |
| Figura 3.4: Local para implementação do Pátio de Compostagem - FUNAP/DF (adaptado do Google Earth).....         | 18 |
| Figura 3.5: Elementos básicos da estrutura do AHP.....  | 29 |
| Figura 3.6: Dados relevantes dos Satélites.....   | 31 |
| Figura 3.7: Etapas para o mapa de uso e cobertura do solo.....  | 34 |
| Figura 4.1: Mapa temático de Pedologia.....   | 41 |
| Figura 4.2: Mapas de Geologia.....  | 42 |
| Figura 4.3: Mapa do modelo digital de elevação da área em estudo.....   | 43 |
| Figura 4.4: Metodologia adaptada para produção de Mapa de Vulnerabilidade Ambiental.....                        | 45 |
| Figura 4.5: Passos utilizados para a geração do mapa de suscetibilidade à erosão linear.....                    | 48 |
| Figura 4.6: Representação esquemática para geração do mapa de Vulnerabilidade Ambiental.....                    | 54 |
| Figura 5.1: Mapas de uso e cobertura do solo para os anos de 1999, 2009 e 2019.....                             | 55 |
| Figura 5.2: Mapa de suscetibilidade ao avanço antrópico.....  | 57 |
| Figura 5.3: Mapa de Geopedologia.....   | 58 |
| Figura 5.4: Declividade dividida em classes para a área em estudo.....  | 59 |
| Figura 5.5: Mapa de Suscetibilidade à Erosão Linear.....  | 59 |
| Figura 5.6: Fatores componentes da EUPS.....  | 61 |
| Figura 5.7: Mapa de perda de solo da área de estudo do ano de 2020 por processos erosivos laminares (EUPS)..... | 62 |
| Figura 5.8: Mapa de Suscetibilidade à inundação.....  | 63 |
| Figura 5.9: Mapa de Vulnerabilidade Ambiental.....  | 65 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 3.1: Escala Fundamental proposta por Thomas Saaty (1980) para AHP. ....                  | 29 |
| Tabela 4.1: Imagens de sensores remotos utilizadas. ....  | 40 |
| Tabela 4.2: Bases de produtos cartográficos. ....   | 41 |
| Tabela 4.3: Estações pluviométricas usadas na pesquisa. ....                                    | 43 |
| Tabela 4.4: Valores de K atribuídos de acordo com as referências citadas. ....                  | 46 |
| Tabela 4.5: Valores do fator P atribuídos de acordo com a referência citada. ....               | 47 |
| Tabela 4.6: Valores de suscetibilidade aplicado à pedologia. ....                               | 49 |
| Tabela 4.7: Valores de suscetibilidade aplicado à geologia. ....                                | 49 |
| Tabela 4.8: Atributos para o cruzamento matricial dos mapas de Pedologia e Geomorfologia. ....  | 50 |
| Tabela 4.9: Valores de suscetibilidade aplicado à declividade. ....                             | 50 |
| Tabela 4.10: Atributos para o cruzamento matricial dos mapas de Pedologia e Geomorfologia. .... | 51 |
| Tabela 4.11: valores de suscetibilidade aplicados para cada afastamento. ....                   | 52 |
| Tabela 5.1: Quantitativo de área das classes de uso e cobertura do solo. ....                   | 56 |
| Tabela 5.2: : Áreas das classes antropizadas. ....  | 58 |
| Tabela 5.3: Declividade da sub bacia. ....  | 60 |

## LISTA DE EQUAÇÃO

|                   |    |
|-------------------|----|
| Equação 3.1 ..... | 36 |
| Equação 3.2 ..... | 37 |
| Equação 3.3 ..... | 37 |
| Equação 3.4 ..... | 38 |
| Equação 5.1 ..... | 64 |

## LISTA DE ABREVIACÕES, SIGLAS E SÍMBOLOS

% - Porcentagem

ANA – Agência Nacional de Águas

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnica

ABRELPE - Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

ACT - Acordo de Cooperação Técnica

AHP - *Analytic Hierarchy Process* ou Análise Hierárquica de Processos

APP – Área de Preservação Permanente

C - Fator de uso e manejo do solo

CEASA - Centrais de Abastecimento do Distrito Federal

CF - Constituição Federal

CONAM - Conselho de Meio Ambiente do Distrito Federal

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

DCAA - Declaração de Conformidade de Atividade Agropecuária

DF - Distrito Federal

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ESRI - *Environmental Systems Research Institute*

EUPS - Equação Universal de Perda de Solo

FUNAP/DF - Fundação de Amparo ao Trabalhador Preso

GDF - Governo do Distrito Federal

IBRAM - Instituto Brasília Ambiental

IVDN - Índice de vegetação por diferença normalizada

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

K - Fator de erodibilidade dos solos

M - Metro

MDE - Modelo Digital de Elevação

MMA - Ministério do Meio Ambiente

NASA - Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço

ONU - Organização das Nações Unidas

P - Fator de práticas conservacionistas

PGRS - Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos

PIJ - Plano de Implementação de Johannesburgo

PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos

R - Fator de Erosividade da Chuva

RC - Razão de Consistência

RS - Resíduos Sólidos

RSU - Resíduos Sólidos Urbanos

SEAGRI - Secretaria de Estado da Agricultura, Abastecimento e Desenvolvimento Rural

SEJUS/DF - Secretaria de Justiça e Cidadania

SIG - Sistema de Informação Geográfica

SLU - Serviço de Limpeza Urbano do DF

SPRING - Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas

USGS - *United States Geological Survey*

UnB - Universidade de Brasília.

## RESUMO

### **ESTUDO DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL PARA IMPLANTAÇÃO DE UM PÁTIO DE COMPOSTAGEM NA FAZENDA DA PAPUDA (DF).**

**Autora: Laís Priscila de Sousa Pinto.**

**Orientador: Wagner Santos de Almeida.**

A Lei Distrital 5.610/2016 retira do Governo do Distrito Federal a obrigação de gerenciar os resíduos de quem gera diariamente 120 litros ou mais, independentemente da área ocupada (com exceção de residências ou condomínios residenciais). Entre as medidas imediatas para o gerenciamento, está a necessidade de encontrar o local adequado para a instalação de um pátio de compostagem, levando em conta as medidas de controle de odores e lixiviados. Surge assim, a preocupação relacionada à vulnerabilidade ambiental que, neste trabalho final de graduação em Engenharia Ambiental, relaciona-se com as susceptibilidades do meio físico e biótico, à exposição a fontes de pressão ambiental e à ocorrência de impactos ambientais. Para a determinação da vulnerabilidade ambiental no local designado para o futuro pátio de compostagem na Fazenda Papuda-DF foi obtida algoritmos de geoprocessamento inseridos em sistema de informações geográficas (SIG) por meio de análise multicritério tipo Análise Hierárquica de Processos (AHP). Foi gerado mapas de uso e cobertura do solo para os anos de 1999, 2009 e 2019 utilizando imagens de sensores remotos orbitais. Foi utilizado modelo digital de elevação (MDE) para a delimitação área compreendida na sub-bacia do Ribeirão da Papuda e para o mapa de declividade do terreno. A metodologia USLE foi aplicada para a geração do mapa de susceptibilidade à erosão laminar. Para o mapa de susceptibilidade à erosão linear foi realizado um cruzamento matricial dos mapas de pedologia, geologia e declividade do local. Para a geração do mapa de vulnerabilidade à inundação foi utilizada a ferramenta “buffer” a rede de drenagem. O mapa de ação antrópica, foi obtido por meio da reclassificação do mapa de uso e cobertura do solo. Os resultados de vulnerabilidade foram obtidos por meio da álgebra dos mapas dessas diversas suscetibilidades. Por meio de análise multicritério utilizando a AHP, o qual apresenta a ação antrópica ao longo dos anos estudados foi determinante para a intensificação dessa vulnerabilidade ambiental. Os resultados obtidos podem servir de subsídios para verificação da potencialidade da área de estudo ser utilizada como pátio de compostagem, em função da determinação da sua vulnerabilidade ambiental em função das susceptibilidades do meio biofísico estudado.

Palavras-chave: Vulnerabilidade ambiental, compostagem, SIG, AHP e sensoriamento remoto.

## 1. INTRODUÇÃO

As mudanças nos padrões e hábitos da sociedade geradas pelo avanço no desenvolvimento econômico vêm provocando uma elevação na geração de resíduos sólidos. Tal fato é visto como uma problemática desafiadora para os países, independentemente da sua situação econômica ou social, devido aos elevados custos relacionados à estrutura dos sistemas que recebem esse tipo de material e ao seu gerenciamento, tais como a coleta, os transportes, transbordo e a destinação final ambientalmente correta. Outros fatores relevantes são a qualidade dos serviços prestados, os seus custos associados e os impactos socioambientais que podem variar de forma significativa em cada local de disposição de resíduos sólidos.

A produção dos resíduos sólidos sofre influência de diversos fatores, tais como: aumento populacional e elevadas concentrações urbanas; variedades de atividades comerciais e industriais; demanda por insumos; e, principalmente, o modo de consumo incompatível com a recuperação *in natura*. (Mucelin e M. Bellini, 2008). Assim, a Gestão de Resíduos Sólidos é fundamental no desenvolvimento sustentável, todavia, o cenário mundial ainda é caracterizado pelo aumento populacional associado à demanda de ocupação territorial urbana desordenada em muitos países.

O crescimento constante de degradação ambiental gera impactos negativos à população e ao meio ambiente. Dessa forma, é importante controlar e reduzir o descarte desordenado dos resíduos, sendo necessário que haja conscientização de que os recursos naturais são esgotáveis e a destinação adequada dos resíduos sólidos é de suma importância para garantir menores impactos ao meio ambiente (BRASIL, 2010), e de acordo com a Associação Internacional de Resíduos Sólidos (Abrelpe, 2017), a geração de resíduos sólidos em 2017 foi de cerca de 78,4 milhões de toneladas no Brasil.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos vem com o intuito de preencher a lacuna no que diz respeito à estrutura nacional para o gerenciamento de resíduos sólidos, por meio da Lei Federal nº 12.305, sancionada em 02 de agosto de 2010, que define os seus princípios, objetivos e instrumentos.

De forma a reconhecer, ainda que tardiamente, essa problemática ambiental que o País sofre, cuja origem principal está na destinação e na disposição inadequada dos resíduos sólidos, o que, conseqüentemente, provoca contaminação no solo, no ar, nas águas superficiais e subterrâneas, além da dificuldade em identificar os agentes causadores responsáveis.

Deste modo, cada município deve elaborar seu plano de gerenciamento de resíduos sólidos, seguindo as exigências da gestão integrada, da não geração, da redução, da reutilização, da reciclagem, da coleta seletiva, da logística reversa, do tratamento e da disposição final adequada.

A fração orgânica presente nos resíduos sólidos urbanos representa uma parcela significativa dos resíduos gerados no Brasil e compromete a salubridade do ambiente urbano, atraindo vetores que são possíveis causadores de doenças, além de contaminar os lençóis freáticos, provocar uma redução na vida útil dos aterros e lixões, elevar os custos no tratamento de resíduos, e com isso, constroem um cenário de alta vulnerabilidade social e poluição.

Outro fator está relacionado à geração de gases de efeito estufa, principalmente o metano, quando os resíduos sólidos são enviados para os aterros e lixões. Assim, a estratégia de sustentabilidade, que pode ser utilizada para diminuir o volume de resíduos orgânicos depositados nos aterros, é a implantação de pátios de compostagem, prática disseminada em diversos países para estabilização da matéria.

Com o intuito de gerar soluções imediatas, garantindo que o atual aterro sanitário de Brasília permaneça com a vida útil de 40 anos, a Lei 5.610, de fevereiro de 2016, retira do Governo do Distrito Federal (GDF) a obrigação de cuidar do lixo produzido pelos grandes geradores, ou seja, aqueles que produzem diariamente cento e vinte mil litros ou mais de resíduos.

O parâmetro de produção de resíduos escolhido pelo GDF garante que, independentemente da área do estabelecimento, aquele que se enquadrar nesta classificação deverá ser responsável pelo Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos – PGRS, ou seja, garantindo a coleta, transporte e destinação final adequada. A classificação não vale para as residências ou condomínios residenciais, cuja responsabilidades estão descritas na Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei Federal n ° 12.305, de 2 de agosto de 2010).

A Centrais de Abastecimento do Distrito Federal – CEASA, apresenta uma área total de 285.119 m<sup>2</sup>, com 83.936,98 m<sup>2</sup> de área edificada. É uma empresa estatal composta por uma sociedade de economia mista, construída nos termos da Lei n ° 5.691, de 10 de agosto de 1971, criada em 11 de outubro de 1972 e modificada pela Lei n ° 6.208, de 26 de maio de 1975. Tem por intuito promover, desenvolver, regular, dinamizar e organizar a comercialização de produtos para seus usuários. Assim, a CEASA enquadra-se na categoria de grandes geradores e de acordo com a Lei 5.610, deve adotar medidas imediatas para gerenciar adequadamente os seus resíduos.

Entre essas medidas imediatas para gerenciar adequadamente os seus resíduos sólidos, a CEASA/DF deve escolher adequadamente um local para a destinação final dos resíduos gerados dentro do seu estabelecimento.

O presente trabalho final de Graduação em Engenharia Ambiental propõe-se a estudar a viabilidade de implantação de um pátio de trincheiras de compostagem na Fazenda da Fundação de Amparo ao Trabalhador Preso (FUNAP/DF) para futura disposição dos resíduos orgânicos gerados na CEASA/DF, tendo em vista que a área se enquadra nas possíveis áreas escolhidas para um Acordo de Cooperação Técnica firmada entre as partes.

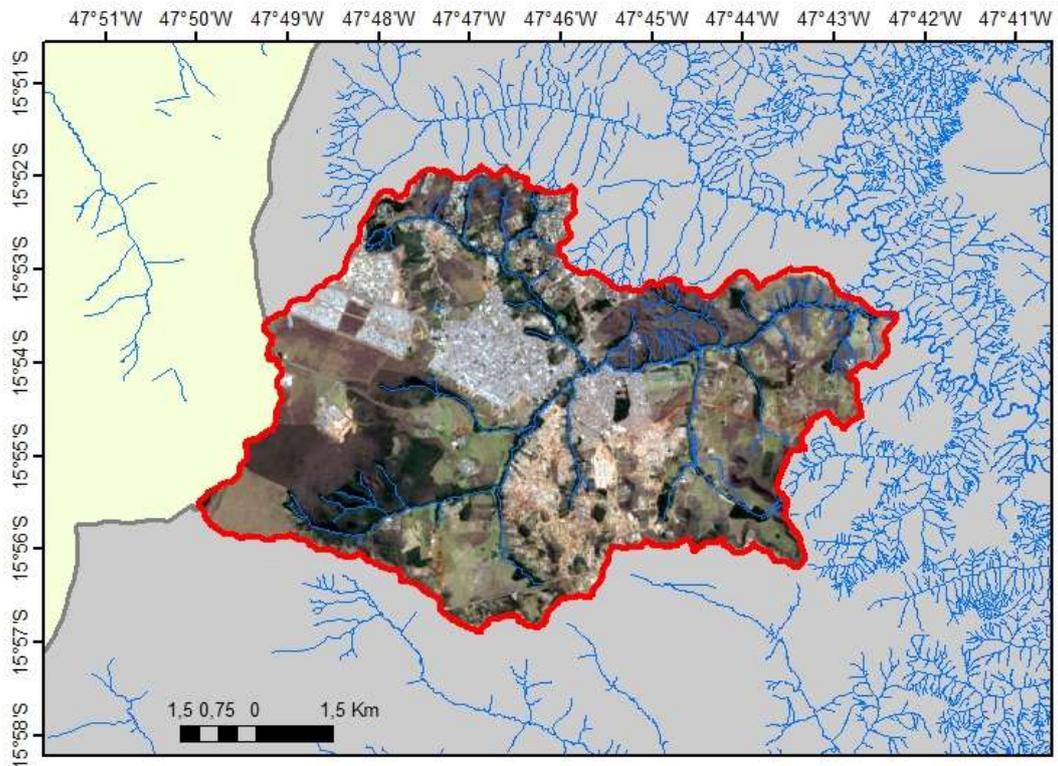
Com isto, este estudo pode contribuir com a escolha de um local adequado, minimizando os impactos ao meio ambiente, melhorando o ambiente de trabalho e aspirando uma adequada gestão aos resíduos sólidos, com práticas de reciclagem e compostagem.

### **1.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

O presente trabalho apresenta análises realizadas na unidade hidrográfica Ribeirão da Papuda, pertencente à bacia do rio São Bartolomeu, localizada no Centro-Oeste brasileiro, mais especificamente, dentro do complexo penitenciário da Papuda, na Região Administrativa de São Sebastião, no Distrito Federal.

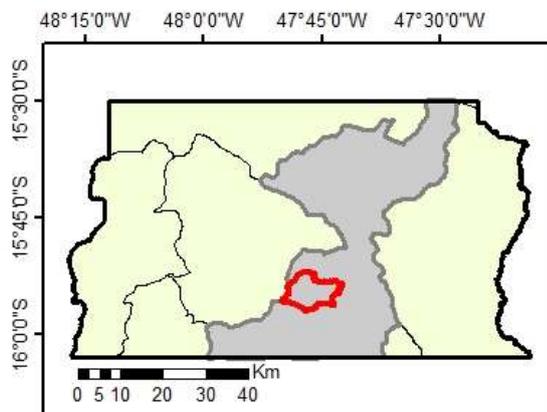
Na área de estudo existe interesse de implantar trincheiras de compostagem cujo material orgânico proveniente das Centrais de Abastecimento do Distrito Federal será disposto para a estabilização e, posteriormente, geração de adubo orgânico.

A área de estudo compreende a sub-bacia do Ribeirão da Papuda, e localiza-se entre as coordenadas geográficas 15° 50' e 15° 57' de latitude sul e 47° 41' e 47° 51' de longitude oeste, e pertence a bacia hidrográfica de São Bartolomeu representada por meio da Figura 01 e por meio de fotografias obtidas no local constantes da Figura 1.2.



**Legenda**

-  Bacias Hidrográficas do DF
-  Bacia São Bartolomeu
-  Delimitação do DF
-  Área de Estudo
-  Rios e Córregos



Sistema de Coordenadas Geográficas e Datum Sirgas 2000

Fonte: SGS

Elaboração: Adaptação da imagem do Landsat-8 e Agência Nacional de Águas.

Figura 1.1: Mapa de localização da área de estudo.



Figura 1.2: Fotos da área de estudo - Fazenda da Papuda.

## **2. OBJETIVO DA PESQUISA**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

O presente projeto tem como objetivo geral avaliar a viabilidade em termos de sua vulnerabilidade ambiental, para a implantação de pátio de compostagem em uma área da Fazenda da Fundação de Amparo ao Trabalhador Preso (FUNAP/DF), localizada no complexo penitenciário da Papua, na Região Administrativa de São Sebastião, no Distrito Federal, por meio de análise multicritério em ambiente de geoprocessamento. Assim como, adequar-se à legislação brasileira, (Lei n° 6.518 de 12 de março de 2020) e às normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, que estabelecem a compostagem dos resíduos orgânicos para sua gestão adequada.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Os objetivos específicos do projeto estão listados a seguir:

- avaliar a suscetibilidade da área de estudo às alterações antrópicas, no uso e cobertura do solo nos anos de 1999, 2009 e 2019;
- avaliar a suscetibilidade da área de estudo a processos erosivos laminares;
- avaliar a suscetibilidade da área de estudo a processos erosivos lineares; e
- avaliar a suscetibilidade da área de estudo a áreas inundáveis.

### **3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Neste item, pretende-se fazer uma breve revisão teórica sobre o tema de compostagem, resíduos sólidos e a metodologia aplicada com base em algoritmos de geoprocessamento inseridos em Sistemas de Informação Geográfica - SIG. Serão descritos os conceitos necessários para a aplicação da metodologia de análise de vulnerabilidade para a implantação do pátio de compostagem no local pré-estabelecido. Foram considerados neste resumo apenas os conceitos que de alguma maneira fundamentam ou servirão de subsídio para o estudo de caso a ser descrito.

#### **3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS**

Segundo Mucelin, M. Bellini (2008), o lixo não é apenas uma junção de todo material descartado e, sim, um mesclado de tipos distintos de resíduos, mais comumente segregados como secos e orgânicos.

Não há como deixar de relacionar o crescimento do consumo humano com o aumento da poluição e, especialmente, na geração de resíduos sólidos. Os padrões de consumo exagerados de bens não se constituem em uma característica exclusiva da sociedade contemporânea (Slater, 2002). Nesse sentido, percebe-se o aumento na quantidade de resíduos gerados.

Tal fato pode estar associado a diversos fatores, com a ampliação na geração de produtos industrializados, a mudança na composição dos RSU por meio de incorporação de novos produtos comercializados e o aumento no uso de descartáveis, sendo necessária uma intervenção e a criação de políticas e campanhas educativas específicas para o setor, com o intuito de estimular a não geração, a redução, o reaproveitamento e a reciclagem dos resíduos, além da disposição final ambientalmente correta, que é proposta na PNRS.

A ABNT de Resíduos sólidos – Classificação (BRASIL, 2004) define resíduos sólidos (RS) como:

“Resíduos nos estados sólido e semissólido resultantes de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição, incluindo os lodos gerados em sistemas de tratamento de água e em equipamento de controle de poluição, além de líquidos que possuem características que impossibilitem seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos hídricos, ou que

exijam para o lançamento tratamentos técnica e economicamente inviáveis”.

A definição de RS é ampliada pela PNRS, abrangendo também gases contidos em recipientes (BRASIL, 2010).

A Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) define resíduo sólido como:

“Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, cuja destinação final se procede, se propõe a proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível”. (BRASIL, 2010).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas- ABNT (2004) define resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem: industrial, doméstica, de serviços de saúde, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Consideram-se também resíduos sólidos os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, bem como determinados líquidos, cujas características ou soluções técnicas economicamente inviáveis tornem o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpo d’água irrealizável.

### **3.2 POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS**

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) instituída pela Lei Federal nº 12.305, de 02 de agosto de 2010, depois 21 anos de negociações e participação social, envolvendo a União, os Estados, os Municípios, o setor produtivo e a sociedade civil, em busca de solucionar os problemas gerados pela gestão inadequada dos resíduos sólidos (Teixeira, 2013).

No 1º Artigo da PNRS são estabelecidos seus padrões, objetivos, instrumentos que a viabilizem, diretrizes e princípios, conferindo responsabilidades aos geradores, ao poder público e às pessoas físicas ou jurídicas responsáveis, direta ou indiretamente, pela geração de resíduos sólidos e as que desenvolvam ações relacionadas à gestão desses resíduos.

O objetivo principal é a gestão integrada de resíduos sólidos por meio da não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, assim como disposição

final ambientalmente adequada dos rejeitos, visando, também, à proteção da saúde pública e ambiental. Tem como objetivo, ainda, incentivar à indústria da reciclagem, buscando fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e integrar os catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis nas ações que envolvam a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos. (BRASIL, 2010).

Os instrumentos da PNRS são os planos de resíduos sólidos; a coleta seletiva, a educação ambiental, os sistemas de logística reversa e outras ferramentas relacionadas à implementação da responsabilidade compartilhada; o monitoramento e a fiscalização ambiental sanitária e agropecuária; a pesquisa científica e tecnológica; a educação ambiental; o sistema nacional de informações sobre a gestão dos resíduos sólidos (SINIR); e o sistema nacional de informações em saneamento básico (BRASIL, 2010).

Suas diretrizes propõem ações que visam à proteção da saúde pública e à manutenção da qualidade do meio ambiente, por meio da destinação final ambientalmente adequada, geradores de resíduos sólidos, gerenciamento de resíduos sólidos, gestão integrada de resíduos sólidos, logística reversa, responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos e reutilização (BRASIL, 2010).

Dentre os princípios da Lei da PNRS, que dirigem as ações de toda a sociedade na gestão dos resíduos sólidos (BRASIL, 2010), estão relacionados: o desenvolvimento sustentável; a cooperação entre as diferentes esferas do poder público; o setor empresarial e demais segmentos da sociedade; a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos; e o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social.

Portanto os Estados, os Municípios, as organizações e a sociedade passam a ser responsáveis por aquilo que geram e devem destinar, de forma ambientalmente correta, seus resíduos sólidos. Dessa forma, é responsabilidade dos envolvidos gerar meios de reciclar os resíduos, a fim de reduzir a quantidade de materiais que são descartados e retirados da natureza. (BRASIL, 2010).

A PNRS, no contexto do elogiado arcabouço legislativo ambiental brasileiro, de sólida base constitucional, apresenta um marco inovador e ousado na implementação da gestão compartilhada do meio ambiente, propugnada pelo art. 225 da Constituição Federal (CF), ao conceber abrangente e multiforme articulação e cooperação entre o poder público das diferentes esferas, o setor econômico-empresarial e os demais segmentos da sociedade civil,

em especial, os catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis, com vistas à gestão e ao gerenciamento integrados dos resíduos sólidos (Jardim *et al.*, 2012).

Uma das finalidades da PNRS é acabar com os lixões no país. Dessa forma, os materiais não reciclados passam a ser descartados em aterros sanitários, melhorando a destinação final dos resíduos sólidos. Outra meta a ser alcançada é a redução dos RSU úmidos dispostos em aterros e o tratamento e a recuperação de gases em aterros. A PNRS exige que os municípios devam ter planos de gerenciamento de resíduos sólidos, que incluam cooperativas de catadores com melhores condições de trabalho, abrangendo a temática de compostagem, planejamento, organização, fiscalização e controle das coletas seletivas. As empresas privadas, por sua vez, devem investir em tratamentos de resíduos sólidos, criando pontos de entrega e meios de receber os resíduos, para possível reutilização e destinação mais adequada (BRASIL, 2010).

### **3.3 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

Os fatores que vem favorecendo o aumento do consumo de recursos naturais no Brasil estão ligados ao crescimento populacional, fluxo de retorno da migração nordestina de volta ao Nordeste, estimulando novos hábitos de consumo, déficit de campanhas de mobilização da sociedade para o consumo consciente, políticas de enfrentamento da pobreza, maior participação da mulher no mercado de trabalho, a facilidade de crédito para o consumo, a não cobrança pelos serviços de coleta e manejo dos RSU aos municípios, aumento de empregos e elevação salarial que provoca um aumento do poder aquisitivo, em geral, e da classe média, em particular. Se, por um lado, essa ascensão de uma parcela da população significa uma melhoria na qualidade de vida das pessoas pertencentes a essa classe social, por outro, significa maiores níveis de produção, consumo e geração de resíduos (Milaré, 2014).

O conceito de desenvolvimento sustentável tem uma base ligada à ética, de forma que a busca pelo desenvolvimento sustentável, socialmente justo, economicamente rentável e ambientalmente correto, de forma a considerar não só as demandas atuais, mas também se comprometendo em preservar a natureza para as futuras gerações. Tal conceito foi proposto durante a Primeira Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, em Estocolmo, na Suécia, em 1972.

A Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento de 1992, também conhecida como Eco-92, colocou em pauta a questão de Produção e

Desenvolvimento Sustentável, quando os moldes insustentáveis de consumo e produção foram reconhecidos como principal causa da degradação ambiental global. Após dez anos, líderes mundiais assinaram o “Plano de Implementação de Johannesburgo (PIJ)” durante a Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável, que assinalava a necessidade de modificar a forma como as sociedades produzem e consomem, buscando um modelo de desenvolvimento global sustentável.

A ideia de sustentabilidade urbana é um auxílio na aproximação das temáticas ambiental e urbana, que se consolidou ao longo da década de 90. Inicialmente o pensamento ambientalista olhava para o ambiental como algo pertencente ao reino animal, o que se opõe ao urbano, algo não natural. Porém na década de 1980 houve uma aproximação dos termos por meio do enfoque dado à definição da questão ambiental em direção à sustentabilidade (Moreira, 2016). Com o passar dos anos e a urgência de se resolver a questão de disposição e destinação dos rejeitos e resíduos gerados, o conceito de sustentabilidade veio auxiliar na forma de transformar o que antes era descartado em algo reutilizável. Transformação essa que vem acontecendo lentamente, e pouco a pouco foi ganhando seu espaço mundialmente (Teixeira, 2013).

### **3.4 GERENCIAMENTO E GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS**

O artigo 3º da Lei Nº 5.610, dispõe sobre a responsabilidade dos grandes geradores de resíduos sólidos e dá outras providências. Segundo esse dispositivo, a definição de gerenciamento de resíduos sólidos é definido por:

“Conjunto de atividades planejadas que incluem segregação, coleta, armazenamento, transporte, transbordo, tratamento e disposição final de resíduos sólidos.” (BRASIL, 2016)

O gerenciamento integrado abrange as decisões estratégicas que devem ser tomadas dentro da prestação, fiscalização e controle dos serviços públicos de manejo de resíduos sólidos, mantendo uma integração, o comprometimento das ações e operações.

Segundo Teixeira (2013) a gestão integrada dos resíduos sólidos inclui todas as ações voltadas à busca de soluções, ou seja, devem ser considerados os planos nacional, estaduais, microrregionais, intermunicipais e de gerenciamento. Os planos de gestão são responsabilidade dos entes federados, que devem tratar de questões como coleta seletiva, reciclagem, inclusão social, implementação e monitoramento, estabelecendo meios de controle e fiscalização da sua implantação e operacionalização.

Segundo a Lei Nº 12.305, que Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências, a Gestão Integrada de RS é dada por:

”Conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável”. (BRASIL, 2010)

A gestão ambientalmente correta é o conjunto de ações que proporcionam a oportunidade de poupar e recuperar recursos naturais, gerar energia limpa, gerar emprego e renda e também rever os atuais padrões de produção e consumo. A urgência de reduzir a produção de gases de efeito estufa na atmosfera provocou a adoção de regulamentos com o intuito de incentivar o setor público e o privado a investirem em energias renováveis no mundo todo.

A falta de um sistema de saneamento básico eficiente, proveniente da omissão e incapacidade do poder público, causa danos inigualáveis à qualidade ambiental nos centros urbanos, sendo fator principal na ocorrência dos impactos sobre as condições de saúde pública, sobretudo na disseminação de doenças de veiculação hídrica (SEMAS, 2012).

Buscando a melhoria na qualidade de vida da população, a gestão dos resíduos sólidos urbanos ainda é um grande desafio para o desenvolvimento sustentável nos municípios brasileiros, porém, é considerada uma ferramenta primordial, capaz de minimizar os problemas relacionados a essa questão, através do controle da poluição e da contaminação do ar, da água e do solo, que ocorrem devido à inadequada remoção, tratamento e destinação final dos resíduos (SEMAS, 2012).

### **3.5 GRANDES GERADORES**

Segundo a Lei Nº 5.610, que dispõem sobre a responsabilidade dos grandes geradores de resíduos sólidos e dá outras providências:

“Grandes geradores: pessoas físicas ou jurídicas que produzam resíduos em estabelecimentos de uso não residencial, incluídos os estabelecimentos comerciais, os públicos e os de prestação de serviço e os terminais rodoviários e aeroportuários, cuja natureza ou composição sejam similares àquelas dos resíduos domiciliares e cujo volume diário de resíduos sólidos indiferenciados, por unidade autônoma seja superior a 120 litros de resíduos sólidos indiferenciados”. (BRASIL, 2016)

Por meio da mesma Lei, as responsabilidades no que diz respeito ao gerenciamento dos resíduos de forma ambientalmente adequada passou a ser responsabilidade dos grandes geradores, que devem obedecer às normas pertinentes para o acondicionamento, a segregação, a apresentação de resíduos para coleta, o transporte, o transbordo, a triagem, o tratamento e a destinação final. É necessário que haja uma separação adequada dos resíduos onde os materiais recicláveis secos separados na origem possam ser destinados à reciclagem. A execução dessa tarefa deve, preferencialmente, atender às associações ou cooperativas de catadores de materiais recicláveis pré-cadastrada pelo SLU.

“Art. 4º Os grandes geradores são integralmente responsáveis pelo gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos similares aos resíduos domiciliares que gerem e pelos ônus dele decorrentes”. (BRASIL, 2016)

O Decreto Nº 39.981, que altera a Lei Nº 5.610, declara como deve ser realizado o tipo de transporte do material orgânico de forma adequada.

“§ 2º Para a coleta de resíduos orgânicos segregados, os transportadores poderão declarar outro tipo de veículo a ser utilizado, desde que, o resíduo orgânico a ser transportado esteja acondicionado em recipiente impermeável devidamente vedado, de forma a garantir que o resíduo seja mantido dentro do recipiente e que não haja derramamento de chorume durante o trajeto até seu destino final”. (BRASIL, 2019)

A Lei nº 6.518, que dispõe sobre a obrigatoriedade de tratamento dos resíduos sólidos orgânicos no Distrito Federal por processos biológicos, apresenta um cronograma para a adaptação com prazos e porcentagens.

“Art. 4º A vedação de destinação aos aterros sanitários a que se refere o caput do art. 2º deve ser aplicada para pessoas jurídicas de direito público, pessoas jurídicas de direito privado e condomínios residenciais ou comerciais de acordo com o seguinte cronograma:

I – até 5 de junho de 2021, 25% dos resíduos orgânicos devem ser obrigatoriamente destinados ao tratamento por processos biológicos;

II – até 5 de junho de 2022, 50% dos resíduos orgânicos devem ser obrigatoriamente destinados ao tratamento por processos biológicos;  
III – até 5 de junho de 2023, 75% dos resíduos orgânicos devem ser obrigatoriamente destinados ao tratamento por processos biológicos;  
IV – até 5 de junho de 2024, 100% dos resíduos orgânicos devem ser obrigatoriamente destinados ao tratamento por processos biológicos”. (BRASIL, 2020)

### **3.6 COLETA SELETIVA**

A PNRS define coleta seletiva como: “coleta de resíduos sólidos previamente segregados conforme sua constituição ou composição”, e aborda o tema de coleta seletiva inclusiva, em seu artigo 11, destacando a importância da inclusão dos catadores e incentivando, a partir da possibilidade de isenção de licitação para a contratação de cooperativas ou associações de catadores, ações de capacitação, incubação e fortalecimento institucional destas cooperativas, além da melhoria das condições de trabalho dos catadores.

A sociedade civil é responsável pela separação dos resíduos para a coleta seletiva, assim como pela devolução, após o uso, dos produtos e embalagens, facilitando a logística reversa. Devemos ter a consciência de que cada um tem a possibilidade de escolher a qualidade e quantidade dos produtos que consumirá e deverá evitar sempre a cultura do consumo em excesso, que gera desperdícios (Teixeira, 2013).

A coleta seletiva é a base para a sustentabilidade do gerenciamento dos resíduos sólidos GRS, de forma que a segregação eleva as possibilidades de reciclar e reaproveitar os resíduos (Montagna, 2012). A falta de coleta seletiva gera incerteza quanto à destinação dos resíduos sólidos e, por isso, compõe a base essencial para o desenvolvimento sustentável e representa uma alternativa mais limpa, econômica, ambiental e socialmente positiva, quando comparada com as demais opções de gestão de resíduos sólidos urbanos (Teixeira, 2013).

Segundo o Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010:

”O sistema de coleta seletiva será implantado pelo titular do serviço público de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e deverá estabelecer, no mínimo, a separação de resíduos secos e úmidos e, progressivamente, ser estendido à separação dos resíduos secos em

suas parcelas específicas, segundo metas estabelecidas nos respectivos planos”. (BRASIL, 2010)

Os materiais orgânicos viram rejeitos, ao entrar em contato com materiais contaminantes como pilhas, baterias, vidros e medicamentos, e libera substâncias indesejáveis no seu processo de decomposição, os quais ficam presentes no chorume. Além de impossibilitar a reciclagem de materiais como plásticos e papéis. Para evitar este problema, a segregação na fonte e condicionamento adequado dos resíduos orgânicos são fatores essenciais para o sucesso do projeto.

### **3.7 DIAGNÓSTICO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA CEASA**

Com o abastecimento diário, sabe-se que é gerado um grande volume de resíduos, constituídos, principalmente, por resíduos orgânicos que, por não estarem em bom estado, perdem seu valor comercial. Sabe-se que o desperdício ocorre em todas as etapas da cadeia produtiva dos alimentos, desde o plantio, passando pela colheita, transporte, viragem, comercialização, até o consumidor final. Havendo, então, a necessidade de atenção especial às práticas corretas de gerenciamento, para diminuir o desperdício de alimentos.

Com a finalidade de realizar um diagnóstico dos resíduos sólidos que são gerados nas dependências da CEASA e definir metas e programas de ações para o gerenciamento do material, da produção até a destinação final, foi realizado um Plano de Gerenciamento dos Resíduos Sólidos (PGRS), cujo o número do CEDF é 281016.

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente:

“O plano de gerenciamento é um documento que apresenta a situação atual do sistema de limpeza urbana, com a pré-seleção das alternativas mais viáveis, com o estabelecimento de ações integradas e diretrizes sob os aspectos ambientais, econômicos, financeiros, administrativos, técnicos, sociais e legais para todas as fases de gestão dos resíduos sólidos, desde a sua geração até a destinação final” (BRASIL, 2001).

Com base no PGRS de 2016 da CEASA-DF, estima-se que são gerados mensalmente, aproximadamente 415 (quatrocentas e quinze toneladas) de resíduos sólidos, sendo 290 (duzentas e noventa toneladas) de resíduos orgânicos, 83 (oitenta e três toneladas) de resíduos recicláveis e 42 (quarenta e duas toneladas) de rejeitos/indiferenciados. Dessa

forma, a fração mais expressiva da composição gravimétrica é a orgânica, representando aproximadamente 70% dos resíduos sólidos gerados (FRAL CONSULTORIA *et al.*, 2016). Sua decomposição, disposta incorretamente, gera líquidos contaminados, o chorume, e gases causadores do efeito estufa, os quais são os principais causadores de contaminação ambiental em áreas de disposição final de resíduos sólidos (Moretti *et al.*, 2015). Tal fato evidencia a importância na escolha adequada para a disposição ambientalmente correta, de modo a minimizar as possibilidades de impactos ambientais negativo.

Existe uma hierarquia na gestão dos resíduos sólidos, uma ordem de prioridade, incluída também no art. 9º da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS):

”Art. 9º Na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos”. (BRASIL, 2010).

O PGRS deve assegurar que todos os resíduos serão gerenciados de forma adequada e segura, de acordo com o manejo adequado, seguindo uma hierarquia representada por meio da figura 3.1.

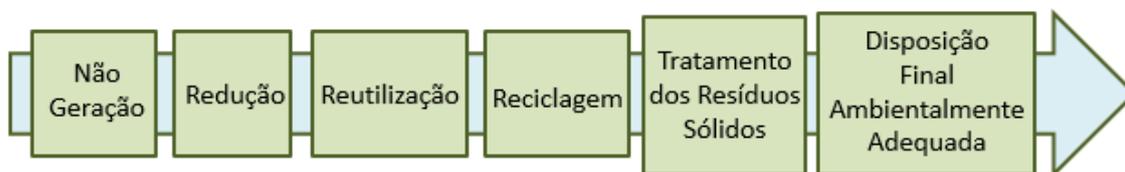


Figura 3.1: Hierarquia das ações de manejo dos RS.

Fonte: Elaboração própria baseada na PNRS.

Por meio da Figura 3.1, que representa a hierarquia das ações de manejo dos RS, a primeira prioridade no gerenciamento é a não geração, nessa etapa o produtor ou o responsável deve buscar a otimização do processo, de forma a evitar a geração de resíduos. Após esgotar todos os métodos para a não geração, devem-se desenvolver técnicas para reduzir a quantidade de material gerado. Em seguida, quando houver a otimização na etapa de redução, é necessário buscar formas de prolongar a vida útil do material.

A etapa seguinte é a reutilização. O material deve ter características que permitam o uso dos mesmos, sem perda significativa da qualidade inicial. Quando o material perde a qualidade inicial e não é possível realizar a sua reutilização, devem-se buscar alternativas para reciclar, de forma a introduzir o resíduo em uma nova cadeia produtiva, servindo de matéria prima para a fabricação de outros produtos.

A quinta etapa diz respeito ao tratamento dos Resíduos Sólidos. Nessa etapa, devem-se utilizar tecnologias apropriadas para neutralizar a periculosidade do resíduo. Por fim, quando não há possibilidade de realizar tratamento algum, o rejeito deve ser disposto de forma ambientalmente adequada, com o máximo cuidado para que não polua ou altere o meio ambiente.

O estudo realizado pela empresa FRAL Consultoria Ltda. mostra a quantidade e a classificação dos resíduos gerados entre os dias 06 e 11 de junho de 2016 na CEASA-DF, apresentada por meio da Figura 3.2.

| QUANTIFICAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS GERADOS NA CEASA-DF |                   |  |              |  |
|--|-------------------|--|--------------|--|
| RESÍDUOS GRUPOS  | CLASSE NBR 10.004 | DESCRIÇÃO  | MÉDIA MENSAL | DESTINAÇÃO ATUAL                           |
| Papel / Papelão  | II-A              | Resíduos provenientes dos Escritórios, Pavilhões Permanentes, Mercado Livre do Produtor e Áreas Atípicas.  | 13.290 kg    | WR COMERCIAL E SERVIÇOS                    |
| Vidro  | II-B              |  | 27.278,32 kg |  |
| Plástico   |                   |  |              |  |
| Madeira  |                   |  |              |  |
| Palha  |                   |  |              |  |
| Orgânicos  | II-A              | Resíduos provenientes dos Pavilhões Permanentes, Mercado Livre do Produtor e Pavilhões Atípicos  | 612.377 kg   | Aterro Sanitário                           |
| Resíduos de Banheiros  |                   |  |              |  |
| Óleo Vegetal pós-uso   |                   |  |              |  |
| Pilhas e Baterias  | I                 | Resíduos provenientes dos Escritórios e de todas as instalações prediais da CEASA-DF, Pavilhões Permanentes, Mercado Livre do Produtor, Áreas Atípicas | 45 und.      | Depositado no lixo comum/rejeito           |
| Lâmpadas   |                   |  | 651 und.     | Devolução ao fabricante                    |
| Entulhos de Construção Civil                                   | II-B              | Resíduos provenientes da manutenção das instalações da CEASA/DF  | 6.840 kg     | Encaminhado ao Aterro Sanitário            |
| Cartucho Impressora  | I                 | Resíduos provenientes dos Escritórios  | 46 und.      | Devolução ao fabricante para remanufaturar |
| Tonner Impressora  |                   |  |              |  |

Figura 3.2: Quantidades e classes dos resíduos.

Fonte: Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos –PGIRS da Ceasa-DF.

Ainda, conforme o PGRS da FRAL Consultoria Ltda. realizado em 2016, os resíduos sólidos não eram separados na fonte no ano de 2016. Dessa forma, os resíduos sólidos foram separados em grupos e, posteriormente, em classes, segundo a NBR 10.004. A Figura 3.2 mostra a média mensal de cada classe produzida nas dependências da CEASA-DF e a destinação final de cada classe.

Segundo a pesquisa, foram selecionadas 26 amostras para serem avaliadas, subdivididas por área, considerando os pontos de coleta (Central de Flores, Estacionamento, Operação e Escritório), abrangendo uma semana completa, levando em conta os dias da semana: segunda-feira (06/06/2016) e quinta-feira (09/06/2016), que apresentam atividade de feira; terça-feira (07/06/2016), correspondente ao um dia de movimentação comum (sem feira); e

as amostras coletadas no sábado (11/06/2016), correspondente ao dia de Varejão. De acordo com a Figura 3.3 a seguir.

|           | 06/06/16          | 07/06/16          | 08/06/16          | 09/06/16          | 10/06/16          | 11/06/16 |
|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------|
| Amostra 1 | Central de Flores | Operação          | Central de Flores | Operação          | Central de Flores | Operação |
| Amostra 2 | Estacionamento    | Operação          | ---               | Estacionamento    |                   | Operação |
| Amostra 3 | Operação          | Operação          | ---               | Estacionamento    |                   | Operação |
| Amostra 4 | Estacionamento    | Operação          | ---               | Operação          | ---               | Operação |
| Amostra 5 | Operação          | Operação          | ---               | Operação          | ---               | Operação |
| Amostra 6 | Operação          | Central de Flores | ---               | Central de Flores | ---               | ---      |
| Amostra 7 | Escritório        |                   |                   |                   |                   | ---      |

Figura 3.3: Agenda de coleta de amostras presentes no relatório da consultoria.

Fonte: Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos –PGIRS.

Segundo o PGIRS, com relação aos resíduos gerados na CEASA/DF no ano em questão, o serviço de coleta manual e mecanizado, varrição e transporte até a destinação final era responsabilidade de uma empresa terceirizada (Cooperativa Renascer), não havendo separação de resíduos secos e úmidos, a segregação era realizada apenas de caixas de madeira e papelão. Porém, com a nova lei dos grandes geradores, a CEASA passou a ser responsável por aquilo que era gerado em suas dependências. Assim, com o intuito de destinar de forma correta, foram geradas várias agendas.

É importante destacar a necessidade de uma atualização do PGRS da empresa, conforme o Art. 23 da Lei Federal nº 12305/2010 delimita, o estudo está baseado nos dados que estão elencados acima e a partir da atualização dos dados poderão ser feitos novos estudos.

Ademais, com o intuito de reduzir o volume dos materiais dispostos nos aterros sanitários e, assim, garantir ou aumentar a sua vida útil, uma importante ação que pode ser implementada é a estabilização dos resíduos orgânicos por meio de processos de compostagem, já utilizada no Distrito Federal, semelhantes ao proposto.

### **3.8 FUNDAÇÃO DE AMPARO AO TRABALHADOR PRESO (FUNAP/DF)**

A FUNAP/DF, criada pela Lei 7.533, de 2 de setembro de 1986, órgão vinculado à Secretaria de Justiça e Cidadania (SEJUS/DF), tem a missão de contribuir para a reintegração social,

desenvolvendo programas voltados à capacitação profissional de seus reeducandos mediante a convênios com empresas públicas e privadas.

De acordo com FUNAP, a prestação de serviço é diferenciada, levando em consideração o regime penal imposto ao indivíduo. Aqueles que cumprem pena no regime fechado, atuam nas áreas de corte e costura, marcenaria, mecânica, panificação, serralheria e algumas atividades agrícolas na própria fazenda Papuda. Já nos regimes semiaberto e aberto, a promoção do trabalho ocorre por meio de prestação de serviços mediante convênios com empresas públicas e privadas, favorecendo assim o reingresso à sociedade.

O projeto de implantação do pátio de Compostagem na área agrícola da Fazenda Papuda, poderá ser uma ferramenta de educação ambiental, de capacitação/profissionalização e ressocialização dos apenados do sistema prisional do DF, utilizando resíduos orgânicos coletados em postos de coleta apropriados na CEASA- DF.

Por meio de conversas informais, algumas informações foram disponibilizadas como a área total da FUNAP, que compreende 230 hectares. Porém foi informado também que para a implantação do projeto a área disponível seria de 2 hectares, próximo ao Centro de Detenção Provisória, representado pela área destacada em verde na Figura 3.4.



Figura 3.4: Local para implementação do Pátio de Compostagem - FUNAP/DF (adaptado do Google Earth).

Um Acordo de Cooperação Técnica (ACT) firmado entre a CEASA/DF e a FUNAP, em 12 de julho de 2019, permite que os pallets de madeira descartados na CEASA possam ser destinados para a FUNAP, a fim de realizar a reciclagem do material. Esse Acordo possibilita outras possíveis parcerias, como a doação de alimentos impróprios para o consumo humano, destinados à alimentação dos animais da fazenda FUNAP, além da produção de adubos orgânicos, gerados por meio da compostagem produzidos na própria fazenda, sejam

direcionados à utilização da Fazenda da Fundação e seu excedente poderá ser utilizado na Agricultura Familiar do DF (CEASA-DF, 2019).

### **3.9 COMPOSTAGEM**

A compostagem é uma prática exercida há anos de forma empírica. Historicamente, gregos, romanos e povos orientais compreendiam que os resíduos orgânicos contribuíam para a fertilidade do solo. Porém, apenas em 1920, com Albert Holward, é que o processo passou a ser estudado e praticado de forma racional (BÜTTENBENDER, 2004).

Na compostagem, ocorre a transformação de resíduos orgânicos em um composto estável. O grande diferencial da compostagem em relação ao processo natural diz respeito à aceleração e o controle desta aceleração, com a minimização ao extremo dos impactos ambientais. Daí o controle do chorume, dos gases, da umidade, da temperatura e, especialmente, do que não deve estar presentes, a saber: agentes patógenos, materiais não compostáveis como vidros, plásticos, metais, dentre outros.

De acordo com o manual de implantação de compostagem e de coleta seletiva no âmbito de consórcios públicos produzido pelo Ministério do Meio Ambiente - MMA (2010) existem três tipos básicos de compostagem: a compostagem por leiras estáticas com aeração passiva (método UFSC), a compostagem por aeração forçada e, por fim, a obtida por meio de reator biológico. É importante salientar que a escolha de um método mais adequado dar-se-á principalmente, por duas razões: a quantidade a ser compostada e a disponibilidade financeira.

No primeiro método, denominada de UFSC, os resíduos são dispostos em leiras, que inclui camadas de estruturante, como palhas e serragem, intercaladas com camadas de resíduos orgânicos. Nesse método é garantido as condições favoráveis para a ação microbiológica para uma rápida degradação dos resíduos orgânicos.

Após ação dos micro-organismo, ocorre o resfriamento natural da leira, em seguida o material é maturado pelos macro-organismos, gerando um composto orgânico estabilizado e rico em nutrientes. A grande vantagem na escolha desse método está relacionada ao baixo custo de implantação, porém requer maior mão de obra para manutenção do pátio de compostagem, por ser um processo artesanal. Podendo ser aplicado um método semimecanizado. A constante oxigenação interna das leiras e seu revolvimento somente superficial reduz a produção e emissão de odores, tornando o método adequado para pátios de compostagem em áreas urbanas e periurbanas.

No segundo método, denominado de aeração forçada, a aeração é realizada por meio de tubos perfurados por onde circula ar forçadamente, através de bombeamento mecânico. Este método tem como desvantagem o aumento do custo com turbinas, tubos, energia e grades inerentes ao processo de aeração forçada. Apresentando assim, maior custo na implantação e operação. Outro fator importante é que o método requer maior cuidado no manejo das leiras, para preservar as estruturas de entrada de ar. Para seu bom funcionamento, as leiras necessitam de materiais estruturantes, como palha e serragem, permitindo o fluxo interno de oxigênio.

Na aeração forçada as leiras se mantêm estáticas e o revolvimento ocorre somente na camada superficial, a produção e emissão de odores também é reduzida, interessante para os pátios de compostagem em áreas urbanas e periurbanas, seguindo os critérios mínimos para não gerar impacto na vizinhança (Inácio e Miller, 2009). O método requer introdução de água e demanda custos com energia elétrica para manutenção do sistema de aeração.

No terceiro método, o composto é disposto em reator biológico, onde os parâmetros de oxigenação são aplicados sem interferência externa. Neste método, a compostagem geralmente ocorre em estruturas cilíndricas fechadas que proporciona a entrada de ar na massa por meio da rotação contínua, reduzindo o tempo de compostagem na fase ativa, mas requer cerca de 60 dias para maturação do composto. Tal método, requer alto investimento de implantação. Este método possibilita a automação do processo, com controle dos fatores externos como chuva e clima. Pelo alto investimento, esse método é mais utilizado para grandes volumes de resíduos orgânicos (Inácio e Miller, 2009).

A opção do método UFSC para operação de pátios de compostagem de pequeno porte justifica-se em princípio pelo tipo de resíduo orgânico gerado na CEASA, com alta umidade. Outro fator é que este método se utiliza de grande quantidade de materiais estruturantes, muito encontrados nas atividades de podas de árvores (serragens), palha, grama e folhas, materiais gerados nas CEASAs e na própria fazenda da FUNAP.

O processo de compostagem acontece com a decomposição aeróbia controlado da matéria orgânica rica em nutrientes, contida em restos de origem animal ou vegetal, por meio da ação de agentes microbiológicos, muitas vezes já presentes no solo, como bactérias, fungos, vermes e outros. A compostagem é efetuada em duas fases distintas: a primeira quando ocorrem as reações bioquímicas mais intensas, predominantemente termofílicas; a segunda ou fase de maturação, quando ocorre o processo de humificação. O composto orgânico, que

pode ser aplicado ao solo com o objetivo de seu melhoramento em termos agrícolas, sem ocasionar riscos ao meio ambiente (CEMPRE,2010).

Segundo Art. 9º da Resolução Nº 481 (2017), que estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem, “os resíduos orgânicos originários dos resíduos sólidos urbanos destinados ao processo de compostagem devem, preferencialmente, ser originados de segregação na origem em, no mínimo, três frações: resíduos recicláveis, resíduos orgânicos e rejeitos”. E ainda estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem, dessa forma pode ser definida como:

“Processo de decomposição biológica controlada dos resíduos orgânicos, efetuado por uma população diversificada de organismos, em condições aeróbias e termofílicas, resultando em material estabilizado, com propriedades e características completamente diferentes daqueles que lhe deram origem” (CONAMA, 2017).

A Norma Brasileira NBR 13591 de 1996, define a compostagem como um processo de decomposição biológico da fração orgânica biodegradável dos resíduos, efetuado por uma população diversificada de organismos, em condições controladas de aerobiose e demais parâmetros, desenvolvido em duas etapas distintas: uma de degradação ativa; e outra de maturação. Entre os benefícios da implantação de sistemas de triagem e compostagem, Büttenbender, 2004, cita:

- o controle da poluição ambiental;
- a minimização dos problemas de saúde pública;
- a economia de energia através da valorização de produtos;
- a contribuição para a proteção e preservação dos recursos naturais; e
- a geração de empregos diretos e indiretos.

Segundo Fernandes e Silva (1999), “a compostagem pode ser definida como uma biooxidação aeróbia exotérmica de um substrato orgânico heterogêneo, no estado sólido, caracterizado pela produção de CO<sub>2</sub>, vapor de água, liberação de substâncias minerais e formação de matéria orgânica estável”. Em termos práticos, o processo de compostagem realiza sucessivas etapas de transformação dos resíduos orgânicos, por meio de ações de diversos grupos de micro-organismos, através de diversas reações físicas, químicas e biológicas altamente complexo que ocorre durante o processo de compostagem da matéria orgânica dos

resíduos sólidos, onde não há necessidade de adição de qualquer componente físico ou químico à massa de resíduo durante o processo.

O composto final deve estar totalmente estável, ou seja, depois de passar pela maturação não pode gerar odor e suas características físicoquímicas não devem alterar-se muito. Só assim, o insumo pode ser utilizado na agricultura, livre de patógenose, rico em húmus e nutrientes minerais.

Por se tratar de um processo biológico, a degradação da matéria orgânica sofre influência de diversos fatores, destacando-se a relação carbono e nitrogênio, aeração, o teor de umidade, os nutrientes, pH, tamanho das partículas e a temperatura. A aeração é essencial para alguns tipos de micro-organismos necessários para o metabolismo microbiano responsável pela degradação da matéria orgânica. A atividade microbiológica sofre influência dos níveis mínimos de umidade na massa de material orgânico. Os nutrientes, em especial o carbono e o nitrogênio, uma vez que o carbono é a principal fonte de energia para as células microbianas e o nitrogênio é necessário para a síntese celular. A temperatura é importante no que diz respeito à celeridade da biodegradação, porém é necessário ressaltar que esse fator é resultado da atividade biológica (Fernandes e Silva, 1999).

### **3.9.1 Relação Carbono/Nitrogênio**

A condição ideal para que as reações ocorram adequadamente leva em conta o percentual de Carbono e Nitrogênio (relação C/N) dos materiais a serem compostados. Segundo o manual de implantação de compostagem e de coleta seletiva no âmbito de consórcios públicos produzido pelo Ministério do Meio Ambiente- MMA (2010) a melhor relação é de 30:1 C/N no início do processo. Os restos de vegetais ricos em nitrogênios, quando compostado junto com as aparas urbanas das podas e jardinagem, encontram o equilíbrio perfeito para esta relação.

O desbalanço entre a melhor relação de C/N gerado por uma proporção muito maior do que esta irá reduzir a velocidade da decomposição, pois a atividade microbiana levará tempo até estabilizar as concentrações. Por outro lado, se a relação for inferior a cerca de 20: 1, a compostagem será inibida e o nitrogênio será perdido tanto por lixiviação quanto por volatilização da amônia (NH<sub>3</sub>(g)).

Rynk (1996) afirma que o carbono é responsável tanto por fornecer energia, quanto para o crescimento dos micro-organismos, enquanto o nitrogênio é essencial para a síntese proteica

e para a reprodução. Dessa forma, o desequilíbrio da relação C/N pode gerar diversos malefícios ao processo tendo em vista que a alta taxa de carbono gera uma inibição dos micro-organismos, retardando em muito a maturação da leira. Do contrário, se ocorre alta concentração de nitrogênio, embora aumente muito o desenvolvimento das bactérias num primeiro momento, ocorrerá um aumento exagerado no consumo de oxigênio e se a leira não receber uma oxigenação extra, ela se tornará rapidamente anaeróbica, gerando amônia que é tóxica aos micro-organismos que gerarão gases de odores desagradáveis.

### **3.9.2 Oxigênio**

O consumo de oxigênio, a atividade microbiana e a temperatura estão diretamente relacionadas. E por esse motivo, é necessário garantir que os níveis de oxigênio na pilha de compostagem atinjam valores que permitam a atividade aeróbica dos microrganismos, sendo capaz de regular a velocidade de compostagem, diminuir a liberação de odores e reduzir a umidade do material em decomposição.

A oxigenação das leiras é algo necessário para o alcance às temperaturas termófilas para que não haja formação de reações indesejadas, geração de odores e nem a atração de vetores. Para isso podem ser utilizadas diversas estratégias de aeração, com o intuito de manter a maior parte possível da leira de compostagem em condição aeróbica. Dentre as opções de inclusão de oxigênio, podemos destacar o reviramento das leiras, porém é importante estar atento para que não seja realizado em excesso, pois pode resultar na perda excessiva de calor e de nitrogênio, através de gases como a amônia e o óxido nitroso (Rynk, 1996).

A decomposição de forma aeróbia é muito mais rápida e libera uma quantidade de energia muito maior. E a medição do oxigênio pode ocorrer com o auxílio de um aparelho simples e portátil.

### **3.9.3 Teor de umidade**

A umidade é indispensável para o metabolismo microbiano. Porém, deve haver um cuidado tendo em vista que o excesso de umidade acaba ocupando os espaços vazios e dificultando a aeração da pilha, gerando uma condição anaeróbica, o que explica a relação direta à quantidade de oxigênio do meio. Além disso, é importante que a umidade seja mantida em um nível ótimo, que segundo com Bidone e Povinelli (1999) o teor de umidade deve se manter próximo de 55%. Umidade inferior a 40% pode comprometer a atividade biológica reduzindo assim a velocidade do processo, enquanto que superior a 60% a leira fica tão encharcada que gera uma condição de anaerobiose.

Ressalta-se que a tendência é que os níveis de umidade na leira vão diminuindo ao longo do processo, principalmente devido às perdas por evaporação. Logo, é imprescindível regular o nível inicial de umidade, que é feito através da escolha dos materiais que vão compor a pilha de compostagem. Dessa forma, a compostagem deve juntar materiais muito úmidos como resíduos de alimentos com resíduos com baixo teor de umidade como serragem, folhas secas ou podas de árvores trituradas.

#### **3.9.4 Granulometria**

A atividade microbiana acontece principalmente nas superfícies das partículas, por esse motivo, quanto menor as partículas, mais rápido ocorre a decomposição. Porém, quanto menor o tamanho das partículas, mais compactado o material estará nas leiras e menos espaços vazios a pilha de compostagem terá, logo será mais difícil será a aeração. Então, o ideal é uma composição de materiais com partículas de diversos tamanhos, que não sejam exageradamente pequenos a ponto de dificultar a difusão do ar e nem grandes demais, pois podem atrasar a decomposição (Rynk, 1996). Assumindo assim um tamanho ideal dos resíduos sólidos orgânicos para compostagem entre 1 cm e 5 cm.

#### **3.9.5 pH**

Segundo Rodrigues, et al., 2006, a faixa de pH considerada ótima para o desenvolvimento dos micro-organismos responsáveis pela compostagem é entre 5,5 e 8,5. Porém, outros autores afirmam que o processo de compostagem também ocorre de forma satisfatória na faixa de 4,5 até 9,5, mas é possível perceber uma redução na velocidade de decomposição, já que o pH passa a ser um fator limitante para algumas populações de micro-organismos. (Pereira Neto, 1996). De forma geral o início do processo de compostagem é ácido, devido à formação inicial dos ácidos orgânicos. Contudo, ao longo do processo em que são formados os ácidos húmicos, estes passam a reagir com elementos químicos básicos e se formam os húmicos alcalinos. E com o decorrer do processo o pH tende a aumentar de forma gradativa (Kiehl, 2004). O composto humificado tem caráter alcalino.

#### **3.9.6 Temperatura**

A temperatura nas leiras varia de acordo com a fase de decomposição em que estão os compostos e de acordo com a camada da leira. Por este motivo a temperatura no interior da leira é um bom indicador do que está ocorrendo. Várias são as espécies de microrganismos

que participam do processo de compostagem, destacando-se as bactérias, fungos, protozoários e actinomicetos (Fernandes e Silva, 1999).

No início do processo, o crescimento dos microrganismos mesófilos predomina, com a variação de temperatura entre 45°C e 55°C., porém por meio da elevação gradativa da temperatura (acima de 55°C), resultante do processo de biodegradação, a população de mesófilos é reduzida e os microrganismos termófilos proliferam com mais intensidade. A população termófila é extremamente ativa, provocando intensa e rápida degradação da matéria orgânica e elevação da temperatura, o que elimina os microrganismos patogênicos e ervas daninhas que ocorre de forma natural devido ao metabolismo exotérmico dos decompositores (Fernandes e Silva, 1999). A ação de micro-organismos pode elevar a temperatura até 75°C, mas o recomendado é que não ultrapasse 60°C, já que seria prejudicial aos agentes biológicos benéficos.

Conforme o substrato orgânico é transformado, a temperatura da leira reduz e a população termófila se restringe, a atividade biológica global se reduz de maneira significativa e os mesófilos se instalam novamente. Nesta fase, a maioria das moléculas facilmente biodegradáveis foi transformada e o processo de humificação já foi iniciado, típico da segunda etapa do processo, denominada maturação (Fernandes e Silva, 1999).

### **3.9.7 Licenciamento Ambiental**

Segundo o Anexo I da Resolução CONAM nº 11 DE 20/12/2017, que Institui Declaração de Conformidade de Atividade Agropecuária - DCAA, a implantação de um pátio de compostagem com o porte compreendido entre 10.000 m<sup>2</sup> até 20.000 m<sup>2</sup> se enquadra em Atividades Rurais Dispensadas de Licenciamento Ambiental com Emissão Facultativa de DCAA.

A DCAA é um instrumento de alternativa simplificada que dispensa de licenciamento das atividades rurais de baixo impacto ambiental. É uma portaria conjunta entre a Secretaria de Estado da Agricultura, Abastecimento e Desenvolvimento Rural (SEAGRI) e o Instituto Brasília Ambiental (IBRAM). A emissão do DCAA será publicada no Diário Oficial do Distrito Federal.

A dispensa do licenciamento emitida pelo órgão ambiental local, para as atividades que possuam reduzido potencial poluidor/gerador, é aceita desde que não impliquem em

supressão de vegetação nativa, na intervenção de área de preservação permanente (APP) ou reserva de legal.

“Art.5º. As atividades agrossilvopastoris dispensadas de licenciamento e passíveis do recebimento da DCAA não desobrigam o interessado de obter as demais licenças ou autorizações legalmente exigíveis na esfera distrital ou federal. ”

“Art. 12. As atividades que tiveram DCAA emitidas devem ser informadas bimestralmente ao IBRAM que deve fiscalizar o cumprimento da legislação ambiental. ”

### **3.9.8 Processo de compostagem**

A utilização de compostagem como tratamento e estabilização da fração orgânica apresenta diversos benefícios sendo vista como um tratamento vantajoso, principalmente no que diz respeito a possibilitar a recuperação e reutilização de matéria-prima, diminuindo a quantidade de RS aterrados e o volume de lixiviado e a subsequente emissão de CH<sub>4</sub> nos aterros sanitários (CEMPRE, 2010).

Por outro lado, a compostagem também apresenta pontos negativos, dentre eles a exigência de eficácia no controle operacional, para não haver problemas na manutenção do composto e a sensibilidade do mercado consumidor de composto, que pode apresentar flutuações (FERNANDES; SILVA, 1999).

Realizando um rodízio de leiras, pode-se estabelecer um fluxo contínuo, onde sempre haja no mínimo uma leira com composto pronto, uma leira em maturação e uma leira em atividade. Ou seja, o local escolhido, ao contrário do aterro sanitário, terá uma vida infinita e uma constante produção de um material de qualidade, que poderá ser utilizado para Agricultura Urbana, de fácil escoamento.

Para a escolha de um local adequado de compostagem é importante salientar que há necessidade de atender as medidas de proteção do solo, por meio de impermeabilização e controle ambiental, para minimizar lixiviados, que são os líquidos que infiltram e escorrem de águas pluviais ou de outras fontes nas leiras de resíduos orgânicos; emissão de odores provenientes da decomposição da matéria; e evitar a geração de chorume, que é o líquido proveniente da umidade natural e da decomposição anaeróbia de resíduos orgânicos (Resolução N° 481 de 2017).

Em escala nacional, foi verificado a inexistência de legislação específica sobre licenciamento ambiental voltada à instalação, implantação, execução e operação de pátios de compostagem de resíduos sólidos orgânicos. O Ministério do Meio Ambiente (MMA) vem desde 2013 debatendo a questão. Desta forma, o licenciamento ambiental de empreendimentos com essa finalidade, geralmente estão sob responsabilidade dos Estados da Federação ou dos municípios, conforme critérios estabelecidos pela Lei Complementar 140/2011.

Segundo a Lei Nº 5.610, que dispõem sobre a responsabilidade dos grandes geradores de resíduos sólidos e dá outras providências:

“§ 4º A título de incentivo à compostagem, norma de regulação da ADASA pode prever a isenção ou o pagamento de preços públicos inferiores aos custos para a prestação pelo SLU de serviços de coleta, transporte e tratamento de resíduos orgânicos separados na origem pelos grandes geradores para compostagem”.

Os modelos de apoio à decisão são importantes ferramentas que podem ser utilizadas para analisar alternativas tecnológicas na gestão e tratamento de RSU por meio de análise de multicritérios. A realização de uma análise hierárquica por meio de comparações aos pares, utilizando o método AHP, é um exemplo de modelo de apoio à decisão utilizado para a escolha de um local de implantação de pátios de compostagem (Lima, José *et al.*, 2014).

Os impactos da compostagem podem ser percebidos na esfera ambiental, por meio da redução do volume de resíduos orgânicos nos aterros, da geração de gases e maus odores, e gera um composto rico em nutrientes. Já os impactos econômicos que podem ser citados estão relacionados com a redução de investimentos para a instalação de aterros sanitários, o próprio aproveitamento agrícola

### **3.10 MÉTODO AHP**

Em geral, os problemas de decisão que envolvem múltiplos objetivos e critérios, muitas vezes, são contraditórios entre si, de forma que a contribuição de um critério quase sempre apresenta um prejuízo a outro. Dessa forma, a busca por uma solução de melhor acordo entre os critérios se torna complexa, o que dificulta ainda mais a tomada de decisões (Lima *et al.*, 2014).

Dessa forma, para atingir os objetivos, é necessário um tratamento qualificado. Isso justifica a utilização de métodos de apoio à decisão em diversas circunstâncias. Esses métodos são, comumente, aplicados em diversas áreas da engenharia, recursos hídricos, urbanismo, gestão de bacias hidrográficas, engenharia de transportes e na gestão e tratamento de resíduos sólidos (Lima, *et al.*, 2014).

O método de análise multicritério – conhecido como *Analytic Hierarchy Process* (AHP) é um modelo matemático cujo principal objetivo é auxiliar na tomada de decisões com elevada complexidade. Foi desenvolvido na década de 1980 por Tomas L. Saaty e ainda é amplamente empregado. Baseado na decomposição do problema por meio de comparação de alternativas de escolha par a par, questionando os elementos que satisfazem a análise e o quanto satisfazem. Por meio do qual são organizados os objetivos ou critérios em uma hierarquia, representada pela preferência dos decisores, de forma que o resultado final apresente consistências lógicas (Lima, *et al.*, 2014).

Ainda segundo Lima, *et al.* (2014), a aplicação do método AHP deve abranger ao menos quatro etapas nos níveis descritos na Figura 3.4, descritos a seguir:

1° etapa: estruturar os objetivos, atributos e alternativas em hierarquias;

2° etapa: obter os dados do julgamento comparativo de cada par dos fatores de decisão em um determinado nível do grupo, verificando a consistência do julgamento atribuído;

3° etapa: determinar as prioridades relativas ao peso dos atributos de decisão em cada nível ou grupo; e

4° etapa: consolidar todos os pesos, propagando o efeito desses pesos na estrutura até o nível das alternativas.



Figura 3.5: Elementos básicos da estrutura do AHP  
 Fonte: Lima, *et al* (2014).

Por meio da Figura 3.4, é possível perceber a construção hierárquica correspondente à meta do estudo, aos critérios e às alternativas selecionadas. Facilitando a identificação da melhor opção dentre as alternativas e o auxílio na escolha de prioridades. Vale ressaltar a necessidade de levar em consideração os aspectos qualitativos e quantitativos.

A Tabela 3.1, representa a escala fundamental para a adoção de pesos de comparação entre os pares em uma AHP apresentada por Saaty (1980), em que o valor máximo é “9”, e indica uma extrema importância ou superioridade e o menor valor é de “1/9” que indica uma extrema inferioridade. Os valores pares para tal análise são valores intermediários nessa escala.

Tabela 3.1: Escala Fundamental proposta por Thomas Saaty (1980) para AHP.

| Valores | Importância mútua        | Explicação   |
|---------|--------------------------|--|
| 1       | Igualmente importante    | As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.  |
| 3       | Importância moderada     | A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra.                                     |
| 5       | Grande importância       | A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra.                                    |
| 7       | Importância muito grande | Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra, sua dominação de importância é demonstrada na prática. |
| 9       | Importância extrema      | A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza.                                 |
| 2,4,6,8 | Valores intermediários   | Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.   |

A principal vantagem de usar o método está relacionada com a interação entre as diversas variáveis, ao fato que o próprio usuário tem a possibilidade de atribuir pesos para os múltiplos critérios e concomitantemente permitir a comparação entre os mesmos, de tal forma que mesmo quando duas variáveis são bem distintas, há possibilidade de reconhecer qual é o mais importante para tal situação (Marchezetti, *et al.*, 2011).

Como os valores atribuídos aos pesos têm um caráter subjetivo do julgador, Saaty (1980) estabeleceu uma verificação da razão de consistência (RC) para constatar se há coerência na análise e os valores não estão distribuídos de forma aleatória. A razão de consistência tem limite máximo de aceitação de 0,10.

Um dos principais dados utilizados em análise multicritérios, tipo a AHP, são os oriundos de Sensoriamento Remoto. Todas as análises foram realizadas em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG). O método de Processo Analítico Hierárquico (AHP) foi escolhido visando reduzir a subjetividade das apreciações usadas para análise de vulnerabilidade ambiental.

### **3.11 SENSORIAMENTO REMOTO (SR)**

O planejamento e o manejo de recursos naturais requerem uma frequência na obtenção de bom mapeamento (Aspiazú *et al.*, 1990). A necessidade constante de representar o espaço geográfico e alguns fenômenos possibilitou a criação do sensoriamento remoto, que tem por finalidade fornecer dados para facilitar a identificação e extração de informações intrínsecas à imagem e, posteriormente, facilitar a interpretação.

Segundo Crósta (1992), o Sensoriamento Remoto pode ser entendido como um conjunto de atividades que permite a obtenção de informações dos objetos que compõem a superfície terrestre sem a necessidade de contato direto com os mesmos. Estas atividades envolvem a detecção, aquisição e análise da energia eletromagnética emitida ou refletida pelos objetos terrestres e registradas por sensores remotos.

As imagens coletadas por sensores remotos possuem algumas características que as diferenciam de outras imagens digitais e que são essenciais para se entender os fundamentos do processamento digital. Entre essas características estão sua estrutura, construída por um arranjo de elementos sob a forma de uma malha ou *grid* constituída por uma série de *Pixels*, que possuem um nível de cinza (DN), que varia conforme a intensidade média de energia refletida ou emitida pelos materiais presentes em cada *pixel*. (Crósta, 1992)



contato físico direto, para captação da energia da radiação eletromagnética absorvida ou refletida pela superfície da Terra.

### **3.12 SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)**

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são sistemas computacionais capazes de capturar, armazenar, consultar, manipular, analisar, exibir e imprimir dados referenciados espacialmente sobre e sob a superfície da Terra (Ferreira, 2006). Utiliza informações georreferenciadas, obtidas por meio do sensoriamento remoto, permitindo a manipulação, a transformação e a correlação de variáveis distintas, dotados de funcionalidades para edição e análise de dados e produção de mapas.

Os SIG tiveram início no Canadá, na década de 1960, com a finalidade de mapear os recursos naturais, porém só receberam esse nome na década de 1970. Inicialmente eram pouco acessíveis, por serem muito onerosos e por demandarem muito tempo, já que cada interessado deveria criar seus próprios programas, sem contar que a capacidade de armazenamento e a velocidade de processamento eram muito baixas na época. Com o avanço tecnológico ao longo dos anos foi possível aprimorar os sistemas (Ferreira, 2006).

Os programas de SIG estão cada vez mais sendo aplicados pelos gestores ambientais como ferramenta essencial para análises de Ordenamento Territorial, Monitoramento de Queimadas e Desmatamento, Monitoramento de áreas protegidas legalmente, dentre outras finalidades.

Dentre diversos sistemas de informações geográficas, destacam-se o ArcGis e o Spring. Dessa forma, esses SIG podem ser descritos como:

“O ArcGIS é um conjunto de Sistemas de Informações Geográficas (SIG’s) desenvolvido pela empresa norte-americana ESRI (Environmental Systems Research Institute) que fornece ferramentas avançadas para a análise espacial, manipulação de dados e cartografia”. (Fallis *et al.*, 2013).

”O SPRING é um SIG no estado-da-arte, com funções de processamento de imagens, análise espacial, modelagem numérica de terreno e consulta a bancos de dados espaciais” (INPE, 2010).

No presente trabalho, serão utilizados procedimentos de avaliação multicritério, baseados em SIG, que envolvem um conjunto de parcelas de solo como possibilidades geográficas

definidas e conjuntos de critérios de avaliação representados como camadas de mapas (*layers*). Dessa forma, será necessário combinar os critérios e sobreposição dos mapas de acordo com os pesos de atributos e as preferências dos decisores por meio de cálculos (Antunes, 2012).

As técnicas de modelação matemática podem ser usadas para gerar dados de entrada para a análise de decisão por multicritério. O SIG será utilizado na produção de mapas de vulnerabilidade ambiental, na análise de multicritérios, no estudo de áreas inundáveis, na análise de suscetibilidade de processos erosivos laminares e lineares, na produção de mapas de uso e cobertura, entre outros. Uma vez que o resultado obtido por meio de modelação matemática AHP é considerado satisfatório, as propriedades gráficas dos softwares de SIG têm, então, um outro papel na exibição dos mesmos (Antunes, 2012).

### **3.12.1 Mapa de Uso e Cobertura do solo**

O estudo do uso e cobertura do solo é de extrema importância para a presente pesquisa, haja vista que as ações antrópicas no meio influenciam diretamente nos processos erosivos. Dessa forma, esse mapa proporciona informações importantes para conhecer, monitorar e compreender os padrões de organização do espaço e é uma informação acessível, que pode ser obtida por meio das imagens de satélite. De forma sucinta, a expressão “uso da terra ou uso do solo” é o modo como o homem está ocupando o território (Fallis *et al*, 2013).

Nesse sentido, o uso e cobertura do solo de forma inadequada pode comprometer o meio ambiente de diversas formas, levando ao surgimento de processos erosivos por meio do desmatamento, do aumento da impermeabilização do solo através da expansão urbana, da contaminação do solo ou do lençol freático por contaminantes, entre outros, sendo necessário um planejamento integrado ao uso e ocupação do cobertura (Nunes *et al*, 2015).

Os mapas de uso e cobertura de solo são gerados, tomando como ponto de partida a obtenção de imagens por levantamentos aerofotogramétricos ou espaciais, com sensores instalados em satélites orbitais, em aeronaves ou em veículos aéreos não tripulados. Dessa forma, as imagens serão adquiridas por meio do *site* do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) <[www.inpe.br/](http://www.inpe.br/)>.

Para a confecção dos mapas de uso e cobertura do solo para os anos de 1999, 2009 e 2019, serão utilizados o SIG SPRING desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) e o SIG ArcGIS para o aprimoramento da imagem, seguindo os seguintes passos

metodológicos, cujos princípios de processamento encontram-se em Almeida *et al.* (2012). Conforme a Figura 4.2, é possível compreender alguns processos que serão realizados para a obtenção do mapa de uso e cobertura.

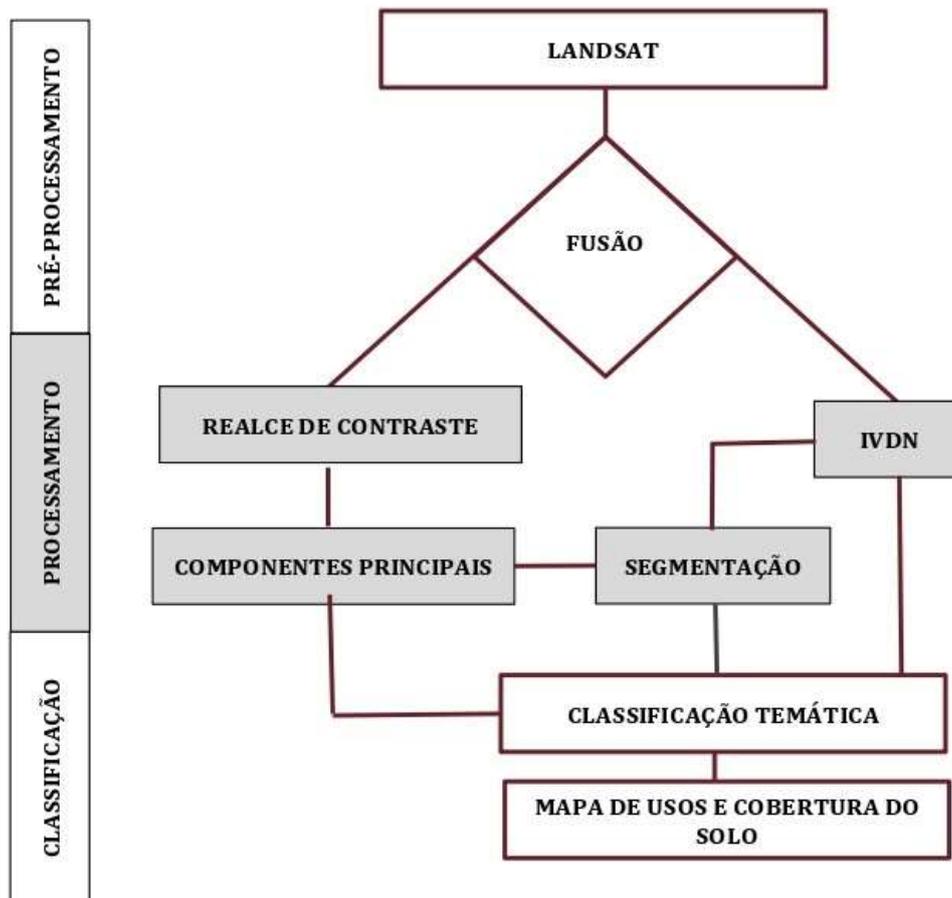


Figura 3.7: Etapas para o mapa de uso e cobertura do solo  
 Fonte: Almeida *et al.*, 2012, adaptado.

As imagens de entrada serão obtidas por meio do satélite da série LANDSAT. Em seguida, ocorre a fase de processamento, onde são realizados os realces nas bandas, os componentes principais, o índice de vegetação e a segmentação. Em seguida, faz-se a classificação temática das imagens e posteriormente a vetorização da edição. Todas as etapas citadas anteriormente são realizadas por meio do SIG Spring. As etapas seguem a descrição a seguir

- **Criação do Projeto:** inicia-se criando um banco de dados do projeto, onde serão armazenados todos os dados que serão manipulados durante o processo de classificação das imagens. Em seguida, é criado o projeto propriamente dito,

definindo um retângulo envolvente que compreende toda a área de estudo. Será adotado o sistema de projeção cartográfica UTM com o Datum SIRGAS 2000.

- **Importação das imagens:** Serão importadas as imagens multiespectrais dos satélites Landsat 5, 7 e 8 para os anos de 1999, 2009 e 2019 respectivamente, adquiridos no site do INPE.
- **Georreferenciar:** Para a imagem de 2009 será necessário georreferenciamento, onde serão selecionados os pontos de controle para a execução do registro no sistema SIRGAS 2000 UTM Zona 23S.
- **Composição colorida:** Para visualização das imagens em composição colorida, são definidas as posições das bandas espectrais em cada cor do espectro do visível, ou seja, para produção da composição do ano de 1999 será adotando a composição colorida 1R, 2G e 3B; nas cenas do ano de 2009 serão usadas a composição nas bandas 3R, 2G, 1B; para as cenas de 2019 será utilizada a composição 4R, 3G, 2B.
- **Realce de contraste:** Em cada uma das imagens resultantes, realiza-se a ampliação da Equalização Histográfica de natureza linear do contraste da imagem para melhorar sua qualidade sob os critérios subjetivos do olho humano. O realce é feito no algoritmo de expansão do histograma de natureza linear.
- **Índice de Vegetação (IVDN):** será utilizado para aumentar o contraste entre solo e vegetação, a partir da razão entre bandas referentes ao vermelho e infravermelho do espectro eletrônico referente a cada Landsat em análise. Serão geradas imagens de tonalidades cinzas, onde o cinza muito claro, corresponde a pouca ou nenhuma presença de vegetação, e cinza muito escuros, que correspondem à presença de vegetação densa, fazendo assim uma distinção de áreas com e sem vegetação.
- **Análise de Componentes Principais:** essa técnica reduz ou remove a redundância espectral.
- **Segmentação:** é feita utilizando as imagens de componentes principais e a imagem obtida pelo índice de vegetação. Com intuito de obter polígonos que correspondam adequadamente às regiões da imagem.
- **Classificação temática das imagens:** serão utilizadas as imagens de componentes principais, a imagem do índice de vegetação e a imagem segmentada. Por meio do algoritmo existente no classificador supervisionado que será escolhido o Bhattacharya e por meio de treinamentos nas aquisições de amostras espectrais para as classes temáticas escolhidas, empregou-se as técnicas de classificação por regiões,

cujos temas de uso e cobertura do solo foram agrupados nas seguintes classes temáticas do uso e cobertura do solo: área urbana 1, área urbana 2, mata ciliar, campo, cerrado, solo exposto.

- **Vetorização:** As imagens temáticas resultantes serão vetorizadas e exportadas em formato shapefile para o software ArcGIS, onde será realizada uma edição vetorial, tendo como base as imagens do Google Earth, de modo a corrigir as classes temáticas atribuídas erroneamente pelo algoritmo de classificação temática. O resultado da edição será o mapa de uso e cobertura do solo para cada ano analisado.

Depois de todas as etapas acima, será necessário importar as imagens já vetorizadas para o SIG ArcGIS para um refinamento, aprimorando ainda mais a imagem, de forma a reduzir os pequenos erros que ainda possam ocorrer.

### 3.12.2 Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS)

A degradação dos solos é um dos principais problemas socioambientais no Brasil. A deterioração dos solos brasileiros ocorre, principalmente, por meio de processos erosivos acelerados, por meio de transporte e deposição de sedimentos, provocados pelo escoamento da água das chuvas na superfície do terreno; podendo ser laminar, em sulcos, ravinas e voçorocas, que geram alterações ambientais (Souza *et al.*, 2012).

A EUPS é uma ferramenta adequada para a avaliação qualitativa da susceptibilidade à erosão laminar. Souza *et al.* (2012) propôs a EUPS como forma de explicar a relação dos principais fatores que provocam influência na erosão que a chuva pode causar. A Equação (3.1) apresenta a fórmula desenvolvida para o cálculo do referido modelo matemático:

$$A=R.K.LS.C.P \qquad \text{Equação 3.1}$$

Onde:

A = Perda de solo calculada em unidade de área - t/ha.ano;

R = Fator erosividade da chuva - Mj.mm/ha.h.ano;

K = Fator erodibilidade do solo - t.h/Mj/mm/.ano;

L = Fator comprimento de rampa (adimensional);

S = Fator grau de declive do terreno (adimensional);

C = Fator uso e manejo do solo (adimensional);

P = Fator prática conservacionista (adimensional).

Os fatores RKLS dependem das características naturais e as mudanças na forma de atuação dependem de alterações ambientais, enquanto que o C e o P estão relacionados com as formas de ocupação e conservação da terra (Tomazoni (2007), *et al.*).

### 3.12.2.1 Fator de Erosividade da Chuva (R)

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2012), o fator de erosividade da chuva é formado pela combinação do salpico das gotas de chuva com a turbulência e o carreamento do fluxo de água. Ainda segundo os autores, a maneira mais adequada de representar o fator da chuva na faixa intertropical é com o índice de erosão médio mensal ( $EI_{30}$ ) expresso por meio da Equação 3.2.

$$EI_{30} = 67,355 \left( \frac{r^2}{P} \right)^{0,85} \quad \text{Equação 3.2}$$

onde,

“ $EI_{30}$ ” média mensal do índice de erosividade, em (MJ.mm)/(ha.h);

“r” média do total mensal de precipitação, em mm;

“P” média do total anual de precipitação, em mm.

$$R = \sum_{i=1}^{12} EI_{30i} \quad \text{Equação 3.3}$$

Para calcular o fator R médio anual para uma determinada localidade, é feito o somatório dos índices mensais, com “i” variando de 1 até 12, onde i representa a média dos meses do ano representado por meio da Equação 3.3 (Bertoni e Lombardi Neto, 2012).

### 3.12.2.2 Fator de Erodibilidade do Solo (K)

Esse fator relaciona a perda de solo e a erosividade da chuva, ou seja, relaciona à suscetibilidade do solo a erosão laminar. Tal fator é inversamente proporcional à velocidade de infiltração da água da chuva no solo, à permeabilidade do solo, à capacidade total de armazenamento de água e à resistência do solo às forças de dispersão, salpico, abrasão e transporte da chuva e escoamento. Avaliações experimentais têm sido utilizadas para a sua determinação, assim como métodos indiretos. (Almeida *et al.*, 2012).

### 3.12.2.3 Fator de Comprimento de Rampa e Grau de Declividade (LS)

O comprimento de rampa (L) e o grau de declividade (S) de uma localidade influenciam na velocidade e no volume que será escoado e são considerados como um único fator topográfico, o fator LS (Bertoni e Lombardi Neto, 2012). Podendo ser calculado por meio da Equação 3.4:

$$LS = \frac{\sqrt{L}}{100} \cdot (1,36 + 0,97 S + 0,1385 S^2) \quad \text{Equação 3.4}$$

Em que,

“LS” é a relação de perda de solo por unidade de área em um declive qualquer;

“L” o declive em metro;

“S” é o grau do declive em porcentagem.

### 3.12.2.4 Fator de Uso e Manejo do Solo (C)

Está relacionado com a perda de solo para determinado tipo de cultivo em comparação com terrenos mantidos continuamente descobertos. O fator C mede o efeito da junção do tipo de preparo do solo, da efetividade do manejo dos restos culturais e da proteção acarretada pelo tipo de cultura, que depende também do tipo de vegetação e do nível de desenvolvimento (Bertoni e Lombardi Neto, 2012).

### 3.12.2.5 Fator de Prática Conservacionista (P)

Tal fator está relacionado ao grau de perda de solo com determinadas práticas conservacionistas, como, plantio morro abaixo, plantio em contorno, alternância de campinas e cordões de vegetação permanente (Bertoni e Lombardi Neto, 2012). E estão relacionados às classes temáticas de uso e cobertura do solo.

## 3.12.3 Processos Erosivos Lineares

Após a erosão laminar, os sólidos mais grosseiros que ficam assentados no solo formam irregularidades na superfície do solo e quando associados à declividade do terreno e às

precipitações intensas, concentram o fluxo superficial com potencial erosivo capaz de provocar feições lineares no solo (Lima, 2014).

Os três fatores que influenciam na ocorrência da erosão linear são a declividade, a pedologia e a geologia da área. Quanto mais íngreme o terreno, ou seja, maior a declividade das vertentes, maior é a sua fragilidade potencial aos processos erosivos originados pelo escoamento superficial das águas pluviais e aos movimentos de massa (Silva *et al.*, 2006).

Para análise de pedologia, deve-se levar em conta a espessura e a textura das camadas do solo, visto que solos mais coesivos são mais resistentes ao impacto das gotas de chuva (Lima, 2014). Por último, na área da geologia é considerada a litologia das rochas e sua estrutura, tendo em vista que quanto maior a permeabilidade e o volume de espaços vazios no litotipo, mais facilmente ocorrerá a desagregação das partículas (Macêdo, 2009).

#### **3.12.4 Modelo Digital do Elevação (MDE)**

O Modelo Digital de Elevação (MDE) ou *Digital Elevation Model* é uma representação matemática por meio de arranjos ordenados de números, que reproduzem a distribuição espacial das características superficiais do terreno. É muito utilizado para armazenar dados altimétricos para mapas topográficos, análise de corte do terreno, visões tridimensionais em perspectiva, elaboração de mapa de declividade e serve como suporte para análises de geomorfologia (Aspiazú *et al.*, 1990).

No presente trabalho, o MDE foi utilizado para auxiliar na delimitação da sub-bacia do Ribeirão da Papuda e na geração do mapa de declividade do terreno.

## 4. MATERIAIS E METODOLOGIA

### 4.1 MATERIAIS

#### 4.1.1 Softwares

Foram utilizados os softwares Spring 5.5.6, SIG ArcGIS 10.5.1 e o Google Earth para produção de mapas, classificação temática das imagens multiespectrais, para a produção de mapas de uso e cobertura do solo, geração de mapas de vulnerabilidade ambiental e para geração do Modelo Digital de Elevação (MDE).

#### 4.1.2 Imagens

A interpretação e geração dos mapas foram realizadas a partir da obtenção das imagens de satélites Landsat. As imagens estão disponíveis em arquivo compactado no site do INPE, após o download das imagens foi realizada a descompactação e em seguida as imagens foram importadas para o banco de dados do software Spring versão 5.5.6.

Na Tabela 4.1 estão listadas as imagens de sensores remotos utilizadas na pesquisa, com sua respectiva data e fonte.

Tabela 4.1: Imagens de sensores remotos utilizadas.

| <b>Satélite</b> | <b>Data</b> | <b>Resolução Espacial<br/>(metros)</b> | <b>Fonte</b> |
|-----------------|-------------|--|--------------|
| Landsat 7       | 16/08/1999  | 30                                     | INPE         |
| Landsat 5       | 02/07/2009  | 30                                     | INPE         |
| Landsat 8       | 24/07/2019  | 15 nas bandas<br>pancromáticas         | INPE         |

#### 4.1.3 Base Cartográfica

Para o estudo foi utilizado o mapa de pedologia, fornecido pela Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária (EMBRAPA). Utilizou-se também o mapa de geologia fornecido pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), além de mapas temáticos digitais disponíveis na Base Cartográfica do Distrito Federal (Geoportal/SEGETH) como hidrografia.

Na Tabela 4.2 estão listadas as bases de produtos cartográficos utilizados na pesquisa, com sua respectiva datas e fonte.

Tabela 4.2: Bases de produtos cartográficos.

| Mapa       | Resolução Espacial/<br>Escala | Fonte   |
|------------|-------------------------------|---------|
| Pedológico | 1:100.000                     | EMBRAPA |
| Geológico  | 1:100.000                     | DNPM    |
| MDE        | 30 m                          | USGS    |

O mapa de pedologia da área de estudo está representado por meio da Figura 4.1 com a predominância do Cambissolo Háplico.

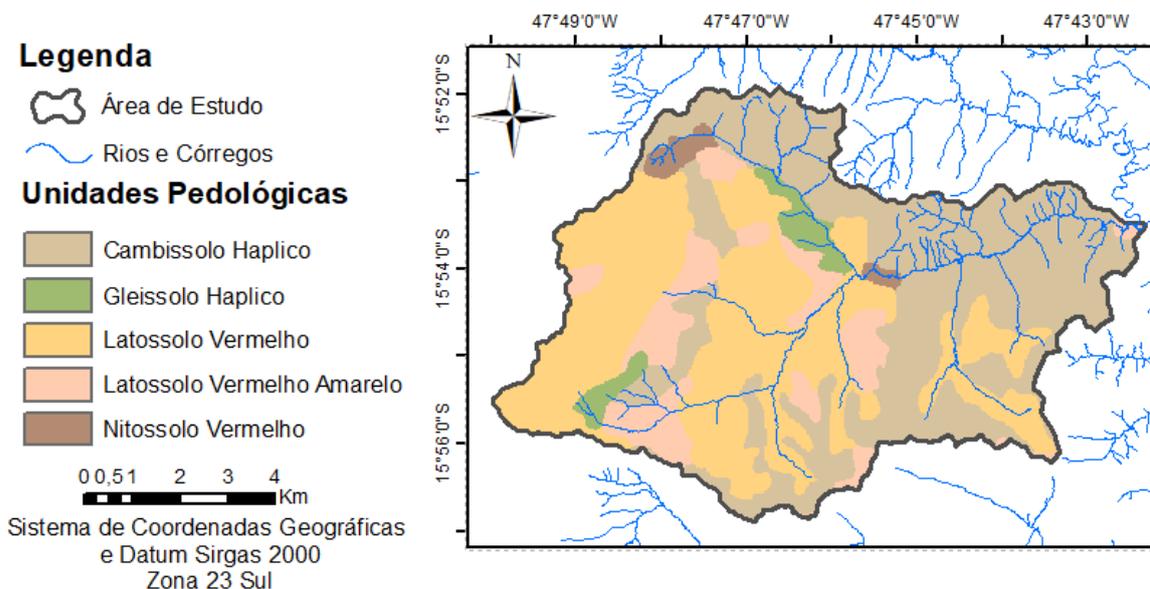


Figura 4.1: Mapa temático de Pedologia

As classes pedológicas da região, segundo a descrição do Manual de Pedologia do Distrito Federal (EMBRAPA, 2004):

- **Cambissolo Háplico:** textura sílico-argilosa, argilosa comumente cascalhenta, relevo ondulado a fortemente ondulado, normalmente solos são rasos.
- **Gleissolo Háplico:** textura variável de arenosa à argilosa, e sua fertilidade, variável de baixa à elevada.

- **Latossolo Vermelho:** textura argilosa a muito argilosa, distrófico, relevo plano a suave ondulado, profundo a muito profundo, com estrutura granular.
- **Latossolo Vermelho Amarelo:** textura argilosa média ou arenosa, relevo plano a suave ondulado distrófico, profundo a muito profundo, com estrutura granular média.
- **Nitossolo Vermelho:** também conhecida como Terra Rocha Estruturada, textura argilosa a muito argilosa, estruturação granular comum, derivados de rochas basálticas, geralmente associadas a relevo fortemente ondulado, diminuição de condutividade em profundidade.

O mapa de unidades geológicas está representado por meio da Figura 4.1.

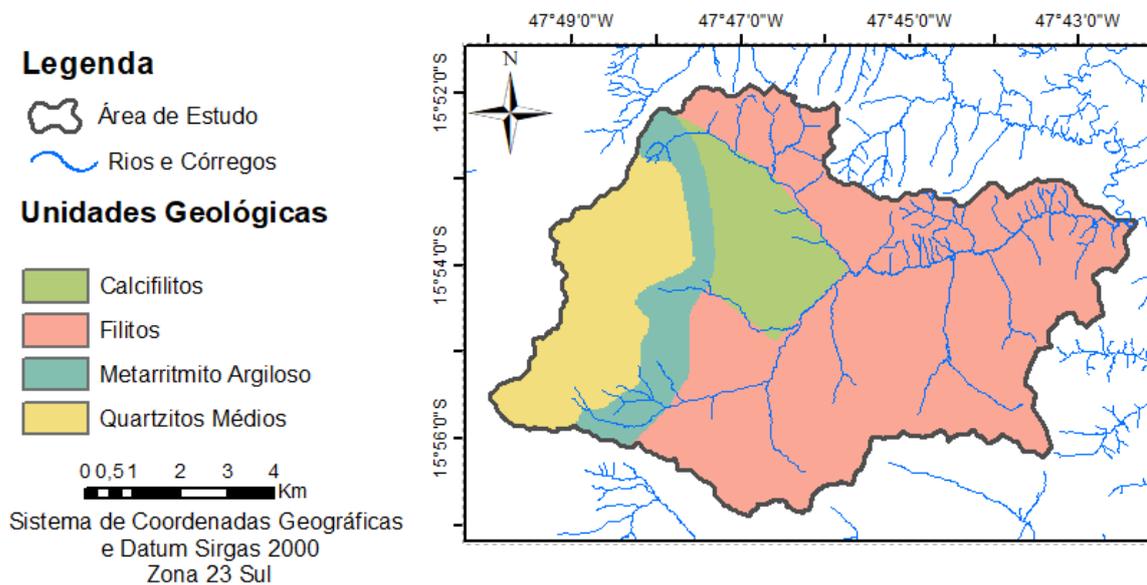


Figura 4.2: Mapas de Geologia.

Para análise do valor de erosividade da chuva foram utilizados dados de sete estações pluviométricas, com o mesmo período de séries históricas obtidas pelo Hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA), localizada próxima à área de estudo. Exibidas por meio da Tabela 4.3.

Tabela 4.3: Estações pluviométricas usadas na pesquisa.

| Código da Estação | Nome da Estação       | Latitude    | Longitude   | Período de Série |
|-------------------|-----------------------|-------------|-------------|------------------|
| 1547008           | ETE Sul               | 15° 50' 22" | 47° 54' 34" | 1984-2008        |
| 1547020           | ETE Paranoá           | 15° 47' 58" | 47° 46' 46" | 1984-2008        |
| 1547004           | Brasília              | 15° 47' 22" | 47° 55' 10" | 1984-2008        |
| 1547021           | Barreiro DF-130       | 15° 50' 24" | 47° 37' 48" | 1984-2008        |
| 1547019           | ETA – Cabeça de Veado | 15° 53' 22" | 47° 50' 58" | 1984-2008        |
| 1547014           | Área Alfa             | 15° 58' 48" | 47° 58' 48" | 1984-2008        |
| 1547022           | Rio Preto             | 15° 47' 24" | 47° 25' 48" | 1984-2008        |

O Modelo Digital do Elevação (MDE) obtido no USGS (*United States Geological Survey*) com resolução espacial de 30 m, ilustrado na Figura 4.3.

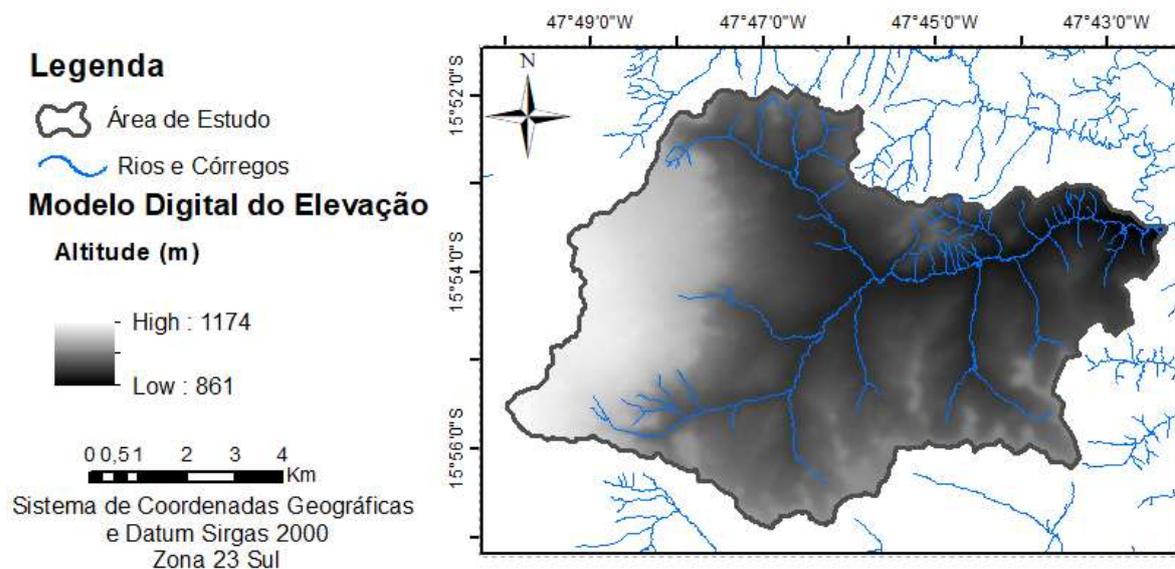


Figura 4.3: Mapa do modelo digital de elevação da área em estudo.

## 4.2 METODOLOGIA

A metodologia aplicada foi dividida em quatro etapas principais, descritas a seguir:

1º) Elaboração dos mapas de uso e cobertura do solo na região da região para os anos de 1999, 2009 e 2019. Utilizando algoritmos de classificação temática de imagens de sensores remotos desenvolvidos no Spring e ArcGIS;

2º) Produção do mapa de vulnerabilidade ambiental, por meio de algoritmos de Análise Hierárquica de Processos (AHP – análise multicritério), ao qual foram integrados os mapas de ações naturais, erosivas e antrópicas;

3º) Produção do mapa de suscetibilidade à inundação por meio de *buffer*.

4º) Produção do mapa de vulnerabilidade ambiental, utilizando análise multicritério AHP, levando em consideração os mapas de suscetibilidade à erosão laminar (EUPS) e linear (método baseado em geindicadores), o mapa de suscetibilidade à ação antrópica (reclassificação dos mapas de uso e cobertura do solo) e o mapa de suscetibilidade à inundação (Buffer).

A Figura 4.4 representa um diagrama das etapas realizadas no presente estudo e a descrição de cada mapa produzido será esclarecido nos itens subsequentes. A metodologia aplicada é uma adaptação daquela empregada por Almeida *et al*, 2017.

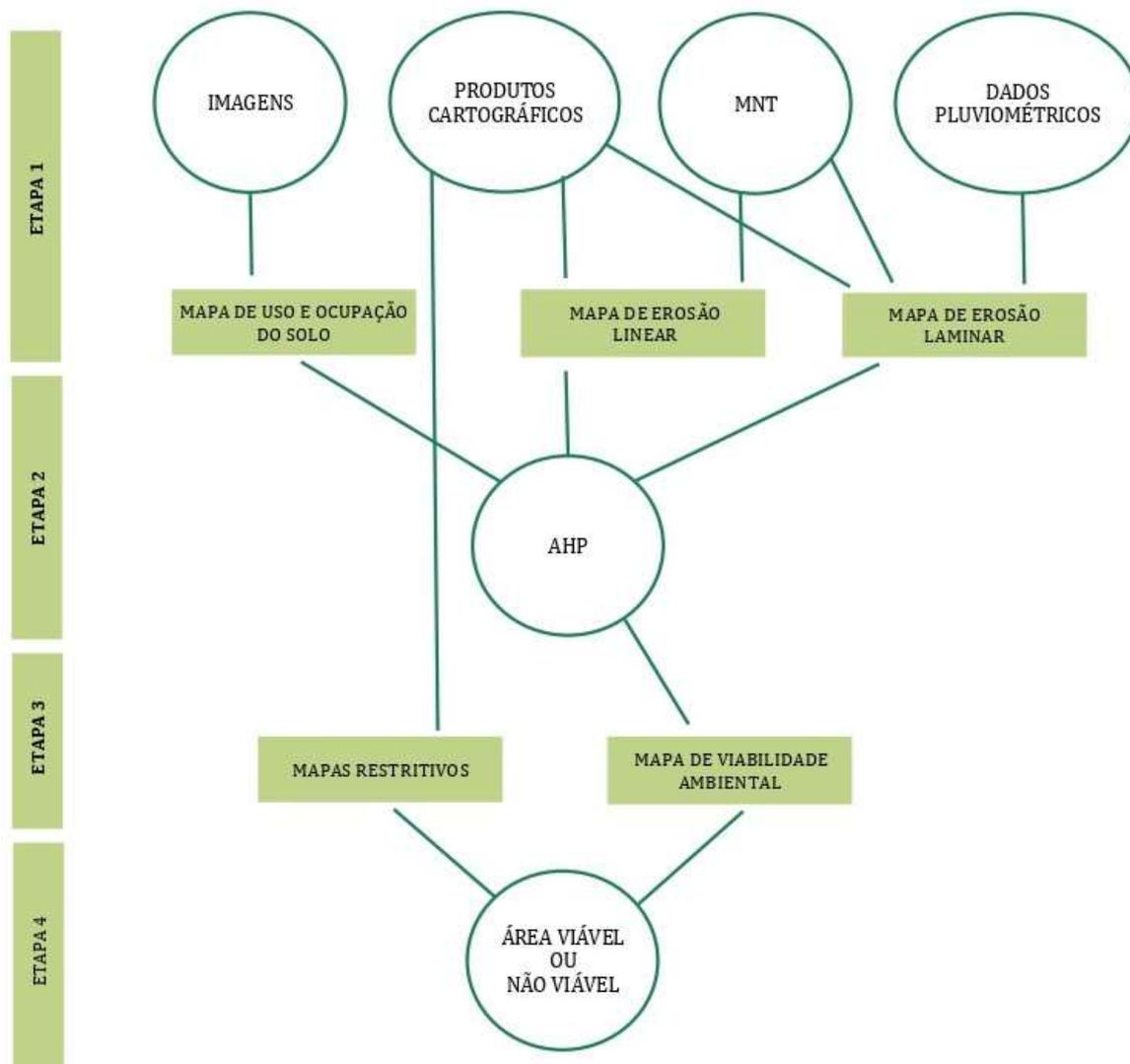


Figura 4.4: Metodologia adaptada para produção de Mapa de Vulnerabilidade Ambiental.  
 Fonte: Almeida *et al*, 2017, modificado.

#### 4.2.1. MAPAS DE USO E COBERTURA DO SOLO

Para a elaboração do mapa foi aplicada a metodologia já descrita anteriormente e representada de forma esquemática pela Figura 3.7

#### 4.2.2. MAPAS DE SUSCETIBILIDADE ÀS AÇÕES ANTRÓPICAS

O mapa de suscetibilidade às ações antrópicas foi obtido por meio da reclassificação do mapa de uso e cobertura do solo dos anos de 1999, 2009 e 2019, utilizando o software ArcGIS em sua função *reclassify*, de forma a atribuir números inteiros as suas classes, permitindo o uso das operações algébricas de mapas utilizando a função *raster calculator* do ArcGIS. Os

valores adotados para as classes temáticas de uso e cobertura do solo podem assumir notas que variam de I a V em ordem crescente de suscetibilidade às ações antrópicas, em que o grau I é atribuído para áreas mais preservadas e o grau V para regiões mais antropizadas.

Em seguida, foi realizada a produção do mapa de suscetibilidade à erosão laminar.

#### 4.2.3 MAPA DE SUSCEPTIBILIDADE À EROSÃO LAMINAR

O procedimento metodológico adotado no presente trabalho para obtenção da suscetibilidade à erosão laminar, utilizou os parâmetros da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) atualizada por Wischmeier e Smith (1978). De forma que inicialmente foi necessário gerar todos os fatores expressos por meio da Equação 3.1 apresentada anteriormente.

##### 4.2.2.1 Fator de Erosividade da Chuva (R)

O fator de erosividade da chuva (R) foi calculado de acordo com a Equação 3.2, com as médias de precipitação anual e mensal das estações pluviométricas próximas a região de estudo. O mapa com o fator R foi elaborado por meio da interpolação com o Polígono de Thiessen gerado com os pontos das estações pluviométricas no software ArcGIS, e cada ponto teve uma área de influência com o mesmo valor de erosividade do ponto da estação de pluviométrica.

##### 4.2.2.2 Fator de Erodibilidade do Solo (K)

O fator K foi obtido com base no mapa pedológico da área de estudo e por meio de dados da bibliografia para a região. Depois de classificar cada unidade pedológica da região foi realizada a reclassificação do mapa no ArcGIS para produzir o mapa de erodibilidade dos solos. Os valores atribuídos foram extraídos da literatura Calixto (2013).

Tabela 4.4: Valores de K atribuídos de acordo com as referências citadas.

| <b>Pedologia</b>           | <b>K-Chaves (t.ha.h.ha-1 .MJ .mm-1 )</b> |
|----------------------------|--|
| Cambissolo Haplico         | 0,024                                    |
| Latossolo vermelho         | 0,022                                    |
| Latossolo vermelho amarelo | 0,025                                    |
| Nitossolo vermelho         | 0,033                                    |
| Gleissolo Haplico          | 0,021                                    |

#### 4.2.2.3 Fator Topográfico (LS)

O fator topográfico (LS) foi calculado por meio da equação 3.4, com o mapa de declividade e o mapa de fluxo acumulado obtidos com o MDE produzido com as curvas de nível disponíveis no Geoportal. A declividade foi calculada utilizando a função *Slope* do SIG ArcGIS, e o fluxo acumulado foi calculado em duas etapas, inicialmente calculando a direção de fluxo por meio da função *Flow direction* e, posteriormente com a função *Flow Accumulation*. Para processar todos os dados foi utilizada a ferramenta de álgebra de mapas.

#### 4.2.2.4 Fator C e P

Existem vários valores atribuídos para C e P no País por diferentes autores, após a confecção do mapa foi criada uma tabela com os valores atribuídos para cada tipo de classe temática dos mapas de uso e cobertura pertinente a região de estudo.

O fator P pode variar entre 0 a 1, sendo 0 o valor atribuído aqueles julgamentos que definem a área como tendo o máximo de práticas conservacionistas e 1 quando não existe nenhuma prática conservacionista (Almeida *et al*, 2017) levando em consideração o julgamento que o autor considerou pertinente. Em relação ao fator uso e manejo do solo (C), os valores variam de 0 a 1 também, porém valores mais próximos a 0 representa pouca perda de solo e valores mais próximos a 1 grandes perdas de solo. Por fim, a tabela 4.5 evidencia os valores atribuídos para tais parâmetros.

Tabela 4.5: Valores do fator P atribuídos de acordo com a referência citada.

| <b>Classe de uso e cobertura do solo</b> | <b>Fator C</b> | <b>Fator P</b> |
|--|----------------|----------------|
| Campo                                    | 0,09           | 0,1            |
| Cerrado                                  | 0,01           | 0,02           |
| Mata de galeria                          | 0,03           | 0,03           |
| Solo Exposto                             | 0,2            | 0,2            |
| Área Urbana 1                            | 0              | 0              |
| Área Urbana 2                            | 0              | 0              |
| Agricultura                              | 0,135          | 0,1            |

Após a elaboração do mapa de erosão laminar, seguiu-se para a próxima etapa da metodologia, que é a elaboração do mapa de suscetibilidade à erosão linear.

#### 4.2.4 MAPA DE SUSCEPTIBILIDADE À EROSÃO LINEAR

Para a produção do mapa de suscetibilidade à erosão linear, foi utilizada uma adaptação da metodologia empregada segundo Campagnoli (2002), representada por meio da Figura 4.5, que tem como base as formas de condicionantes do relevo. A adaptação da metodologia diz respeito a não consideração da análise do mapa de uso e cobertura, tendo em vista que esses parâmetros serão realizados por meio de um mapa específico e posteriormente fará parte do método da Análise Hierárquica de Processos (AHP) para obtenção da análise de vulnerabilidade ambiental.

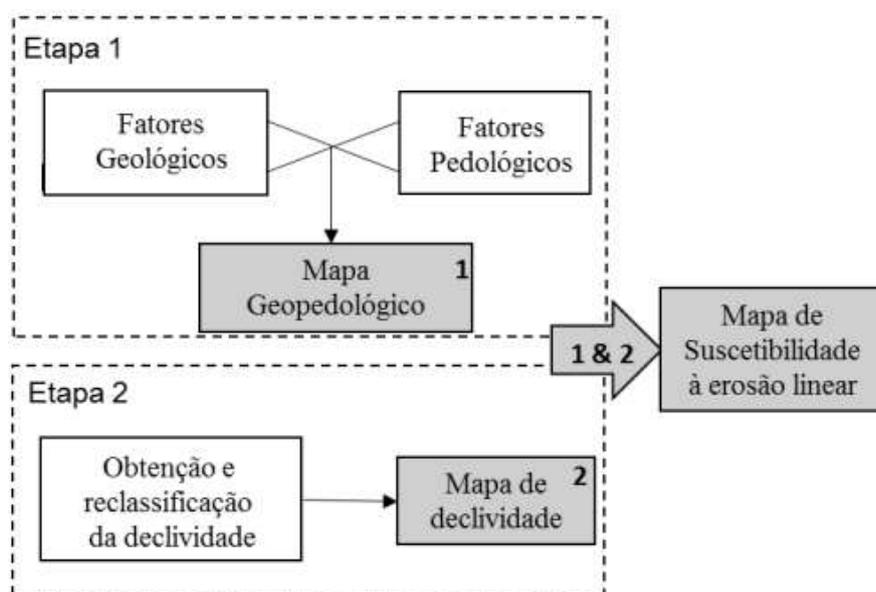


Figura 4.5: Passos utilizados para a geração do mapa de suscetibilidade à erosão linear.

Fonte: Campagnoli (2002), modificado.

Na etapa 1, os dados de fatores Pedológicos e Geológicos foram cruzados para gerar um mapa de Geopedologia.

##### 4.2.3.1 Pedologia

O critério que utilizado para a classificação dos tipos de solo das unidades pedológicas, se baseia na espessura e textura das camadas de solo. Dessa forma, os solos que apresentam um perfil rasos evitam o desenvolvimento do processo erosivo linear e são classificados com um potencial baixo de erosão linear, tendo em vista que seu substrato rochoso está próximo a superfície e, conseqüentemente, evita o desenvolvimento do processo erosivo linear. De acordo com Campagnoli (2002), o Nitossolo, Argissolo e Gleissolo apresentam, dentre suas características específicas, alto risco erosivo. Os valores de grau de suscetibilidade aplicados para cada classe pedológica estão representados por meio da Tabela 4.6.

Tabela 4.6: Valores de suscetibilidade aplicado à pedologia

| <b>Pedologia</b>           | <b>Valores de Suscetibilidade</b> |
|----------------------------|-----------------------------------|
| Cambissolo Haplico         | 5                                 |
| Latossolo vermelho         | 2                                 |
| Latossolo vermelho amarelo | 3                                 |
| Nitossolo vermelho         | 5                                 |
| Gleissolo Haplico          | 5                                 |

#### 4.2.3.2 Geologia

A classificação das unidades geológicas foi baseada nas características da litologia e estruturas das rochas. Dessa forma, quanto maior for a permeabilidade e o volume dos espaços vazios no litotipo, maior será o potencial erosivo, já que provoca uma possibilidade de desagregação. De acordo com Crepani *et al.*, 2001, os valores de suscetibilidade forem representados por meio da Tabela 4.7.

Tabela 4.7: Valores de suscetibilidade aplicado à geologia.

| <b>Geologia</b>       | <b>Valores de Suscetibilidade</b> |
|-----------------------|-----------------------------------|
| Calcifitos            | 3                                 |
| Filitos               | 2                                 |
| Quartzitos Médios     | 1                                 |
| Metarritmito Argiloso | 3                                 |

Em seguida, após a reclassificação dos fatores obtidos no mapa de pedologia e geologia, foi realizado o cruzamento matricial dessas informações, com o intuito de obter o mapa geopedológico. O cruzamento matricial desses mapas está representado por meio da Tabela 4.8.

Tabela 4.8: Atributos para o cruzamento matricial dos mapas de Pedologia e Geomorfologia.

Fonte: Adaptado de Campagnoli, 2002.

| Unidades<br>Pedológicas | Unidades Geomorfológicas |     |     |     |     |
|-------------------------|--------------------------|-----|-----|-----|-----|
|                         | I                        | II  | III | IV  | V   |
| I                       | I                        | I   | I   | II  | III |
| II                      | I                        | II  | II  | III | III |
| III                     | I                        | II  | III | III | III |
| IV                      | II                       | III | III | IV  | IV  |

Conforme a metodologia apresentada, em seguida foi elaborado o mapa de declividade, onde foram definidas cinco faixas, cujos pesos das classes foram atribuídos levando em consideração a porcentagem de declive, considerando as áreas mais vulneráveis, aquelas que apresentaram declividade mais acentuada. Esta escolha baseou-se na relação entre a declividade e a velocidade de escoamento superficial, atribuindo aos trechos com declividade mais energia ao escoamento e com isso, aumentando a possibilidade de erosões no terreno.

A reclassificação necessária para realizar a análise da declividade está representada por meio da Tabela 4.9.

Tabela 4.9: Valores de suscetibilidade aplicado à declividade.

Fonte: Adaptado de Almeida et al (2017).

| Declividade (%) | Valores de suscetibilidade    |
|-----------------|-------------------------------|
| 0 - 6           | 1 - pouco ou nenhum potencial |
| 6 - 12          | 2 - baixo potencial           |
| 12 - 20         | 3 - médio potencial           |
| 20 - 30         | 4 - alto potencial            |
| >30             | 5 - muito alto potencial      |

Por fim, conforme apresentado na Figura 4.5, na etapa 1, depois a reclassificação dos fatores pedológicos e geológicos, foi realizado o cruzamento matricial para a obtenção do mapa geopedológico. Posteriormente, na etapa 2, foi realizado a reclassificação da declividade e, só então, mediante um novo cruzamento matricial dos produtos cartográficos da etapa 1 e

etapa 2 foi gerado o mapa de suscetibilidade à erosão linear do meio físico, no qual foram definidas 5 classes de suscetibilidade, conforme apresentado na Tabela 4.10, a saber: I – pouco ou nenhum potencial; II- baixo potencial; III- médio potencial; IV- alto potencial e V – muito alto potencial.

Tabela 4.10: Atributos para o cruzamento matricial dos mapas de Pedologia e Geomorfologia.

Fonte: Adaptado de Campagnoli, 2002.

| Unidades<br>Geopedológicas | Declividade (%) |           |             |            |         |
|----------------------------|-----------------|-----------|-------------|------------|---------|
|                            | I (0-6)         | II (6-12) | III (12-20) | IV (20-30) | V (>30) |
| I                          | I               | I         | I           | II         | II      |
| II                         | I               | I         | II          | III        | III     |
| III                        | I               | II        | II          | III        | V       |
| IV                         | II              | II        | III         | IV         | V       |
| V                          | II              | III       | IV          | V          | V       |

Para a determinação do mapa de vulnerabilidade, além dos mapas de uso e cobertura do solo, de processos erosivos laminares e lineares, será utilizado o mapa de zonas de inundação.

#### 4.2.5. SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO

A suscetibilidade à inundação mostra-se relevante, tendo em vista que o crescente processo de impermeabilização do solo e erosão provocam mudanças no que diz respeito ao fluxo dos rios e dos reservatórios, em razão de assoreamentos, tornando a área mais suscetível a processos de inundação.

É contraindicada a implantação de um pátio de compostagem próximo a uma área alagada, tendo em vista que a inundação das leiras pode causar ambientes anaeróbios o que provoca odor e reduz a taxa de decomposição. Nesse sentido, as áreas de compostagem não devem estar localizadas onde a altura máxima do lençol freático não fique a menos de um metro do nível do solo, para evitar a contaminação de lençóis freáticos muito próximos à superfície.

Os mapas de suscetibilidade à inundação e de Zona envoltória de segurança são baseados em critérios de restrição definidos para escolha das áreas e respeitando as Áreas de Preservação Permanente (APP) do Código Florestal Brasileiro estabelecido por meio da Lei 12.651/12.

A vegetação próxima as calhas de rios exercem importante função, pois diminui o fluxo superficial das águas protegendo as margens e favorece a infiltração e percolação subterrânea o que controla melhor a vazão do córrego e evita o colapso destas estruturas. Portanto é de suma importância que esta vegetação seja preservada.

O Código Florestal Brasileiro estabelecido por meio da Lei 12.651/12, Art. 3º, inciso II, entende-se como Área de Preservação Permanente (APP) “área protegida [...] com 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).

Segundo a Lei 12.651/12, no que diz respeito às APPs, para áreas urbanas e rurais definida como as faixas marginais de qualquer curso d’água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de:

- Trinta metros para os cursos d’água com menos de dez metros de largura;
- Cinquenta metros para os cursos d’água entre dez e cinquenta metros de largura;
- Cinquenta metros para as nascentes em qualquer situação topográfica;
- Cem metros para os cursos d’água entre cinquenta e duzentos metros de largura;
- Duzentos metros para os cursos d’água entre duzentos e seiscentos metros de largura;
- Quinhentos metros para os cursos d’água com largura superior a seiscentos metros.

Dessa forma, os valores escolhidos para a geração do mapa com afastamentos de até quinhentos metros de distanciamento foram baseados no Código Florestal simulando o que seria um cenário ideal das áreas de APP e atribuindo valores de vulnerabilidade. O mapa foi produzido utilizando a ferramenta “*buffer*” no ArcGis e seus valores de suscetibilidade estão expressos por meio da Tabela 4.11 a seguir.

Tabela 4.11: valores de suscetibilidade aplicados para cada afastamento.

| <b>Afastamento (m)</b> | <b>Classes</b>  |
|------------------------|-----------------|
| 30                     | 1 – Muito baixa |
| 50                     | 2 - Baixo       |
| 100                    | 3 – Moderado    |
| 200                    | 4 - Alta        |
| 500                    | 5 – Muito alta  |

Para a análise da vulnerabilidade ambiental da sub bacia em estudo, serão integralizados todos os mapas de suscetibilidade propostos acima, sendo eles: à processos erosivos laminares e lineares, mapa de suscetibilidade à ação antrópica e o mapa de zonas de inundação obtido com o mapa de afastamento à drenagem (*Buffers*). Utilizando a lógica *fuzzy* e do método da Análise Hierárquica de Processos (AHP) expresso no item subsequente.

#### **4.2.6. MAPA DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL POR MEIO DE AHP**

A análise de vulnerabilidade relaciona o conceito ao grau de susceptibilidade de um sistema aos efeitos negativos provenientes de mudanças globais. Nesse estudo, a vulnerabilidade está diretamente ligada ao grau de susceptibilidade a características do meio físico e biótico (declividade, comprimento da rampa, chuvas, vegetação, nascentes e solo), à exposição a fontes de pressão ambiental (malha urbana, uso e manejo da terra) e à ocorrência de impactos ambientais (erosão laminar, erosão linear e enchentes) utilizando software de Sistema de Informação Geográfica (SIG).

A avaliação da vulnerabilidade ambiental é fundamental para o suporte à tomada de decisão no planejamento territorial, na identificação de corredores ecológicos, na definição do zoneamento ecológico-econômico e no fornecimento de subsídios à gestão do território. (Crepani *et al.* 2001).

Para a elaboração do mapa de vulnerabilidade ambiental foi utilizado a metodologia aplicada por Almeida *et al.* (2012), dessa forma, o mapa produzido por meio de ferramentas de geoprocessamento em conjunto com o método de análise multicritério presente na Análise Hierárquica de Processos (AHP) conforme esquematizado na Figura 4.6. Integrando os mapas intermediários de suscetibilidade na mesma escala de fragilidade de tributos (graus de I até V), por meio da lógica *fuzzy* e AHP no ArcGIS. Por fim, esses mapas intermediários foram sobrepostos e originaram o mapa de vulnerabilidade ambiental.

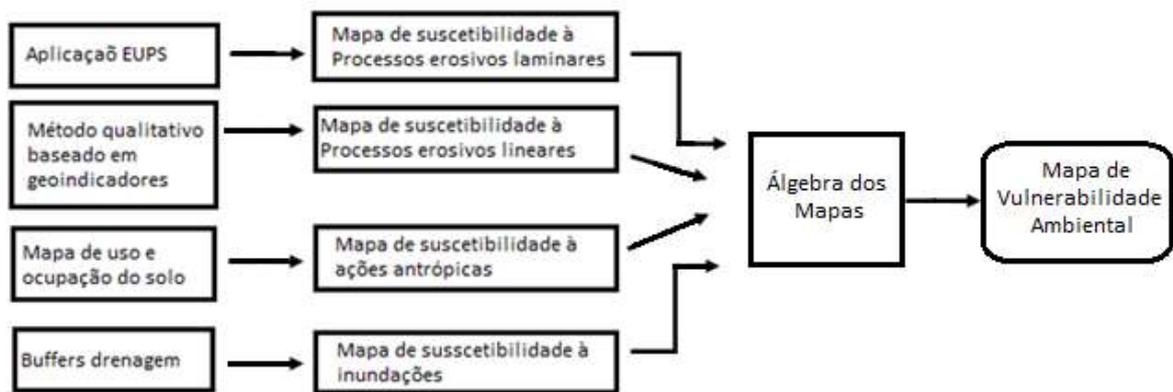


Figura 4.6: Representação esquemática para geração do mapa de Vulnerabilidade Ambiental.

Fonte: Almeida *et al.* (2012) modificado.

A ponderação dos mapas foi obtida e adaptada por meio de critérios de classificação utilizados por Crepani *et al.* (2001), onde a vulnerabilidade ambiental é dividida em cinco classes de acordo com a sua intensidade, sendo assim a classe 1 é enquadrada em muito baixa, a classe 2 é enquadrada em baixa, a classe 3 é enquadrada em moderada, a classe 4 é enquadrada em alta e a classe 5 é enquadrada em grau de vulnerabilidade ambiental muito alta.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. MAPA DE USO E COBERTURA

A metodologia aplicada para a obtenção dos resultados está apresentada no item 3.12.1, dessa forma, para a elaboração dos mapas de uso e cobertura do solo ilustrado na ilustrado na Figura 5.1 foram utilizadas as imagens do satélite Landsat 7 para o ano de 1999, Landsat 5 para o ano 2009 e Landsat 8 para o ano de 2019.

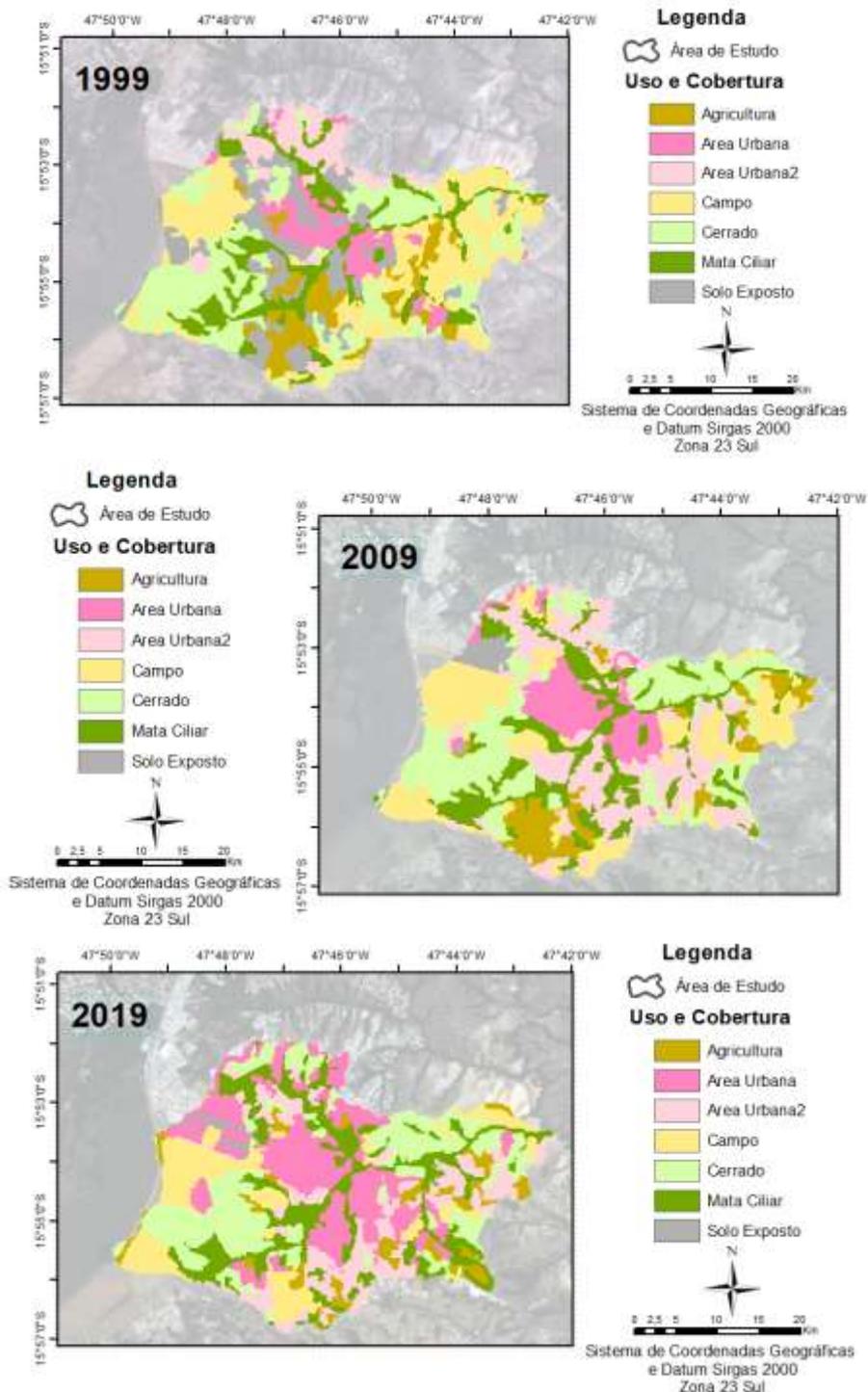


Figura 5.1: Mapas de uso e cobertura do solo para os anos de 1999, 2009 e 2019.

O Distrito Federal apresenta grandes variações de sazonalidade ao longo do ano, estação seca e outra de chuva, dessa forma buscou-se obter as imagens de satélites na mesma época anual com intuito de obter resultados mais consistentes. Assim foi escolhido o período de seca. Para o ano de 1999 foi escolhido o mês de agosto, já para os anos de 2009 e 2019 foi escolhido o mês de julho.

A partir da análise da Figura 5.1 foi possível construir uma tabela com as áreas de cada classe para facilitar a percepção do avanço ou regressão temporal baseada nos anos em análise.

Tabela 5.1: Quantitativo de área das classes de uso e cobertura do solo.

| <b>Classes de Uso e Cobertura do Solo</b> | <b>Área (km<sup>2</sup>)</b> |             |             |
|---|------------------------------|-------------|-------------|
|   | <b>1999</b>                  | <b>2009</b> | <b>2019</b> |
| <b>Agricultura</b>                        | 6,14                         | 5,64        | 4,54        |
| <b>Área Urbana</b>                        | 5,06                         | 6,92        | 16,43       |
| <b>Área Urbana 2</b>                      | 5,84                         | 15,54       | 10,83       |
| <b>Campo</b>                              | 17,04                        | 14,41       | 9,99        |
| <b>Cerrado</b>                            | 17,90                        | 16,33       | 16,57       |
| <b>Mata Ciliar</b>                        | 10,03                        | 12,18       | 13,33       |
| <b>Solo Exposto</b>                       | 10,47                        | 1,52        | 0,81        |

Na análise era esperado uma redução de algumas classes de uso e cobertura do solo como mata ciliar e cerrado, ao longo dos anos, fato não apresentado no estudo, pode ser explicado pela diferença de resolução espacial dos mapas ou por algum tipo de erro associado a metodologia aplicada. O segundo fator esperado era o aumento da área das classes de área urbana e área urbana 2, porém é possível perceber que houve uma redução da área urbana 2 entre os anos de 2009 e 2019, fato este explicado pelo aumento da densidade das áreas urbanas 2, o que justifica uma elevação da classe de área urbana na mesma época. Outra classe que pode ser destacada é a de solo exposto, que apresentou uma redução significativa durante os anos em análise, é possível perceber que no ano de 1999 a área de estudo apresentava características mais espaçadas dessa classe e com o passar dos anos as áreas de solo exposto ficaram mais restritas no canto superior esquerdo do mapa.

É muito importante perceber e analisar a forma com que os recursos naturais são utilizados pela população para o entendimento dos fatores degradantes do meio ambiente. A agricultura, a pecuária, a silvicultura, a mineração e as obras de engenharia civil são exemplos de atividades que se não houver o manejo adequado podem causar impactos negativos que acarretam na aceleração da degradação ambiental e causam consequências desastrosas. (CREPANI, 2001).

## 5.2. SUSCETIPIBILIDADE ÀS AÇÕES ANTRÓPICAS

Utilizando os mapas classificados de uso e cobertura do solo expostos na Figura 5.1 foram mapeados o avanço das áreas antropizadas (áreas urbanas, solo exposto e agricultura) ao longo dos anos, importante para a análise do avanço das áreas que sofrem grandes influencias pela modificação de sua paisagem natural, na infiltração do solo e nos processos erosivos, o resultado está ilustrado na Figura 5.2.

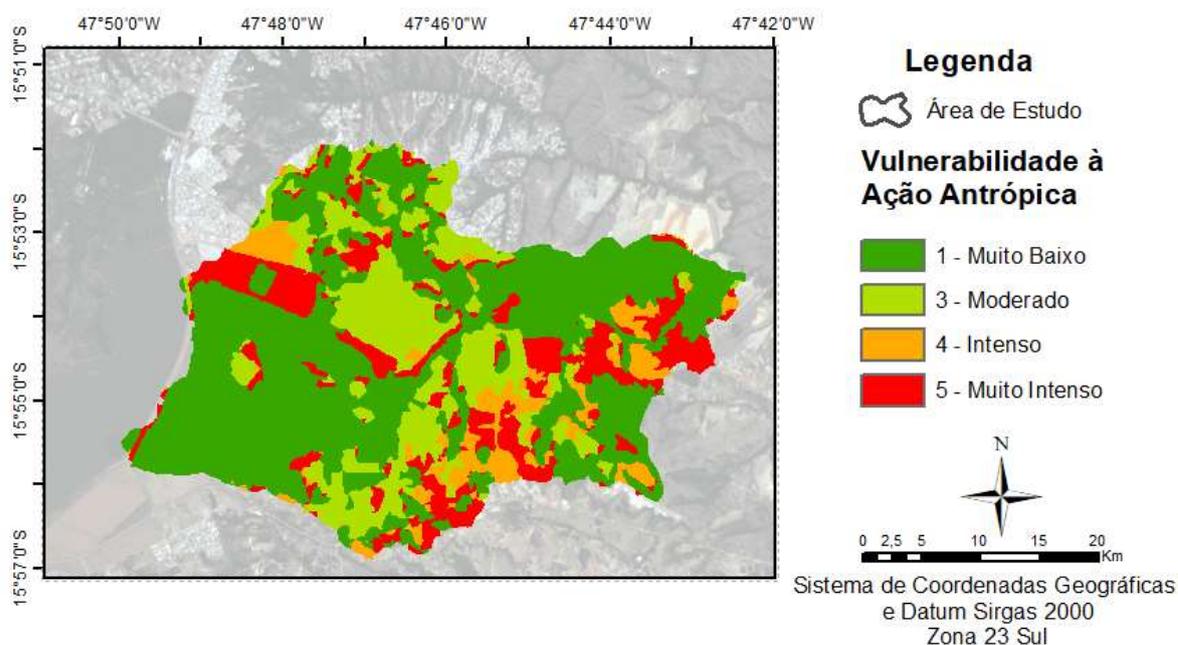


Figura 5.2: Mapa de suscetibilidade ao avanço antrópico.

Para a representação da Figura 5.2 foi realizada uma reclassificação dos mapas de uso e cobertura do solo para os anos em análise e separados por meio do grau de suscetibilidade ambiental. Dessa forma assumiu-se as classes de área urbana 1, área urbana 2, agricultura e solo exposto de 2019 com grau de suscetibilidade igual a 5 (muito intenso), para o ano de 2009 as mesmas classes assumiram o grau de suscetibilidade igual a 4 (intenso), e para o ano de 1999 as classes citadas assumiram o grau de suscetibilidade igual a 3 (moderado). As classes dos mapas de uso e cobertura do solo que não foram citadas, ou seja, a classe de campo, cerrado, mata ciliar assumiram o valor de suscetibilidade igual a 1 (muito baixo) tendo em vista que são classes que apresentam baixa ou nenhuma interferência humana.

Na Tabela 5.2 demonstra de forma quantitativa o crescimento urbano entre os períodos representados no mapa.

Tabela 5.2: : Áreas das classes antropizadas.

| Classes                     | Área            |       |
|-----------------------------|-----------------|-------|
|                             | km <sup>2</sup> | %     |
| <b>Antropizada até 1999</b> | 14,87           | 20,51 |
| <b>Antropizada até 2009</b> | 5,75            | 7,93  |
| <b>Antropizada até 2019</b> | 12,15           | 16,76 |
| <b>Área Total</b>           | 45,2%           |       |

Por meio da tabela 5.2, é possível perceber que a região apresenta 45,2 % da sua área total já antropizada.

### 5.3. MAPA DE SUSCETIBILIDADE À EROSÃO LINEAR

O mapa de suscetibilidade à erosão linear, utiliza a metodologia representada na Tabela 4.8. A primeira etapa ocorre com a reclassificação das classes de vulnerabilidade do mapa de geopedologia representada por meio da Figura 5.3.

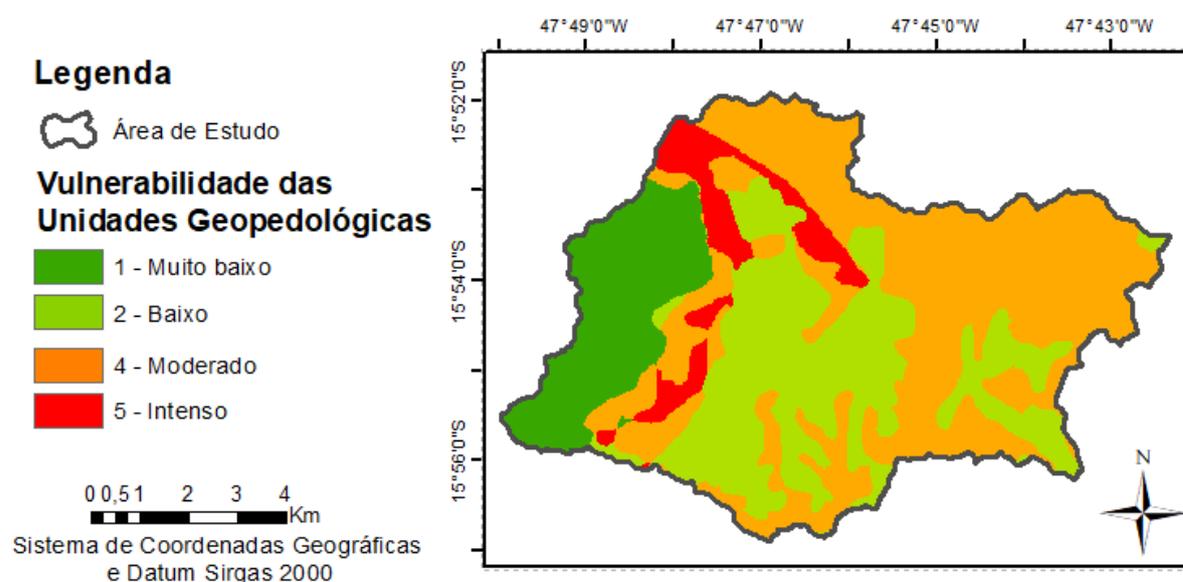


Figura 5.3: Mapa de Geopedologia.

O mapa de geopedologia apresenta uma predominância de grau moderado de vulnerabilidade, porém a área pré-delimitada para a implantação do pátio de compostagem está inserida na área de baixa vulnerabilidade.

Em seguida foi confeccionado o mapa de declividade da área em estudo e por meio da reclassificação obteve-se o resultado representada na Figura 5.4.

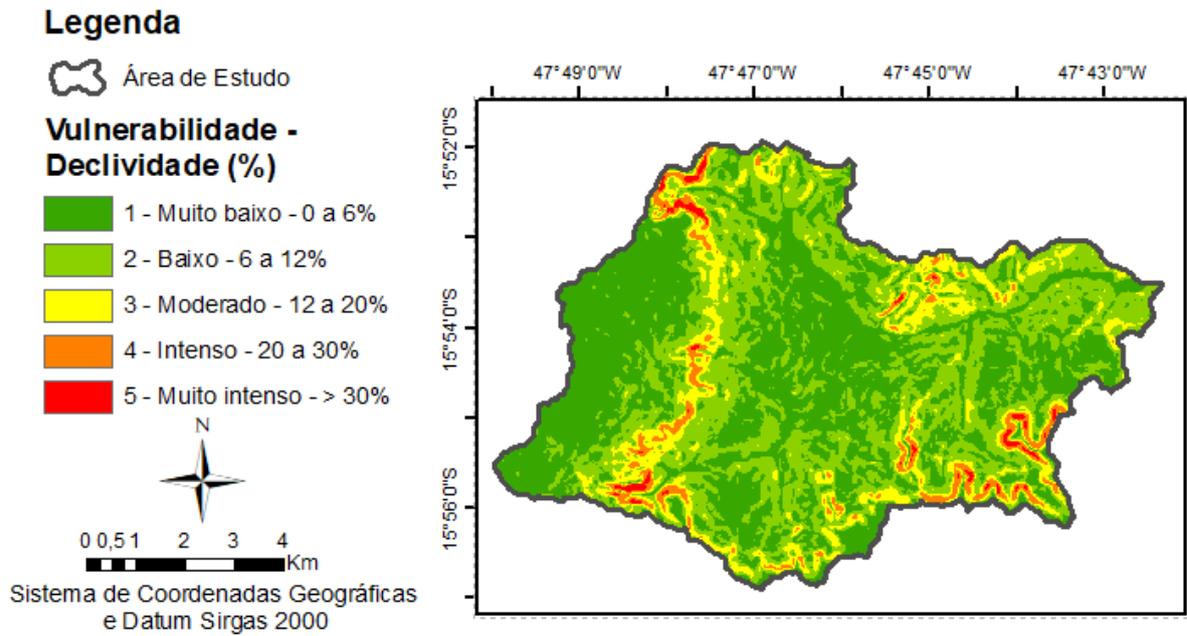


Figura 5.4: Declividade dividida em classes para a área em estudo.

Para a obtenção do mapa final de suscetibilidade à processos erosivos lineares, foi realizado o cruzamento matricial por meio da álgebra de mapas, com base na metodologia apresentada na Tabela 4.8. Obteve-se então o mapa de suscetibilidade à erosão linear, representado por meio da Figura 5.5.

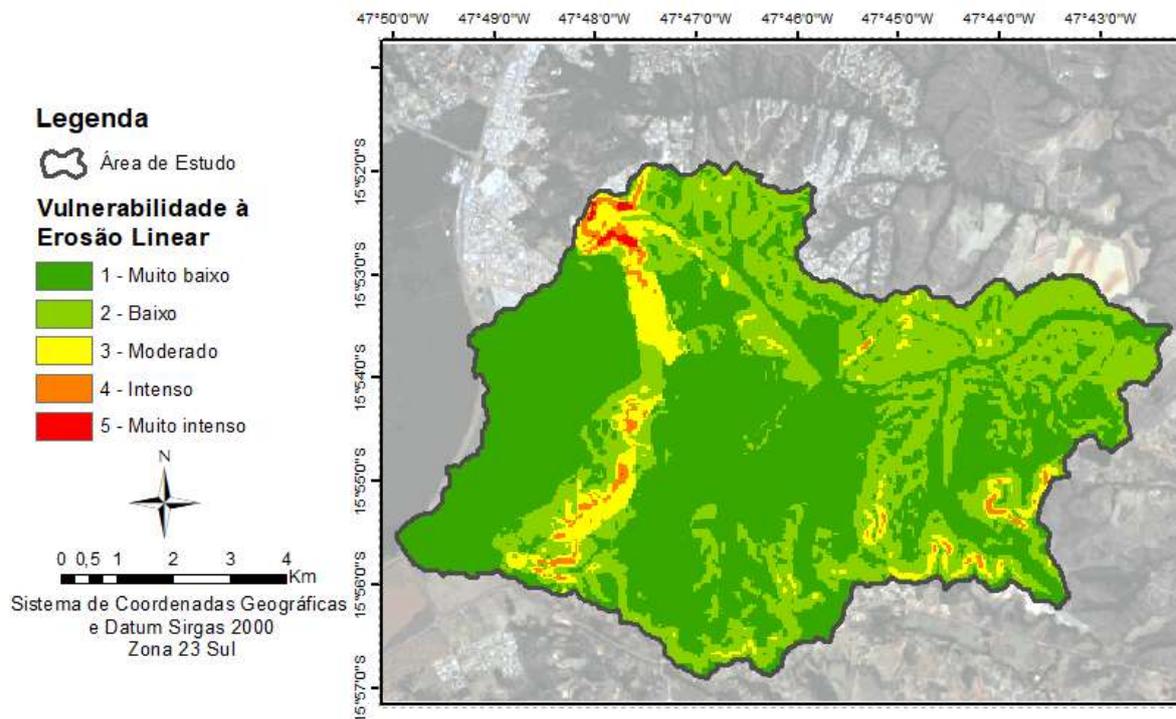


Figura 5.5: Mapa de Suscetibilidade à Erosão Linear.

Com base na Figura 5.5, foi elaborado a Tabela 5.3 para representar de forma numérica as porcentagens de cada classe.

Tabela 5.3: Declividade da sub bacia.

| <b>Grau de Suscetibilidade</b> | <b>Área</b>           |          |
|--------------------------------|-----------------------|----------|
|                                | <b>km<sup>2</sup></b> | <b>%</b> |
| <b>Muito Baixa</b>             | 42,62                 | 58,76    |
| <b>Baixa</b>                   | 24,35                 | 33,52    |
| <b>Moderada</b>                | 4,54                  | 6,23     |
| <b>Intensa</b>                 | 0,93                  | 1,28     |
| <b>Muito Intensa</b>           | 0,16                  | 0,21     |

Com base nos resultados apresentados por meio da Tabela 5.3 e da Figura 5.5, observa-se que grande parte da área em estudo apresenta a característica de muito baixa ou baixa de vulnerabilidade, o que configura como menos propícia a processos erosivos lineares. O mapa acima indica apenas a suscetibilidade dos terrenos frente aos processos erosivos lineares, sem levar em consideração o estado de exploração e proteção desses terrenos.

Houve a confirmação de que as áreas que apresentam variações de relevo em formato convexo geralmente estão mais suscetíveis aos processos de erosão laminar, o que pode ser observado no resultado expresso na Figura 5.7 e foi apresentado por Camapum (2015, apud Almeida et al, 2017).

### **5.3. MAPA DE SUSCETIBILIDADE À EROSÃO LAMINAR**

Por meio dos fatores já citados anteriormente, foi realizada a confecção dos diferentes parâmetros e em seguida, aplicado a metodologia EUPS expressa por meio da Equação 3.1. O resultado de cada fator está expresso por meio da Figura 5.6.

Os valores estimados de perda de solo pela EUPS não devem ser considerados como absolutos, pois alguns fatores da equação precisam ser complementados com análises de campo. Porém é uma ferramenta importante na tomada de decisões no zoneamento ambiental.

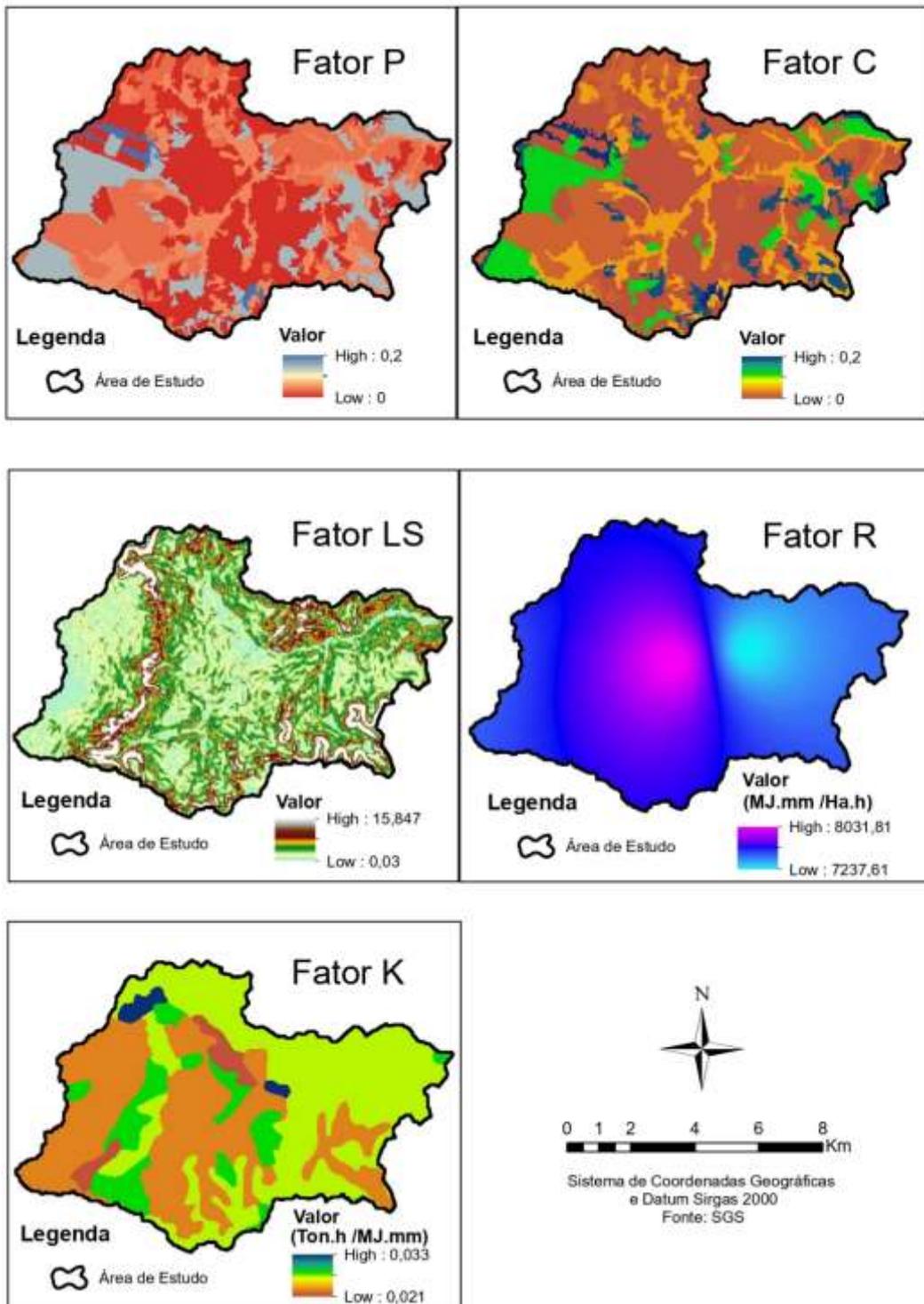


Figura 5.6: Fatores componentes da EUPS.

Os mapas foram integrados por meio da ferramenta *map álgebra* no *raster calculator* utilizando o software ArcGIS para a obtenção do mapa de perda do solo (Figura 5.7).

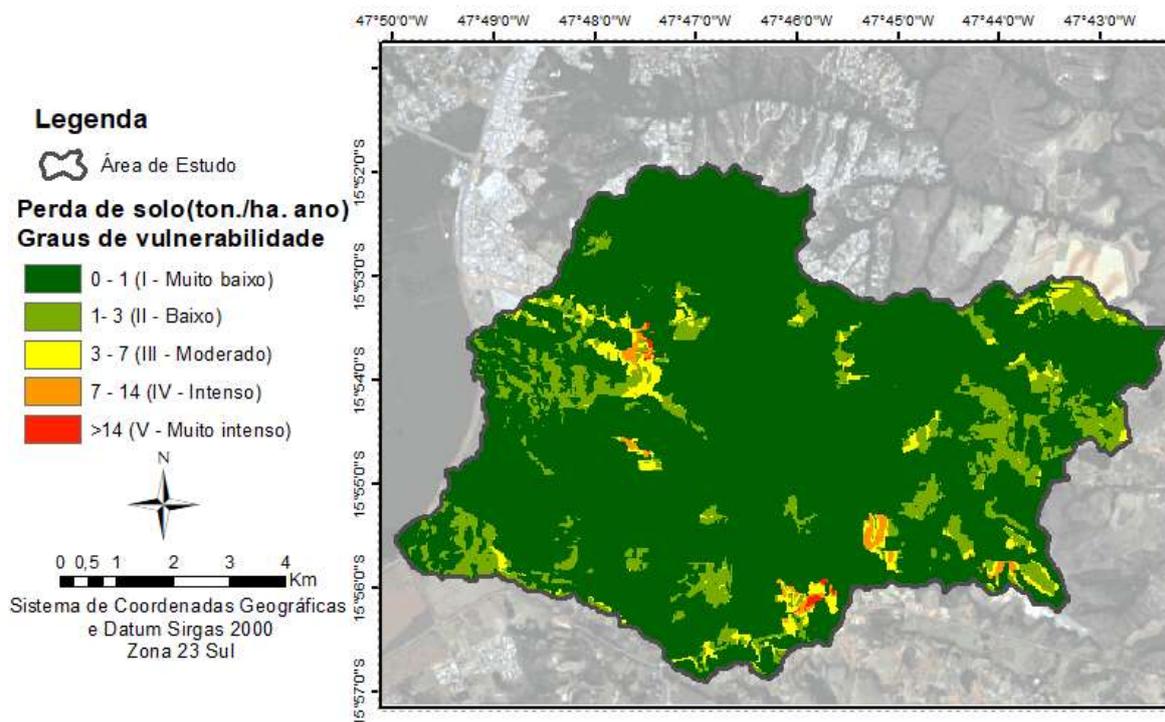


Figura 5.7: Mapa de perda de solo da área de estudo do ano de 2020 por processos erosivos laminares (EUPS).

Foi possível observar que as classes muito baixa e baixa ocupam a maior parte da sub bacia. Portanto, há predominância de erosão com intensidade menor que 3 ton/ha.ano. Analisando o mapa de erosão laminar juntamente com os mapas dos fatores individualizados, observa-se que a espacialização dos valores de erosão média anual está associada principalmente os fatores C e P, com menor relevância aos demais fatores.

Analisando o mapa do fator C e P, percebe-se a predominância de baixos valores, mas principalmente do valor zero, decorrentes de áreas urbanas. O entendimento desse mapa auxilia os gestores ambientais, por meio da identificação de pontos de maior suscetibilidade à erosão laminar, na tomada de decisões.

#### 5.4. MAPA DE SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO

Para a confecção do mapa de suscetibilidade à inundação foi necessário a aplicação da ferramenta *buffer* de drenagem em todo o curso do rio de acordo com a metodologia expressa no item 4.2.5. Dessa forma, a Figura 5.8 apresenta o mapa de suscetibilidade à inundação da área de estudo.

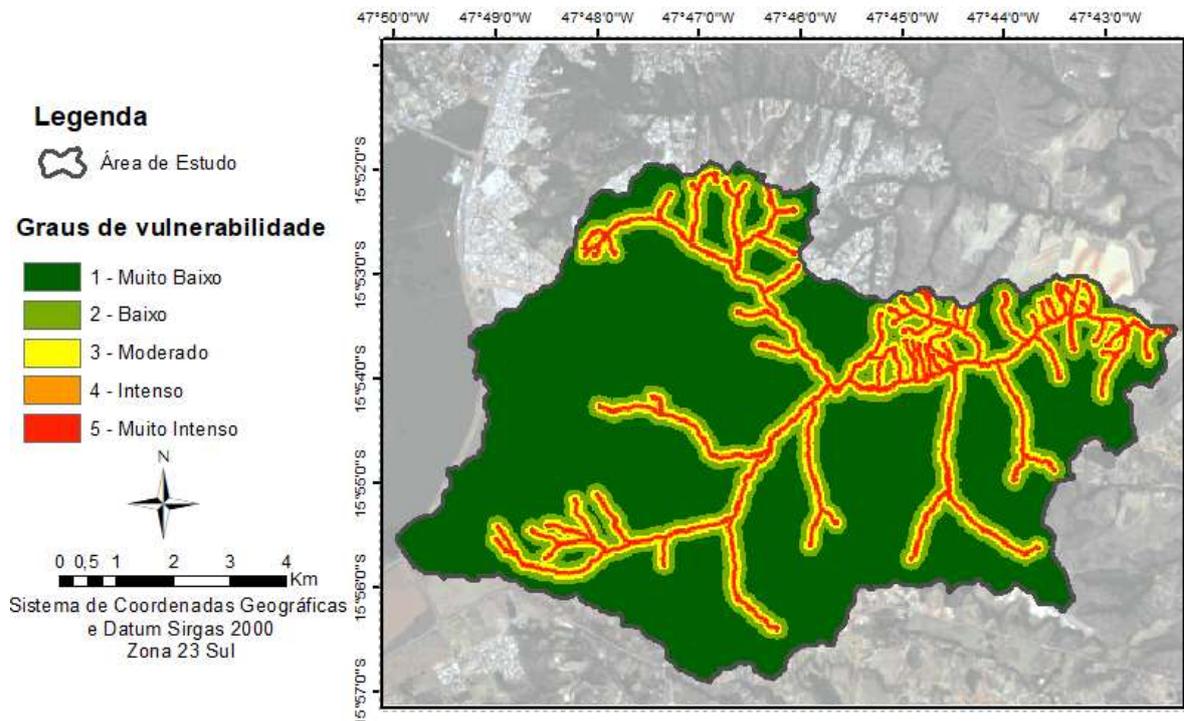


Figura 5.8: Mapa de Suscetibilidade à inundação.

Cabe ressaltar que não há levantamentos de inundação para a região em análise, porém essa avaliação é de suma importância, principalmente para o ordenamento da expansão urbana, para que não seja realizada em áreas suscetíveis a inundação.

Os buffers indicam a distância, em metros, dos cursos hidrográficos, dessa forma a maior vulnerabilidade encontra-se próximo às nascentes e ao longo das calhas de drenagem.

Vale ressaltar que o mapa apresentado leva em consideração apenas os fatores de afastamentos de Áreas de Preservação Permanente recomendados na Lei de 2012, sendo aconselhado uma análise complementar para obtenção de resultados mais precisos e detalhada levando em consideração diversos fatores hidráulicos e hidrológicos assim como topográficos, dados de precipitação associados com eventos de cheia e o uso e do solo que determinará áreas de impermeabilização e, que por sua vez, agravam a situação de suscetibilidade à inundação.

Após a elaboração de todos os mapas de suscetibilidade necessários para a elaboração da AHP, foi elaborado o mapa de vulnerabilidade ambiental.

## 5.5. MAPA DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL

Utilizando os mapas de suscetibilidade às ações antrópicas, erosão linear, laminar e inundação já reclassificados de acordo com o seu grau de vulnerabilidade distribuídos em

até cinco classes, variando entre I (Muito Baixa) a V (Muito Intensa). Utilizou-se a AHP (Saaty, 1980) para integrar todos esses parâmetros, por meio de uma matriz de julgamentos (M), com a escala de importância mútua descrita na Tabela 3.1 e ilustrada na Equação 5.1.

$$M = \begin{matrix} & \begin{matrix} P1 & P2 & P3 & P4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} P1 \\ P2 \\ P3 \\ P4 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 4 & 5 & 8 \\ \frac{1}{4} & 1 & 2 & 6 \\ \frac{1}{5} & \frac{1}{2} & 1 & 3 \\ \frac{1}{8} & \frac{1}{6} & \frac{1}{3} & 1 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

Equação 5.1

Em que,

“P1” mapa de suscetibilidade às ações antrópicas;

“P2” mapa de suscetibilidade à erosão laminar;

“P3” mapa de suscetibilidade à erosão linear;

“P4” mapa de suscetibilidade à inundação.

Para averiguar a consistência dos valores de importância mútua, Saaty (1980), propôs uma fórmula de razão de consistência (RC), e com base na bibliografia, os valores devem ser inferiores a 0,1, com base nos pesos atribuídos na matriz da equação 5.1, o valor de RC foi igual a 0,043 validando a consistência lógica dos pesos.

A escolha dos pesos atribuídos na matriz de julgamento foi baseada principalmente na qualidade e precisão dos mapas de suscetibilidades. O mapa P1 é o de suscetibilidade às ações antrópicas, foi elaborado a partir de dados com maior escala e analisado com maior detalhamento, obtido a partir dos 4 mapas de uso e cobertura do solo, sendo possível considerar as áreas em que há risco na expansão urbana devido a fragilidade ambiental intrínseca existente na região.

O segundo fator com maior importância foi o mapa de suscetibilidade à inundação, por possuir uma escala maior que os mapas de erosão laminar e linear, e se tratar de um risco grande às áreas urbanas que apresentam tendência a urbanizar-se em direção a essas áreas

de risco; em seguida foi atribuída maior importância à erosão linear, pela constatação de voçorocas na área de estudo.

Os pesos atribuídos para cada parâmetro, segundo a matriz de julgamento foram inseridos na Equação 5.2 de análise de vulnerabilidade por meio da ferramenta *raster calculator* do ArcGis.

$$VA = (0,596 S1) + (0,227 S2) + (0,125 S3) + (0,051 S4) \quad \text{Equação 5.2}$$

O que resultou no mapa de vulnerabilidade ambiental, representado pela Figura 5.9.

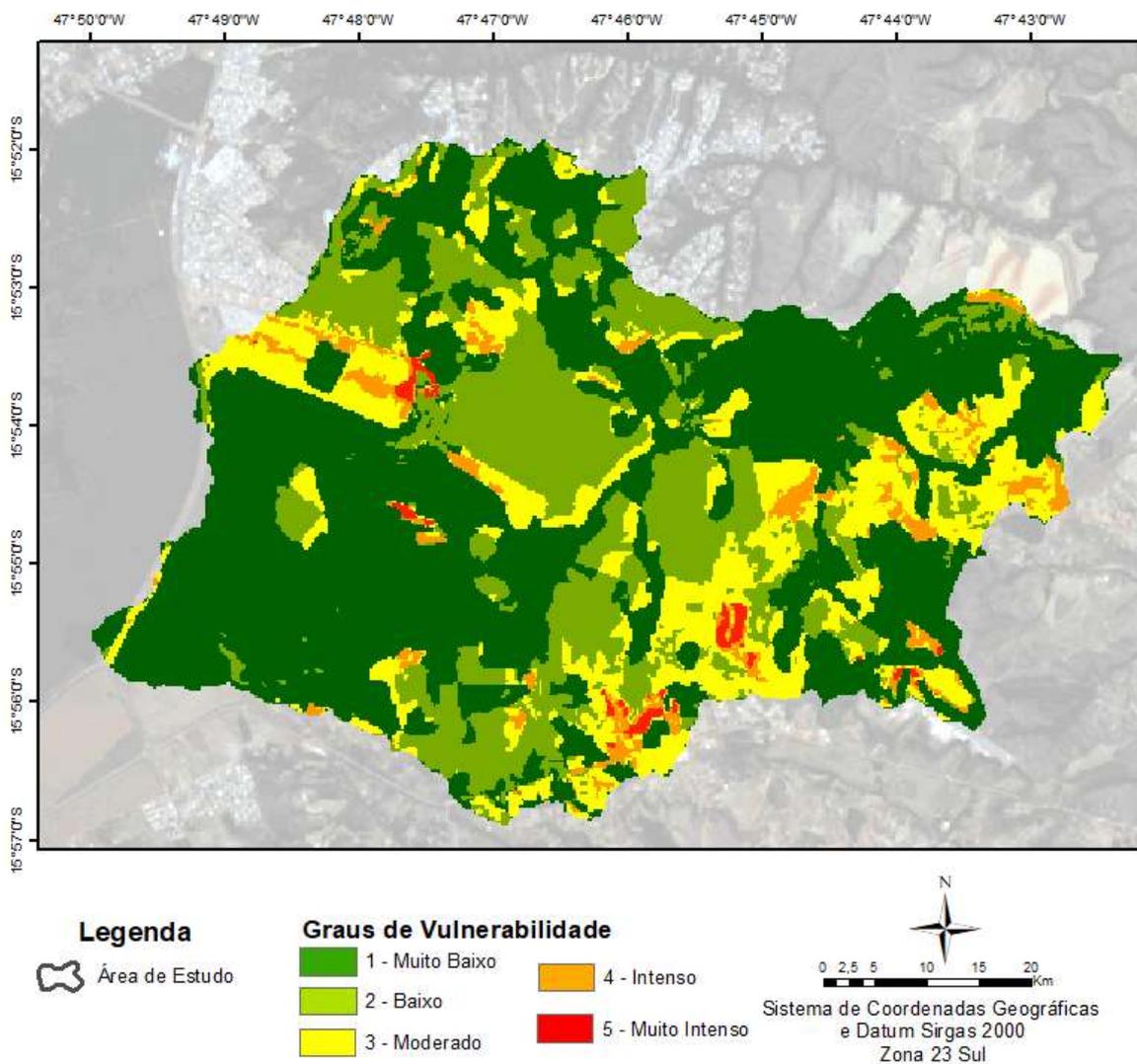


Figura 5.9: Mapa de Vulnerabilidade Ambiental

A álgebra dos mapas deve ser realizada com a mesma escala e tamanho de células. O mapa de vulnerabilidade ambiental por meio da AHP apresenta predominância de vulnerabilidade baixa e muito baixa.

## **CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÃO**

O uso de análise multicritério tipo AHP com algoritmos de geoprocessamento em ambiente computacional de SIG permitiu realizar a avaliação ambiental dos dados obtidos por diferentes mapas temáticos, auxiliando na representação das características da área em estudo, o que auxiliou no alcance do objetivo principal do trabalho.

O resultado da presente pesquisa demonstrou a viabilidade da integração de ferramentas de geoprocessamento e análise hierárquica na área de estudo, visando avaliar a qualidade ambiental, otimizando o tempo e garantindo a qualidade das informações, podendo assim ser utilizada como mecanismos de tomada de decisões para os gestores ambientais.

O método mostrou-se útil para aplicações de análise da vulnerabilidade ambiental. Porém, deve haver uma integração dos métodos aplicados e dos dados obtidos por meio de visita em campo para validação dos dados obtidos por meio de bibliografias, fato este impossibilitado por conta da pandemia da Covid-19 vivida no período da elaboração do presente trabalho.

O mapa de vulnerabilidade ambiental utilizando a AHP mostra que a ação antrópica foi de fato determinante para a intensificação dessa vulnerabilidade. Porém, a produção de mapas de uso e cobertura do solo mais detalhada, com um maior número de classes temáticas, e com as divisões da tipologia da produção na região agrícola, faria com que o resultado de vulnerabilidade ambiental representasse valores mais condizentes com a realidade local.

Relacionando a área de APP legal modificada (ou ideal) com o PI de Uso e Cobertura do solo e cobertura pôde-se perceber a existência de áreas de conflito onde são desenvolvidas práticas antrópicas em local determinado como APP. Vale lembrar que o mapa de inundação foi realizado de forma simplificada e mais restritiva, onde as faixas de afastamento previstas em lei nortearam a aplicação dos valores de vulnerabilidade, sendo necessário visitas em campo para medição da largura dos rios e validação desta informação comparativa.

O modelo AHP mostrou-se bastante versátil no processo de análise de qualidade ambiental da sub-bacia do Ribeirão da Papuda. Porém para uma análise mais aprofundada, seria necessária uma análise multidisciplinar, com número maior de profissionais, para obtenção de um julgamento de pesos mais refinado e analisando outros critérios, dando maior confiabilidade aos resultados.

Com base nas referências bibliográficas, a área disponível pela Papuda para a implantação do pátio de compostagem não se faz necessário um processo de licenciamento ambiental,

tendo em vista que a empresa não pretende fazer da compostagem sua principal atividade e áreas de até 2 hectare não necessitam de licenciamento para tal finalidade. O que evidencia ainda mais a importância do presente estudo de vulnerabilidade ambiental.

Sob a ótica ambiental a importância do projeto é indiscutível, e para a implantação do pátio de compostagem que produza um composto com elevado grau de nutrientes, há necessidade de investir em educação ambiental focando na responsabilidade compartilhada e participação efetiva na coleta seletiva. Auxiliando também na melhora da qualidade dos materiais recicláveis. Ato como este, fomentam a sustentabilidade ambiental, trazendo diversos benefícios ambientais e econômicos. Além de reduzir o envio desses materiais aos aterros sanitários, aumentando a vida útil dos mesmos.

Para a implantação do projeto, será necessário um estudo mais aprofundado contendo as informações de custos e investimentos necessários com o intuito de viabilizar o projeto, assim como a criação de uma logística de coleta e transporte do material.

Recomenda-se que para trabalhos futuros a atualização do modelo proposto na presente pesquisa seja realizada de forma a incluir mais critérios e alternativas do modelo, com análises laboratoriais e in loco de água, solo e ar, que contribuirão com uma maior precisão nos resultados finais, assim como a análise de custos, investimentos e dimensionamento necessários para a implantação do pátio de compostagem.

## **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS**

- ABRELPE, 2017. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2017, p. 74.
- Almeida, W. S., Souza, N. M. & Carvalho, J. C., 2012. *Produção de Carta geotécnica preliminar da Capacidade de infiltração de água no solo em uma área do entorno do reservatório da usina hidrelétrica de Corumbá IV (GO)*. Em: Tópicos sobre infiltração: teoria e prática aplicadas a solos tropicais. 1 ed. Brasília: Universidade de Brasília, pp. 581-606.
- ANTUNES, ÓSCAR (2012). *Análise multicritério em SIG para determinação de um índice espacializado de pressão antrópica litoral. Casos de Espinho, Caparica e Faro*. Dissertação de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa.
- Aspiazú, C.; Alves, L. M.; Valente, O. F. *Modelos Digitais de Terreno Conceituação e Importância. Viçosa, MG*. Boletim de Pesquisa Florestal, n. 21, p.27-36, 1990.
- ABNT, 1996. NBR 13591 Compostagem. Associação Brasileira de Normas Técnicas. - Rio de Janeiro. 1996. Acesso em 30 de setembro de 2019.
- ABNT, 2004. NBR 10.004 Resíduos Sólidos - Classificação. Associação Brasileira de Normas Técnicas
- Bertoni, J.; Lombardi Neto, F. (2012). *Conservação do Solo*. 8a ed. São Paulo: Ícone, 355p.
- Bidone, Francisco Ricardo Andrade; Povinelli, Jurandyr. *Conceitos básicos de resíduos sólidos*. 1999.
- Brasil, 1971. Lei nº 5.691, de 10 de Agosto de 1971, Autoriza o Governo do Distrito Federal a constituir a "Central de Abastecimento de Brasília S.A. - CENABRA", e dá outras providências.
- Brasil, 1986. Lei nº 7.533, de 2 de Setembro de 1986. Autoriza o Governo do Distrito Federal a constituir uma Fundação com a finalidade de amparar o trabalhador preso, e dá outras providências.
- Brasil, 1999. Lei nº 9.795, de 27 de Abril de 1999. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências.
- Brasil, 2010. Decreto Lei Complementar nº 7.404, de 23 de Dezembro de 2010. Regulamenta a Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências
- Brasil, 2010. Lei nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências
- Brasil, 2016. Lei nº 5.610, de 16 de Fevereiro de 2016. Dispõem sobre a responsabilidade dos grandes geradores de resíduos sólidos e dá outras providências.
- Brasil, 2019. Decreto Lei Complementar nº 39.981, de 29 de Julho de 2019. Altera a redação do Decreto nº 37.568, de 24 de agosto de 2016, que regulamenta a Lei nº 5.610, de 16 de fevereiro de 2016, que dispõe sobre a responsabilidade dos grandes geradores de resíduos sólidos e dá outras providências.
- Brasil, 2020. Lei nº 6.518, que dispõe sobre a obrigatoriedade de tratamento dos resíduos sólidos orgânicos no Distrito Federal por processos biológicos.

- Büttenbender, Sandro Edésio (2004). *Resíduos sólidos urbanos provenientes da coleta seletiva realizada no município de Angelina/ SC*. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental.
- Campagnoli F. (2002). *A aplicação do assoreamento na definição de geoindicadores ambientais em áreas urbanas: exemplo na Bacia do Alto Tietê, SP*. Tese de Doutorado, Escola Politécnica, USP, São Paulo, 195p.
- CASA CIVIL. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm)>. Lei Federal n° 12305, de 2 de agosto de 2010. Acesso em 17 de setembro de 2019.
- Calixto, B. B. *Estimativa indireta da erodibilidade (K) dos solos da bacia do ribeirão Pipiripau – DF usando dados pedológicos locais*. 2013. 67p. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade de Brasília- UnB, Brasília, Distrito Federal.
- CEMPRE (2010). *Lixo Municipal -Manual de Gerenciamento Integrado*. 3. ed. São Paulo: Compromisso Empresarial para Reciclagem, 2010.
- Crepani, Edson.; Medeiros, José; Filho, Pedro; Florenzano, Teresa; Duarte, Valdete; Barbosa. (2001). *Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico- econômico e ao ordenamento territorial*. São José dos Campos. Junho.
- Crósta, Alvaro Penteado (1992). *Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto*. Instituto de Geociências Departamento de Metalogênese e Geoquímica. - ed. rev. - Campinas, SP: IG/UNICAMP, © 1992. 170p.
- CONAM N° 11, de 20 de Dezembro de 2017. Institui Declaração de Conformidade de Atividade Agropecuária - DCAA, nas modalidades facultativa e compulsória, e elenca rol de atividades agrosilvopastoris dispensadas de licenciamento ambiental.
- CONAMA, RESOLUÇÃO N° 481, DE 03 DE OUTUBRO DE 2017. Disponível em: <<http://www.agencia.baciaspcj.org.br/docs/resolucoes/resolucao-conama-48117.pdf>> Acesso em 20 de outubro de 2019.
- DECRETO N° 6.208, DE 18 DE SETEMBRO DE 2007. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2007/Decreto/D6208.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Decreto/D6208.htm)> Acesso em 20 de outubro de 2019.
- EMBRAPA, 2013. Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento por Satélite (CNPM). Acesso em 5 de novembro de 2019.
- Fallis, A.G; Rosa, R. (2013) *Análise Do Uso, Ocupação E Cobertura Da Terra Na Bacia Hidrográfica Do Rio Formiga, Tocantins*. Journal of Chemical Information and Modeling, v. 53, n. 9, p. 1689–1699, 2013.
- Fernandes, F.; SILVA, S. M. C. P. DA. *Manual prático para a compostagem de biossólidos. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico -PROSAB*. Universidade Estadual de Londrina -UEL, p. 91, 1999.
- Ferreira, Nilson Clementino (2006). Apostila de sistemas de informações geográficas. Goiânia, Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás – Sistemas de Informações Geográficas.
- FRAL Consultoria Ltda, (2016) Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos -

PGIRS, Outubro de 2016

- Inácio, C. T. e Miller, P. R. M. *Compostagem: ciência e prática para a gestão de resíduos orgânicos*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 1ª edição.
- INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2010). Tutorial de Geoprocessamento, São José dos Campos, SP <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em 15 de setembro de 2019.
- INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2010). Catálogo de Imagens. Disponível em : <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em 15 de setembro de 2019.
- Jardim, Arnaldo; Yoshida, Consuelo; Machado Filho, José Valverde (Ed.). *Política nacional, gestão de gerenciamento de resíduos sólidos*. Barueri, SP: Manole, 2012.
- Kiehl, Edmar José. *Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto*. [S.l.: s.n.], 1998.
- Lima, J. D. de; Jucá, J. F. T.; Reichert, G. A.; Firmo, A. L. B. (2014). *Uso de modelo de apoio à decisão para análise de alternativas tecnológicas de tratamento de resíduos sólidos urbanos na região Sul do Brasil*. Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 19, n. 1, p. 33-42
- Macêdo, I.L. (2009). *Estudo de Modelos em Ambiente de Geoprocessamento para a previsão de Erosão e Assoreamento de Reservatórios: o Caso da Bacia do Rio Indaiá – UHE Três Marias, MG*. Tese de Doutorado, Publicação G.TD-060-09, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 312p.
- Marchezetti, Ana, Kaviski, Eloy e Braga, Maria (2011). *Aplicação do método AHP para a hierarquização das alternativas de tratamento de resíduos sólidos domiciliares*. Revista Ambiente Construído, Porto Alegre, 11(2), 173-187.
- Milaré, Édís. *Direito do ambiente: doutrina, jurisprudência, glossário*. 3. ed. rev. atual. São Paulo: Editora Revista dos Tribunais, 2004.
- MMA (2010), manual de implantação de compostagem e de coleta seletiva no âmbito de consórcios públicos - Ministério do Meio Ambiente- MMA.
- Moretti, Audrey e Colab. *Plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos no município de Araraquara-SP* : formulação e implementação. v. 20, 2015.
- Mucelin, M. Bellini - *Sociedade & natureza, 2008. Lixo e impactos ambientais perceptíveis no ecossistema urbano*. Sociedade & Natureza, v. 20, n. 1, p. 111–124, 2008.
- Nunes, Juliana Faria e Roig, Henrique Llacer. *Análise e mapeamento do uso e ocupação do solo da bacia do alto do descoberto, DF/GO, por meio de classificação automática baseada em regras e lógica nebulosa*. Rev. Árvore [online]. 2015, vol.39, n.1, pp.25-36. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-67622015000100003&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622015000100003&lng=pt&nrm=iso)>. ISSN 0100-6762. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622015000100003>.
- Pereira Neto, J. T. *Manual de compostagem: processo de baixo custo*. Edição da Universidade Federal de Viçosa - UFV e Fundação das Nações Unidas para a Infância - UNICEF. Belo Horizonte, 1996. 56p.
- Programa Ambiental das Nações Unidas e a Associação Internacional de Resíduos Sólidos, 2015. Disponível em: <[70](http://sinus.org.br/2014/wp-content/uploads/2013/11/PNUMA-</a></p></div><div data-bbox=)

Guia-Online.pdf> Acesso em 10 de agosto de 2019.

Rynk, R. *On-farm composting handbook*. Ithaca, NY: NRAES, 1996, 186 p

Saaty, T.L. (1980). *Método de Análise Hierárquica*. Tradução e Revisão Técnica Wainer da Silveira e Silva. São Paulo: Mcgraw-hill, Makron.

Slater, Don. *Cultura do consumo e modernidade*. Editora Nobel. São Paulo. 2002. Disponível em: <[http://books.google.com.br/books?id=Au3OR-g0xCYC&pg=PA32&dq=sociedade+moderna+de+consumo&hl=pt-BR&ei=JU-tTvX3CsTy0gG8ke2CDw&sa=X&oi=book\\_result&ct=result&resnum=1&ved=0CC0Q6AEwAA#v=onepage&q=sociedade%20moderna%20de%20consumo&f=false](http://books.google.com.br/books?id=Au3OR-g0xCYC&pg=PA32&dq=sociedade+moderna+de+consumo&hl=pt-BR&ei=JU-tTvX3CsTy0gG8ke2CDw&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1&ved=0CC0Q6AEwAA#v=onepage&q=sociedade%20moderna%20de%20consumo&f=false)>. Acesso em 15 de outubro de 2019.

FUNAP/DF. Disponível em: <<http://www.funap.df.gov.br/sobre-a-funap-df/>> Acesso em: 08 de novembro de 2019

Souza, Vladimir; Gasparetto, Nelson (2012). *Aplicação da equação universal de perdas de solo (EUPS) na bacia do córrego Pinhalzinho Segundo, Noroeste do Paraná*. Revista Brasileira de Geomorfologia. Revista Brasileira de Geomorfologia, v.13, n.3, (Jul-Set) p.267-278.

Teixeira, Izabella. *Vamos Cuidar do Brasil: 4º Conferência Nacional do Meio Ambiente - Resíduos Sólidos*. Texto Orientador. 2º Edição. Brasília, maio 2013.

Tomazoni, Julio; Mantovani, Luiz; Bittencourt, André; Filho, Ernani (2007). *A sistematização dos fatores da EUPS em SIG para quantificação da erosão laminar na Bacia do Rio Anta Gorda (PR)*. Estudos Geográficos, Rio Claro, v. 3, n.1, p. 01-21, jan./jun. 2005. Disponível em: <<http://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/estgeo/article/view/246/202>>. Acesso em: 04 jun. 2020.