



**CARTOGRAFIA DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO: O CASO DA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO PRATAGY-AL**

**ALUNA: LAURA HONÓRIO DE OLIVEIRA SILVA**

**ORIENTADOR: PROF. NEWTON MOREIRA DE SOUZA, D.Sc.**

**COORIENTADOR: ELEUDO ESTEVES DE A. SILVA JUNIOR, DSc.**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM GEOTECNIA**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOTECNIA  
BRASÍLIA, 23 DE FEVEREIRO DE 2023**

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

**CARTOGRAFIA DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO: O CASO DA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO PRATAGY-AL**

**LAURA HONÓRIO DE OLIVEIRA SILVA**

**ORIENTADOR: NEWTON MOREIRA DE SOUZA, DSc.  
COORIENTADOR: ELEUDO ESTEVES DE A. SILVA JUNIOR, DSc.**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM GEOTECNIA**

**PUBLICAÇÃO G.DM 390/2023  
BRASÍLIA /DF: FEVEREIRO/2023**

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

**CARTOGRAFIA DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO: O CASO DA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO PRATAGY-AL**

**LAURA HONÓRIO DE OLIVEIRA SILVA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE  
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO  
PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE  
MESTRE EM GEOTECNIA.**

**APROVADO POR:**

---

**PROF. NEWTON MOREIRA DE SOUZA, DSC. (ENC/FT/UnB) (ORIENTADOR)**

---

**PROF. ELEUDO ESTEVES DE A. SILVA JUNIOR (ENC/FT/UnB)  
(COORIENTADOR)**

---

**PROF. RAFAEL CERQUEIRA SILVA, DSC (ENC/FT/UnB) (EXAMINADOR  
INTERNO)**

---

**PROF. ROCHANA CAMPOS DE ANDRADE LIMA SANTOS, DSC. (CTEC/UFAL)  
(EXAMINADOR EXTERNO)**

**DATA: BRASÍLIA/DF, 23 DE FEVEREIRO DE 2023**

## FICHA CATALOGRÁFICA

SILVA, LAURA HONORIO DE OLIVEIRA Cartografia de Aptidão à Urbanização: O Caso da Bacia Hidrográfica do Rio Pratagy-AL [Alagoas] 2023. xiv, 142 p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Geotecnia, 2023) Dissertação de Mestrado - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. 1. Geoprocessamento 2. Planejamento Urbano Suscetibilidade 4. Cartografia Geotécnica I. ENC/FT/UnB II. Mestre
--

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SILVA, L. H. O. (2023). Cartografia de Aptidão à Urbanização: O Caso da Bacia Hidrográfica do Rio Pratagy-AL. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM-390/2023, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 142 p.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Laura Honório de Oliveira Silva

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO: Cartografia de Aptidão à Urbanização: O Caso da Bacia Hidrográfica do Rio Pratagy-AL

GRAU / ANO: Mestre / 2023

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

---

Laura Honório de Oliveira Silva  
laurahonorios@gmail.com  
Rua São Domingos do Prata, 712,  
CEP 30330110 - Belo Horizonte, MG.

## DEDICATÓRIA

*Aos meus avós Marinalva Honório  
e Abides Oliveira*

“Não adianta sonhar com o que é feito apenas  
de fantasia e querer aspirar ao impossível.”

Valter Hugo Mae.

## AGRADECIMENTOS

Dedico este trabalho à minha família, que sempre me apoiou e incentivou, em especial à minha mãe, Maristela Honório, que nunca mediu esforços para investir em minha educação.

Agradeço às minhas tias, Mônica, Goretti, Thais e Janine, e aos meus tios Abides, Geraldo e Rogério, por tanto amor e pelos bons exemplos. Ao meu pai Pedro, pela escuta e pelos bons conselhos.

À minhas primas Isabela e Carol, pelo amor fraternal e à minha irmã Lorena.

Agradeço à Deus e ao meu orientador Professor Newton Moreira, pela paciência e persistência, e principalmente por ser um exemplo de professor e de pessoa.

Ao meu coorientador Professor Eleudo Esteves, agradeço por todas as oportunidades que me propiciou e pela atenção nesses anos de pesquisa.

Agradeço aos professores que compõem a banda examinadora, por toda troca e aprendizagem.

Aos meus amigos Clara, Weber, Telma e Felipe, que me acompanharam nesta jornada desde o princípio e que sempre acreditaram na minha capacidade de finalizar este estudo.

Agradeço aos meus amigos de Belo Horizonte, Laís, João, Natan, Johanna, Rafael, Wesley, Jullianny e Camilla, pelo incentivo e pela companhia.

Aos meus amigos de luta e de vida, que me acompanham desde 2014 quando tive a honra de fazer parte do PET Engenharia Ambiental da UFAL, Laís, Alisson, Letícia, Yan, Thainá, Carol, Gedson, Hugo, Wallison, Brunna e Ewerton.

À Lavínia, por segurar minha mão e enxugar minhas lágrimas, obrigada por iluminar meu caminho em momentos de sombras e por todas as vezes que me lembrou dos sonhos que eu planejei realizar.

Agradeço a Dra. Divanise Suruagy, por todos os anos de escuta e de cura, à Dra Érica e Antônia Santana que me ajudaram a relembrar minha essência.

Por fim, agradeço ao CNPQ pela ajuda financeira para que eu pudesse estudar em Brasília, a Universidade de Brasília pelo acolhimento, ao Programa de Pós Graduação e Geotecnia e seus professores por todo conhecimento compartilhado e à Universidade Pública de qualidade.

Enfim, agradeço a mim, por não ter desistido.

# **CARTOGRAFIA DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO: O CASO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PRATAGY**

## **RESUMO**

O processo de urbanização desordenado do município de Maceió em direção ao litoral norte esbarra em suscetibilidades físicas e ambientais da área, que necessitam de investimento em infraestrutura urbana, saneamento básico e políticas públicas para a população existente e para as futuras. O objetivo geral desta dissertação é explorar métodos e modelos cartográficos de auxílio ao planejamento urbano sustentável, baseando-se na estruturação de um procedimento de mapeamento geotécnico progressivo, utilizando geotecnologias e a base teórica da Cartografia Geotécnica. Para tal, a Bacia Hidrográfica do Rio Pratygy, em Alagoas, foi escolhida como estudo de caso. A metodologia da pesquisa baseia-se nas premissas propostas por Zuquette & Gandolfi, 2004, que apresenta etapas metodológicas de inventário, zoneamento e prognósticos e proposição de ações; no método de detalhamento progressivo descrita por Cerri et al (1996) e também nas orientações apresentadas na Lei nº 12.608/2012, que estabelece a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil. O mapa de uso do solo foi realizado a partir da metodologia de classificação supervisionada. As áreas restrição ambiental seguiram o código florestal, Lei 12.651/2012. As cartas de suscetibilidade à inundação e alagamento, movimento de massa e erosão serviram de base para a Carta Geotécnica de Aptidão urbana que apresentou que a classe de aptidão nula equivale a 21,0%, a de aptidão baixa, 35,0%, a de aptidão média 30,0% e a de aptidão alta ocupa 13% da BHP. Por meio do uso da tabulação cruzada verificou-se que 57% da área de aptidão à urbanização nula e 39% de aptidão baixa corresponde às áreas de alta suscetibilidade à movimento de massa. 43% das áreas de aptidão nula e 70% das áreas de aptidão baixa, apresentam alta suscetibilidade à erosão. 60% da classe à aptidão nula e 80% da classe à aptidão baixa está em áreas de alta suscetibilidade a inundação e alagamento. É possível concluir que antes da ocupação das áreas com média e alta aptidão urbana é preciso diminuir a vulnerabilidade do solo dessas regiões, e preservar e vegetação remanescentes nos tabuleiros, tabuleiros dissecados e encostas e vales, evitando aumento das áreas suscetíveis à movimentos de massa e erosões.

**Palavras-chave:** Aptidão Urbana; Suscetibilidade; Geoprocessamento; Bacia Hidrográfica.

# **CARTOGRAPHY OF APTITUDE TO URBANIZATION: THE CASE OF THE PRATAGY RIVER WATERSHED**

## **ABSTACT**

The disorganized urbanization process of Maceió City towards the north coast comes up against the physical and environmental susceptibilities of the area, which require investment in urban infrastructure, basic sanitation and public policies for the existing population and for future ones. The general objective of this dissertation is to explore cartographic methods and models to aid sustainable urban planning, based on the structuring of a progressive geotechnical mapping procedure, using geotechnologies and the theoretical basis of Geotechnical Cartography. Therefore, the Pratagy River Basin, in Alagoas, was chosen as a case study. The research methodology is based on the premises proposed by Zuquette & Gandolfi, 2004, which presents methodological stages of inventory, zoning and forecasts and proposition of actions; in the progressive detailing method described by Cerri et al (1996) and also in the guidelines presented in Law n° 12.608/2012, which establishes the National Policy of Protection and Civil Defense. The land use map was created based on the supervised classification methodology. The environmental restriction areas followed the forest code, Law 12.651/2012. The maps of susceptibility to flooding and flooding, mass movement and erosion served as the basis for the Geotechnical Map of Urban Aptitude, which presented that the null suitability class is equivalent to 21.0%, the low suitability, 35.0%, the of average aptitude 30.0% and the one of high aptitude occupies 13% of the BHP. Through the use of crosstabulation, it was verified that 57% of the area with zero suitability for urbanization and 39% of low suitability correspond to areas of high susceptibility to mass movement. 43% of the zero suitability areas and 70% of the low suitability areas are highly susceptible to erosion. 60% of the zero suitability class and 80% of the low suitability class are in areas of high susceptibility to flooding. It is possible to conclude that before the occupation of areas with medium and high urban suitability, it is necessary to reduce the vulnerability of the soil in these regions, and to preserve the remaining vegetation on the tablelands, dissected tablelands and slopes and valleys, avoiding an increase in areas susceptible to mass movements and erosions.

**Keywords:** Urban Aptitude; Susceptibility; Geoprocessing; Watershed.

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO .....</b>	<b>2</b>
<b>1.2. OBJETIVOS.....</b>	<b>4</b>
<b>1.3. ESCOLPO DA DISSERTAÇÃO .....</b>	<b>5</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>6</b>
<b>2.1. CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA .....</b>	<b>6</b>
<b>2.1.1. PRINCIPAIS METODOLOGIAS .....</b>	<b>8</b>
2.1.1.1. METODOLOGIAS TRADICIONAIS .....	9
2.1.1.2. MÉTODO DO DETALHAMENTO PROGRESSIVO .....	10
2.1.1.3. MÉTODO AHP .....	11
<b>2.2. O PLANEJAMENTO URBANO.....</b>	<b>13</b>
<b>2.3. GEOPROCESSAMENTO E SIG .....</b>	<b>15</b>
<b>2.4. SENSORIAMENTO REMOTO .....</b>	<b>16</b>
2.4.1. PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS .....	18
<b>2.5. PRINCIPAIS PROCESSOS DA DINÂMICA SUPERFICIAL.....</b>	<b>19</b>
<b>2.6. POLÍTICA DE PLANEJAMENTO E USO DO SOLO .....</b>	<b>23</b>
2.6.1. PLANO DIRETOR DO MUNICÍPIO DE MACEIÓ - LEI MUNICIPAL N° 5486/2005 .....	27
2.6.2. BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE PLANEJAMENTO.....	32
<b>3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>33</b>
<b>3.1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>33</b>
<b>3.2. ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS E DEMOGRÁFICOS .....</b>	<b>35</b>
<b>3.3. ASPECTOS CLIMÁTICOS.....</b>	<b>37</b>
<b>3.4. VEGETAÇÃO .....</b>	<b>38</b>
<b>3.5. SOLOS.....</b>	<b>39</b>
<b>3.6. HIDROGRAFIA.....</b>	<b>39</b>
<b>3.7. GEOLOGIA.....</b>	<b>41</b>

<b>3.8. GEOMORFOLOGIA .....</b>	<b>42</b>
<b>3.9. PROCESSO DE URBANIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE MACEIÓ .....</b>	<b>43</b>
<b>4. METODOLOGIA E ETAPAS DO TRABALHO.....</b>	<b>47</b>
<b>4.1. FUNDAMENTOS METODOLÓGICOS.....</b>	<b>47</b>
<b>4.2. INVENTÁRIO.....</b>	<b>48</b>
<b>4.3. ELABORAÇÃO DOS MAPAS BÁSICOS .....</b>	<b>52</b>
<b>4.3.1. PROCESSAMENTO DE MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO.....</b>	<b>52</b>
4.3.1.1. HIPSOMETRIA.....	53
4.3.1.2. DECLIVIDADE .....	53
4.3.1.3. CURVATURA DE TERRENO.....	53
4.3.1.4. ORIENTAÇÃO DE VERTENTES .....	55
4.3.1.5. DELINEAMENTO DE SUB-BACIAS .....	55
4.3.1.6. AMPLITUDE DE RELEVO.....	56
4.3.1.7. ALTURA ACIMA DA DRENAGEM MAIS PRÓXIMA .....	56
<b>4.3.2. GEOMORFOLOGIA .....</b>	<b>57</b>
<b>4.3.3. GEOLOGIA .....</b>	<b>57</b>
<b>4.3.4. SOLOS .....</b>	<b>57</b>
<b>4.3.5. PRECIPITAÇÃO.....</b>	<b>58</b>
<b>4.3.6. MAPA DE USO E OCUPAÇÃO .....</b>	<b>60</b>
<b>4.3.7. MAPA DE RESTRIÇÕES AMBIENTAIS .....</b>	<b>60</b>
<b>4.4. CARTAS GEOTÉCNICAS DE SUSCETIBILIDADE .....</b>	<b>61</b>
<b>4.4.1. CARTA DE SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÕES E ALAGAMENTO... 61</b>	<b>61</b>
<b>4.4.2. CARTA DE SUSCETIBILIDADE À MOVIMENTO DE MASSA .....</b>	<b>63</b>
<b>4.4.3. CARTA DE SUSCETIBILIDADE À EROÇÃO HÍDRICA .....</b>	<b>65</b>
<b>4.5. CARTA GEOTÉCNICA DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO .....</b>	<b>67</b>
<b>5. RESULTADOS .....</b>	<b>69</b>
<b>5.1. MAPAS BÁSICOS.....</b>	<b>69</b>
<b>5.1.1. MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO E PRODUTOS DERIVADOS .....</b>	<b>69</b>
<b>5.1.2. GEOLOGIA .....</b>	<b>77</b>
<b>5.1.3. SOLOS .....</b>	<b>78</b>
<b>5.1.4. GEOMORFOLOGIA.....</b>	<b>79</b>
<b>5.1.5. PRECIPITAÇÃO.....</b>	<b>83</b>
<b>5.1.6. MAPA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO.....</b>	<b>84</b>
<b>5.1.7. MAPA DE RESTRIÇÕES AMBIENTAIS .....</b>	<b>85</b>
<b>5.2. CARTA DE SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÕES E ALAGAMENTOS.....</b>	<b>86</b>
<b>5.3. CARTA DE SUSCETIBILIDADE À MOVIMENTOS DE MASSA .....</b>	<b>88</b>

<b>5.4. CARTA DE SUSCETIBILIDADE À EROSÃO .....</b>	<b>92</b>
<b>5.5. CARTA GEOTÉCNICA DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO .....</b>	<b>96</b>
<b>6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS .....</b>	<b>101</b>
<b>7. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>104</b>
<b>8. APÊNDICES .....</b>	<b>114</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Classificação hierárquica de documentos cartográficos – Adaptado de Zuquette & Gandolfi (2004).....	8
Tabela 2.2: Escala fundamental APH. (Fonte: Saaty, 1977).....	12
Tabela 2.3: Matriz quadrada de correlação par a par. (Fonte: adaptado de Saaty, 2008).....	12
Tabela 2.4: Matriz de Normalização de Valores. (Fonte: adaptado de Saaty, 2008).....	13
Tabela 2.5: Valores do RI correspondente à ordem da matriz.....	13
Tabela 2.6: Classificação dos movimentos de encosta segundo Varnes (1978).....	22
Tabela 4.1: Síntese das etapas do método do detalhamento progressivo. (Fonte: Adaptado de Zaine (2000)).....	48
Tabela 4.2: Inventário de Dados.....	49
Tabela 4.3: Levantamento jornalístico de desastres nos municípios da BHP.....	51
Tabela 4.4: Tipos de Curvaturas e sua representação.....	54
Tabela 4.5: Parâmetros da carta de formas de vertente (Fonte: Ahualli, 2019).....	55
Tabela 4.6: Estações analisadas no estudo de intensidade pluviométrica.....	58
Tabela 4.7: Classificação da suscetibilidade a inundações. (Fonte: Conceição e Simões, 2021) .....	63
Tabela 4.8: Matriz quadrada de correlação par a par (Movimento de Massa).....	64
Tabela 4.9: Matriz de Normalização de Valores (Movimento de Massa). .....	64
Tabela 4.10: Matriz de correlação par a par (Erosão).....	66
Tabela 4.11: Matriz de Normalização de Valores (Erosão).....	66
Tabela 4.12: Reclassificação de valores das cartas de suscetibilidade e a carta de aptidão urbana.....	67
Tabela 5.1: Área Total das Bacias Hidrográficas.....	75
Tabela 5.2: Áreas das classes de solo e porcentagem de ocupação.....	79
Tabela 5.3: Exemplos de ocorrências de Alagamentos nas áreas mapeadas.....	88
Tabela 5.4: Atribuição dos valores de suscetibilidade à movimento de massas para as classes de Uso e Ocupação do Solo.....	88
Tabela 5.5: Atribuição dos valores de suscetibilidade à movimento de massas para as classes de Formas de Vertente.....	89
Tabela 5.6: Atribuição dos valores de suscetibilidade à movimento de massas para as classes Geomorfológicas.....	89
Tabela 5.7: Atribuição dos valores de suscetibilidade à movimento de massas para as classes de Solos.....	89
Tabela 5.8: Atribuição dos valores de suscetibilidade à movimento de massas para as classes de Declividade.....	89
Tabela 5.9: Tabulação Cruzada - Suscetibilidade à Movimento de Massa x Geomorfologia	90
Tabela 5.10: Atribuição dos valores de suscetibilidade à erosão para as classes de Uso e Ocupação do Solo.....	92
Tabela 5.11: Atribuição dos valores de suscetibilidade à erosão para as classes de Solos.....	93
Tabela 5.12: Atribuição dos valores de suscetibilidade à erosão para as classes de Curvatura de Perfil.....	93
Tabela 5.13: Atribuição dos valores de suscetibilidade à erosão para as classes de Declividade .....	93
Tabela 5.14: Atribuição dos valores de suscetibilidade à erosão para as classes de Geologia	93
Tabela 5.15: Atribuição dos valores de suscetibilidade à erosão para as classes de Geologia	94

Tabela 5.16: Tabulação Cruzada, Suscetibilidade à Erosão x Uso do Solo.....	95
Tabela 5.17: Tabulação Cruzada, Suscetibilidade à Erosão x Geomorfologia .....	95
Tabela 5.18: Tabulação Cruzada Aptidão à urbanização x Suscetibilidade à Movimento de Massa.....	98
Tabela 5.19: Tabulação Cruzada Aptidão à urbanização x Suscetibilidade à Erosão.....	99
Tabela 5.20: Tabulação Cruzada Aptidão à urbanização x Suscetibilidade à Inundação e Alagamentos.....	99
Tabela 5.21: Tabulação Cruzada Aptidão à urbanização x Uso e Ocupação do Solo .....	100

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Alagamento no bairro da Jatiúca (Maceió/AL), 15/06/2021 (Farias, 2021).....	20
Figura 2.2: Alagamento no bairro do farol (Maceió/AL), 15/04/2021 (Farias, 2021).....	20
Figura 2.3: Cheia no Riacho do Salgadinho destruiu ponte e inundou Maceió em 1949 (Foto: Defesa Civil) .....	21
Figura 2.4: Macrozoneamento do município de Maceió e a BHP. (Fonte: adaptado de Alagoas, 2005) .....	28
Figura 3.1: Mapa de Localização com destaque para a área de estudo.....	34
Figura 3.2: Delimitação do município de Messias (linha preta), inserida na BHP (contorno vermelho). Destaque para a Nascente do rio Pratagy em verde.....	35
Figura 3.3: Delimitação do Município de Rio Largo (linha preta) inserida na BHP (contorno vermelho), destaque para a Barragem Canoas e para o Aeroporto Internacional de Maceió. .	36
Figura 3.4: Delimitação do Município de Maceió (linha preta) inserida na BHP (contorno vermelho), destaque para o Centro de Tratamento de Resíduos de Maceió e para os bairros inseridos na área: Riacho Doce, Garça Torta, Guaxuma, Benedito Bentes e Cidade Universitária .....	37
Figura 3.5: Precipitação Média Mensal. (Fonte: Tavares, 2017).....	38
Figura 3.6: Precipitação Histórica. (Fonte: Semarh, 2007).....	38
Figura 3.7: Rio Pratagy com a APA do Pratagy ao fundo. (Fonte: Ascom Semarh, 2015).....	40
Figura 3.8: Região Hidrográfica do Rio Pratagy de acordo com o PDRH. (Cohidro, 2006)...	41
Figura 3.9: Geologia da Área. (Fonte: DNPM, 2007).....	42
Figura 3.10: Geomorfologia da Área de Estudo. (Fonte: DNPM, 2007).....	43
Figura 3.11: Evolução urbana de Maceió até 1980. (Fonte: Japiassú, 2015).....	44
Figura 3.12: Tendência de Crescimento Populacional em 1980, os números de 1 a 25 correspondem aos bairros de Maceió. O contorno em vermelho destaca a área de estudo (Fonte: Modificado de Japiassú, 2015) .....	45
Figura 3.13: Divisão dos bairros de Maceió no ano 2000, os números de 1 a 50 correspondem aos bairros. O contorno em vermelho destaca a área de estudo. (Fonte: Modificado de Japiassú, 2015) .....	46
Figura 4.1: Classes de forma de relevo (Fonte: Valeriano,2008 apud Sevilla, 2016).....	55
Figura 4.2: Etapas para a obtenção da direção de fluxo. (Fonte: ESRI® - ArcGis 10) .....	56
Figura 4.3: Precipitação média mensal (mm), estação Saúde, período 1963-1991 e 1994.....	59
Figura 4.4: Precipitação média mensal (mm), estação Utinga Leão, 1912-2008.....	59
Figura 4.5: Precipitação média mensal (mm), estação Maceió (tabuleiro), 1961-2019.....	59
Figura 4.6: Precipitação média mensal (mm), estação Rio Largo, período 1963-2000.....	60
Figura 4.7: Função <i>MSSmall</i> , (Fonte: ESRI,2023).....	62
Figura 5.1: Recorte do Mapa Hipsométrico da BHP .....	69
Figura 5.2: Porcentagem das classes hipsométricas na área de estudo .....	70
Figura 5.3: Curva Hipsométrica da BHP .....	70
Figura 5.4: Recorte do Mapa de Declividade para a BHP .....	71
Figura 5.5: Porcentagem das classes de declividade na área de estudo .....	71
Figura 5.6: Recorte do Mapa de Formas de Vertente .....	72
Figura 5.7: Porcentagem das classes de formas de vertente na área de estudo.....	73
Figura 5.8: Mapa de Amplitude relativa .....	74
Figura 5.9: Rede hidrográfica e bacias delimitadas .....	75
Figura 5.10: Carta de altura vertical a drenagem mais próxima .....	76

Figura 5.11: Recorte da Carta Geológica .....	78
Figura 5.12: Recorte da carta de solos .....	79
Figura 5.13: Imagem 3D da foz do rio Pratygy de 17/11/2021. É possível observar a planície fluvial e as áreas mais elevadas dos tabuleiros dissecados (Fonte: Google Earth) .....	80
Figura 5.14: Imagem 3D do alto do Guaxuma de 24/10/2021. É possível observar cicatrizes de escorregamento em, em áreas de encostas e vales fluviais, além da área ocupada por edificações tanto em encostas como nos tabuleiros dissecados (Fonte: Google Earth).....	80
Figura 5.15: Imagem 3D do Bairro do Benedito Bentes de 24/10/2021, o bairro está assentado no tabuleiro, em área plana. É possível visualizar as cicatrizes de escorregamento nas áreas de encosta, além do avanço do perímetro urbano em direção as encostas e vales dissecados (Fonte: Google Earth).....	81
Figura 5.16: Recorte da Carta Geomorfológica .....	81
Figura 5.17: Porcentagem das classes geomorfológicas na área de estudo .....	82
Figura 5.18: Perfis Topográficos da Área Estudada .....	83
Figura 5.19: Precipitação Média Anual.....	83
Figura 5.20: Recorte do Mapa de Uso e Ocupação do Solo .....	85
Figura 5.21: porcentagem das classes de uso e ocupação do solo na BHP.....	85
Figura 5.22: Recorte do Mapa de Restrições Ambientais.....	86
Figura 5.23: Recorte da Carta de Suscetibilidade à Inundações e Alagamentos .....	87
Figura 5.24: Frequência de Classes de Inundações Alagamentos na BHP .....	87
Figura 5.25: Recorte da Carta de suscetibilidade à Movimento de Massa .....	91
Figura 5.26: Distribuição das classes de Suscetibilidade à Movimento de Massa na BHP .....	91
Figura 5.27: Cicatrizes de escorregamento em roxo e imagens de algumas delas. (Fonte das imagens: Google Earth, 2022; BISPO, 2018) .....	92
Figura 5.28: Recorte da carta de suscetibilidade à erosão.....	96
Figura 5.29: Distribuição das classes de Suscetibilidade à Erosão na BHP .....	96
Figura 5.30: Recorte da Carta de Aptidão à Urbanização.....	97
Figura 5.31: Distribuição de frequência das classes da Carta de Aptidão à Urbanização .....	97

## LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES

ANA – Agência Nacional de Águas

APA - Área de Proteção ambiental

APP - Área de Proteção Permanente

BHP – Bacia Hidrográfica do Rio Pratygy

CPRM - Serviço Geológico do Brasil

CTR – Centro de Tratamento de Resíduos

D8 - Algoritmo Determinístico 8

DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral

HAND - Height Above the Nearest Drainage (Altura Sobre a Drenagem Mais Próxima)

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

MDE – Modelo Digital de Elevação

PDI – Processamento Digital de Imagem

PDRH – Plano Diretor da Região Hidrográfica

PNPDC - Política Nacional de Proteção e Defesa Civil

SEMARH-AL- Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Alagoas

SIG - Sistema de Informação Cartográfica

SNIS - Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento

ZEIS - Zonas Especiais de Interesse Social

ZIAP - Zonas de Interesse Ambiental e Paisagístico

IAEG - *International Association of Engineering Geology*

## 1. INTRODUÇÃO

A passagem da população rural para urbana interferiu na forma de utilização do espaço, ressignificando necessidades quanto aos meios de produção, desenvolvimento de infraestrutura de transporte, avanços tecnológicos, padrões de consumo e do uso do espaço para moradia. O processo de expansão urbana depende da incorporação de novas áreas e da alteração de uso do solo, de modo que a cidade possua uma organização espacial que atenda as demandas da nova população. (Japiassú, 2015)

A Constituição Federal de 1988 define que a propriedade urbana cumpre sua função social ao atender as exigências estabelecidas no Plano Diretor, o que necessitaria da implementação de um modelo de urbanização que equilibrasse as questões ambientais, econômicas e sociais. Porém, o processo de urbanização brasileiro foi na contramão ao sugerido pela sua própria legislação, dando-se de forma rápida e intensa, passando de nação majoritariamente agrária para urbana, com uma taxa de urbanização de 9,4 vezes desde 1950. (Lago, 2019)

O crescimento desordenado da população citadina acarretou uma política urbana que perpetua desigualdades sociais. De modo que o espaço público tem estado abandonado e se tem fortalecido a ideia da propriedade privada enquanto único local seguro, aumentando as distâncias econômicas e forçando a ocupação de áreas periféricas e ambientalmente frágeis de modo irregular e estruturalmente precário. (Rolnik, 1994)

Com o objetivo de estimular uma política de desenvolvimento urbano, foi criado o Estatuto da Cidade (Lei 10.257/2001) para pôr em prática a função social da cidade e de propriedade estabelecida constitucionalmente. Isto incentivou a geração de dados necessários para a composição dos planos diretores municipais, obrigatórios para municípios com mais de vinte mil habitantes desde a Constituição Federal de 1988. Vale ressaltar que a regulamentação do Plano Diretor veio com a criação da Lei 10.257/2001, passando a assumir o papel de importante instrumento de planejamento e gestão físico-territorial, por meio do zoneamento territorial, que condiciona a forma de ocupação do território.

Porém, o estudo realizado por Rolnik (2012) analisou os 10 anos que decorreram após o estabelecimento do Estatuto da Cidade. A autora observou que a maioria dos planos diretores existentes não estavam adequados à realidade local, que desconsideravam informações do meio físico ou que se apresentavam como documentos incompletos e ineficientes. Santos Junior & Montandon (2011) constataram que os principais problemas apresentados para a aplicação dos planos foram: demarcação territorial inadequada, precariedade de dados básicos acerca do território, incorporação ineficaz de legislação municipal (para fazer valer políticas ambientais

e sociais estabelecidas no plano diretor) e ausência de proposições efetivas para a gestão dos problemas municipais.

Diante do exposto, é levantado o questionamento sobre qual cidade foi planejada e qual cidade existe, se ela atende as demandas e as necessidades populacionais e se ela respeita os limites impostos pelas fragilidades ambientais existentes. Porém, para isso, é necessário o conhecimento das condições do meio físico, conhecimento que é a base para o planejamento economicamente sustentável do espaço, e que permite uma leitura abrangente do zoneamento territorial. (Xavier, 2017)

É nesse contexto que se faz necessário o uso da Cartografia Geotécnica, pois ela leva em consideração as deficiências sociais e políticas para a eficácia e operacionalidade de suas propostas. As quais são pensadas de acordo com a realidade nacional, e ponderam os planos com os interesses econômicos, locais e corporativos, de modo a permitir sua aplicabilidade. (Peloggia, 1997)

A utilização de informações geológicas, geotécnicas e geográficas na cartografia pode seguir diferentes enfoques, seja no planejamento urbano, partindo da conceituação de suscetibilidade e vulnerabilidade, seja na aptidão para urbanização e riscos geológico-geotécnicos. Assim, a Cartografia Geotécnica é a ferramenta que gera produtos que expressam o conhecimento físico e que permitem a resolução de problemas causados pelo uso e ocupação do solo, além de permitir a compreensão do meio físico, suas características, potencialidades e limitações. (Sobreira & Souza, 2012)

Diante do exposto, esta pesquisa utiliza como estudo de caso a cidade de Maceió, especificamente a Bacia Hidrográfica do Rio Pratagy. Esta escolha foi baseada no fato desta bacia seguir a tendência de crescimento do município e que abriga a Unidade de Conservação APA estadual do Pratagy, área de proteção ambiental que acomoda grande diversidade de fauna e flora, e fortalece o conceito de bacia hidrográfica como uma unidade de planejamento que funciona como um ecossistema integrado. Isto possibilita a relação entre os recursos naturais e as atividades humanas, com seu uso e aplicação voltado para análises ambientais complexas, já que nela interagem os meios físicos, biológicos e socioeconômicos.

## **1.1. JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO**

O Perfil dos Municípios Brasileiros de 2017 (IBGE, 2018) levantou informações sobre a gestão de risco e a resposta a desastres, e constatou que, entre o ano do primeiro levantamento realizado, 2013, e o último ano de dados, 2017, 31% dos municípios brasileiros foram atingidos por alagamentos, e 52% destes são os mesmos notificados no estudo de 2013; vale ressaltar que

os municípios mais populosos são os mais atingidos. No período investigado no levantamento de 2017, constatou-se que 19,6% dos municípios apresentaram processos erosivos acelerados e 35% destes mantêm o problema constatado no estudo anterior.

O estudo também levantou informações sobre enchentes ou inundações graduais, e constatou que 27,2% dos municípios brasileiros foram atingidos. Além disso, no ano de maior impacto das ocorrências registradas, verificou-se que 82,7% dos municípios tiveram edificações atingidas, 63,3% de pessoas desalojadas ou desabrigadas e 5,8% de óbitos. Foi ressaltado o que já foi explicitado no tópico anterior, que “as áreas de ocorrências dos eventos são particularmente importantes, pois estão associadas ao planejamento urbano, às condições de moradia, à existência ou não de planos de gestão de risco etc.” Já que boa parte das ocorrências se deu em áreas que não costumam sofrer inundações, mas que apresentam ocupações irregulares. (IBGE, 2018)

Com relação à ocorrência de movimentos de massa, 15% dos municípios foram atingidos, apresentando como principais causas a infiltração de água da chuva em áreas em que houve alterações nas condições do relevo para a implantação de edificações, rodovias e obras diversas. O Perfil dos Municípios Brasileiros IBGE (2018) apresentou que nos municípios com ocorrência de escorregamento e deslizamento de encostas, 39,5% dos eventos aconteceram em áreas de ocupação irregular e que 35,5% não apresentavam infraestrutura de drenagem.

Existem legislações adequadas para a implementação de programas de apoio aos estados e municípios que estão vulneráveis à ocorrência de desastres naturais de natureza geológica-geotécnica ou hidrológica, como a Lei nº 12.608/2012, que instituiu a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDC, e o Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais, lançado em 08/08/2012. No entanto, apesar da existência destas legislações, é perceptível a inadequação dos municípios com relação aos eixos de atuação propostos pela lei relacionados a prevenção, mapeamento, resposta e sistema de monitoramento e alerta. Com isso, os municípios permanecem sofrendo anualmente dos mesmos acidentes.

De acordo com Zuquette & Gandolfi (2004), mapeamento geotécnico é o processo que busca avaliar e retratar as características dos componentes do meio físico. Assim como os possíveis comportamentos frente às diferentes formas de uso do solo, processos naturais e induzidos, avaliando as limitações e potenciais do meio. Esse processo é essencial para o planejamento urbano territorial e ambiental.

Porém, mesmo sendo a Cartografia Geotécnica uma ferramenta científica estabelecida internacionalmente, a construção de instrumentos gráficos possui um caráter dinâmico, sendo necessário sua periódica reformulação e atualização (Zuquette & Gandolfi, 2004). Tendo que

estar de acordo com os avanços científicos e bem adequados à realidade econômica e instrumental da maioria dos municípios brasileiros.

O presente trabalho pretende contribuir com o desenvolvimento de uma metodologia que permita compreender a variabilidade temporal da urbanização. Através da consideração das vulnerabilidades ambientais do meio, propondo um instrumento que auxilie o planejamento do crescimento sustentável da cidade. Baseando-se na estruturação de um procedimento estabelecido no método do detalhamento progressivo de mapeamento geotécnico, que incorpora a análise do ordenamento e planejamento urbano e seus níveis hierárquicos de detalhe representados pela suscetibilidade, aptidão à urbanização e risco. (Sobreira & Souza, 2012)

## **1.2. OBJETIVOS**

O objetivo geral desta dissertação é explorar métodos e modelos cartográficos de auxílio ao planejamento urbano sustentável. Baseando-se na estruturação de um procedimento de mapeamento geotécnico progressivo, utilizando geotecnologias associadas a base teórica da Cartografia Geotécnica. Fazendo uso de dados em diversas escalas para gerar produtos cartográficos objetivando identificar áreas mais propícias para a ocupação urbana.

A partir do objetivo geral é possível propor os seguintes objetivos específicos:

- Estruturar um referencial teórico abrangente, por meio da revisão bibliográfica, para abordar o processo de urbanização de Maceió - Alagoas,
- Estruturar as metodologias de análise de suscetibilidades à processos geodinâmicos;
- Revisar o conhecimento e eleger um procedimento que possa, em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), aplicar metodologia de mapeamento geotécnico voltada ao planejamento urbano e adequada às condições de estudo e ao objetivo geral da pesquisa;
- Estudar os diversos componentes da paisagem e caracterizar os atributos físicos e geoambientais da área de estudo;
- Elaborar Cartas Geotécnicas de Suscetibilidade à Erosão, à Inundações e Alagamentos e Carta Suscetibilidade à Movimento de Massa por meio da ferramenta *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Obtendo diversos cenários, fruto das operações algébricas dos dados dos atributos do meio físico e antrópico;
- Inventariar os pontos de ocorrência de processos geológicos causadores de desastres naturais utilizando imagens de satélite, matérias jornalísticas e trabalhos anteriores para a área de estudo.

- Realizar tabulação cruzada e operações aritméticas entre os planos de informação e as diretrizes urbanísticas, a fim de identificar conflitos de uso e de adequabilidade e elaborar Carta de Aptidão à Urbanização.

### **1.3. ESCOLPO DA DISSERTAÇÃO**

Este trabalho divide-se em seis capítulos, de modo a construir junto com o leitor o embasamento teórico e técnico necessários para a compreensão da relevância da temática, bem como a importância dos resultados alcançados para a aplicação prática deste estudo. No primeiro capítulo foram apresentados a introdução, a justificativa e motivação e os objetivos.

No segundo capítulo são levantados nas referências bibliográficas, base de sustentação para justificar e desenvolver esta pesquisa. O terceiro capítulo apresenta a caracterização da área de estudo, com informações locais, físicas e sobre o processo de evolução do uso e cobertura do solo, em especial a ocupação urbana de Maceió.

No quarto capítulo são apresentadas as etapas da metodologia utilizada, de forma a atender os objetivos propostos. No capítulo cinco estão apresentados os resultados alcançados e a discussão dos mesmos. Finalizando com o sexto capítulo, detalham-se as conclusões e as proposições para pesquisas futuras que podem ser desenvolvidas a partir desta.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA

O primeiro registro cartográfico da história se deu no momento em que o homem primitivo usou de rabiscos e pinturas rupestres deixadas nas paredes de cavernas para gravar o que era importante à garantia da sobrevivência. À medida que as sociedades evoluíram e novas tecnologias surgiram, o conceito de documento cartográfico e cartografia mudou, sendo estabelecido em 1966 pela Associação Cartográfica Internacional – ACI como: “conjunto de estudos e operações científicas, artísticas e técnicas, baseados nos resultados de observações diretas ou de análise de documentação, com vistas à elaboração e preparação de mapas, cartas, projetos e outras formas de expressão, assim como a sua utilização”. (IBGE, 1999)

Para que um produto cartográfico alcance seu objetivo, é necessário que alguns critérios sejam respeitados: com relação ao conteúdo, podem ser apresentados documentos gráficos de atributos do meio físico ou demográfico, categorizado de acordo com o tempo, espaço e inter-relação entre variáveis espaciais. (Rosa, 2017)

De acordo com Zuquette e Gandolfi (2004), os documentos cartográficos classificam-se de duas formas: quanto ao conteúdo (mapas fundamentais, cartas interpretativas e derivadas) e quanto à finalidade (cartas para uso múltiplo e cartas para uso específico). “Mapas fundamentais servem para o registro de informações sobre os diversos componentes do meio físico, enquanto as cartas são elaboradas a partir de atributos que estão registrados nos mapas fundamentais”. (Silva Júnior, 2019)

A cartografia geotécnica visa a integração, síntese e representação de informações de geologia de engenharia para construir modelos de previsão do comportamento do meio físico (Diniz, 2012) ou um processo com finalidade de caracterizar, avaliar e analisar o meio físico, manipulando e interpretando informações que podem ser apresentadas em mapas ou cartas de modo a auxiliar a atividade da engenharia. (Zuquette, 1987)

Os produtos cartográficos geotécnicos levam em consideração dados pedológicos, tipos de rocha e solos e sua formação, atentando-se as características geológicas, hidrogeológicas e geomorfológicas do meio físico, além do uso do solo e a dinâmica climática pela qual a área em estudo é submetida. De modo a definir as vulnerabilidades, potencialidades e necessidades de intervenção para o uso e ocupação do meio. (Sobreira & Souza, 2012).

A carta geotécnica é considerada a ferramenta básica, o produto resultante da necessidade de caracterização do terreno, essencial para a prevenção e intervenção no meio em cenários de desastres naturais e tecnológicos (Lima, 2016). Segundo a *International Association of*

*Engineering Geology*, IAEG (1976), para que um documento seja considerado uma carta geotécnica, deve atender a algumas exigências: (i) retratar informações necessárias para avaliar as feições de geologia de engenharia (ii) prever modificações nas características geológicas, resultando em sugestões de medidas preventivas e (iii) apresentar informações que podem ser compreendidas por profissionais não geólogos.

As cartas geotécnicas podem ter múltiplas aplicações, seja para fins de aptidão urbana, vulnerabilidade, suscetibilidade ou risco, e apresentam escalas de mapeamento adequadas para cada fim. Para Zuquette & Gandolfi (2004) as cartas devem apresentar características como: exigência de precisão espacial, devem ser elaboradas a partir de estudos de componentes do meio físico, as escalas podem variar de 1:200.000 até 1:500. Os dados e informações devem ser apresentados de forma clara e de fácil compreensão, é recomendado que estejam associados à bancos de dados automatizados e com alta capacidade de interação, entre outros.

O desenvolvimento de uma carta geotécnica segue etapas de métodos de investigação geotécnica, trabalho de escritório para interpretação de dados de sensoriamento remoto, dados geotécnicos e cartográficos, de modo a construir um banco de dados que permita a interação das informações em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica), para a geração de mapas temáticos e da carta final.

“As cartas temáticas geram informações acerca da geologia (maciços rochosos, bacias sedimentares etc.), geomorfologia e geomorfometria, atributos de solos (pedologia e geotecnia), cobertura do solo, além de cartas hidrográficas e hidrogeológicas”, (Batista, 2014). A partir delas, entra a etapa de formatação da carta geotécnica, que engloba dados essenciais ao planejamento racional e sustentável do meio físico, sendo utilizada para embasar tomadas de decisão.

Para Diniz & Cintra (1999) a carta geotécnica segue o objetivo final, podendo ser cartas de aptidão à urbanização, cartas de suscetibilidade e riscos geológicos e de viabilidade de empreendimentos. Para Cerri (1990) as cartas podem ser do tipo clássicas, de suscetibilidade e cartas de risco. Santos (2014) afirma que o foco das cartas geotécnicas é o planejamento urbano e para tal destaca quatro tipos de documentos cartográficos: mapas de geodiversidade e suscetibilidade, cartas geotécnicas como instrumento básico do planejamento urbano e cartas de risco.

Como apresentado, a elaboração cartográfica geotécnica utiliza da integração dos componentes do meio físico, necessitando de um grupo de atributos que se vincula a um propósito específico, e os elementos obrigatório nas cartas, conforme elencam Zuquette e

Gandolfi (2004). São: objetivo; escala; atributos; obtenção de atributos; análise e tratamento dos dados; síntese e apresentação.

Com relação aos usos, Zuquette e Gandolfi (2004) propõem que as cartas devem ser elaboradas para cada etapa relativa a uma forma de uso e ocupação do solo. De acordo com os autores, a obtenção de uma carta geotécnica requer um processo de hierarquização das informações de acordo com critérios definidos que orientam na elaboração dos documentos cartográficos em uma sequência lógica e graduada, desde o planejamento do trabalho inicial até a nível mais avançado. Ela é apresentada na Tabela 2.1:

Tabela 2.1: Classificação hierárquica de documentos cartográficos – Adaptado de Zuquette & Gandolfi (2004)

<b>Nível Hierárquico</b>	<b>Tipo de Documento</b>
<b>I</b>	Registro das características básicas dos componentes do meio físico, biológico e antrópico - cartas de declividade, mapas de bacias hidrográficas, mapas de feições do relevo, mapa de vegetação etc.
<b>II</b>	Sintetiza as informações de uma região - cartas de zoneamento e restrições geotécnicas, mapas de ecossistema.
<b>III</b>	Cartas interpretativas e derivadas – cartas para fundações, erosividade e erodibilidade, etc.
<b>IV</b>	Cartas de eventos perigosos ( <i>hazards</i> ) – carta de vulnerabilidade e passivos ambientais, carta de diagnóstico de áreas degradadas.
<b>V</b>	Cartas de prognóstico de riscos, problemas e limitações
<b>VI</b>	Cartas de procedimento que leva em conta a ocupação e o controle de riscos, cartas de procedimento de segurança.
<b>VII</b>	Cartas de viabilidade potencial tais como adequabilidade ao desenvolvimento urbano.
<b>VIII</b>	Cartas conclusivas de orientação a exemplo da carta de recomendação de uso e limitações, servem para a tomada de decisão

### **2.1.1. PRINCIPAIS METODOLOGIAS**

A elaboração de mapas e cartas geotécnicas necessita da execução de operações básicas de adição, seleção, generalização e transformação dos dados “básicos” do local, como da litologia, dos solos e rochas, da hidrogeologia, geomorfologia e dos processos geológicos. O produto final da cartografia geotécnica é a carta composta por um conjunto cartográfico (cartas e respectivos quadros legendas) e um relatório descritivo.

As cartas geotécnicas visam subsidiar a tomada de decisão relacionadas ao planejamento e gestão de uso do solo de forma a equilibrar os usos múltiplos da terra e a ocupação humana sustentável. (Zuquette e Gandolfi, 2004)

Assim, a Cartografia Geotécnica se desenvolveu a partir da reunião de documentos com características em comum. Zuquette e Gandolfi (2004) apresentam que essas características apresentavam uma sequência metodológica que incluía obtenção, avaliação, análise e classificação de informações e atributos do meio físico de interesse direto para diferentes usos.

#### **2.1.1.1. METODOLOGIAS TRADICIONAIS**

Os autores analisaram as metodologias tradicionais da Cartografia Geotécnica desenvolvidas no mundo, entre essas têm-se a Metodologia Francesa, a Metodologia IAEG (*International Association of Engineering Geology*) e a Metodologia PUCE (*Pattern, Unit, Component, Evaluation ou Padrão, Unidade, Componente, Avaliação em português*).

A metodologia da IAEG, proposta em 1976, como uma orientação técnica para a cartografia geotécnica. De acordo com as experiências da época classificou-se as cartas de acordo com sua finalidade, se especial era focada em um aspecto do meio físico, se multifinalidade levava em conta diversos aspectos.

Nessa metodologia a escala pode variar de 1:10.000 (de detalhe) à 1:100.000 (intermediária). Ela também foi utilizada definição dos princípios para a classificação de solos e rochas na cartografia geotécnica baseado na litogênese. As técnicas empregadas podem ser de fotogeologia, geofísica, sondagens, amostragens, ensaios *in situ* e laboratoriais para a obtenção de dados e informações. (IAEG,1976)

A metodologia PUCE (Arnot & Grant, 1981, Finlayson, 1984), foi desenvolvida na Austrália e pretende organizar as informações do meio físico em classes de terreno hierarquizadas, focando na morfologia do relevo (geomorfologia), geologia, pedologia e vegetação divididas em classes e suas feições delimitadas pelas formas de terreno. (Diniz, 2012; Zuquette & Gandolfi, 2004):

- Província: contexto geotectônico;
- Padrão de terreno: geomorfologia regional e sua influência na geometria dos vales e na drenagem, fatores de paisagem;
- Unidades: detalhamento geomorfológico;
- Componentes do terreno: condições pedológicas e hidrogeológicas, além da cobertura do solo.

Para Diniz (2012), a metodologia PUCE pode ser indicada para estudos de viabilidade, planejamento territorial e urbano, por ser um sistema simples que codifica numericamente os variados níveis de terreno de forma compatível com o desenvolvimento computacional,

apresentando um produto cartográfico complexo, devido a abundância de informações e representativo ao utilizar de sensoriamento remoto na interpretação de fotografias aéreas e imagens digitais na classificação de terrenos.

O desenvolvimento metodológico da cartografia e mapeamento geotécnico no Brasil resultou em metodologias consideradas bases, como os trabalhos do departamento de Geologia da UFRJ, focados a movimentos de massas gravitacionais e processos de uso e ocupação do solo (Barroso et al. 1986, 1993).

Outros trabalhos de grande importância são os do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT) baseados na metodologia de Prandini et al. (1995), que resultou em produtos cartográficos diversos: cartas geotécnicas propriamente ditas (que expõe limitações e potencialidades do terreno e diretrizes de ocupação de acordo com o uso do solo), cartas de risco, cartas de suscetibilidade e cartas de atributos ou parâmetros. “Os trabalhos desenvolvidos pelo IPT consideram as formas de ocupação do solo e as solicitações sobre o meio físico como fatores fundamentais na determinação do desempenho dos terrenos “(Zuquette & Gandolfi, 2004)

Dentre as importantes metodologias destacam-se nacionalmente a da EESC/USP que se fundamenta na integração de todas as fases, desde a obtenção dos atributos básicos (inventário e base de dados), obtenção de cartas fundamentais em pequenas escalas, desenvolvimento de cartas derivativas e interpretativas, cartas analíticas básicas (suscetibilidade), cartas de risco, cartas de prognósticos, até a elaboração de cartas específicas para usuários, que servem para tomadas de decisão e apresentam escala escalas de 1:50.000 até 1:2.000.

Têm-se também os procedimentos desenvolvidos pela UFRGS, do Instituto Geológico de São Paulo, os trabalhos desenvolvidos pela Universidade de Brasília com modificações e adaptações de Zuquette (1987, 1993), entre outros. (Zuquette & Gandolfi, 2004)

#### **2.1.1.2. MÉTODO DO DETALHAMENTO PROGRESSIVO**

Para o objetivo deste trabalho, destaca-se a metodologia de detalhamento progressivo proposta por Cerri et al. (1996) para o mapeamento geológico geotécnico, que consiste em três fases sucessivas e dependentes, como apresentado por Sobreira e Souza (2012), três níveis hierárquicos: Geral – relacionado com a suscetibilidade (escalas de 1:25.000 ou maiores), Intermediária – relacionado à aptidão urbana (escalas de 1:10:000; 1:5.000 ou maiores) e Detalhe – relacionado aos riscos geotécnicos (escalas de 1:2.000 ou maiores). Zaine (2000) baseado em Cerri et al. (1996) detalhou as etapas desta metodologia:

A primeira etapa é feita o mapeamento geológico-geotécnico regional, utilizando dados de levantamentos disponíveis em diversas escalas para caracterização do meio físico geológico e sua dinâmica, a definição da área de estudo em função da área urbana atual visualizando o crescimento urbano provável à médio prazo, neste caso 10 anos. Ou seja, é uma etapa mais geral, de início do planejamento.

A segunda etapa, ou intermediária, engloba áreas de adensamento e/ou de expansão urbana, selecionadas a partir da primeira etapa. Nesta é realizado um detalhamento da caracterização do meio físico geológico apontando as limitações e as potencialidades, e identificações de problemas geotécnicos existentes.

Os resultados obtidos fornecem informações essenciais ao melhoramento de áreas já urbanizadas e de expansão urbana provável, já que quantifica parâmetros geológico-geotécnicos de interesse às ações de planejamento e gestão urbana.

A terceira etapa é a de detalhe, em que são selecionadas áreas para estudos específicos, nelas utilizam-se escalas grandes para mapeamentos que subsidiem a elaboração de projetos de obras de engenharia para problemas existentes ou para a ocupação de novos terrenos. Nesta etapa, a quantificação de parâmetros geológico-geotécnicos pertinentes ao estudo temático é indispensável.

### **2.1.1.3. MÉTODO AHP**

“Saaty (1985) salienta então que se a ciência geográfica objetiva a descrição e a classificação de formas resultantes das interações entre vários elementos e processos repartidos no espaço, a análise multivariada apresenta-se como um instrumento adaptado a tal tarefa, que a estatística clássica não pode cumprir totalmente.” (Lima et al, 2014)

O desenvolvimento de cartas de suscetibilidade envolve uma gama de variáveis que influenciam em maior ou menor grau no comportamento da área na ocorrência de eventos extremos. A tomada de decisão para a escolha do peso de cada variável deve ser cuidadosa e baseada em estudos prévios e na experiência do avaliador. Diante do contexto, o método AHP, Analytic Hierarchy Process, foi o escolhido para a análise da Cartas de Suscetibilidade à Movimento de Massa.

O método AHP foi desenvolvido por Saaty em 1977, para auxiliar na tomada de decisão ao analisar os critérios par a par. Nesta metodologia os critérios são ranqueados de acordo com sua importância em relação ao outro no processo estudado. Neste estudo, os critérios são os mapas temáticos levantados nos tópicos anteriores. As classes de cada mapa são classificadas de acordo com a metodologia específica, que será apresentada nos tópicos seguintes, para

atender aos níveis de suscetibilidade para cada atributo, distribuídos em 1 = baixo, 2 = médio e 3 = alto. Após essa classificação o método AHP é realizado. (Saaty, 2008)

Dentre as etapas de execução do método tem: definição dos critérios, estruturação hierárquica que compõe os eventos e suas respectivas relações, em seguida os critérios são comparados par a par. O Tabela 2.2 apresenta a escala fundamental da metodologia AHP, que auxilia na definição da intensidade de importância de um critério em relação ao outro.

Tabela 2.2: Escala fundamental APH. (Fonte: Saaty, 1977)

<b>Intensidade de Importância</b>	<b>Definição</b>	<b>Explicação</b>
<b>1</b>	Mesma Importância	Os critérios apresentam o mesmo grau de importância
<b>3</b>	Importância Pequena de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento beneficiam de maneira moderada uma atividade em relação a outra
<b>5</b>	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento beneficiam fortemente uma atividade em relação a outra
<b>7</b>	Importância muito grande ou demonstrada	Um critério é fortemente favorecido em relação ao outro. Ocorre uma dominação na prática
<b>9</b>	Importância Absoluta	Ocorre o mais alto grau de certeza de um critério sobre o outro
<b>2,4,6,8</b>	Valores intermediários entre os adjacentes	Nível intermediário entre dois valores

Através de critérios pré-selecionados, a análise par a par é feita em uma matriz quadrada que resulta na definição de um peso para cada critério com base na escala fundamental. (Tabela 2.3)

Tabela 2.3: Matriz quadrada de correlação par a par. (Fonte: adaptado de Saaty, 2008)

<b>Critérios</b>	<b>C<sub>1</sub></b>	<b>C<sub>2</sub></b>	<b>C<sub>3</sub></b>	<b>C<sub>4</sub></b>	<b>C<sub>5</sub></b>
<b>C<sub>1</sub></b>	1	$C_{21}=1/C_{12}$	$C_{31}=1/C_{13}$	$C_{41}=1/C_{14}$	$C_{51}=1/C_{15}$
<b>C<sub>2</sub></b>	$C_{12}$	1	$C_{32}=1/C_{23}$	$C_{42}=1/C_{24}$	$C_{52}=1/C_{25}$
<b>C<sub>3</sub></b>	$C_{13}$	$C_{23}$	1	$C_{43}=1/C_{34}$	$C_{53}=1/C_{35}$
<b>C<sub>4</sub></b>	$C_{14}$	$C_{24}$	$C_{34}$	1	$C_{54}=1/C_{45}$
<b>C<sub>5</sub></b>	$C_{15}$	$C_{25}$	$C_{35}$	$C_{45}$	1

Em seguida é realizada a normalização dos valores, onde o valor de importância determinado para cada par ( $C_{ij}$ ) é dividido pelo somatório dos valores de cada coluna ( $\Sigma C$ ). Assim, para a obtenção do peso ( $w_i$ ) de cada critério, realiza-se a divisão do somatório de cada linha ( $\Sigma L$ ) pelo número de critérios analisados, conforme Tabela 2.4:

Tabela 2.4: Matriz de Normalização de Valores. (Fonte: adaptado de Saaty, 2008)

Critérios	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	Wi (peso)
C <sub>1</sub>	1/ΣC <sub>1</sub>	C <sub>21</sub> /ΣC <sub>2</sub>	C <sub>31</sub> /ΣC <sub>3</sub>	C <sub>41</sub> /ΣC <sub>4</sub>	C <sub>51</sub> /ΣC <sub>5</sub>	ΣL <sub>1</sub> /5
C <sub>2</sub>	C <sub>12</sub> /ΣC <sub>1</sub>	1/ΣC <sub>2</sub>	C <sub>32</sub> /ΣC <sub>3</sub>	C <sub>42</sub> /ΣC <sub>4</sub>	C <sub>52</sub> /ΣC <sub>5</sub>	ΣL <sub>2</sub> /5
C <sub>3</sub>	C <sub>13</sub> /ΣC <sub>1</sub>	C <sub>23</sub> /ΣC <sub>2</sub>	1/ΣC <sub>3</sub>	C <sub>43</sub> /ΣC <sub>4</sub>	C <sub>53</sub> /ΣC <sub>5</sub>	ΣL <sub>3</sub> /5
C <sub>4</sub>	C <sub>14</sub> /ΣC <sub>1</sub>	C <sub>24</sub> /ΣC <sub>2</sub>	C <sub>34</sub> /ΣC <sub>3</sub>	1/ΣC <sub>4</sub>	C <sub>54</sub> /ΣC <sub>5</sub>	ΣL <sub>4</sub> /5
C <sub>5</sub>	C <sub>15</sub> /ΣC <sub>1</sub>	C <sub>25</sub> /ΣC <sub>2</sub>	C <sub>35</sub> /ΣC <sub>3</sub>	C <sub>45</sub> /ΣC <sub>4</sub>	1/ΣC <sub>5</sub>	ΣL <sub>5</sub> /5

A partir da definição dos pesos foi realizada a verificação da razão de consistência (RC), que é obtida pela divisão do índice de consistência (IC) e o índice randômico (IR). Seguindo as equações a seguir:

$$RC = \frac{IC}{IR} \text{ (Equação 1)}$$

$$IC = \frac{\lambda_{\text{máx}} - n}{n - 1} \text{ (Equação 2)}$$

Onde o  $\lambda_{\text{máx}}$  é o autovetor da matriz de consistência e n é a ordem da matriz n = número de ordem da matriz

RI = Random Index (índice de correção correspondente, também chamado de índice de consistência aleatória ou Índice Randômico) é determinado de acordo com a ordem da matriz pela tabela a seguir:

Tabela 2.5: Valores do RI correspondente à ordem da matriz

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
IR	0,53	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49	1,52	1,54	1,56	1,58	1,59

A escolha dos critérios e da intensidade de importância foi baseada tanto em estudos que utilizaram a metodologia AHP para análises de suscetibilidade {[Lima et al (2014), Hammami et al (2019), Swain et al (2020), Bispo (2018)}, quanto estudos que utilizaram outras metodologias mas apresentavam a relação entre as variáveis para a ocorrência de eventos de movimento de massa e erosão hídrica, como Bittar (2014), Tavares (2017), Silva Junior (2019), Menezes Júnior (2015), Thompson e Fidalgo (2013) e Lima (2016).

## 2.2. O PLANEJAMENTO URBANO

O Censo Demográfico de 2010, apontou que a população brasileira atingiu um total de 190.755.799 habitantes (IBGE, 2011), 84,4 % deste correspondem à população urbana, reflexo

do processo de urbanização do País. Processo este que não seguiu um planejamento territorial, contribuindo para a ocorrência de desastres que atingem diretamente a população.

Os desastres naturais decorrem tanto de fenômenos naturais, chuvas extremas, terremotos, tsunamis, etc., quanto de fenômenos induzidos pela ação humana, que tem a suscetibilidade induzida pela intensidade da interferência antrópica no meio, potencializando os efeitos de processos geológicos e fenômenos naturais climáticos. (Lima, 2016)

De acordo com o Ministério das Cidades (MCidades, 2006), o gerenciamento de áreas urbanas com risco de escorregamentos, enchentes e inundações têm como base quatro questões: identificação do tipo de processo e da forma de ocorrência, identificação das interferências naturais e antrópicas, mapeamento das áreas de risco e a definição das medidas a serem tomadas. Essas medidas podem ser estruturais, aplicando soluções de engenharia, ou não-estruturais. A Política Nacional de Defesa Civil (Brasil, 2012) define que o objetivo da Defesa Civil é a redução de desastres e que suas ações abrangem os seguintes aspectos globais: prevenção de desastres, preparação para emergências e desastre, resposta aos desastres e reconstrução.

Dentre os desafios impostos pela Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDC), instaurada pela Lei 12.608/2012 Brasil (2012), está o desenvolvimento da Cartografia Geotécnica nacional como produto, e do mapeamento geotécnico como meio para a criação do cadastro nacional de municípios com áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos. A referida PNPDC determinou, ainda, que os municípios cadastrados devem elaborar o mapeamento das áreas suscetíveis à ocorrência de processos geodinâmicos, bem como a elaboração da Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização. (Silva Junior, 2019)

Como o planejamento urbano é necessário para a resolução dos problemas físicos do meio ambiente, pois auxilia o crescimento espacial sustentável das cidades, se faz necessária a obtenção de informações geotécnicas, de estudos geomorfológicos da área e do histórico de crescimento, de modo a auxiliar as diversas formas de urbanização por meio do mapeamento geotécnico. De acordo com a PNPDC (2012), há duas tipologias de cartas geotécnicas voltadas para a urbanização, são elas:

- A Carta Geotécnica de Suscetibilidade voltada ao planejamento municipal, apresenta-se em escala de até 1:25.000 e objetiva a ocupação adequada do terreno por meio de medidas técnicas de urbanização e parcelamento do solo, proporcionando um zoneamento adequado de acordo com as leis municipais existentes, de modo a avaliar a adequabilidade de

ocupação do solo, segundo critérios de suscetibilidade a processos de alto risco geológico geotécnico e ambiental. (Lima, 2016)

- A Carta Geotécnica de Aptidão Urbanística frente aos desastres naturais para parcelamento do solo, trata-se de uma carta em escala 1:10.000 ou maior, que possui um aspecto corretivo voltado à gestão de risco de áreas ocupadas, ou áreas ambientalmente vulneráveis, buscando estabelecer medidas estruturais e não estruturais para lidar com o problema. (Lima, 2016)

“Dessa forma, a Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização, ao subsidiar ações de mapeamento de áreas suscetíveis a desastres naturais, constitui uma medida de prevenção voltada para evitar que se exponha a população a risco de desastres naturais “, (Lima 2016). Segundo Santos (2014) as cartas geotécnicas de aptidão a urbanização são as que determinam os setores mais e menos adequados à ocupação, de acordo com os critérios técnicos necessários para a intervenção, respeitando as legislações nacionais e municipais que regulamentam o uso e ocupação do solo urbano, como o Plano Diretor.

### **2.3. GEOPROCESSAMENTO E SIG**

O Geoprocessamento é a disciplina do conhecimento, ou tecnologia, que une técnicas matemáticas e computacionais para analisar e manipular informações geográficas; e nas últimas décadas tem ditado o desenvolvimento de áreas das ciências como a cartografia por meio do uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) que permite tanto a interação de dados, análises complexas e criação de bancos de dados. (Assad, 1998)

O espaço geográfico agrupa as localizações da superfície da Terra e define-se em função de suas coordenadas, altitude e posição relativa. Os fenômenos geográficos ocorrem no espaço geográfico, e ao serem representados pelo Geoprocessamento estabelecem padrões de ocupação inter-relacionados que permitem que o pesquisador ou usuário possa fazer análises espaciais do território e de fenômenos geográficos, além da interação entre eles. (Assad, 1998)

As informações geoespaciais se destacam pela localização e posicionamento no espaço geográfico, e contribuem para que o Geoprocessamento seja uma tecnologia interdisciplinar, que permite a convergência de diferentes áreas do conhecimento para o estudo de fenômenos ambientais e urbanos (Silva Junior, 2019)

O termo geoprocessamento engloba vários sistemas que tratam as informações espaciais de diferentes maneiras, porém para a maioria dos pesquisadores, ele engloba o processamento digital de imagens, a cartografia digital e os sistemas de informações geográficas. A disciplina é resultado da evolução tecnológica e científica de áreas que se inter-relacionam, como:

computação gráfica, sistemas CAD (*Computer Aided Design*), programas de processamento digital de imagens, SIG e sistemas de gerenciamento de bancos de dados. (Xavier, 2010)

Para Silva Junior (2019) o uso de Geotecnologias envolve o desenvolvimento de aplicações em hardware e software elaboradas para fins diversos de acordo com suas potencialidades em áreas como agricultura, nos estudos de impacto ambiental, produção de mapas, suporte para análise espacial, gestão do território, monitoramento de uso e cobertura a da terra, serviços públicos de saneamento, meteorologia, transporte e muitos outros.

Dentre as geotecnologias existentes, destacam-se os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), Cartografia Digital, Sensoriamento Remoto (SR), Sistema Global de Navegação por Satélite (*Global Navigation Satellite System - GNSS*), Aerofotogrametria, Topografia e Geodésia, dentre outros.

O SIG é o sistema que coleta, armazena e efetua tratamento computacional de dados geográficos. São softwares baseados no uso de dados georreferenciados, ou seja, ligados a uma rede geográfica. Esses sistemas integram informações espaciais e não espaciais. No caso do mapeamento geotécnico, a utilização do SIG facilita a manipulação e integração de dados, principalmente quando se trabalha com o mapeamento de grandes áreas, que conta com um grande volume de dados a serem analisados. (Lima, 2016)

#### **2.4. SENSORIAMENTO REMOTO**

Criado com o intuito de designar instrumentos que não exigem contato direto com o objeto em estudo para captura de dados, o sensoriamento remoto (SR) parte de três premissas: a ausência de matéria entre sensor e alvo, a possibilidade do transporte de informações pelo espaço vazio e utilizar a radiação eletromagnética como meio de comunicação pelo espaço. Desta forma, partindo da definição clássica, “o sensoriamento remoto é uma técnica de obtenção de imagens dos objetos da superfície terrestre sem que haja um contato físico de qualquer espécie entre o sensor e o objeto.” (Meneses & Almeida, 2012)

Os sensores remotos captam e registram a energia emitida ou refletida pelos elementos da superfície terrestre. Os dados de sensoriamento remoto podem ser obtidos de diversos níveis de altitude, desde o nível do solo (ou de campo), passando pelos níveis de aerolevanteamento ou suborbital (baixas, médias e altas altitudes) até o nível orbital (sensores a bordo de satélites artificiais). (Silva Junior, 2019)

A informação obtida e conduzida pela radiação eletromagnética é capturada por um sensor que a converte em um valor digital, codificado por unidades de pixel, a partir daí é

possível o uso de computadores para processar imagens digitais. A detecção e identificação de um objeto por SR são determinadas por quatro tipos diferentes de resolução:

- Resolução espacial – definido pelo campo de visada do sensor, ou seja, é o menor objeto que pode ser capturado pelo sensor a uma determinada altitude e em um determinado instante de tempo. Essa resolução é dada pelo tamanho do pixel ou GSD (Ground Sample Distance);
- Resolução espectral – determinada pelo comprimento de onda, e possibilita a visualização de uma mesma imagem em bandas espectrais distintas. Essa resolução está relacionada com três parâmetros importantes: o número de bandas que o sensor identifica, posição das bandas no espectro eletromagnético e a largura das respectivas bandas em comprimento de onda. Os sensores podem ser multiespectrais (apresenta poucas bandas distribuídas de forma espaçada), ou hiperespectrais (apresenta muitas bandas distribuídas de forma contígua umas às outras)
- Resolução radiométrica – relação entre a capacidade do sensor de detectar e medir as diferenças de intensidades dos níveis de radiância, apresentados em quantidades de bits (número digital binário) ou níveis de cinza. Quanto mais níveis de cinza, maior a resolução radiométrica e mais detalhes é capaz de distinguir na imagem.
- Resolução temporal – determina a data do imageamento, ou seja, o tempo que o sensor leva entre uma captura e outra de uma imagem de um mesmo alvo. Muito utilizada para estudo de ilhas de calor e de alterações no uso e cobertura do solo, análises de desastres, etc.

Desta forma, esses dados coletados são processados e derivados em dados de imageamento utilizáveis, que podem estar em formato digital. A extração, interpretação e classificação das informações são os objetivos do processo para atingir o entendimento e conhecimento dos padrões existentes na paisagem (superfície terrestre), assim como foi imageado.

O objetivo principal do sensoriamento remoto é a produção de dados de imageamento que permitam representar porções bem definidas do espaço terrestre, utilizando-se de processamentos matemáticos, estatísticos e probabilísticos dos dados. Assim, a coleta, interpretação e classificação das informações, são etapas para atingir o conhecimento e compreensão dos padrões presentes nas paisagens. (Batista, 2014)

Nesse contexto, um levantamento de dados que caracteriza adequadamente uma área é de extrema importância para o estudo das alterações nela realizadas, permitindo analisar se as

alterações foram favoráveis tecnicamente, ambientalmente e socioeconomicamente. (Cirilo et al., 2015)

#### **2.4.1. PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS**

O Processamento Digital de Imagens (PDI) envolve uma série de procedimentos matemáticos de modo a transformar as imagens visando a melhoria das qualidades espectrais e espaciais para que estas estejam prontas para serem utilizadas para um uso específico, além de gerar produtos que podem ser utilizados em processamentos subsequentes. Assim, o “passo a passo” do processamento de imagens depende do problema que se deseja estudar.

O processamento segue um fluxo que se inicia no pré-processamento com correções radiométricas ou geométricas, para remover as distorções que possam existir nas imagens. Em seguida a imagem pode passar por processos de classificação ou técnicas de transformação. As etapas do PDI são interconectadas, desde a captura da imagem, passando pela sua manipulação e permitindo a captura de informações características (classificação temática) e posterior reconhecimento e interpretação (Silva Júnior, 2019; Meneses & Almeida, 2012)

O processamento digital de imagens é uma das ferramentas disponíveis nos SIGs, e tem sido muito utilizado com o desenvolvimento tecnológico destes e do sensoriamento remoto. A disponibilidade crescente de bases topográficas digitais, aliada ao uso dos SIG, tem impulsionado o desenvolvimento automático de extração de variáveis topográficas. Variáveis estas muito utilizadas para análises ambientais, principalmente em extensões de bacias hidrográficas (Toniolo et al, 2019)

Segundo o Manual Técnico de Uso da Terra (IBGE, 2013), as técnicas de sensoriamento remoto foram incorporadas às análises de reconhecimento de padrões de uso da terra na década de 1980, para apoiar os estudos de análises integradas da paisagem. A incorporação dessas técnicas por meio da interpretação analógica de fotografias aéreas e de imagens na identificação dos padrões de usos da terra iniciou uma nova fase marcada pela disponibilidade de produtos de satélites imageadores da terra como marco de uma nova era dos estudos de Uso da Terra.

Obter informações de imagens por foto interpretação, ou análise visual, é um dos principais métodos de identificação de padrões em imagens que possibilita o reconhecimento de feições características de um alvo terrestre. Os primeiros métodos de fotointerpretação surgiram em meados de 1930 e eram voltados para mapeamentos urbanos, geológicos, geomorfológicos, de solos e de vegetação.

De forma geral, os métodos levam em conta determinadas características das imagens como: tonalidade ou cor, textura, padrão, localização, forma, sombra, tamanho, associação e

resolução. Já para a análise de imagens digitais, utiliza-se métodos computacionais para extrair propriedades numéricas, por meio dos pixels, como explicado anteriormente, atribuindo a cada pixel uma determinada classificação espectral. (Batista, 2014)

## **2.5. PRINCIPAIS PROCESSOS DA DINÂMICA SUPERFICIAL**

Segundo Cerri & Amaral (1998), a definição de processos envolve mudanças nas condições ambientais induzidas por fontes de energia naturais, assim é mais fácil compreender que quando um evento decorrente da dinâmica superficial acontece, trata-se de uma ocorrência natural que não acarreta em perdas ou danos. Dentre os eventos ou fenômenos naturais, cita-se: inundações, enchentes, enxurradas, alagamentos, escorregamentos, erosão, tornados, secas, entre outros; eles são influenciados por características regionais, tais como, rocha, solo, topografia, vegetação e condições meteorológicas. (IBGE, 2018)

Porém a preocupação de todo planejador urbano está quando se fala em acidentes, pois este gera danos ambientais, econômicos e sociais diretos. Pelo fato de haver uma relação direta entre o aumento de acidentes ambientais e o crescimento urbano, a Política Nacional de Defesa Civil (PNDC, 2012), apresentou os seguintes conceitos:

- **Desastre:** ocorrência de evento prejudicial, seja ele naturais ou provocados pelo homem, sobre um ambiente vulnerável, causando danos humanos, ambientais e materiais. A intensidade do desastre está relacionada com dois fatores: magnitude do evento e vulnerabilidade do sistema.
- **Risco:** expressa em termos estatísticos a relação existente entre a probabilidade de ocorrência de um evento adverso, com o grau de vulnerabilidade do ambiente que sofre os efeitos.
- **Vulnerabilidade:** é a condição intrínseca ao ambiente, em interação com a magnitude do evento ou acidente.

A análise de eventos geológicos e hidro meteorológicos das últimas décadas aponta para um aumento relevante na frequência e intensidade de desastres naturais, e dentre os principais fatores responsáveis está o crescimento populacional associado a ocupação de áreas geologicamente frágeis.

Os maiores desastres que ocorrem no Brasil estão relacionados com eventos de elevada precipitação, deslizamentos e secas. Entre 2013 e 2022, o Brasil registrou milhares de desastres naturais que atingiram 347.441.381 pessoas e causaram prejuízos ultrapassam R\$ 341,3 bilhões. No ano de 2022 ocorreram mais de 25% de mortes causadas por chuvas nos últimos 10 anos. (CNM, 2022<sup>a</sup>; CNM, 2022<sup>b</sup>.)

Como este trabalho visa compreender os processos da dinâmica superficial, como eles ocorrem na área de estudo e a submete a situações de suscetibilidade, é apresentado a seguir o conceito para movimentos gravitacionais de massa, processos de transporte de massa (erosão) e processos geológicos e hidrológicos correlatos, com ênfase nos processos geológicos e hidrológicos mais frequência em Maceió/AL.

- Alagamento: é a acumulação momentânea de água na superfície, relacionado a chuvas intensas e a fatores com a interferência direta na permeabilidade da água no solo (grandes áreas com ruas asfaltadas e superfícies cimentadas) ou a sistemas de drenagem deficientes (dificultam o escoamento das águas e geram acúmulos). (IBGE, 2018; Lima, 2016). A Figura 2.1e Figura 2.2 apresentam bairros de Maceió afetados por alagamentos, situação de recorrência anual em toda quadra chuvosa.



Figura 2.1: Alagamento no bairro da Jatiúca (Maceió/AL), 15/06/2021 (Farias, 2021)



Figura 2.2: Alagamento no bairro do farol (Maceió/AL), 15/04/2021 (Farias, 2021)

- Enchentes: relacionado à eventos meteorologicamente extremos, é um fenômeno que faz parte do ciclo natural do curso d'água, com aumento de sua vazão por um intervalo de tempo. Porém não há extravasamento do canal de drenagem. (IBGE, 2018)
- Inundação: Segundo Cerri (1999), a inundação é um processo de extravasamento das águas de um curso d'água para suas áreas marginais (planície de inundação, várzea ou leito maior do rio), ou seja, é a intensificação de uma enchente.

Para o estado de Alagoas, o ciclo de cheias e inundações respeita quase que rigorosamente um tempo de retorno de 20 anos para eventos extremos. A primeira de grande magnitude é datada de 19 de maio 1949, durante a semana Santa, quando houve chuvas ininterruptas durante quase 36 horas. Como apresentado na Figura 2.3.



Figura 2.3: Cheia no Riacho do Salgadinho destruiu ponte e inundou Maceió em 1949 (Foto: Defesa Civil)

- Enxurradas: são provocadas por chuvas intensas e concentradas que provocam transbordamento dos canais naturais de drenagem de forma rápida e provocam danos materiais e humanos mais intensos do que as enchentes ou inundações graduais. “É o escoamento superficial concentrado e com alta energia de transporte.” (Lima, 2016)
- Processos Erosivos: processo de degradação e transporte de rochas e solos, deixando porções de rocha sã e de solo vulneráveis ao intemperismo. Dentre os principais fatores que influenciam os processos erosivos estão: a erosividade da precipitação, a erodibilidade definida pelas características físicas e químicas do solo; a cobertura vegetal, a declividade e comprimentos das encostas. (Thompson e Fidalgo, 2013)
- Movimentos gravitacionais de Massa: movimentos de massa têm importância como agentes atuantes na evolução das encostas, e pelas implicações econômico-sociais resultantes dos

processos de risco. Eles são classificados de acordo com alguns critérios: Cinética do movimento, tipo do material, geometria e modalidade de deformação do movimento (Penha, 1998)

Assim, movimento gravitacional de massa é o deslocamento dos materiais que formam as encostas, incluindo rocha, solo, preenchimento, ou quaisquer combinações desses, no sentido para baixo e para fora da encosta sob a influência da gravidade (VARNES, 1978). A classificação segundo Varnes é apresentada na tabela a seguir:

Tabela 2.6: Classificação dos movimentos de encosta segundo Varnes (1978)

Tipo de movimento			Tipo de material		
			Rocha	Solo (engenharia)	
				Grosso	Fino
Quedas			de rocha	de detritos	de terra
Tombamentos			de rocha	de detritos	de terra
Escorregamentos	Rotacional	Poucas unidades	Abatimento e rocha de blocos rochosos de rocha	Abatimento de Detritos de Blocos de Detritos de Detritos	Abatimento de Terra de Blocos de Terra de Terra
	Translacional	Muitas unidades			
Expansões laterais			de rocha	de detritos	de terra
Corridas/escoamentos			de rocha (rastejo profundo)	de detritos	de terra
				(Rastejo de solo)	
Complexos: combinação de 2 ou mais dos principais tipos de movimentos					

As principais causas desses eventos são fatores geológicos, topográficos e climáticos específicos da região. De acordo com Cruden e Varnes (1996) as causas e características dos movimentos de massa podem ser sintetizados da seguinte forma:

- Causas Geológicas: fragilidade e resistência do material, presença de discontinuidades (estratificação, falha, contato, etc), contraste na permeabilidade e contraste na rigidez;
- Causas morfológicas: subpressão tectônica ou vulcânica, reação glacial, erosão, deposição de carga no talude ou na sua crista e remoção da vegetação.
- Causas Físicas: eventos meteorológicos intensos, rebaixamento rápido de nível d'água, terremoto, erupção vulcânica, descongelamento e intemperismo.
- Causas antrópicas: escavação no pé do talude, sobrecarga na encosta, desmatamento, irrigação, mineração e vazamento de água.

Assim, é possível perceber que há uma forte relação entre a ocorrência de movimentos de massa e o aumento de solicitações e a redução da resistência física dos terrenos, quando associado à intervenção antrópica e alterações climáticas.

De modo geral, foi realizado em 2014 pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2014) a carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação para o município de Maceió, na escala de 1:70.000. Que sintetiza o que foi dito neste tópico, e apresenta as características predominantes no local de acordo com as classes de risco.

## 2.6. POLÍTICA DE PLANEJAMENTO E USO DO SOLO

A ONU define política urbana nacional como a promoção de um desenvolvimento urbano transformador, produtivo, inclusivo e resiliente, visando o longo prazo, liderado pelo governo e que envolva diversos atores sociais. Além desta definição, é possível destacar que a política urbana deve envolver e buscar equilibrar a necessidade de desenvolvimento de uma área juntamente com o interesse político e econômico, prezando a manutenção e a visão técnica sobre a melhor forma de uso e ocupação do solo.

Assim, o desenvolvimento urbano deve ser planejado de modo a pôr em prática políticas públicas que levem em conta o desenvolvimento regional, cultura local, fatores sociais e econômicos, além da análise da formação socioespacial que se deu ao longo da história. Tendo como principal gerenciador do espaço e aplicados das políticas públicas. (Pintaúde, 2003; Carvalho, 2012).

Dito isto, o processo legal do planejamento urbano é regido por legislações de caráter nacional, como a Lei 6766/1979 - Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano; a Lei 10.257/2001 - Estatuto da Cidade; a Lei 12.608/2012 - Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil; Lei Nº 13.089/ 2015- Institui o Estatuto da Metrópole, altera a Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001, e dá outras providências.

A Lei 6766/1979, em seu artigo 3º dispõe (Brasil, 1979):

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

Parágrafo único - Não será permitido o parcelamento do solo:

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

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

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

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

V - Em áreas de preservação ecológica ou naquelas onde a poluição impeça condições sanitárias suportáveis, até a sua correção.”

No caso da área de estudo, destaca-se o Plano Diretor do município de Maceió, Lei Municipal nº 5.486/2005. “O Plano Diretor é o principal instrumento da política de desenvolvimento urbano e ambiental de Maceió, aplicável a todo o território municipal e referência obrigatória para os agentes públicos e privados que atuam no Município” (PMM, 2005).

A Lei 10.257/2001 regulamentou os artigos referentes à política urbana no âmbito federal (arts. 182 e 183) presentes Constituição Federal de 1988 – CF/1988, dispondo sobre o direito à cidade como consta em seu art. 1º: “Parágrafo único: Para todos os efeitos, esta Lei, denominada Estatuto da Cidade, estabelece normas de ordem pública e interesse social que regulam o uso da propriedade urbana em prol do bem coletivo, da segurança e do bem-estar dos cidadãos, bem como do equilíbrio ambiental”. O estatuto da cidade dispõe em seu artigo 2º sobre as diretrizes gerais da política urbana (Brasil, 2001):

I – Garantia do direito a cidades sustentáveis, entendido como o direito à terra urbana, à moradia, ao saneamento ambiental, à infraestrutura urbana, ao transporte e aos serviços públicos, ao trabalho e ao lazer, para as presentes e futuras gerações;

II – Gestão democrática por meio da participação da população e de associações representativas dos vários segmentos da comunidade na formulação, execução e acompanhamento de planos, programas e projetos de desenvolvimento urbano;

III – Cooperação entre os governos, a iniciativa privada e os demais setores da sociedade no processo de urbanização, em atendimento ao interesse social;

IV – Planejamento do desenvolvimento das cidades, da distribuição espacial da população e das atividades econômicas do Município e do território sob sua área de influência, de modo a evitar e corrigir as distorções do crescimento urbano e seus efeitos negativos sobre o meio ambiente;

V – Oferta de equipamentos urbanos e comunitários, transporte e serviços públicos adequados aos interesses e necessidades da população e às características locais;

VI – Ordenação e controle do uso do solo, de forma a evitar:

a) a utilização inadequada dos imóveis urbanos;

b) a proximidade de usos incompatíveis ou inconvenientes;

c) o parcelamento do solo, a edificação ou o uso excessivos ou inadequados em relação à infra-estrutura urbana;

...

g) a poluição e a degradação ambiental;

h) a exposição da população a riscos de desastres naturais; (Incluído pela Medida Provisória nº 547, de 2011).

h) a exposição da população a riscos de desastres. (Incluído dada pela Lei nº 12.608, de 2012)

...

XII – Proteção, preservação e recuperação do meio ambiente natural e construído, do patrimônio cultural, histórico, artístico, paisagístico e arqueológico;

...

XVIII - Tratamento prioritário às obras e edificações de infraestrutura de energia, telecomunicações, abastecimento de água e saneamento. (Incluído pela Lei nº 13.116, de 2015) “

Em seu Art. 4º o Estatuto da Cidade indica que para os fins desta lei serão utilizados, entre outros instrumentos, como o plano diretor. No capítulo 3º estabelece diretrizes

importantes com relação ao plano diretor, como a definição do art. 39: “A propriedade urbana cumpre sua função social quando atende às exigências fundamentais de ordenação da cidade expressas no plano diretor, assegurando o atendimento das necessidades dos cidadãos quanto à qualidade de vida, à justiça social e ao desenvolvimento das atividades econômicas, respeitadas as diretrizes previstas no art. 2o desta Lei.”

Assim, esta lei define o Plano Diretor como “o instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana (art. 40)”, o mesmo deve ser revisado a cada 10 anos sendo obrigatório para municípios que possuem mais de 20 mil habitantes.

O plano diretor deverá conter, no mínimo, a delimitação das áreas urbanas onde poderá ser aplicado o parcelamento, edificação ou utilização compulsórios, considerando a existência de infraestrutura e de demanda para utilização, englobando o território do município como um todo. (Brasil, 2001).

Nesse contexto, a Lei 12.608/2012 que Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDC), incluiu no Art. 42 do estatuto da cidade que:

“O plano diretor dos Municípios incluídos no cadastro nacional de municípios com áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos deverá conter:

...

VI - Identificação e diretrizes para a preservação e ocupação das áreas verdes municipais, quando for o caso, com vistas à redução da impermeabilização das cidades.

§ 1º A identificação e o mapeamento de áreas de risco levarão em conta as cartas geotécnicas.

§ 2º O conteúdo do plano diretor deverá ser compatível com as disposições insertas nos planos de recursos hídricos, formulados consoante a Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997.

...”

Assim, a PNPDC inseriu a necessidade da cartografia geotécnica como um requisito base para o processo de planejamento urbano, ao ser utilizada como instrumentos de prevenção de desastres e ordenamento territorial do uso e ocupação do solo. Com a alteração da Lei Nº 12.340, de 1º de dezembro de 2010, a PNDC em seu artigo 3ª discorre que:

“ Art. 3º-A. O Governo Federal instituirá cadastro nacional de municípios com áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos, conforme regulamento.

...

§ 2º Os Municípios incluídos no cadastro deverão:

I - elaborar mapeamento contendo as áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos;

II - elaborar Plano de Contingência de Proteção e Defesa Civil e instituir órgãos municipais de defesa civil, de acordo com os procedimentos estabelecidos pelo órgão central do Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC;

III - elaborar plano de implantação de obras e serviços para a redução de riscos de desastre;

IV - criar mecanismos de controle e fiscalização para evitar a edificação em áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos; e

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

Em complemento à Lei Nº 12.340/ 2010, foi instituído o Decreto Nº 10.692, de 3 de maio de 2021, institui o Cadastro Nacional de Municípios com Áreas Suscetíveis à Ocorrência de Deslizamentos de Grande Impacto, Inundações Bruscas ou Processos Geológicos ou Hidrológicos Correlatos, que apresenta os deveres dos municípios inseridos no cadastro, dentre eles está a instituição de Defesa Civil, mapeamento das áreas suscetíveis (cartas geotécnicas) e a obrigatoriedade da elaboração do plano de implantação de obras e serviços para a redução de riscos de desastre;

A Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015, institui o Estatuto da Metrópole define em seu art. 2º que aglomeração urbana é a unidade territorial urbana constituída pelo agrupamento de 2 (dois) ou mais Municípios limítrofes, caracterizada por complementaridade funcional e integração das dinâmicas geográficas, ambientais, políticas e socioeconômicas.

Além disto altera a Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001, e dá outras providências, destacando o art. 7º que acrescenta diretrizes gerais da política urbana na “implantação de processo permanente e compartilhado de planejamento e de tomada de decisão quanto ao desenvolvimento urbano e às políticas setoriais afetas às funções públicas de interesse comum.”. Este destaque é importante neste estudo, já que a área de estudo é uma bacia hidrográfica que abrange mais de um município.

Apesar de a área de estudo ser uma bacia hidrográfica intermunicipal, localizada em territórios dos municípios de Maceió, Rio Largo e Messias, as informações de legislação dos municípios disponíveis ao público são escassas, desta forma este estudo apresentará apenas os dados de Plano Diretor e Zoneamento municipal da capital Maceió, cujos dados estão disponíveis na página oficial da Prefeitura.

### **2.6.1. PLANO DIRETOR DO MUNICÍPIO DE MACEIÓ - LEI MUNICIPAL Nº 5486/2005**

As principais premissas deste plano seguem as recomendações do Estatuto da Cidade. O Plano Diretor do Município de Maceió estabelece como diretrizes de uso e ocupação do solo na área urbana: controlar o adensamento, tanto nas áreas com maior potencial de infraestrutura urbana quanto nas áreas onde esta é insuficiente; restringir a ocupação nas áreas de mananciais, de captação de água para abastecimento e de recarga dos aquíferos; e, incentivar a ocupação dos vazios urbanos situados em áreas com infraestrutura urbana; dentre outras diretrizes (PMM, 2005).

Ele também define a necessidade de criação da Política Habitacional do Município de Maceió, que “estabelecerá diretrizes e estratégias de ação objetivando reduzir o déficit e as necessidades habitacionais e conter a produção de moradia irregular”.

Para tanto, o artigo 23, constitui as diretrizes para implantação das Zonas de Interesse Ambiental e Paisagístico (ZIAP), destacando o inciso “III – adequação das intervenções urbanísticas à preservação ambiental”, dentre as ZIAPs está a da Área de Proteção Ambiental (APA) do Pratagy, e dentre as diretrizes específicas para esta ZIAP tem-se: apoio à implementação do Plano de Manejo e do Conselho Gestor da APA e articulação com outros municípios onde se situem as nascentes da bacia hidrográfica do rio Pratagy.

Outra definição importante desta lei está na definição das Zonas Especiais de Interesse Social (ZEIS), que tem seu conceito estabelecido no Artigo 24: “São as áreas públicas ou privadas, destinadas a segmentos da população em situação de vulnerabilidade social, caracterizadas no artigo 96 desta Lei, prioritárias no atendimento a programas e projetos habitacionais.”

O Art. 27 apresenta as diretrizes para a gestão do patrimônio natural no território municipal de Maceió, para manter o foco desde estudo, destaca-se que dentre as diretrizes está, preservação das áreas florestadas nas encostas, ao longo dos cursos d’água e de linhas de drenagem natural e dos remanescentes de mata atlântica e a recuperação e adequação de áreas ambientalmente frágeis.

Na seção II, da divisão territorial, na subseção I, artigo 120, o Plano Diretor define que a área rural é subdividida em: Macrozona Agrícola e Macrozona de Manejo Sustentável; Já a área urbana é subdividida em: Macrozona de Adensamento Controlado, Macrozona Prioritária para Implantação de Infraestrutura Urbana, Macrozona de Restrição à Ocupação, Macrozona de Estruturação Urbana e Macrozona de Expansão Intensiva. (PMM, 2005)

Na parcela da área de estudo que está no município de Maceió, Figura 2.4, a bacia do Pratygy engloba Macrozonas urbanas e rurais. As diretrizes da Macrozona rural estão definidas no Artigo 122 com o objetivo de estabelecer uma relação entre a atividade rural e a proteção ambiental, principalmente na preservação do sistema de captação de água do Pratygy. (PMM, 2005)

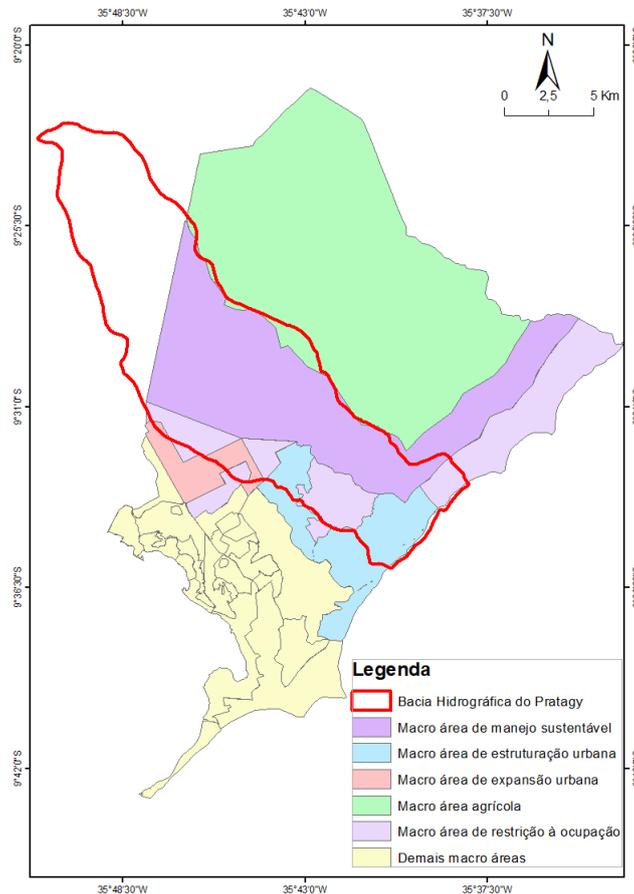


Figura 2.4: Macrozoneamento do município de Maceió e a BHP. (Fonte: adaptado de Alagoas, 2005)

De acordo com o Art. 123, “Macrozona Agrícola é constituída por áreas com predominância de cultura extensiva, destinadas às atividades rurais e à implantação de equipamentos urbanos ou estabelecimentos de grande porte, como aterro sanitário, estação de tratamento de água e de efluentes líquidos e agroindústria.” (PMM, 2005) Em seu parágrafo único são apresentadas as diretrizes para a Macrozona Agrícola, são elas:

“Parágrafo único. São diretrizes específicas para a Macrozona Agrícola:

I – Instalação gradual de infraestrutura para melhoria dos serviços: a) de educação; b) de saúde; c) de transporte; d) culturais; e) relacionados ao desenvolvimento da cidadania; f) de capacitação para o trabalho;

II – Apoio à implantação de uma unidade demonstrativa de educação ambiental no meio rural e da utilização de unidades móveis de educação ambiental;

III – Articulação com os proprietários rurais para criação de corredores ecológicos e de unidades de conservação da natureza em áreas de preservação permanente situadas no interior dos corredores;

IV – Implementação de ações para orientação ao trabalhador rural sobre o tratamento dos resíduos sólidos nas áreas rurais. “

A Macrozona de Manejo Sustentável, definida no Art. 124, é “destinada aos usos e às atividades que provoquem baixos impactos ambientais negativos e permitam a proteção dos mananciais de abastecimento da Cidade. “Suas diretrizes são definidas no parágrafo 1º:

“§ 1º. São diretrizes específicas para a Macrozona de Manejo Sustentável:

I – Apoio ao desenvolvimento de atividades relacionadas à agricultura familiar de base agroecológica, especialmente para abastecimento da Cidade;

II – Adoção de mecanismos de controle da expansão urbana e de atividades relacionadas à cultura expansiva;

III – Apoio à implementação do Plano de Manejo e do Conselho Gestor da APA do Prataji;

IV – compatibilização do uso e ocupação do solo à preservação das áreas protegidas por legislação especial.”

As diretrizes de uso e ocupação do solo na área urbana são definidas na subseção III, artigo 125, dentre eles vale destacar:

I - Adequação da legislação urbanística às especificidades locais;

II – Controle ao adensamento nos bairros onde o potencial de infraestrutura urbana é insuficiente;

IV – Restrição à ocupação nas áreas de mananciais, de captação de água para abastecimento da Cidade e de recarga dos aquíferos de Maceió;

V – Controle à ocupação nas áreas não servidas por redes de abastecimento de água e esgotamento sanitário, evitando altas densidades populacionais;

Visando focar na área de estudo, serão apresentadas as principais diretrizes para as Macrozonas de Área Urbana inseridas na Bacia Hidrográfica do Pratagy.

Na área de estudo, a Macrozona de Estruturação Urbana está localizada no tabuleiro, mais especificamente em parte do bairro de Benedito Bentes. No parágrafo 6ª são apresentadas as diretrizes específicas para essa área, como a adequação e expansão da infraestrutura urbana instalada com melhoria no acesso e transporte coletivo, estímulo a ocupação residencial e ampliação de espaços públicos.

Art. 129. A Macrozona de Restrição à Ocupação é constituída por:

“I – na planície costeira e flúvio-lagunar:

a) áreas de fragilidade ambiental com deficiências de infra-estrutura urbana e baixa intensidade de ocupação urbana;

b) áreas de fragilidade ambiental que necessitam de restrição ao uso e à ocupação urbana para se compatibilizarem à capacidade de suporte físico natural;

c) áreas em situação de risco ambiental pela proximidade ao complexo cloroquímico do Pontal da Barra;

II – no tabuleiro:

a) áreas de mananciais ou bacias de recarga cujas condições ambientais exigem controle na ocupação e nas atividades a serem implantadas;

b) áreas com restrições legais ou institucionais à ocupação urbana;

III – nas encostas, áreas com declividade superior a 17º (dezessete graus) e inferior a 45º (quarenta e cinco graus).”

Vale ressaltar que a lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, que institui o Código Florestal Brasileiro estabelece em seu Art. 4º, que entre as Áreas de Preservação Permanente tem-se: “V - as encostas ou partes destas com declividade superior a 45º, equivalente a 100% (cem por cento) na linha de maior declive.”, estando assim, o Plano Diretor de Maceió em acordo com o Código Florestal, no que tange a classificação das áreas frágeis.

Para a Macrozona de Restrição à Ocupação na planície costeira e flúvio-lagunar é necessário haver incentivo às atividades de turismo cultural e lazer, priorizando a implantação de sistemas de esgotamento sanitário que atenda às vulnerabilidades do meio físico. O foco da ocupação deste espaço é a integração entre o urbano e os espaços litorâneos existentes, preservando o ecossistema e valorizando a atividade pesqueira. O parágrafo 5º apresenta as exigências aplicadas para a implementação das diretrizes nessa área:

“§ 5º . Sem prejuízo da aplicação de outros instrumentos, para implementação das diretrizes para a Macrozona de Restrição à Ocupação na planície costeira e flúvio-lagunar serão aplicados:

I – outorga do direito de construir nas áreas com maior intensidade de ocupação urbana e potencial de infra-estrutura urbana;

II – transferência do direito de construir nas áreas de interesse ambiental;

III – Zonas Especiais de Preservação Cultural no Pontal da Barra, Riacho Doce e Ipioca;

IV – Zonas de Interesse Ambiental e Paisagístico nas áreas de mangues, dunas, remanescentes de restinga e coqueirais;

V – operação urbana consorciada para implantação de terminal turístico dotado de estacionamento e de integração do sistema de transporte complementar e o de transporte urbano, associado a pólo artesanal e gastronômico, no Pontal da Barra;

VI – operação urbana consorciada para implantação do porto de pesca e lazer do Meirim-Saúde;

VII – projeto de requalificação urbana da Praia da Sereia;

VIII – programa de agricultura consorciada em várzeas; IX – operação urbana consorciada para a implantação de estação de tratamento de esgotos no Prataji.”

A Macrozona de Restrição à Ocupação no tabuleiro é apresentada no parágrafo 6<sup>a</sup> e tem diretrizes focadas na proteção das bacias de drenagens naturais, com adoção de projetos para as áreas de recarga de aquíferos, com implantação de áreas de lazer ao longo da drenagem natural, incentivo ao uso residencial de baixa densidade, incentivo à implantação de sistemas de tratamento de esgotos em áreas já ocupadas e restrição à verticalização na área do cone de visibilidade do Aeroporto Internacional Zumbi dos Palmares. Para tal, é necessária a aplicação de planos de recuperação e manejo sustentável das bacias hidrográficas.

Em regiões de encosta as diretrizes focam na recuperação ambiental das encostas degradadas por meio de reflorestamento, implantação de Zonas Especiais de Interesse Social e projetos de contenção de encostas aliado à implantação de uma unidade de compostagem de lixo.

O Art. 130 define que a “Macrozona de Estruturação Urbana é constituída por áreas na planície costeira e flúvio-lagunar e no tabuleiro, com intensidade de ocupação média ou baixa e deficiências de infraestrutura urbana, que requerem integração urbanística à malha urbana e implantação de infraestrutura;” Dentre as finalidades dessa Macrozona, é importante destacar a integração das áreas urbanas fragmentadas da Cidade, aumentando a oferta de terras com baixo custo de implementação de infraestrutura.

O Art. 131 apresenta a Macrozona de Expansão Intensiva, que engloba áreas de baixa intensidade de ocupação e áreas subutilizadas entre áreas já ocupadas. A implantação dessa Macrozona objetiva favorecer a integração de áreas já ocupadas evitando grandes deslocamentos para a população periférica. O parágrafo 4<sup>o</sup> determina que para a implantação das diretrizes é necessário aplicar:

“I – Zonas Especiais de Interesse Social, nas áreas caracterizadas de acordo com o artigo 107 desta Lei;

II – Zonas de Preservação Ambiental e Paisagística, nas encostas e áreas de mananciais e cursos d’água;

III – transferência do direito de construir;

IV – operação urbana consorciada para promoção de habitação de interesse social e implantação de pólos de comércio e serviços, associados à instalação de terminais rodoviários, especialmente junto à área de instalação da CEASA e do Aeroporto Internacional Zumbi dos Palmares, na Cidade Universitária.”

Diante do exposto, foi possível observar que a região em estudo está inserida em uma área com finalidades e necessidades ocupacionais distintas, localizadas no vetor de crescimento

da área urbana da cidade, necessitando de atenção para as vulnerabilidades ambientais, sociais e de infraestrutura locais.

### **2.6.2. BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE PLANEJAMENTO**

A abordagem integrada é utilizada em estudos ambientais para o uso racional dos recursos naturais quando objetiva-se o planejamento sustentável de um território. A ocupação de uma área depende das características ambientais e das possíveis formas de uso e ocupação da mesma, e a unidade territorial em que essa relação ocorre de forma mais intrínseca é a Bacia Hidrográfica, por ser uma unidade sistêmica e em escala adequada para o planejamento. Assim, “a adoção de bacias hidrográficas como unidade de planejamento é comumente usada por ser um sistema natural de fácil reconhecimento e caracterização”. (Tavares, 2017)

É na bacia hidrográfica em que ocorre a relação entre os recursos hídricos superficiais e subterrâneos, se olharmos as estruturas geológica- geomorfológicas e o clima deste ecossistema, de modo que os cursos d’água são agentes transformadores da paisagem e ditaram ao longo dos anos o estabelecimento antrópico ao longo de seu curso e os usos da terra ao seu redor. Nesse contexto Christofolletti (1979) a considera como um recorte espacial que necessita de uma análise integrada para compreensão dos processos que nela ocorrem.

A institucionalização da bacia hidrográfica como unidade de planejamento integrado veio através da Lei Federal nº 9433/1997 – Política Nacional de Recursos Hídricos, que inseriu a criação dos Comitês de Bacia Hidrográfica, responsável por promover o debate das questões relacionadas a recursos hídricos, aprovar o plano de recursos hídricos da bacia, e deve ser formado por membros de vários âmbitos sociais e políticos. A partir deste contexto, a gestão da unidade de planejamento bacia hidrográfica, engloba características físicas, bióticas, geográficas, demográficas, econômicas, sociais e culturais da região.

### **3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

A escolha da área de estudo partiu do princípio de que o vetor de crescimento do município direciona-se para o litoral norte desde que houve a desativação do Lixão em 2010 e a valorização de terrenos em áreas ambientalmente preservadas, aliado ao fato de não haver muita possibilidade de investimento imobiliário nos bairros tradicionais da orla de Maceió como Ponta Verde, Pajuçara e Jatiúca, por estarem ocupados.

Com a autorização de órgãos públicos para a construção de empreendimentos de até 20 pavimentos em uma área de baixa densidade ocupacional, dada pelo Código de Urbanismo e Edificações de Maceió, (Lei municipal N° 5.593, 2007), o litoral norte tornou-se a opção mais vantajosa para expansão da cidade.

É importante ressaltar o contexto político social atual do município de Maceió, que lida com a desapropriação de 5 bairros e mais de 50 mil pessoas, causado pelo desastre ambiental provocado pela extração do minério sal-gema pela mineradora Braskem. O que causou o aumento descontrolado pela busca de moradias e aumento do valor dos aluguéis e compras de imóveis em toda a cidade.

Assim, a área de estudo deste trabalho, Bacia Hidrográfica do Rio Pratagy (BHP), foi selecionada por ser uma área com tendência de expansão urbana e que apresenta vulnerabilidades ambientais bem definidas e impostas tanto pelo meio físico quanto pela pressão urbana.

#### **3.1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

A área de trabalho selecionada para a investigação é a Bacia Hidrográfica do Rio Pratagy que abrange trechos dos municípios de Messias, Rio Largo e Maceió e está compreendida entre as coordenadas geográficas: 09°20' e 09°35' de Latitude Sul e 35°38' e 35°50' de Longitude Oeste. A delimitação da área seguiu a Base Cartográfica das Regiões Hidrográficas da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Alagoas (SEMARH-AL),

Segundo a SEMARH-AL, a Bacia Hidrográfica do Rio Pratagy apresenta área de drenagem de 194,5 km<sup>2</sup>. Seu rio principal, Pratagy, tem sua nascente no município de Messias e corre em direção sudeste para desaguar no Oceano Atlântico, percorrendo a distância de aproximadamente 32 km. (Tavares, 2017) (Figura 3.1)

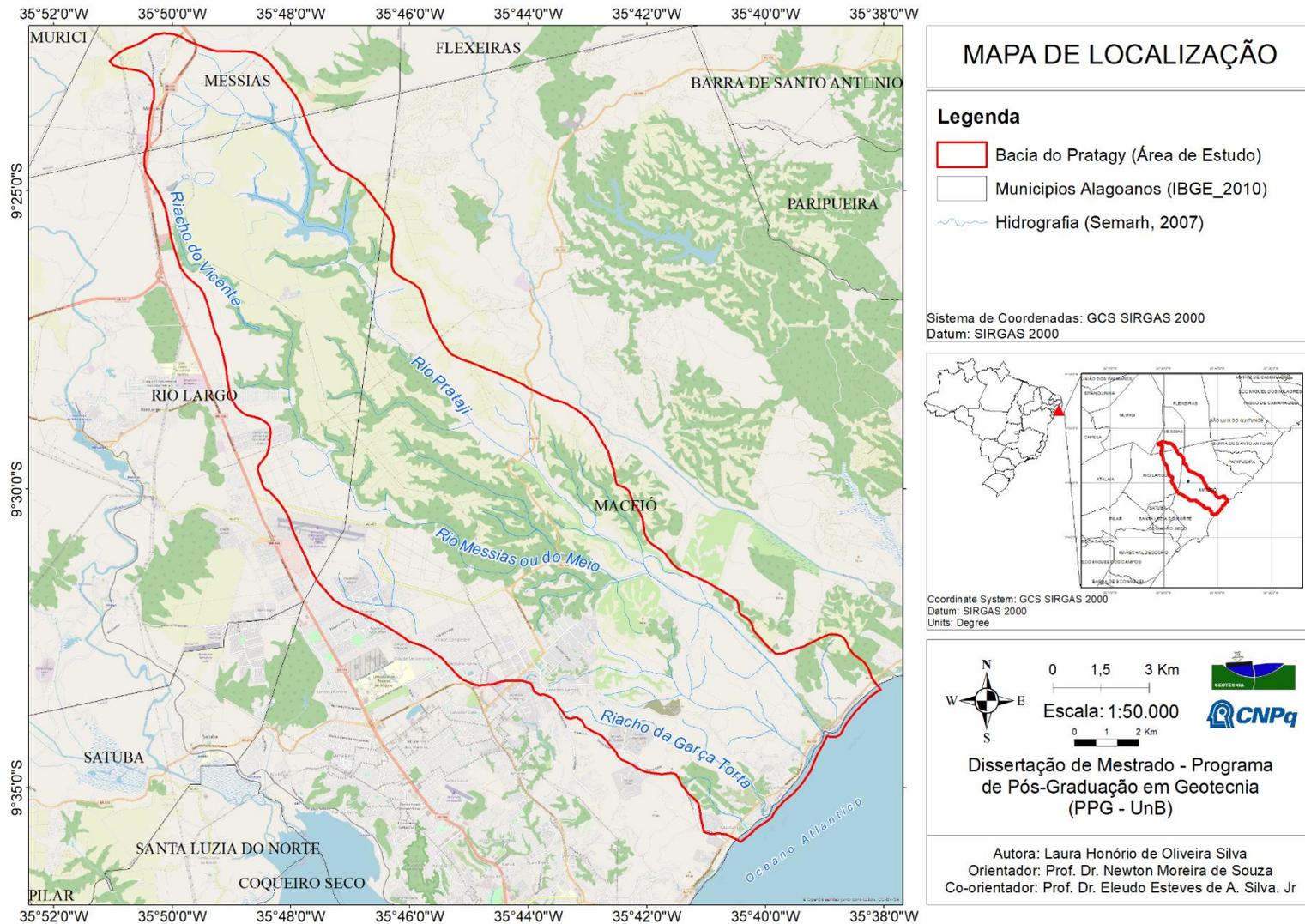


Figura 3.1: Mapa de Localização com destaque para a área de estudo

### 3.2. ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS E DEMOGRÁFICOS

Como a área de estudo abrange 3 municípios, com maior porção de urbana no município de Maceió, seguido de Rio Largo, são apresentadas informações gerais dos três municípios, com ênfase nas áreas já ocupadas por equipamentos urbanos.

A área BHP inserida no município de Messias, corresponde à 12,34 km<sup>2</sup>, 6% da área da Bacia, e abrange 52,3% da área urbana do município, equivalente a 1,08 km<sup>2</sup> (Figura 3.2). O município de Messias apresentava uma população estimada de 18.201 pessoas em 2021, de acordo com o IBGE, e densidade demográfica de 159,66 hab/km<sup>2</sup>. O censo realizado pelo IBGE (2010) apresentou que 90,95% da população de messias residia em área urbana, a partir deste dado é possível estimar que aproximadamente 8.181 habitantes de Messias estão inseridos na área de estudo.

De acordo com o Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento-SNIS, 73,4% da população de Messias era atendida pelo serviço de água em 2016, para o mesmo ano não há dados de serviço de esgoto. Em questões econômicas, o PIB municipal tem sua maior parcela advinda da agropecuária, com destaque para o cultivo de cana-de-açúcar. (IBGE, 2018)

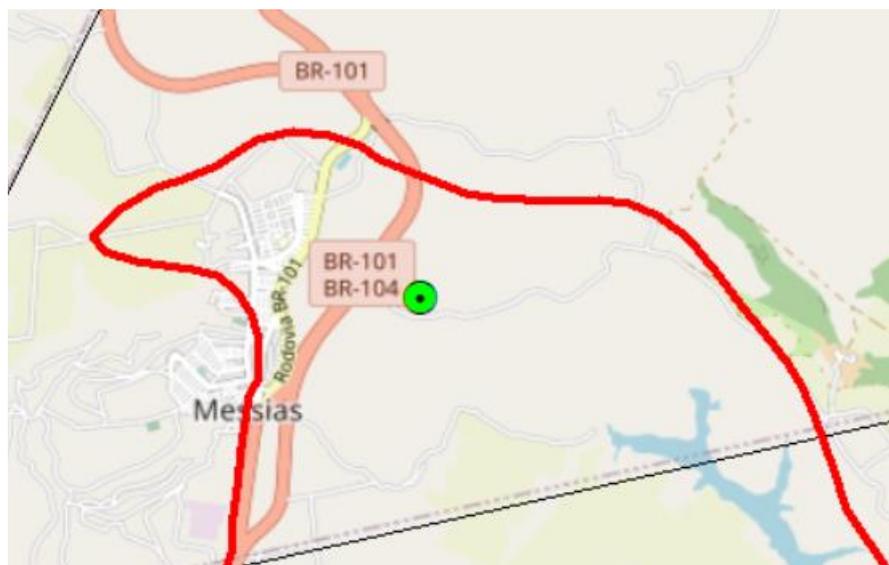


Figura 3.2: Delimitação do município de Messias (linha preta), inserida na BHP (contorno vermelho). Destaque para a Nascente do rio Pratagy em verde

O Município de Rio Largo ocupa 30% da área da BHP, equivalente à 57,22 km<sup>2</sup>, e 20% da área urbana municipal, 3,27 km<sup>2</sup>. Inserido nesta porção territorial está o Aeroporto Internacional Zumbi dos Palmares e a Barragem Canoas, pertencente a Fazenda Santa Clotilde. (Figura 3.3)

De acordo com o IBGE, a população estimada de Rio Largo em 2021 era 75.662 pessoas, distribuídas em um território de 293,816 km<sup>2</sup> e densidade demográfica de 257,51 hab/km<sup>2</sup>. O censo apresentou o IDHM, Índice de desenvolvimento humano municipal,

era de 0,643, 4º maior do estado de Alagoas. A população urbana de Rio Largo é cerca de 81,7% do total, dessa apenas 14,26% estão na área da BHP, o que corresponde a aproximadamente 8.814 habitantes. Segundo o Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento-SNIS, em 2016, 51.477 pessoas eram atendidas pelo serviço de água, e 9.108 pessoas eram atendidas pelo serviço de esgoto. Em questões econômicas, o PIB municipal tem sua maior parcela advinda de serviços. (IBGE, 2018)

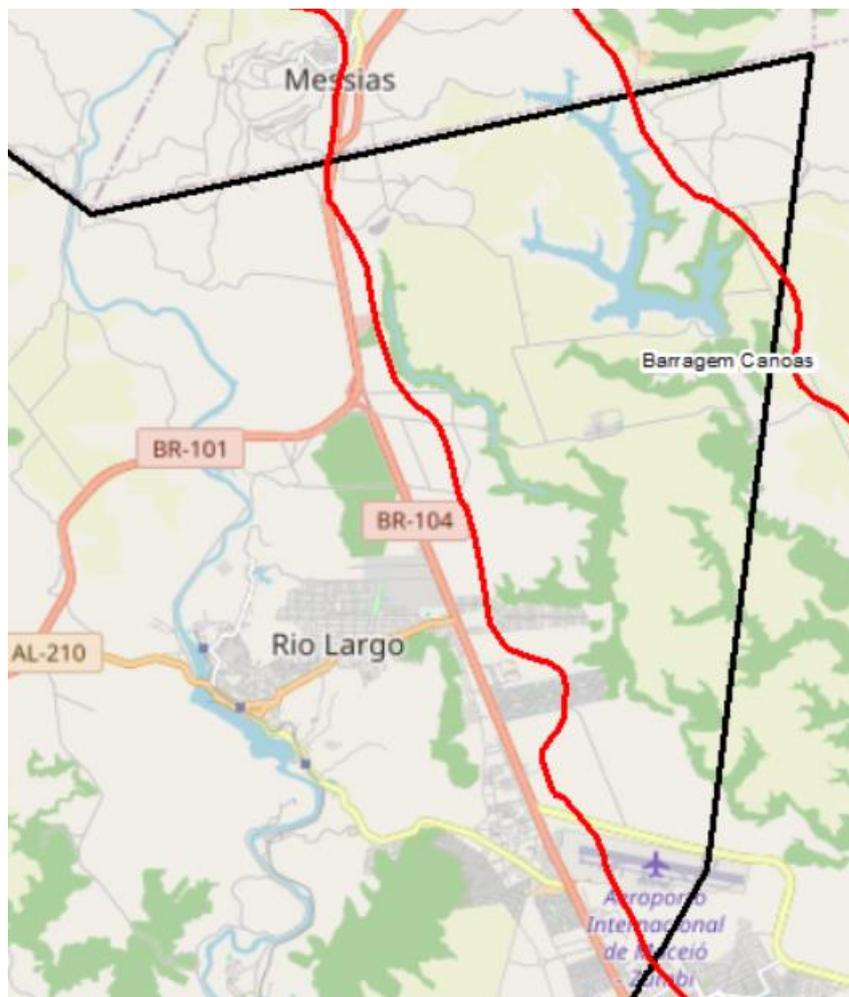


Figura 3.3: Delimitação do Município de Rio Largo (linha preta) inserida na BHP (contorno vermelho), destaque para a Barragem Canoas e para o Aeroporto Internacional de Maceió.

64% da área da Bacia Hidrográfica está inserida no município de Maceió, o que corresponde à 325,96 km<sup>2</sup>, e engloba os bairros Riacho Doce, Garça Torta, Guaxuma, Benedito Bentes e Cidade Universitária. Nesta área está localizados o Centro de Tratamento de Resíduos de Maceió, área de atenção para suscetibilidade induzida de erosão e movimento de massa. (Figura 3.4)

O município de Maceió possui uma área de 509,320 km<sup>2</sup>, com 115,08 km<sup>2</sup> de área urbanizada, ressalta-se que 99% da população municipal reside em áreas urbanas. O IBGE estima que em 2021 o município abrigava 1.031.597 pessoas e apresentava densidade

demográfica de 2.025,4 hab/km<sup>2</sup>. A população exposta em área de risco a inundações, enxurradas e deslizamentos contabilizada pelo CEMADEN é de 70.343 pessoas. (IBGE Cidades)

O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) municipal é 0,721, colocando o município na posição 1266 no ranking nacional. O PIB per capita (2019) era de R\$ 22.976,51, sendo 62,7% das receitas oriundas de fontes externas.

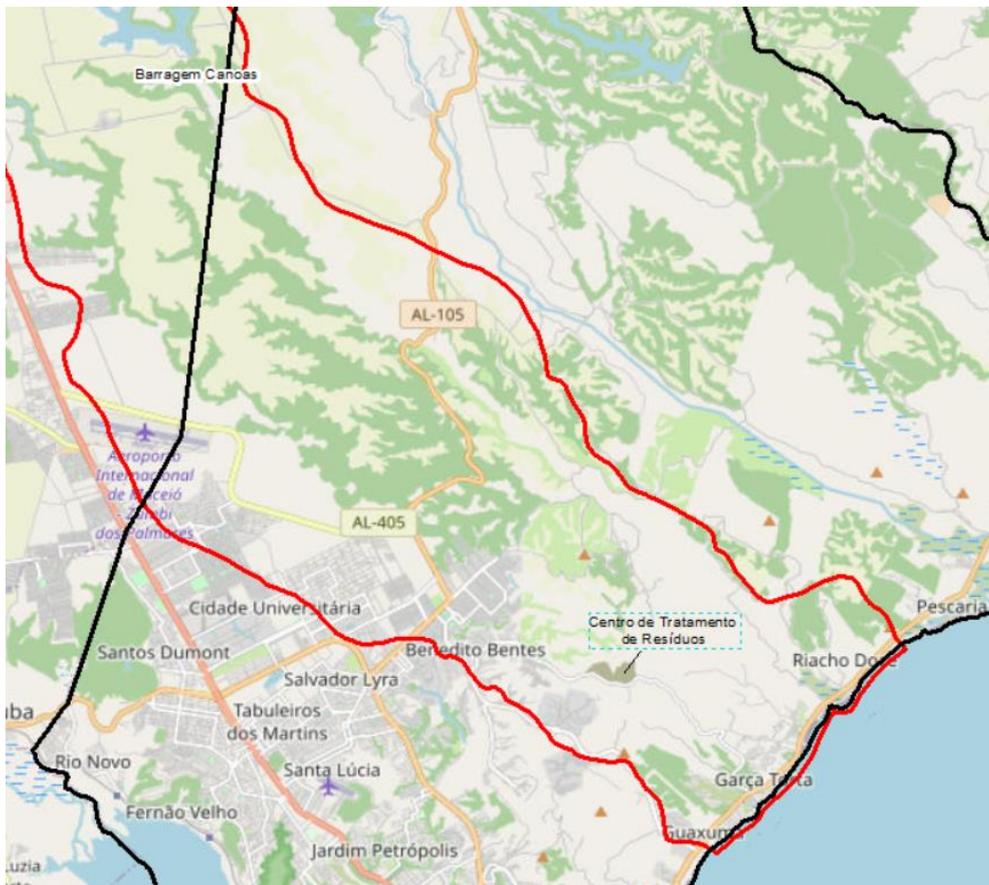


Figura 3.4: Delimitação do Município de Maceió (linha preta) inserida na BHP (contorno vermelho), destaque para o Centro de Tratamento de Resíduos de Maceió e para os bairros inseridos na área: Riacho Doce, Garça Torta, Guaxuma, Benedito Bentes e Cidade Universitária

### 3.3. ASPECTOS CLIMÁTICOS

A bacia do Pratygy encontra-se sob o domínio de climas considerados típicos do bioma Mata Atlântica, os climas Úmido e Subúmido-Úmido, segundo a classificação de Thornthwiate. (Tavares, 2017). Segundo a classificação de Köppen, apresenta um clima tropical quente e úmido do tipo As', com ocorrência de chuvas no outono e inverno. Pelo fato de haver uma variabilidade espacial da chuva, ela distribui-se de forma heterogenia de acordo com a área, A região caracteriza-se por índices de precipitação média anual variando entre 1.500 a 2.100mm. (Cohidro, 2006; Semarh, 2007)

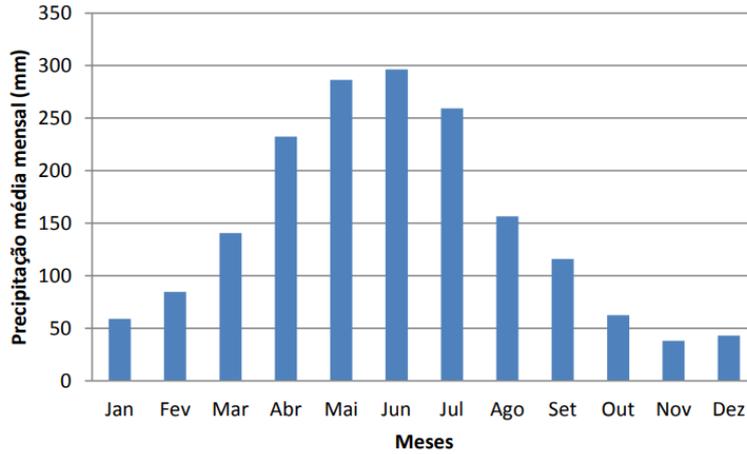


Figura 3.5: Precipitação Média Mensal. (Fonte: Tavares, 2017)

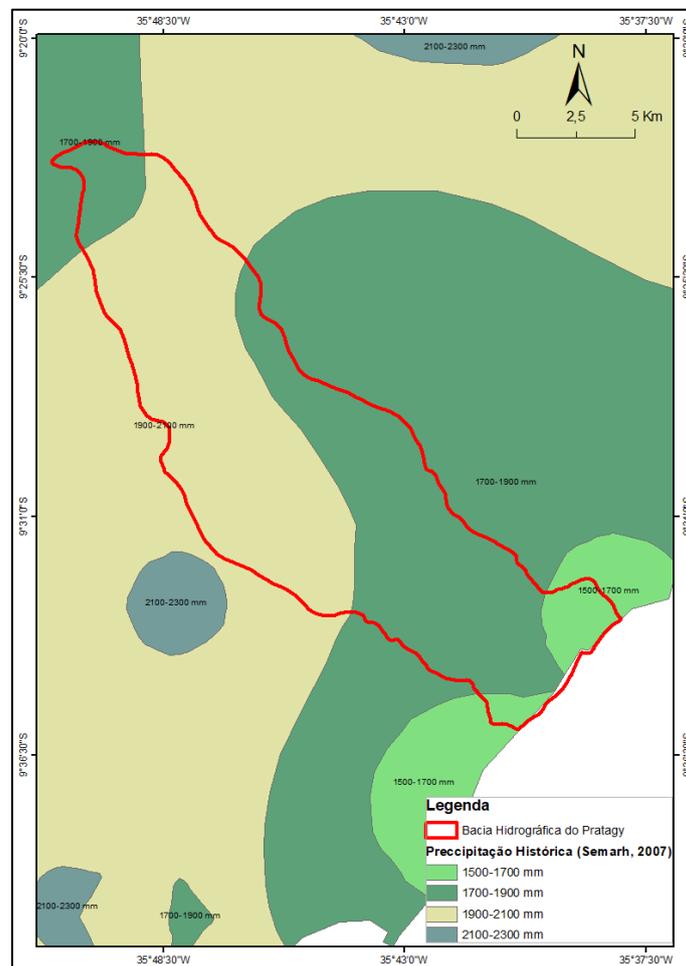


Figura 3.6: Precipitação Histórica. (Fonte: Semarh, 2007)

### 3.4. VEGETAÇÃO

A Região Hidrográfica do Rio Pratygy encontra-se inserida nos domínios da mata atlântica, na área de florestas ombrófilas abertas, área de transição marcada por uma cobertura vegetal diversificada, com a presença de espécies nativas e exóticas. Ao longo do litoral ocorre a vegetação de restingas, e manguezais margeando praias e estuários. Os mangues, vegetação

que se desenvolve em áreas onde ocorre influência fluviomarinha estão distribuídos na foz dos rios Jacarecica, Riacho Doce, Pratagy e Sauasuy. (MACEIÓ, 2007; OLIVEIRA et. al, 2014)

Cabe ressaltar que a área da BH do Rio Pratagy está inserida na área da Área de Proteção Ambiental (APA) do Pratagy, criada em 1998 pelo Decreto Estadual nº. 37.589 de 05 de junho de 1998. Segundo OLIVEIRA et al. (2014), a APA do Pratagy concentra basicamente sua representação florestal nos vales de tabuleiro, escavados pela ação das águas dos rios.

Proporções consideráveis de Mata Atlântica, classificada como Floresta Ombrófila, desenvolvem-se nas encostas íngremes e fundas dos vales. Nas encostas, observa-se uma grande quantidade de indivíduos jovens que sugerem uma capacidade de regeneração da floresta, com árvores de pequeno diâmetro (cerca de 40 cm).

Ainda segundo o autor, a distribuição das espécies ocorrentes na APA do Pratagy depende da dinâmica de inundação dos corpos hídricos, sendo um dos fatores que controlam a diversidade vegetal no fundo dos vales. Nos trechos mais conservados, é possível observar os três estratos predominantes: herbáceo, arbustivo e arbóreo, com árvores que variam entre 7 e 15 metros de altura. (OLIVEIRA et al., 2014)

### **3.5. SOLOS**

Na Bacia do Pratagy predominam os solos do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo e os Podzólicos (argissolos), que interagem com as classes de vegetação original representada pelas Florestas e pelos Cerrados extensivos ao perímetro da área; são grupos que predominam nas superfícies aplainadas dos Tabuleiros, sob influência geológica da Formação Barreiras. Já nos fundos dos vales, ocorrem os Gleissolos, marcados geologicamente pelos depósitos fluviais, e na bacia litorânea destacam-se os Neossolos Quartzarênicos. (Santos et. Al.,2018; Tavares, 2017)

### **3.6. HIDROGRAFIA**

A Bacia Hidrográfica do Rio Pratagy é composta pelo Rio principal, Pratagy (Figura 3.7) e seus afluentes, seu principal afluente é o Rio Messias ou Rio do Meio. Segundo o Decreto estadual nº 3766 de 1978, o Rio Pratagy é considerado como de classe 1 até quatro quilômetros antes de sua foz e, classe 2 deste ponto até sua foz. (UFAL, 1987)

Vale ressaltar que, segundo o artigo 1º da Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março 2005, das classificações das águas doces do território nacional:

“II - Classe 1: águas destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;

c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000;

d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e

e) à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.

III - Classe 2: águas que podem ser destinadas:

a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;

b) à proteção das comunidades aquáticas;

c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000;

d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e

”



Figura 3.7: Rio Pratagy com a APA do Pratagy ao fundo. (Fonte: Ascom Semarh, 2015)

A nascente do Rio Pratagy está localizada no município de Messias, nas coordenadas 9°23'6.24" de latitude sul e 35°49'34.58" de longitude oeste, a uma altitude de aproximadamente 150 m, e 31,2 km de extensão, escoando para o sudeste em direção ao oceano atlântico. As declividades mais acentuadas ocorrem no trecho inicial com um desnível de 100m em 6km de extensão. Em áreas de relevo colinoso, apresenta padrão de drenagem dendrítica e encostas circulares muito íngremes (Cohidro, 2006)

A qualidade das águas do rio Pratagy, utilizadas para abastecimento de Maceió, vem em um crescente processo de degradação, devido a retirada de matas ciliares e sua substituição pela monocultura de cana de açúcar, além da decorrência das atividades antrópicas no seu entorno (desmatamento, área urbanizadas, queimadas, presença de currais, etc). (Dantas, 2015; Cohidro,2006)

A bacia do Rio Pratagy está inserida na Região Hidrográfica do Rio Pratagy, nessa região também estão inseridas a bacia do Rio Meirim, bacia do Rio Sapucaí, Bacia metropolitana e Bacia Endorreica (Figura 3.8). A área de estudo desta pesquisa engloba áreas da Bacia Hidrográfica do Pratagy, Bacia Endorreica e Bacia Metropolitana.



Figura 3.8: Região Hidrográfica do Rio Pratagy de acordo com o PDRH. (Cohidro, 2006)

### 3.7. GEOLOGIA

“A Região Metropolitana de Maceió está situada regionalmente na faixa sedimentar litorânea do Estado de Alagoas, fazendo parte da Bacia de Alagoas, Formação Barreiras, Sedimentos de Praia e Aluvião e Embasamento Cristalino. Essa faixa sedimentar se estende ainda pelo Estado de Sergipe, onde recebe o nome de Bacia de Sergipe.” (ANA, 2011)

A área de estudo é composta por rochas sedimentares de cronologia terciário-quadernárias da Bacia Sedimentar Alagoas, no domínio geológico dos sedimentos terciários da Formação Barreiras e dos sedimentos quadernários da Planície Costeira (Santos, 2014). A área mais ao noroeste, onde está situada a nascente do Rio Pratagy, é composta por rochas magmáticas do embasamento cristalino do Pré-Cambriano que se faz aflorar em nível de exposição de fundo

de vale (Cohidro, 2006). Na Figura 3.9 é possível visualizar as unidades geológicas, na escala 1:250.000, presentes na área.

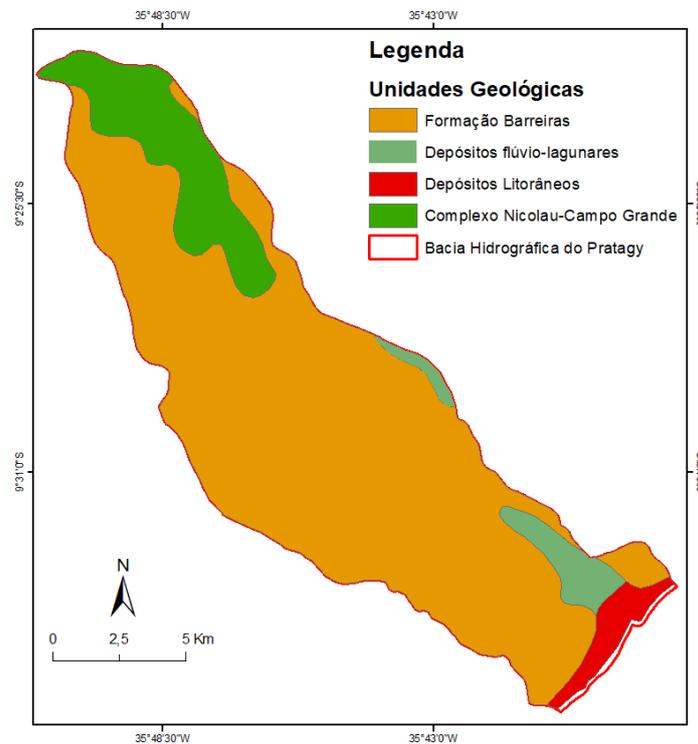


Figura 3.9: Geologia da Área. (Fonte: DNPM, 2007)

### 3.8. GEOMORFOLOGIA

As regiões geomorfológicas identificadas na BHP são Piemontes Inumados e Planície Litorânea. Segundo Ferreira (1999), Piemontes Inumados é uma área composta por sedimentos arenosos, argilas de cores variadas e arenitos grosseiros e conglomeráticos com espessura variada, que recobrem os sedimentos da bacia Sergipe-Alagoas. É uma região que reflete nitidamente o tectonismo regional, já que as zonas de falhas e fraturas subjacentes podem ser evidenciadas em superfície através de alinhamentos da rede de drenagem. A unidade geomorfológica identificada na área é a Tabuleiros Costeiros.

Tabuleiros costeiros é a unidade de maior presença na costa alagoana, ela é constituída pela Formação Barreiras, que se apresenta num conjunto de modelado rebaixado, atingindo contornos topográficos de 20 m até 120 m, limitado pelas falésias da Planície Litorânea. (Santos, 2014)

A outra região geomorfológica é a Planície Litorâneas, que marca a área com a presença das unidades Planícies Deltaicas, Estuarinas e Praias. “A Planície Litorânea adentra o baixo curso do rio Pratagy, com deposições ocorridas sob condições variáveis durante o Quaternário. Nessa parte da bacia o rio Pratagy apresenta vale em forma de “U” com o fundo chato, devido à deposição de sedimentos.” (Tavares, 2017)

A geomorfologia geral da área pode ser visualizada na Figura 3.10, a escala original do dado fornecido pelo DNPM está na escala 1:250.000.

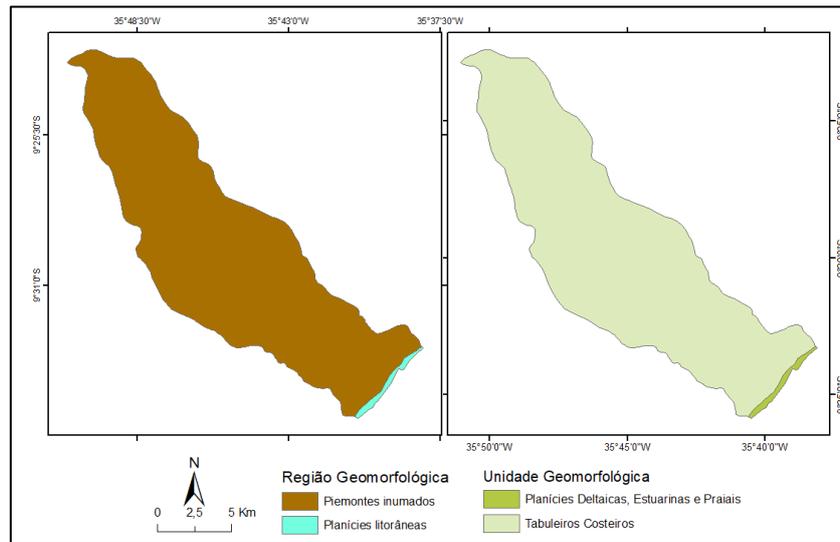


Figura 3.10: Geomorfologia da Área de Estudo. (Fonte: DNPM, 2007)

### 3.9. PROCESSO DE URBANIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE MACEIÓ

A formação do sítio urbano de Maceió dá-se em torno do riacho Maçayó, no final do século XVIII, situado onde é hoje o atual Riacho Salgadinho, nessa região instalou-se à época o Engenho Maçayó, com isso a população passou a ocupar as áreas próximas ao engenho de açúcar principal polo empregatício. Depois desse estágio seminal de povoamento, anos mais tarde (meados do século XIX) com o encerramento das atividades do engenho, o Porto de Maceió, situado onde é atualmente o bairro Jaraguá, passou a ser o principal polo empregatício e de desenvolvimento.

A fundação do município de Maceió data de 1815, a partir do desmembramento do antigo município de Alagoas, atual Marechal Deodoro, enquanto sua elevação à condição de vila deu-se após um ano, em 1816. A Cidade de Maceió teve seu surgimento a partir de um pequeno povoado que por sua localização e pelas necessidades econômicas expandiu e se tornou capital da província em 1939, mesmo não possuindo infraestrutura para tal. A partir daí o ritmo de expansão urbana acelerou com significativas mudanças no espaço físico. (Bispo, 2018)

O início da ocupação urbana de Maceió aconteceu nos bairros de Jaraguá e Centro, situados na planície litorânea. Mais tarde a expansão se estendeu pelos bairros da Levada, Bebedouro e Fernão Velho que fazem parte da planície lagunar. O crescimento da cidade deu-se a partir dos Três eixos estruturantes principais: Av. Siqueira Campos, rodovia estadual AL 101 Norte e a linha ferroviária, como descrito por Japiassú (2015):

“O eixo da Av. Siqueira Campos ligava o porto de Jaraguá ao porto do Trapiche. No porto do Trapiche chegavam mercadorias vindas do interior do estado para serem redirecionadas ao porto de Jaraguá. Além disso, o porto do Trapiche era a principal ligação entre Maceió e Alagoas do Sul (atual município de Marechal Deodoro), antiga capital da província.

O eixo correspondente à rodovia estadual AL-101 Norte era o principal meio de ligação entre os estados de Alagoas e Pernambuco. Ao longo dessa rota desenvolveram-se alguns povoados no litoral norte da cidade, hoje alguns de seus bairros. E a linha ferroviária, correspondente ao eixo da Av. General Hermes, conhecida como eixo da Cambona, era utilizada para ligação entre os bairros de Bebedouro e Fernão Velho e o porto de Jaraguá. As primeiras povoações da parte alta da cidade, o platô, surgem apenas no final do século XIX, no entanto só se consolidam no século XX, com a instalação de bangalôs para aristocracia da cidade nas bordas do planalto Jacutinga, hoje bairro do Farol.

A ocupação do platô acontece na década de 1940, a partir da construção da Avenida Fernandes Lima, importante via da cidade até hoje. A expansão desta área foi intensificada com a implantação do distrito industrial em 1960 e mais tarde, em 1970, com a implantação da Universidade Federal de Alagoas. Nesta mesma época a cidade também crescia na direção Norte da planície litorânea. A expansão da orla marítima acontecia nos bairros de Pajuçara, Ponta Verde, Jatiúca e Cruz das Almas.” (Figura 3.11)

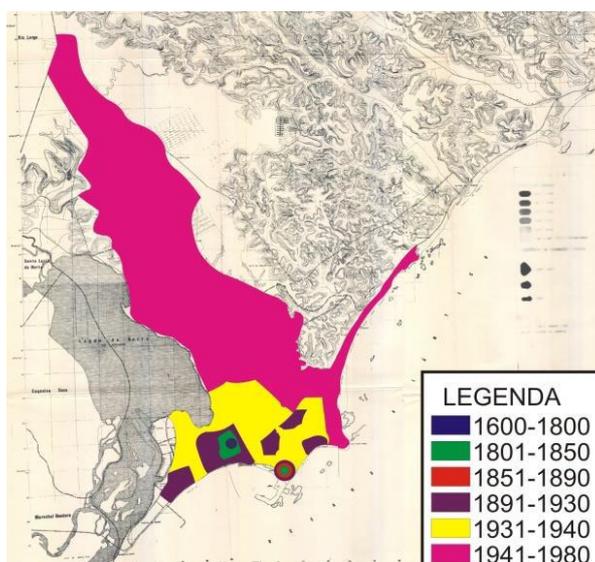


Figura 3.11: Evolução urbana de Maceió até 1980. (Fonte: Japiassú, 2015)

Na década de 1980, 98,2% da população maceioense vivia em área urbana, porém, só em 1981 teve seu primeiro Plano de Desenvolvimento e em 2005 seu primeiro Plano Diretor. Nessa década, o crescimento populacional se dava no platô e na planície litorânea: Barro Duro, Gruta de Lourdes, Tabuleiro do Martins, Jacintinho, Pinheiro, Pitanguinha, Bom Parto, Mangabeiras, Ponta Verde, Jatiúca e Cruz das Almas. Com o esvaziamento gradual dos bairros em que a cidade iniciou (Centro, Jaraguá e Levada, que se tornaram bairros majoritariamente de comércio e serviços. (Japiassú, 2015)



Figura 3.12: Tendência de Crescimento Populacional em 1980, os números de 1 a 25 correspondem aos bairros de Maceió. O contorno em vermelho destaca a área de estudo (Fonte: Modificado de Japiassú, 2015)

Entre 1981, ano de publicação do Plano Municipal de Desenvolvimento e 2005, ano de publicação do Plano Diretor houveram modificações no perímetro urbano da cidade, já que em 1981 Maceió possuía 25 bairros e com o abairramento da zona urbana de Maceió, respaldado na Lei N° 4.687/98 e modificado pela Lei n° 4.952 de 2000, o município passou a ser composto por 50 bairros.

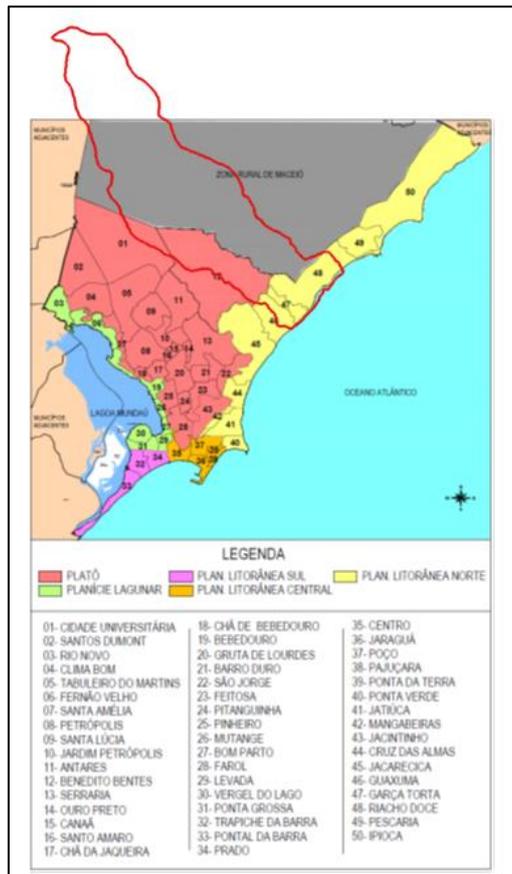


Figura 3.13: Divisão dos bairros de Maceió no ano 2000, os números de 1 a 50 correspondem aos bairros. O contorno em vermelho destaca a área de estudo. (Fonte: Modificado de Japiassú, 2015)

Hoje a cidade apresenta um crescimento horizontal e vertical que percorreu a orla marítima e lagunar, assim como também aconteceu no platô, região chamada de parte alta da cidade. Apresenta uma paisagem urbana consideravelmente adensada que é alterada, principalmente, pelo processo de verticalização. Tais processos, de adensamento e verticalização, acontecem tão rápido que muitas vezes os habitantes perdem suas referências territoriais e afetivas de maneira abrupta, criando uma sensação de amnésia urbana.

Outro ponto que merece destaque quando as dinâmicas urbanas em Maceió são analisadas é o vazio demográfico criado a partir de 2018 com o alto risco de afundamento dos bairros Bebedouro, Pinheiro, Bom Parto e parte do Farol e o isolamento social do bairro Flexal devido ao colapso de cavernas subterrâneas causado pela extração do minério Sal-gema pela mineradora Braskem. Esse desastre ambiental de natureza antrópica resultou na remoção de cerca de 57 mil pessoas da área e 20 imóveis históricos na área atingida, ressaltando que o Bairro de Bebedouro e Bom Parto resguardavam em seus prédios a história da cidade de Maceió, e em sua população a cultura local, o folclore e os folguedos.

## **4. METODOLOGIA E ETAPAS DO TRABALHO**

### **4.1. FUNDAMENTOS METODOLÓGICOS**

A metodologia da pesquisa baseia-se nas premissas propostas por Zuquette & Gandolfi, 2004 (EESC/USP), que apresenta etapas metodológicas de inventário, zoneamento e prognósticos e proposição de ações; no método de detalhamento progressivo descrita por Cerri et al (1996) e também nas orientações apresentadas na Lei nº 12.608/2012, que estabelece a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil.

Para tal, foi necessário fazer uso dos seguintes programas computacionais: SPRING versão 5.5.6. do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), ArcGIS Pro da Environmental Systems Research Institute (ESRI), QGIS 3.14, Google Earth Pro v7.1.1871, Microsoft Excel 2016, entre outros.

Este estudo apresenta uma abordagem quantitativa e, do ponto de vista dos procedimentos técnicos, experimental e baseado em classificação de imagem de satélite, reconhecimento visual e/ou levantamento de campo, seguindo estudos anteriores de temática semelhante como Silva Júnior (2019), Xavier (2017), Lima (2016), Batista (2014), Souza e Sobreira (2015), entre outros.

Com relação a metodologia de detalhamento progressivo, base deste estudo, CERRI et al. (1996), direciona o trabalho em três etapas sucessivas, ordenadas por nível de aprofundamento, sendo a primeira em menor escala e mais geral, e a terceira em escala de detalhe. Neste trabalho foi realizado um estudo na escala de 1:50.000 devido a limitação da base cartográfica disponibilizada por órgãos públicos. As etapas do método estão organizadas na tabela seguinte.

Tabela 4.1: Síntese das etapas do método do detalhamento progressivo. (Fonte: Adaptado de Zaine (2000))

	<b>1º Etapa – Geral</b>	<b>2º etapa – Semi-detalle</b>	<b>3º Etapa - detalle</b>
<b>Produto</b>	Cartas e/ou mapas geológico-geotécnicos na escala 1:50.000 ou 1:25.000.	Cartas e/ou mapas geológico-geotécnicos na escala 1:25.000 ou 1:10.000.	Estudos geológico-geotécnicos temáticos específicos na escala 1:5.000 ou maior (se necessário).
<b>Objetivo</b>	Caracterização do meio físico com a identificação de suas limitações e potencialidades de acordo com as necessidades impostas pelo uso urbano do solo.	Detalhamento da caracterização do meio físico geral, com identificação dos problemas geológico - geotécnicos instalados.	Com base nos resultados das etapas anteriores são selecionados os temas técnicos que necessitam de projetos de obras de engenharia para problemas existentes ou para modificação do uso do solo
<b>Área de Estudo</b>	Já urbanizada, com perspectiva de urbanização a médio prazo (10 a 20 anos), e áreas adjacentes (nas quais é fundamental a caracterização do meio físico).	Já urbanizada, com perspectiva de urbanização a médio prazo, em áreas de adensamento e/ou expansão urbana, selecionadas a partir do mapa geológico-geotécnico da 1ª etapa.	Definição da área é função dos estudos temáticos.

## 4.2. INVENTÁRIO

O levantamento bibliográfico e cartográfico para a elaboração desta pesquisa e organização do inventário de dados foi conduzida considerando-se a identificação das fontes de pesquisa, levantamento das publicações originais e produções técnico-científicas publicadas nas principais bases secundárias de dados.

Dentre as fontes utilizadas para compor a base de dados tem-se: Portal de Periódicos CAPES/MEC, Banco de dados de produção técnico-científica SciELO/CNPq, Banco de Teses e Dissertações UnB – Universidade de Brasília, Pesquisa avançada do Google Acadêmico, IBGE, CPRM, EMBRAPA, Alagoas em dados, base cartográfica disponibilizada pelo Instituto de Meio Ambiente de Alagoas (IMA), além de artigos e matérias de jornais de circulação nacional. Segue a Tabela 4.2 com os dados cartográficos utilizados e a Tabela 4.3 com as matérias jornalísticas:

Tabela 4.2: Inventário de Dados

<b>Fonte</b>	<b>Documentos Adquiridos</b>
<b>IBGE (2016)</b>	<p><b>Folhas Topográficas Vetoriais:</b>  São Luis do Quitunde - SC-25-V-C-I-3 mi 1525-3  Rio Largo - SC-25-V-C-I-3 mi 1525-3  Maceió sc-25-v-c-iv-2 mi 1600-2</p> <p><b>Hipsometria</b>  <b>Hidrografia</b>  escala 1: 50 000  Formato: vetorial</p>
<b>Alaska Satellite Facility (data complete)</b>	<p><b>Altimetria (Dem)</b>  Tamanho do Pixel: 12,5 X 12,5  Resolução espacial: 12,5 m  Ano 2011;  Formatos: kmz, jpg e tiff;  Cobertura municipal 100%.</p>
<b>Serviço Geológico do Brasil (SGB)</b>	<p><b>Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação: município de Maceió - AL</b>  Escala: 1:70.000 (2014).  Equidistância das Curvas de Nível 20 m;  Formatos: dwg e dbf;  Cobertura municipal 100%;  Obs.: A base cartográfica planimétrica presente no banco de dados destes mapas, obtido no site da CPRM refere-se à base 1:50.000 disponibilizada pelo IBGE.</p> <p><b>Fotointerpretação de dados de radar de 2014 gerados pela BRADAR com 2,5 m de resolução espacial:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Padrão de Relevo;</li> <li>• Áreas Urbanizadas;</li> <li>• Feições associadas à movimentos gravitacionais de massa e processos correlatos.</li> </ul> <p>Solos - Bastante generalizado - Grandes unidades de solos (1:5.000.000);  Territórios Cidadania - Limite das mesorregiões; Limite municipais com</p>

---

	<p>informações socioeconômicas (tabela de atributos).</p> <p><b>Ortoimagem</b>  Tamanho do Pixel: 2,5 X 2,5  Ano 2014;  Formatos: jpg e tif;  Cobertura municipal 100%.</p> <p><b>Mapa Geológico da Região Metropolitana de Maceió/AL e Adjacências de 2021.</b>  Escala 1:150.000;  Cobertura municipal 100%.  Formato: PDF.</p>
<b>Planet</b>	<p><b>Imagem de constelação de satélites Dove multiespectral (3 metros de resolução)</b>  Data: Abril/2021  Sensibilidade Espectral: Multiespectral: 455–515 nm (Azul), 500–590 nm (Verde), 590–670 nm (Vermelho) e 780–860 nm (Infravermelho próximo)</p>
<b>EMBRAPA</b>	<p><b>Mapa de reconhecimento de baixa e média intensidade de solos do estado de Alagoas</b>  Escala: 1:100.000;  Ano 2017;  Formato: .shp%  Cobertura municipal 100%</p> <p><b>Mapa exploratório - reconhecimento de solos do estado de Alagoas</b>  Escala: 1:400.000;  Ano 2017;  Formato: .shp%  Cobertura municipal 100%</p> <p><b>Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar do estado de Alagoas</b>  Escala: 1:400.000;  Ano 2009;  Formato: .shp%  Cobertura municipal 100%</p>
<b>UFAL</b>	<p><b>Mapa Geotécnico da Cidade de Maceió</b>  <b>Mapa de solos</b>  <b>Mapa geológico</b>  <b>Mapa geomorfológico</b>  <b>Mapa de uso e ocupação</b>  Escala: 1:10.000  Ano: 1987  Mapa de solos  Formato: Impresso  Cobertura municipal 22%</p>

---

Tabela 4.3: Levantamento jornalístico de desastres nos municípios da BHP

<b>Nome do portal</b>	<b>Ano</b>	<b>Local</b>	<b>Link</b>
<b>Gazeta de Alagoas</b>	2022	Maceió	<a href="https://d.gazetadealagoas.com.br/cidades/395055/maceio-registra-mais-de-800-deslizamentos-de-terra-em-2022">https://d.gazetadealagoas.com.br/cidades/395055/maceio-registra-mais-de-800-deslizamentos-de-terra-em-2022</a>
<b>Gazeta WEB</b>	2022	Cidade Universitária	<a href="https://www.gazetaweb.com/noticias/maceio/video-chuva-constante-provoca-alagamentos-em-diversos-pontos-de-maceio-nesta-quinta-feira/">https://www.gazetaweb.com/noticias/maceio/video-chuva-constante-provoca-alagamentos-em-diversos-pontos-de-maceio-nesta-quinta-feira/</a>
<b>Tribuna Hoje</b>	2022	Maceió e interior	<a href="https://tribunahoje.com/noticias/cidades/2022/05/02/102585-alagoanos-registram-alagamentos-em-varios-pontos-da-capital-e-do-interior">https://tribunahoje.com/noticias/cidades/2022/05/02/102585-alagoanos-registram-alagamentos-em-varios-pontos-da-capital-e-do-interior</a>
<b>PREFEITURA DE MACEIÓ</b>	2022	Bom Parto,	<a href="https://maceio.al.gov.br/noticias/defesacivil/assistencia-social-inicia-segunda-fase-de-cadastro-de-familias-afetadas-por-enchentes">https://maceio.al.gov.br/noticias/defesacivil/assistencia-social-inicia-segunda-fase-de-cadastro-de-familias-afetadas-por-enchentes</a>
<b>CLIMATEMPO</b>	2022	Vergel do Lago	<a href="https://climainfo.org.br/2022/07/05/enchentes-nas-alagoas-em-quatros-dias-choveu-o-equivalente-ao-mes-de-julho/">https://climainfo.org.br/2022/07/05/enchentes-nas-alagoas-em-quatros-dias-choveu-o-equivalente-ao-mes-de-julho/</a>
<b>G1 ALAGOAS</b>	2022	Levada, Vergel, Ponta Grossa, Trapiche, Pontal da Barra, Fernão Velho e Rio Novo	<a href="https://g1.globo.com/al/alagoas/noticia/2022/07/04/bairros-as-margens-da-lagoa-mundau-em-maceio-registram-alagamentos.ghtml">https://g1.globo.com/al/alagoas/noticia/2022/07/04/bairros-as-margens-da-lagoa-mundau-em-maceio-registram-alagamentos.ghtml</a>
<b>G1 ALAGOAS</b>	2022	Rio largo	<a href="https://g1.globo.com/al/alagoas/noticia/2022/07/04/nao-imaginava-uma-cheia-assim-depois-de-12-anos-diz-morador-de-rio-largo-ao-ver-cidade-devastada.ghtml">https://g1.globo.com/al/alagoas/noticia/2022/07/04/nao-imaginava-uma-cheia-assim-depois-de-12-anos-diz-morador-de-rio-largo-ao-ver-cidade-devastada.ghtml</a>
<b>G1 ALAGOAS</b>	2021	Jatiúca, Ponta Verde, Poço	<a href="https://g1.globo.com/al/alagoas/noticia/2021/08/05/chuva-forte-em-maceio-deixa-ruas-e-avenidas-alagadas.ghtml">https://g1.globo.com/al/alagoas/noticia/2021/08/05/chuva-forte-em-maceio-deixa-ruas-e-avenidas-alagadas.ghtml</a>
<b>G1 ALAGOAS</b>	2021	Feitosa	<a href="https://g1.globo.com/al/alagoas/noticia/2021/08/04/deslizamento-de-barreira-atinge-casas-no-feitosa-em-maceio.ghtml">https://g1.globo.com/al/alagoas/noticia/2021/08/04/deslizamento-de-barreira-atinge-casas-no-feitosa-em-maceio.ghtml</a>
<b>UOL</b>	2021	Tabuleiro do Martins	<a href="https://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2021/04/16/apos-alagamento-ate-em-presidio-maceio-tem-previsao-de-mais-chuva-forte.htm">https://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2021/04/16/apos-alagamento-ate-em-presidio-maceio-tem-previsao-de-mais-chuva-forte.htm</a>
<b>TNH1</b>	2022	Rio largo	<a href="https://www.tnh1.com.br/noticia/nid/imagens-impresionantes-mostram-forca-da-agua-em-rio-largo/">https://www.tnh1.com.br/noticia/nid/imagens-impresionantes-mostram-forca-da-agua-em-rio-largo/</a>
<b>Terra</b>	2022	Serraria	<a href="https://www.terra.com.br/noticias/climatempo/chuva-persistente-provoca-transtornos-em-maceio-e-recife,eeadaf1c1c2b44a85e2a106ae5b4e65d2aslmh59.html">https://www.terra.com.br/noticias/climatempo/chuva-persistente-provoca-transtornos-em-maceio-e-recife,eeadaf1c1c2b44a85e2a106ae5b4e65d2aslmh59.html</a>

<b>Nome do portal</b>	<b>Ano</b>	<b>Local</b>	<b>Link</b>
<b>G1 ALAGOAS</b>	2020	Ponta Verde	<a href="https://g1.globo.com/al/alagoas/noticia/2020/02/20/choveu-nesta-quinta-em-maceio-80percent-da-chuva-prevista-para-o-mes-de-fevereiro-aponta-meteorologia.ghtml">https://g1.globo.com/al/alagoas/noticia/2020/02/20/choveu-nesta-quinta-em-maceio-80percent-da-chuva-prevista-para-o-mes-de-fevereiro-aponta-meteorologia.ghtml</a>
<b>G1 ALAGOAS</b>	2020	São Jorge e Jacarecica	<a href="https://g1.globo.com/al/alagoas/noticia/2020/06/14/maceio-registra-alagamentos-em-jacarecica-e-ipioca-por-cao-da-chuva.ghtml">https://g1.globo.com/al/alagoas/noticia/2020/06/14/maceio-registra-alagamentos-em-jacarecica-e-ipioca-por-cao-da-chuva.ghtml</a>
<b>METEOREDE</b>	2020	Trapiche da Barra	<a href="https://www.tempo.com/noticias/actualidade/fortes-chuvas-causam-prejuizos-no-leste-da-regiao-nordeste.html">https://www.tempo.com/noticias/actualidade/fortes-chuvas-causam-prejuizos-no-leste-da-regiao-nordeste.html</a>
<b>TNH1</b>	2021	Benedito Bentes Mangabeiras Guaxuma	<a href="https://www.tnh1.com.br/noticia/nid/chuvas-causam-alagamentos-e-transtornos-em-maceio-veja-imagens/">https://www.tnh1.com.br/noticia/nid/chuvas-causam-alagamentos-e-transtornos-em-maceio-veja-imagens/</a>
<b>Prefeitura de Maceió</b>	2022	Benedito Bentes	<a href="https://maceio.al.gov.br/noticias/seminfra/equipes-de-limpeza-e-drenagem-estao-em-pontos-de-alagamentos-em-maceio">https://maceio.al.gov.br/noticias/seminfra/equipes-de-limpeza-e-drenagem-estao-em-pontos-de-alagamentos-em-maceio</a>
<b>Gazeta de Alagoas</b>	2021	Maceió	<a href="https://d.gazetadealagoas.com.br/cidades/305549/chuvas-provocam-deslizamentos-e-alagamentos-em-maceio">https://d.gazetadealagoas.com.br/cidades/305549/chuvas-provocam-deslizamentos-e-alagamentos-em-maceio</a>
<b>TNH1</b>	2016	Cidade Universitária Levada	<a href="https://www.tnh1.com.br/noticia/nid/video-chuva-causa-alagamentos-em-bairros-de-maceio/">https://www.tnh1.com.br/noticia/nid/video-chuva-causa-alagamentos-em-bairros-de-maceio/</a>
<b>AGÊNCIA TATU</b>			<a href="https://www.agenciatatu.com.br/noticia/chuvas-fortes-ha-anos-causam-estragos/">https://www.agenciatatu.com.br/noticia/chuvas-fortes-ha-anos-causam-estragos/</a>

O Inventário dos pontos de ocorrência de processos geológicos causadores de desastres naturais foi realizado não só com o levantamento bibliográfico e de matérias jornalísticas. Para a identificação das cicatrizes dos processos analisados (movimentos gravitacionais de massa e erosão), utilizaram-se da interpretação visual das imagens disponibilizadas no *software Google Earth*.

### **4.3. ELABORAÇÃO DOS MAPAS BÁSICOS**

#### **4.3.1. PROCESSAMENTO DE MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO**

De modo a atingir os objetivos propostos no item 1.2, os conjuntos de dados geográficos e cartográficos foram estruturados em ambiente SIG, compatibilizando-os para o mesmo sistema de referência espacial, SIRGAS 2000, UTM, Zona 25S. Inicialmente utilizou-se do Modelo digital de Elevação (MDE) do satélite ALOS PALSAR *Global Radar Imagery*, disponibilizado gratuitamente pela *Alaska Satellite Facility*. Tal MDE tem resolução espacial

de 12,5 metros, o que atende a escala de 1:50.000, o Datum e o elipsoide de referência foi o WGS 84, Zona 25 S.

A partir da obtenção do MDE foi necessário o uso do Software ArcGIS para realizar o Processamento Digital de Imagem (PDI), primeiramente corrigindo os valores negativos e em seguida usando a ferramenta *Fill* para preencher os pixels vazios, por fim foi necessário a remoção das depressões espúrias por meio da ferramenta *fill sinks*, necessária para análises da rede hidrográfica, já que remove os trechos em que o escoamento é interrompido.

O MDE é muito importante para a obtenção de variáveis do relevo, como altitude, declividade, curvaturas vertical e horizontal, orientação de vertentes entre outras, necessárias para análises ambientais, principalmente para avaliação geomorfológica do terreno para compreender as suscetibilidades do meio físico.

A partir do MDE e utilizando as ferramentas do *ArcToolbox /3D Analyst Tools/Raster Surface*, do Software ArcGIS, foram geradas as cartas com base no MDE, são elas:

#### **4.3.1.1. HIPSOMETRIA**

A carta hipsométrica foi obtida através da reclassificação do MDE em classes altimétricas referenciadas ao nível do mar.

#### **4.3.1.2. DECLIVIDADE**

“Devido à sua estreita associação com processos de transporte gravitacional (escoamento, erosão, deslizamento), a declividade do terreno é uma variável básica para a segmentação de áreas em praticamente todos os procedimentos de planejamento territorial” (Valeriano, 2008)

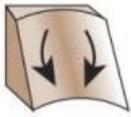
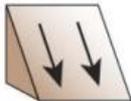
A declividade é uma das variáveis de relevo que determina o equilíbrio de uma encosta, o que influencia fortemente a suscetibilidade de ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa. Além disso, a declividade define uma maior ou menor capacidade de escoamento ou infiltração no terreno. (Carmo et al, 2016; Bispo, 2018; Ahualli, 2019). A ferramenta utilizada para obter a declividade foi *Slope* do *ArcToolBox-Surface*, a partir da entrada do MDE da área de estudo.

#### **4.3.1.3. CURVATURA DE TERRENO**

A curvatura do terreno é utilizada para descrever processos de migração e acúmulo de água, bem como na velocidade em que o fluxo hídrico ocorre, e possibilita a identificação de áreas passíveis de ocorrência de fenômenos geodinâmicos, tais como: processos erosivos, inundação e alagamentos. BITAR et al. (2014).

Existem dois tipos de curvatura, a vertical (perfil) que influencia a aceleração e desaceleração do fluxo pela superfície, e divide-se em: convexa, côncava e linear. O outro tipo de curvatura é a horizontal (plana), que afeta a convergência e divergência do fluxo, e divide-se em: convergente, divergente ou planar. A Tabela 4.4 apresenta de modo resumido as características principais da curvatura de terreno.

Tabela 4.4: Tipos de Curvaturas e sua representação

<b>Curvatura Vertical</b>	<b>Representação</b>	<b>Curvatura Horizontal</b>	<b>Representação</b>
Côncavo (-) é indicadora de desaceleração do fluxo.		Convergente (-) indicadora de convergência de fluxo	
Linear (nula) - superfícies lineares		Planar (nula) – Superfícies lineares	
Convexo (+), é indicadora de fluxo acelerado.		Divergente (+) indicadora de divergência de fluxo	

A combinação das classes de curvatura podem ser indicativos da forma relevo e como descreveu Silva Júnior (2019):

“A análise das curvaturas do terreno possibilita a identificação de áreas passíveis de ocorrência de fenômenos geodinâmicos, tais como:

- Inundação e alagamentos - Caso estejam sobre influência de corpos de água, as curvaturas horizontalizadas ou planas estão sujeitas a acúmulo de água.
- Fluxo de detritos - Vertentes convergentes são favoráveis à concentração de água, desde que as bacias de contribuição tenham área igual ou superior a 1 ha e linha de talvegue com declividades mínima de 17% (CPRM, 2018).
- Escorregamentos planares - As curvaturas de perfil convexas e retilíneas, associadas às altas declividades (>45%), pequenas espessuras de solo e amplitude altimétrica de 5 m favorecem a ocorrência desse tipo de movimento (CPRM, 2018).”

A carta de curvatura do terreno foi resultado da associação entre as curvaturas planas e de perfil em combinação com as classes de declividade, como apresenta a Figura 4.1. Os parâmetros utilizados foram os definidos na Tabela 4.5 por Ahualli, (2009).

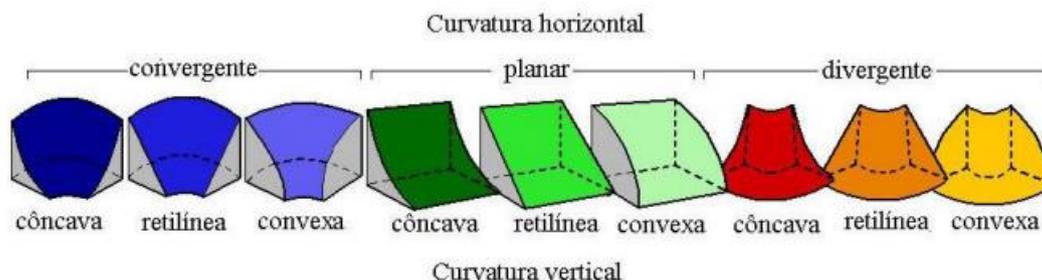


Figura 4.1: Classes de forma de relevo (Fonte: Valeriano,2008 apud Sevilla, 2016)

Tabela 4.5: Parâmetros da carta de formas de vertente (Fonte: Ahualli, 2019)

Plano de Curvatura	Parâmetros	Perfil de Curvatura	Parâmetros	Declividade
<b>Horizontalizada (H)</b>				< 3%
<b>Convergentes</b>	< -0,5 DP <sup>1</sup>	Côncavo	<-0,5 DP	> 3 e < 8%
<b>Planares</b>	>-0,5DP e < 0,5DP	Retilíneos	>0,5DP e < 0,5DP	>8 e < 40%
<b>Divergentes</b>	>0,5DP	Convexo	>0,5DP	>40%

DP = Desvio Padrão

#### 4.3.1.4. ORIENTAÇÃO DE VERTENTES

Por meio da ferramenta *Aspect* foi possível obter a orientação de vertentes que pode ser definida como o ângulo azimutal correspondente à maior inclinação do terreno, no sentido descendente. As classes geradas na ferramenta foram separadas em intervalos de orientação de vertentes (graus que variam de 0 a 360°) correspondendo as direções N, NE, E, SE, S, SW, W e NW. Quando esta variável é combinada à declividade pode indicar áreas de instabilidade frente a eventos pluviométricos intensos.

#### 4.3.1.5. DELINEAMENTO DE SUB-BACIAS

A delimitação de sub-bacias é importante para compreender a dinâmica hidrológica local, definindo a área de contribuição e parâmetros morfométricos da área. A execução desta tarefa foi feita no *software* QGIS, por meio do provedor de algoritmo SAGA (*System for Automated Geoscientific Analyses*), com a ferramenta *Chanel Network and Drainage Basins*. Essa ferramenta utiliza o algoritmo de direção de fluxo determinístico D8.

O algoritmo D8 define que o fluxo se direciona a partir de uma célula central para as células adjacentes de menor elevação. O número 8 significa as 8 direções possíveis para o fluxo simulando o comportamento natural do escoamento.

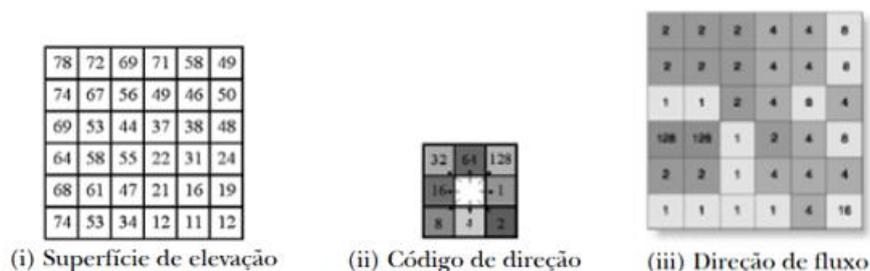


Figura 4.2: Etapas para a obtenção da direção de fluxo. (Fonte: ESRI® - ArcGis 10)

A partir da ferramenta *Chanel Network and Drainage Basins* é possível obter além da direção de fluxo, as bacias de drenagem, a ordem de Strahler (1945) de classificação dos cursos d'água, os canais de drenagem e os pontos de junção. A matriz de entrada para esse processamento foi o MDE da área de estudo.

Após a obtenção dos parâmetros, os mesmos foram validados ao serem analisados com a fotointerpretação da ortoimagem em escala 1:5.000 e nas drenagens disponibilizadas por bases de dados oficiais.

#### 4.3.1.6. AMPLITUDE DE RELEVO

Para a análise e classificação das formas de relevo utilizou-se a amplitude relativa. Na análise de uma bacia hidrográfica de relevo diversificado, é possível notar a variação das feições geomorfológicas ao analisar a modelagem da amplitude. De modo geral, a amplitude altimétrica é obtida pela diferença altimétrica entre o ponto mais alto e o ponto mais baixo da bacia.

Para este estudo considerou-se a metodologia utilizada por Ahualli (2019) que fez a análise baseada na definição das sub-bacias de terceira ordem, de forma que a amplitude relativa foi calculada, a partir dos pontos correspondentes aos níveis de base e da altitude absoluta, obtida a partir do MDE.

#### 4.3.1.7. ALTURA ACIMA DA DRENAGEM MAIS PRÓXIMA

O modelo HAND calcula a altura acima da drenagem mais próxima, utilizando a diferença entre a altitude extraída do MDE e a rede de drenagem de referência para calcular alturas relativas, que possuem correlação com a profundidade do lençol freático e com a topografia do terreno.” (Conceição e Simões, 2021) Ele foi utilizado na concepção da carta de suscetibilidade à inundação e alagamentos.

O modelo HAND foi desenvolvido no Brasil no projeto HAND em parceria entre o INPE e a CEMADEN, com financiamento do projeto GeoClima (CNPq), pelo Modelo Brasileiro do Sistema Terrestre (BESM Rede Clima) e por fundos do CEMADEN.

### **4.3.2. GEOMORFOLOGIA**

O estudo geomorfológico é obtido por meio da avaliação empírica de um conjunto de dados diversificados como análise de sensores remotos (fotografias aéreas, imagens de satélite e Modelo Digital de Elevação - MDE), levantamento bibliográfico, cartas de pedologia e geologia da área, análise da drenagem, etc.

Seguindo o conceito de Ross (1990), padrão de relevo baseia-se na identificação e representação espacial de determinado conjunto de formas de relevo que apresenta expressiva semelhança morfológica. A aplicação desta avaliação em estudos de planejamento territorial e gestão ambiental permite a análise das características físicas do meio e suas vulnerabilidades devido aos diversos usos de ocupação do solo. (CPRM,2021)

O mapeamento geomorfológico seguiu os procedimentos básicos do manual técnico de geomorfologia (IBGE, 20019) e o Guia Técnico de Padrões de Relevo (CPRM,2021). Primeiramente foram levantadas bibliografias de estudos já realizados na área e em áreas geomorfológicamente compatíveis, como Ferreira (1999), COHIDRO (2006), Bispo (2018), Tavares (2017), Menezes Jr (2015), Santos (2004), Rodrigues et al (2016) e outros.

Os documentos cartográficos obtidos que estavam em formato PDF foram digitalizados e georreferenciados em ambiente SIG, e além destes fez-se uso da análise de imagens de sensoriamento remoto e ortofoto.

Após os dados coletados, fez-se a interpretação temática iniciando pela análise da drenagem delimitada no item 4.3.1., que foi comparada com outras drenagens existentes para a área de estudo, como a disponibilizada pelo IMA (2007) para o estado inteiro, recortada para a BHP.

O Mapa gerado tem escala 1:50.000 é um mapa preliminar, este foi elaborado em conjunto com perfis topográficos da área. Para que o mapa fosse um mapa geomorfológico final, seria necessário a realização de trabalho de campo para a validação e consolidação das informações levantadas em gabinete, o que não foi possível nesta pesquisa.

### **4.3.3. GEOLOGIA**

O mapa geológico foi extraído a partir de um recorte do Mapa Geológico da Região Metropolitana de Maceió/AL e Adjacências realizado pelo CPRM em 2021, com escala de 1:150.000. (Alcantara & Sampaio, 2021)

### **4.3.4. SOLOS**

O mapa de Solos foi recortado do Zoneamento Agroecológico de Alagoas (ZAAL), que está na escala 1:100.000, executado pela Embrapa em 2006. A definição das características dos

solos, como textura, estrutura, porosidade, permeabilidade, profundidade e outras, influenciam na definição do grau de suscetibilidade do solo à processos erosivos e movimentos de massa.

#### 4.3.5. PRECIPITAÇÃO

A maioria dos processos de instabilidade de encostas, ocorre durante as estações chuvosas, em eventos com intensidade pluviométrica significativa. É possível observar esta importância do estudo da precipitação quando se compara um evento de precipitação de curta duração com um Tempo de Retorno elevado, 10.000 anos por exemplo, que se trata de uma chuva com alto potencial destrutivo, com uma chuva de longa duração com um baixo TR, 2 anos por exemplo, que é mais recorrente e facilita as ações da defesa civil.

Pelo fato de não haver estações pluviométricas na extensão da bacia, foi necessário realizar a espacialização da chuva, utilizando os dados de precipitação média anual das estações pluviométricas. Utilizou-se para tal o método de interpolação denominado Inverso do Quadrado da Distância (IQD) ou *Inverse Distance Weighted* (IDW) que considera a distância entre os dados para a determinação do peso de cada variável na interpolação.

Foram utilizados dados de estações localizadas no entorno da bacia, levando em consideração que a influência da estação está relacionada à área de contribuição de cada posto. As estações selecionadas para o estudo estão disponíveis no site da Agência Nacional de Águas (ANA) por meio do Sistema de Informações Hidrológicas (Hidroweb) (Tabela 4.6, Figura 4.3 – 4.5), vale destacar que só foram considerados os anos que não apresentavam falhas no período de quadra chuvosa (abril a julho).

Tabela 4.6: Estações analisadas no estudo de precipitação

<b>Estação</b>	<b>Código</b>	<b>Período</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>
<b>Saúde</b>	935024	1963 – 1991, 1994	-9,53	-35,63
	935060	1912 - 2008		
<b>Usina Utinga Leão</b>			-9,46	-35,85
	935004	1961 - 2019		
<b>Maceió (tabuleiro)</b>			-9,55	-35,77
<b>Rio Largo</b>	935021	1963 - 2000		-35,83
			-9,48	

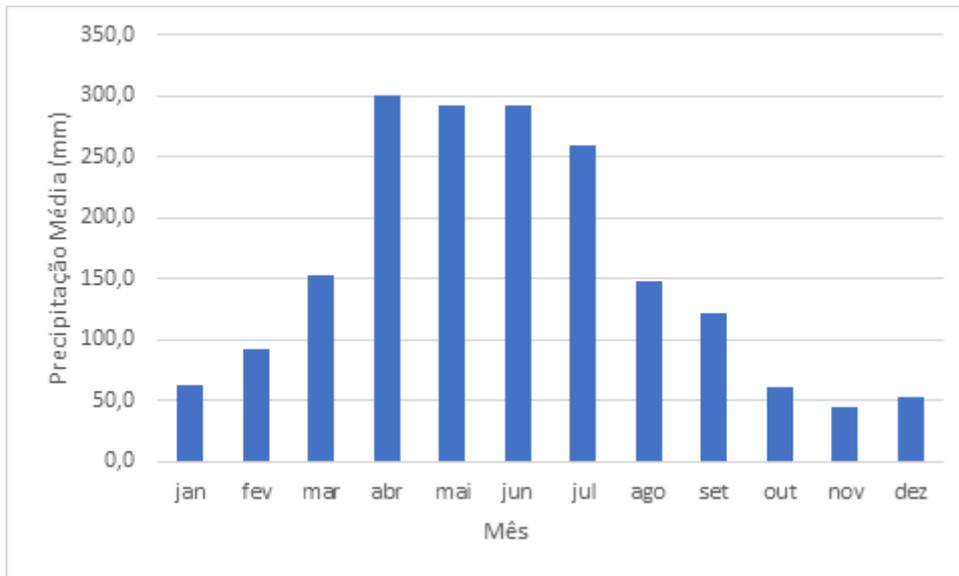


Figura 4.3: Precipitação média mensal (mm), estação Saúde, período 1963-1991 e 1994

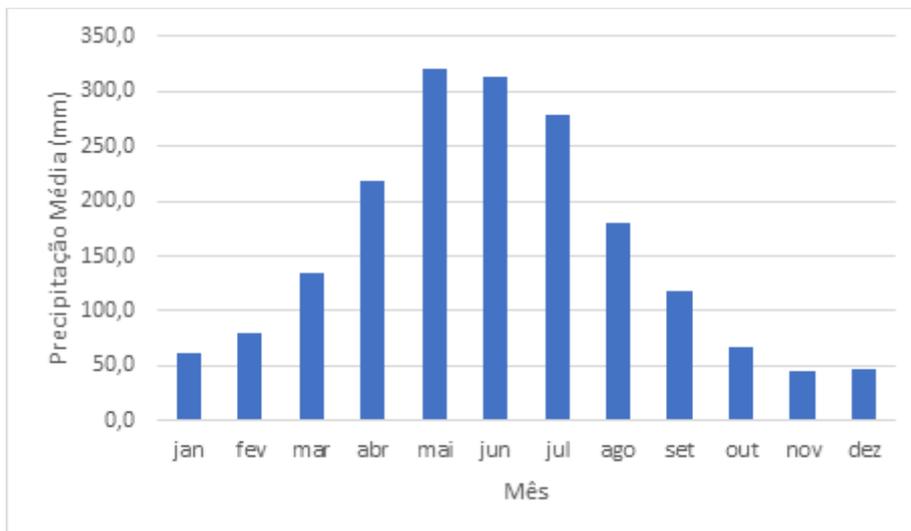


Figura 4.4: Precipitação média mensal (mm), estação Utinga Leão, 1912-2008

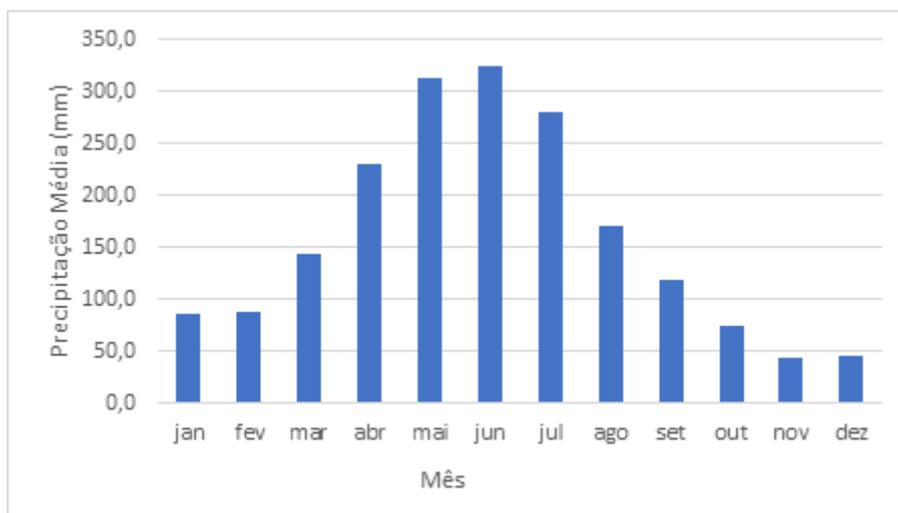


Figura 4.5: Precipitação média mensal (mm), estação Maceió (tabuleiro), 1961-2019

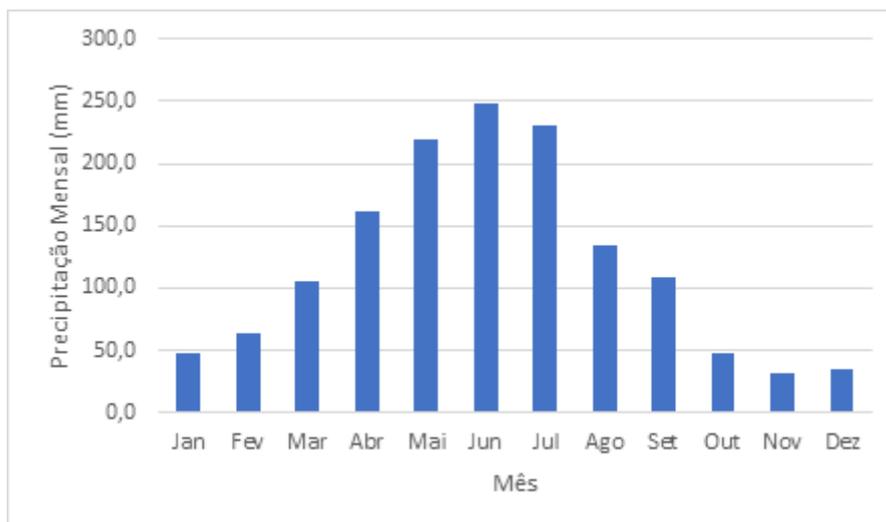


Figura 4.6: Precipitação média mensal (mm), estação Rio Largo, período 1963-2000

#### 4.3.6. MAPA DE USO E OCUPAÇÃO

O mapa de uso e Ocupação foi realizado tomando por base nas imagens obtidas do satélite Dove, sensor Planet, que fornece uma imagem multiespectral com 3 metros de resolução espacial, datada de abril de 2021. Estas imagens foram mosaicadas compondo uma imagem única que passou pelos seguintes processos de tratamento: correção atmosférica para melhor a qualidade da imagem diminuindo os efeitos atmosféricos sobre ela, realce da imagem para melhorar a qualidade visual, visando facilitar o processo e classificação.

Foi utilizada a metodologia de classificação supervisionada, pelo software ArcGIS, utilizando a ferramenta *Image Classification* utilizando *Maximum Likelihood Classification*.

A classificação supervisionada utiliza de amostras de treinamento escolhidas pelo analista (pesquisador) de acordo com as classes de uso do solo identificadas na imagem.

#### 4.3.7. MAPA DE RESTRIÇÕES AMBIENTAIS

O mapa de restrições ambientais seguiu o que é determinado pelo código florestal. Lei 12.651/2012, que define as áreas de Proteção Permanentes (APP), considerando para a área de estudo APPs, as florestas e demais formas de vegetação natural situadas:

“Art. 4º Considera-se Área de Preservação Permanente, em zonas rurais ou urbanas, para os efeitos desta Lei:

I - 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:

- a) 30 (trinta) metros, para os cursos d’água de menos de 10 (dez) metros de largura;
- b) 50 (cinquenta) metros, para os cursos d’água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;
- c) 100 (cem) metros, para os cursos d’água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;

d) 200 (duzentos) metros, para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura;

e) 500 (quinhentos) metros, para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros;

II - as áreas no entorno dos lagos e lagoas naturais, em faixa com largura mínima de:

a) 100 (cem) metros, em zonas rurais, exceto para o corpo d'água com até 20 (vinte) hectares de superfície, cuja faixa marginal será de 50 (cinquenta) metros;

b) 30 (trinta) metros, em zonas urbanas;

III - as áreas no entorno dos reservatórios d'água artificiais, decorrentes de barramento ou represamento de cursos d'água naturais, na faixa definida na licença ambiental do empreendimento;

IV - as áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes, qualquer que seja sua situação topográfica, no raio mínimo de 50 (cinquenta) metros;

V - as encostas ou partes destas com declividade superior a 45°, equivalente a 100% (cem por cento) na linha de maior declive;

VI - as restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues;

VII - os manguezais, em toda a sua extensão;

VIII - as bordas dos tabuleiros ou chapadas, até a linha de ruptura do relevo, em faixa nunca inferior a 100 (cem) metros em projeções horizontais;

IX - no topo de morros, montes, montanhas e serras, com altura mínima de 100 (cem) metros e inclinação média maior que 25°, as áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a 2/3 (dois terços) da altura mínima da elevação sempre em relação à base, sendo esta definida pelo plano horizontal determinado por planície ou espelho d'água adjacente ou, nos relevos ondulados, pela cota do ponto de sela mais próximo da elevação;

X - as áreas em altitude superior a 1.800 (mil e oitocentos) metros, qualquer que seja a vegetação;

XI - em veredas, a faixa marginal, em projeção horizontal, com largura mínima de 50 (cinquenta) metros, a partir do espaço permanentemente brejoso e encharcado. “

Com relação as limitações urbanísticas, a lei N° 6.766, de 19 de dezembro de 1979, que dispõe sobre o parcelamento do solo em seu artigo 3º não permite o parcelamento do solo em terrenos com declividade igual ou superior a 30% (trinta por cento).

#### **4.4. CARTAS GEOTÉCNICAS DE SUSCETIBILIDADE**

##### **4.4.1. CARTA DE SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÕES E ALAGAMENTO**

A suscetibilidade da inundação foi avaliada utilizando uma adaptação da metodologia proposta por BITAR et al. (2014) e a Nota Técnica para elaboração de modelagens de inundação publicada pelo CPRM, Conceição e Simões (2021).

O procedimento metodológico envolve a análise dos produtos obtidos a partir da análise do MDE e da compartimentação geomorfológica. A partir do mapeamento dos padrões de relevo, são recortadas as morfologias mais suscetíveis à inundação, no caso as planícies fluviais e fluvio-marinhas. Essas áreas são utilizadas para recortar os dados altimétricos do MDE e os dados do HAND, estes foram reclassificados por meio do algoritmo de Lógica *Fuzzy*, com classe *MSSmall* (os valores menores tendendo a uma associação mais próxima de 1).

Como define Câmara et. Al. (2001): “O conjunto *Fuzzy* é uma metodologia de caracterização de classes, que por várias razões não tem ou não pode definir limites rígidos (bordas) entre classes.”. A lógica *Fuzzy* utiliza uma função de pertinência para determinar qual será o resultado mediante o atributo do dado de entrada.

Para esta modelagem, utilizou-se da ferramenta “*Fuzzy Membership*”, que utiliza de um algoritmo de fuzzificação determinado para retornar o dado de entrada na escala entre 0 e 1. O algoritmo utilizado foi o “*FuzzyMSSmall*”, este utiliza uma função baseada na média e no desvio padrão, de acordo com a ESRI (2019), existem duas equações pra a função *MSSmall* que depende do produto de  $a * m$ :

```
• If  $x > a * m$ :  

$$u(x) = (b * s) / (x - (a * m) + (b * s))$$
  
  onde:  
    m = média  
  
    s = desvio padrão  
  
    a = multiplicador da média  
  
    b = multiplicador do desvio padrão  
  
    Os multiplicadores a e b são parâmetros de entrada.  
  
• If  $x \leq a * m$ :  

$$u(x) = 0$$

```

Figura 4.7: Função *MSSmall*, (Fonte: ESRI,2023)

Após a ferramenta “*Fuzzy Membership*” retornar os valores altimétricos entre 0 e 1, considerou-se que para os valores mais próximos de 1 tendem a pertencer a áreas mais baixas, portanto, inundáveis. Posteriormente esse raster é reclassificado utilizando o método do quantil,

variando de 1 (menos suscetível) a 3 (mais suscetível). O método do quantil é um método estatístico que permite a criação de áreas baseado em um critério de intervalos regulares de frequência. Assim, os dados da distribuição foram divididos em 4 partes, cada uma representando 25 % dos dados. O valor 3 corresponde ao primeiro e segundo quartil, o valor 2 corresponde ao terceiro quartil e o valor 1 ao quarto quartil.

Para o modelo HAND, o resultado foi reclassificado considerando que em áreas mais baixas (em relação a drenagem) recebem peso 3, por serem mais suscetíveis e as áreas mais altas, peso 1 por serem menos suscetíveis, a intermediária recebeu o valor 2. Assim como na etapa anterior, a reclassificação utiliza do método do quartil para a delimitação das classes.

Segundo Conceição e Simões (2019),” a aplicação de lógica fuzzy é particularmente importante na delimitação das classes de suscetibilidade do HAND, tendo em vista a complexidade e as incertezas presentes na definição de seus limiares”. Outra questão a ser levantada é o fato de a metodologia não utilizar dados de série histórica de chuva ou vazão dos cursos d’água.

Em seguida os *rasters* gerados nas etapas precedentes são somadas por meio de álgebra de mapas, ferramenta raster *calculator*. O resultado obtido é classificado de acordo com a Tabela 4.7.

Tabela 4.7: Classificação da suscetibilidade a inundações. (Fonte: Conceição e Simões, 2021)

<b>Resultado da Operação Aritmética</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
<b>Classe</b>	Baixa	Baixa	Baixa	Média	Média	Alta	Alta

Para o mapeamento da suscetibilidade à alagamento, os dados do HAND foram recortados em uma área que ocupa parte do bairro do Benedito Bentes e Cidade Universitária, além de um trecho do município de Rio Largo que estão inseridos na Bacia Endorreica do Tabuleiro e historicamente trata-se de uma região de alagamento. O que pode ser visto através da análise de imagens de satélite, pela presença de considerável quantidade de lagoas de retenção, e de áreas úmidas identificadas nas imagens de satélite.

#### **4.4.2. CARTA DE SUSCETIBILIDADE À MOVIMENTO DE MASSA**

O primeiro passo para a aplicação da metodologia AHP é a definição dos critérios que serão utilizados para a construção da carta de suscetibilidade, já que a quantidade de critérios e a relação de importância entre eles define a configuração da matriz de correlação para par.

Os mapas temáticos utilizados foram: uso e ocupação do solo, geomorfológico, solos, declividade e orientação de vertente (forma do terreno).

Assim, tendo em vista que para a ocorrência de movimentos de massa os fatores que influenciam de forma mais intensa são a declividade, principalmente em áreas de encostas e topos de morro de declividade acentuada, e a forma da vertente, já que esta influência na velocidade e na direção de escoamento na ocorrência de chuvas.

Os fatores que seguiram foram solos, geomorfologia, respectivamente, já que os dois primeiros são essenciais para a determinação do grau de fragilidade do solo e da capacidade deste em suportar as alterações antrópicas ou eventos de precipitação extremas, assim o peso do critério “solo” foi ligeiramente maior, visto que em casos de deslizamentos, os aspectos pedológicos, mais superficiais, poderiam se sobrepor aos geológicos.

O uso e ocupação ficou com o menor peso pois apesar de as alterações antrópicas serem agentes desencadeadores de suscetibilidade à movimentos de massa, ao deixar o solo exposto ou ao ocupar uma área de elevada declividade ou fazer um corte em um talude, para que o desastre ocorra de fato, as condições físicas tem que ser favoráveis.

A seguir, é apresentado a seguir as matrizes calculadas para esta pesquisa:

Tabela 4.8: Matriz quadrada de correlação par a par (Movimento de Massa).

<b>Crítérios</b>	<b>Uso</b>	<b>Geomorfológico</b>	<b>Solos</b>	<b>Declividade</b>	<b>Curvatura de Terreno</b>
<b>Uso</b>	1,00	0,50	0,50	0,25	0,25
<b>Geomorfológico</b>	2,00	1,00	0,50	0,25	0,33
<b>Solos</b>	2,00	2,00	1,00	0,25	0,33
<b>Curvatura de Terreno</b>	5,00	3,00	3,00	1,00	1,00
<b>Declividade</b>	5,00	4,00	4,00	1,00	1,00

Tabela 4.9: Matriz de Normalização de Valores (Movimento de Massa).

<b>Crítérios</b>	<b>Uso</b>	<b>Geomorfológico</b>	<b>Solos</b>	<b>Declividade</b>	<b>Curvatura de Terreno</b>	<b>Peso</b>
<b>Uso</b>	0,07	0,05	0,06	0,07	0,07	6%
<b>Geomorfológico</b>	0,13	0,10	0,06	0,09	0,12	10%
<b>Solos</b>	0,13	0,19	0,11	0,09	0,12	13%
<b>Curvatura de Terreno</b>	0,33	0,29	0,33	0,37	0,35	33%
<b>Declividade</b>	0,33	0,38	0,44	0,37	0,35	38%

O Índice De Consistência foi de 0,025, e o Índice Randômico foi de 1,11, ao aplicar a equação 1, foi obtida a Razão de Consistência de 0,022, sendo menor do que 0,1, limite máximo

definido por Saaty (2008) para que a consistência seja aceitável. Assim a equação AHP para o cálculo da carta de suscetibilidade a movimento de massa utilizada nessa pesquisa é:

$$\text{Equação AHP} = \text{uso e ocupação} * 6\% + \text{geomorfológico} * 10\% + \text{solos} * 13\% + \text{declividade} * 38\% + \text{curvatura de terreno} * 33\% \quad (\text{Equação 3})$$

O *raster* obtido com a equação 3, retornou valores entre 1 e 3, assim, para a definição das classes de suscetibilidade Baixa, Média e Alta, foram analisados diversos métodos de classificação e segmentação, tomando por base a declividade, já que em áreas de baixa suscetibilidade à movimento de massa, não pode haver declives elevados, e em áreas planas não faz sentido haver alta suscetibilidade à movimento de massa.

Assim, o método que melhor se ajustou foi método de quebras naturais, que é uma classificação de minimização de variância (Longley et al, 2015). Nesta classificação as quebras de classe buscam agrupar valores semelhantes, com limites que expressam uma grande diferença de valores entre os dados. O algoritmo das quebras naturais funciona da seguinte maneira:

“ Algoritmo de quebras naturais de Jenks:

Passo 1: O usuário seleciona o atributo,  $x$ , a ser classificado e especifica o número de classes necessárias,  $k$ ;

Passo 2: Um conjunto de valores  $k-1$  aleatórios ou uniformes são gerados no intervalo  $[\min\{x, \max\{x\}]$ . Estes são usados como limites de classe iniciais;

Passo 3: São calculados os valores médios de cada classe inicial, em seguida é calculada a soma dos desvios quadrados dos membros da classe dos valores médios. A soma total dos desvios ao quadrado (TSSD) é registrada;

Passo 4: Os valores individuais em cada classe são sistematicamente atribuídos a classes adjacentes, ajustando os limites de classe para ver se o TSSD pode ser reduzido;

Trata-se de um processo iterativo que termina apenas quando a variância dentro da classe é a menor possível e a variância entre classes é a maior possível. Todo o processo pode ser repetido a partir da Etapa 1 ou 2 e os valores de TSSD comparados.” (Smith et al., 2021)

#### **4.4.3. CARTA DE SUSCETIBILIDADE À EROSÃO HÍDRICA**

O uso e ocupação do solo de forma não planejada acarreta em impactos ambientais significativos, além do surgimento de áreas suscetíveis a erosão. Quando a ocupação desordenada acontece em bacias hidrográficas de importância para o município, há diretrizes políticas e legais que direcionam esse uso, estas geralmente não são respeitadas e tampouco asseguradas por fiscalização governamental.

Para haver uma ampla visão de uma área para que seja ocupada de maneira ambientalmente sustentável, é necessário incorporar ao planejamento ambiental a aplicação legal que exige o uso de mapeamento geotécnico que permita visualizar a distribuição dos componentes físicos da área e sua relação com os demais componentes, sejam eles antrópicos ou ambientais, favorecendo uma visão integrada que permita a compreensão das fragilidades locais.

Neste contexto, a diversidade de usos do solo de uma bacia hidrográfica pode desencadear processos de degradação dos solos, a depender do tipo de rocha dominante, do grau de declividade do terreno e do tipo de solo, além dos fatores climáticos, principalmente as chuvas que, podem gerar de erosões, assoreamento de mananciais e enchentes.

No caso da Carta de Suscetibilidade à Erosão realizada por uso da metodologia AHP, os critérios selecionados foram uso e ocupação do solo, Curvatura do Terreno, Solos, declividade e Geológico e Precipitação.

Assim, é apresentado a seguir as matrizes calculadas para a análise AHP para suscetibilidade à erosão:

Tabela 4.10: Matriz de correlação par a par (Erosão)

<b>Crítérios</b>	<b>Uso</b>	<b>Curvatura</b>	<b>Solos</b>	<b>Declividade</b>	<b>Geológico</b>	<b>Precipitação</b>
<b>Uso</b>	1,00	0,33	0,33	0,33	1,00	1,00
<b>Curvatura</b>	3,00	1,00	0,50	1,00	1,00	0,50
<b>Geológico</b>	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
<b>solos</b>	3,00	2,00	1,00	1,00	1,00	0,50
<b>Declividade</b>	3,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
<b>Precipitação</b>	1,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00

Tabela 4.11: Matriz de Normalização de Valores (Erosão)

<b>Crítérios</b>	<b>Uso</b>	<b>Curvatura</b>	<b>Solos</b>	<b>Declividade</b>	<b>Geológico</b>	<b>Precipitação</b>	<b>Peso</b>
<b>Uso</b>	0,08	0,05	0,06	0,06	0,17	0,20	10%
<b>Curvatura</b>	0,25	0,14	0,09	0,19	0,17	0,10	15%
<b>Geológico</b>	0,08	0,14	0,17	0,19	0,17	0,20	16%
<b>solos</b>	0,25	0,27	0,17	0,19	0,17	0,10	19%
<b>Declividade</b>	0,25	0,14	0,17	0,19	0,17	0,20	19%
<b>Precipitação</b>	0,08	0,27	0,34	0,19	0,17	0,20	21%

O Índice De Consistência foi de 0,09, e o Índice Randômico foi de 1,25, ao aplicar a equação 1, foi obtida a Razão De Consistência de 0,07, sendo menor do que 0,1, limite máximo definido por Saaty (2008) para que a consistência seja aceitável. Assim a equação AHP para o cálculo da Carta de Suscetibilidade a Erosão Hídrica utilizada nessa pesquisa é:

Equação AHP = curvatura do terreno \* 15% + uso e ocupação \* 10% + solos \* 19% + declividade \* 19% + geológico \* 16% + precipitação \* 21% (Equação 4)

O raster obtido com a equação 4, foi classificado pelo método do quantil, em baixa, média, alta, este método foi o que melhor se adequou aos dados de entrada. As vantagens desse método estão em enfatizar diferenças no meio da faixa de valores além de não gerar classes vazias. Já a desvantagem está em classificar feições similares em classes diferentes, bem como feições dissimilares classificadas em uma mesma classe. (Ramos et al., 2016)

#### 4.5.CARTA GEOTÉCNICA DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO

A carta geotécnica de Aptidão à Urbanização foi modelada a partir da combinação dos produtos cartográficos produzidos nas etapas anteriores: cartas de suscetibilidade à inundação e alagamento, erosão e movimento de massa, mapas de restrições ambientais e de uso e ocupação. Tal combinação seguiu o modelo booleano para a obtenção das classes de aptidão, já que envolve a combinação lógica de mapas binários através de operadores condicionais, não permitindo resultados intermediários, apenas “SIM” e “NÃO”.

A lógica booleana utiliza operadores lógicos, assim como na teoria de conjuntos, assim o operador “E” é a intersecção de conjuntos, “OU” é a união, “XOR” retorna o resultado que pertence aos conjuntos envolvidos, mas não aos dois ao mesmo tempo, já o “NÃO” é o operador da diferença. (Câmara et. al., 2001)

Para tal as cartas foram reclassificadas da seguinte forma: os *shapes* das áreas de restrição ambiental e de uso do solo (classes de aeroporto e centro de tratamento de resíduos) foram convertidos para raster e classificados com o valor 0, representando a classe de aptidão nula. Já para as cartas de suscetibilidade seguiu-se a seguinte tabela:

Tabela 4.12: Reclassificação de valores das cartas de suscetibilidade e a carta de aptidão urbana

<b>Aptidão Urbana</b>	<b>Suscetibilidade à Movimento de Massa</b>	<b>Suscetibilidade à Erosão</b>	<b>Suscetibilidade à Inundação e Alagamento</b>
<b>Baixa (1)</b>	Alta (3)	Alta (3)	Alta (3)
<b>Média (2)</b>	Média (2)	Média (2)	Média (2)
<b>Alta (3)</b>	Baixa (1)	Baixa (1)	Baixa (1)

A modelagem utilizou das ferramentas de SIG: *reclassify* para alterar os valores das classes e adequá-los para as 3 classes de aptidão (alta, média e baixa). Para a união dos dados utilizou-se da lógica de que existe uma ordem de prioridade:

- As áreas que receberam o valor 0 se sobrepõem sobre as outras;
- As áreas que receberam o valor 1 se sobrepõem sobre as de valor 2 e 3;
- As áreas de valor 2 se sobrepõem sobre as de valor 3.

Para realizar a operação booleana por meio do software ArcGIS, utilizou-se da ferramenta “mosaic to new raster”, inserindo os dados de entrada e escolhendo a função “minimum”, que combina as informações de modo a sobrepor os valores menores em detrimento dos maiores.

A lógica Booleana foi escolhida por se tratar de um problema que envolve legislações estabelecidas e dados que apresentam classes fixas determinadas.

## 5. RESULTADOS

### 5.1. MAPAS BÁSICOS

#### 5.1.1. MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO E PRODUTOS DERIVADOS

Após o processamento do MDE, o *raster* foi recortado para a área de estudo e reclassificado de 10 em 10 metros para a obtenção do Mapa Hipsométrico da Bacia do Rio Pratagy elaborado na escala 1:50.000. (Apêndice 1) A Figura 5.1 mostra um recorte do mapa, em que é possível observar a um mapa hipsométrico da Bacia do Pratagy, em que as áreas mais baixas estão nas planícies fluviais e marinhas e as mais altas estão no tabuleiro, ressalta-se que a nascente do rio Pratagy está localizada na faixa de altitude de a 150-180 m, região marcada pela presença de rochas cristalinas.

A partir da Figura 5.2, que apresenta a distribuição das classes hipsométricas na área da BHP, observa-se que 21,19% da área está entre as elevações de 100-120m, seguido por 120-150mm, com 17,31%.

A Figura 5.3 apresenta a curva hipsométrica da área de estudo, ela é a representação gráfica do relevo médio da bacia, a partir dela é possível observar que 40% da área da bacia está acima de 112m.

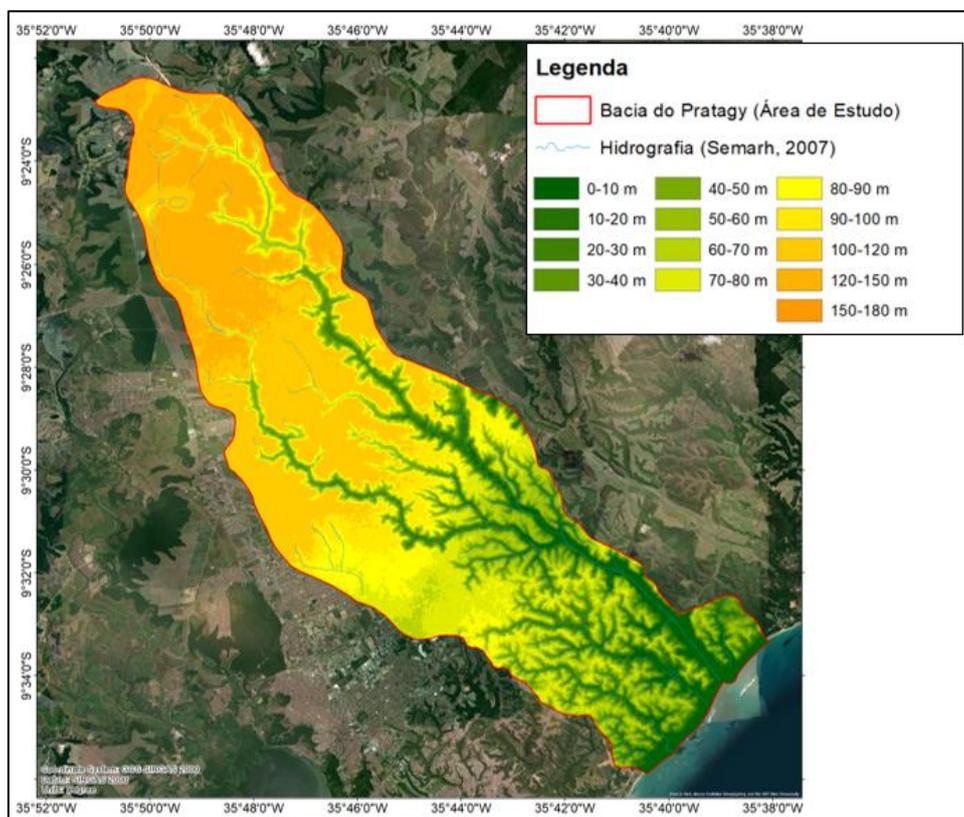


Figura 5.1: Recorte do Mapa Hipsométrico da BHP

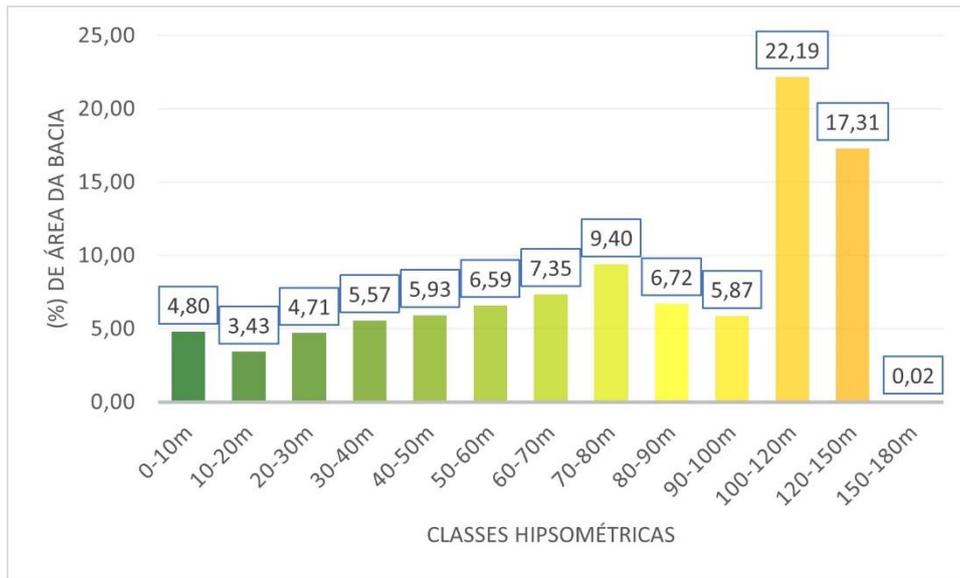


Figura 5.2: Porcentagem das classes hipsométricas na área de estudo

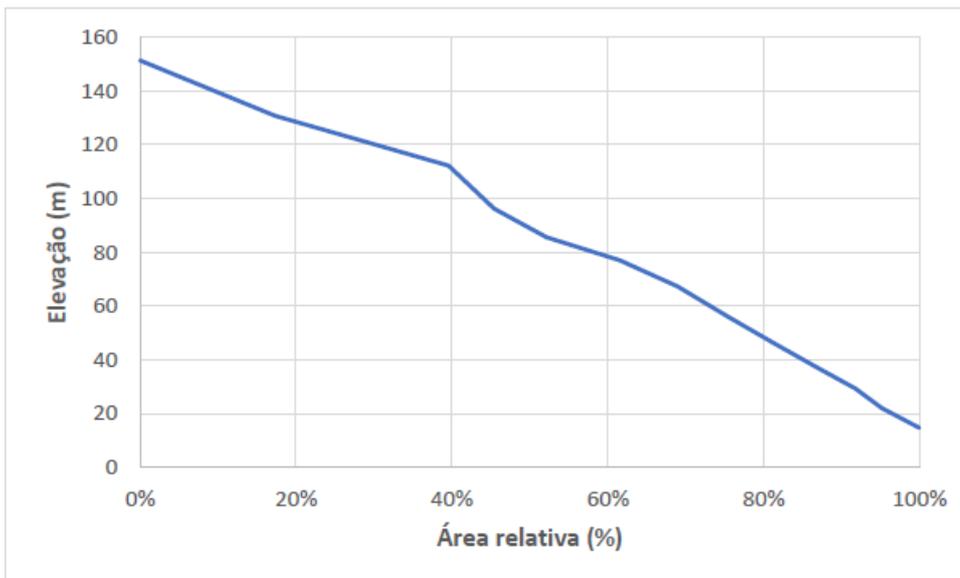


Figura 5.3: Curva Hipsométrica da BHP

O mapa de declividade da Bacia do Pratagy, elaborado na escala 1:50.000, foi gerado a partir da ferramenta *slope*, sendo o dado de entrada o MDE tratado. A ferramenta gerou um *raster* em porcentagem que foi reclassificado em 6 classes, seguindo a classificação da Embrapa. (Apêndice 2)

De acordo com os dados apresentados na Figura 5.4 e na Figura 5.5 observou-se 44% da área apresenta declives planos (< 3%) e suavemente ondulados (3% - 8%); os declives fortemente ondulados (20% - 45%), correspondem à 23% da área destacada e são os locais em que o relevo de tabuleiros dissecados e tabuleiros costeiros apresentam encostas acentuadas.

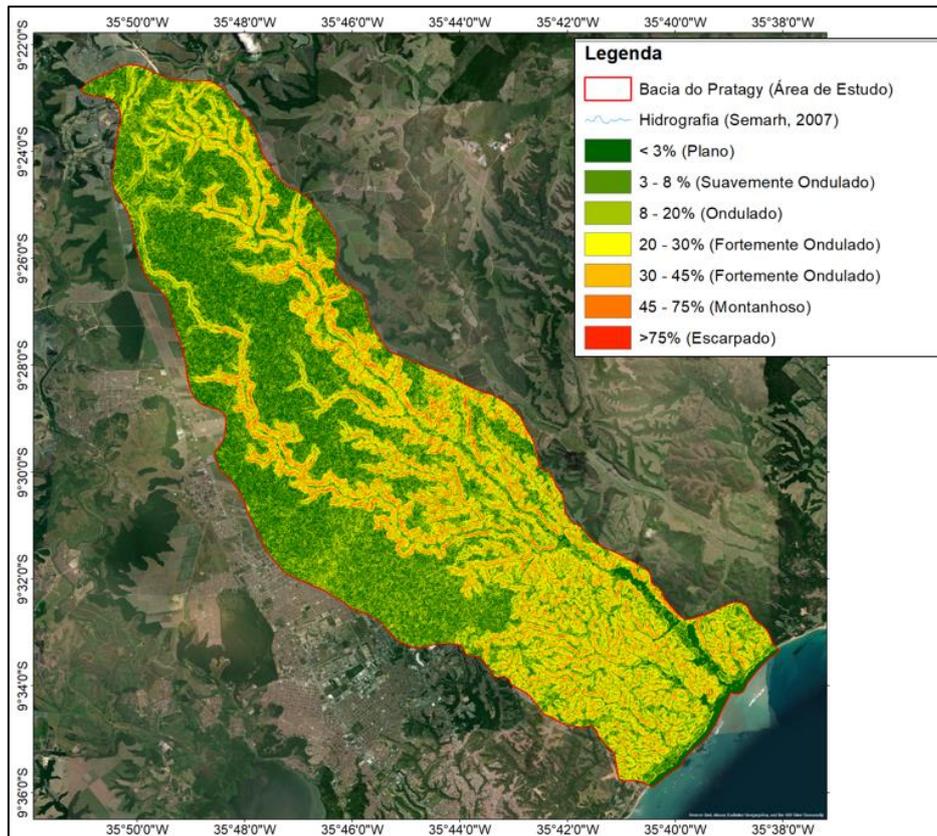


Figura 5.4: Recorte do Mapa de Declividade para a BHP

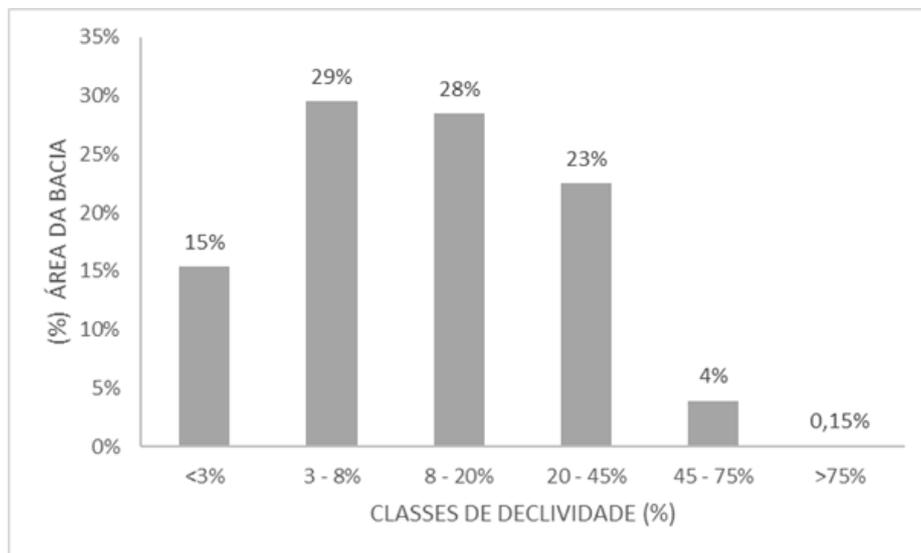


Figura 5.5: Porcentagem das classes de declividade na área de estudo

Com relação as formas de vertentes, foi elaborado um mapa na escala 1.50.000, a partir da análise da curvatura do terreno com a declividade. (Apêndice 3) O recorte do mapa é mostrado na Figura 5.6, nele foi considerado como forma horizontalizada toda área plana, com declividade inferior a 3%, esta classe ocupa 34% da área da bacia, que juntamente com a classe

de 3-8%, apresentam elevado potencial de ocorrência de inundações. As demais áreas foram classificadas pelo cruzamento entre as curvaturas verticais e horizontais.

As formas planar – convexa, divergente-convexa e divergente-retilínea estão presentes em 28% da área, elas apresentam baixa suscetibilidade para ocorrência de movimentos de massa, já que nelas o fluxo é disperso e não causa danos na encosta.

As áreas de curvatura côncava são marcadas por elevada declividade e em áreas de vales, estas formas intensificam a suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa, já que aceleram o fluxo hídrico, na área as classes convergentes – côncava e planar-côncava ocupam 20% da área da BHP, a classe divergente-côncava ocupa 2% da área.

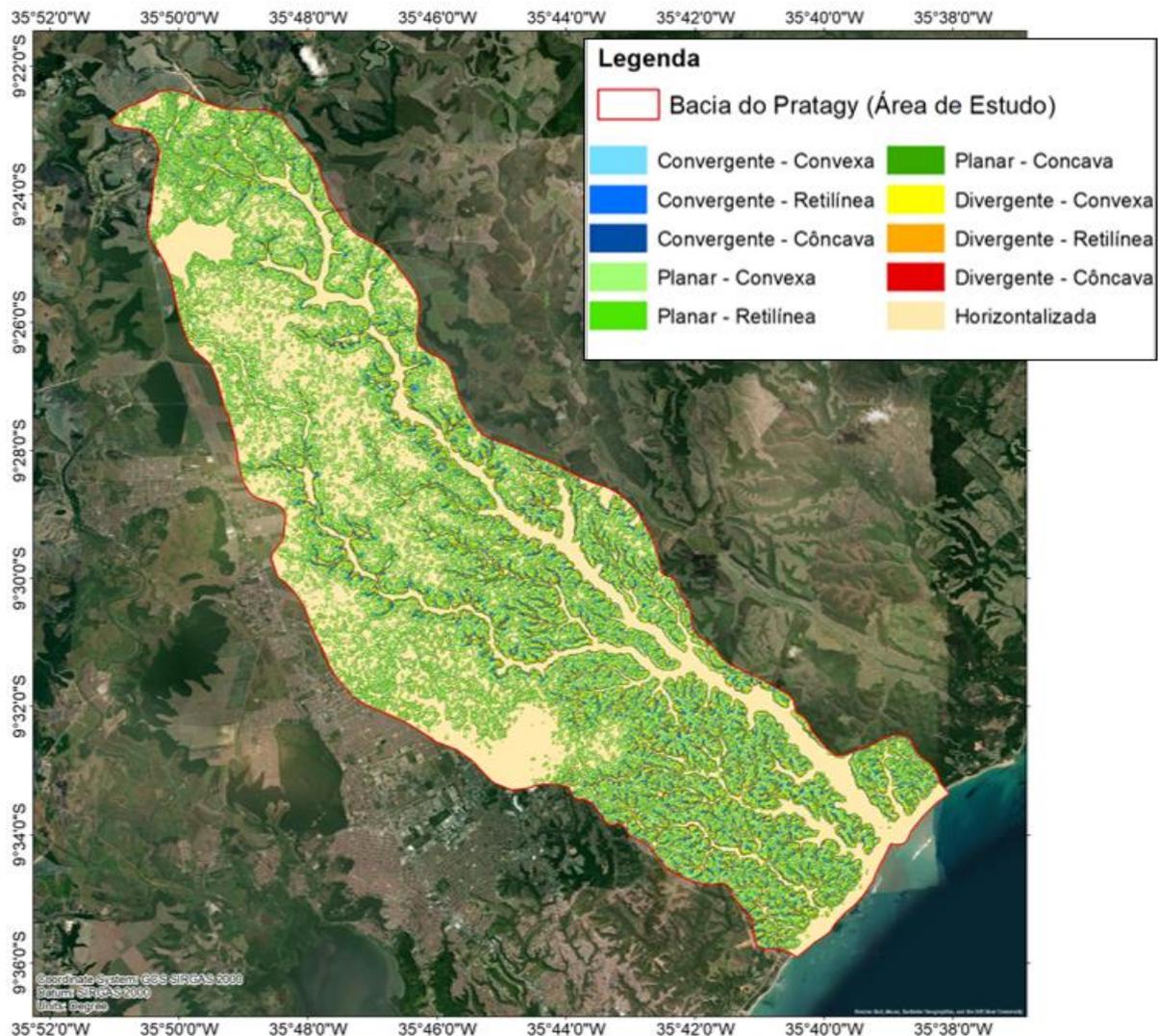


Figura 5.6: Recorte do Mapa de Formas de Vertente

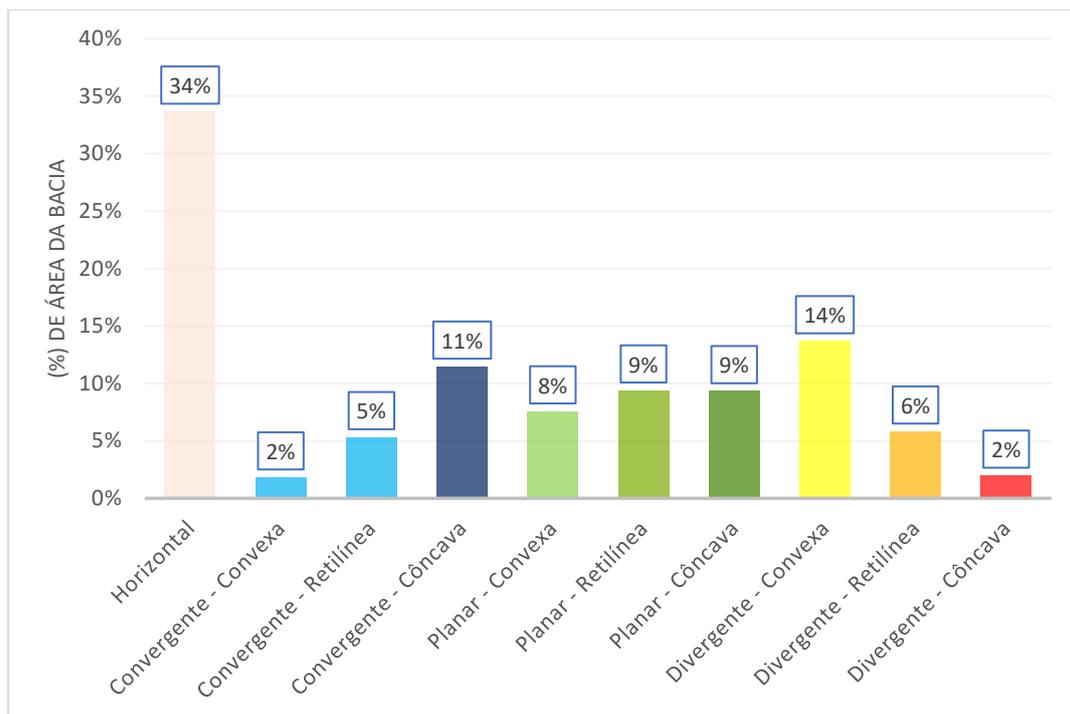


Figura 5.7: Porcentagem das classes de formas de vertente na área de estudo

A Figura 5.8 apresenta as informações da BPH sobre a amplitude relativa da área, nela é evidente que as áreas de maior amplitude estão localizadas na área central da BHP, principalmente de declividade fortemente ondulada em que há presença dos vales dos cursos d'água.

As áreas de menor amplitude correspondem à praia, a região noroeste em que existem áreas de cultivo de cana-de açúcar e a área ao sudoeste da BHP, correspondente à bacia endorréica do tabuleiro, que é uma bacia que seu fluxo hídrico não tem saída superficial, por rios, até o mar, esta área é suscetível à alagamentos.

É importante destacar que esta região passou por um forte processo de urbanização na última década o que resultou na impermeabilização do solo, diminuindo significativamente a infiltração de água da chuva, causando significativa diminuição no nível do lençol freático e redução das taxas de exploração dos poços tubulares que captam as águas subterrâneas. (Almeida e Ferreira Neto, 2015)

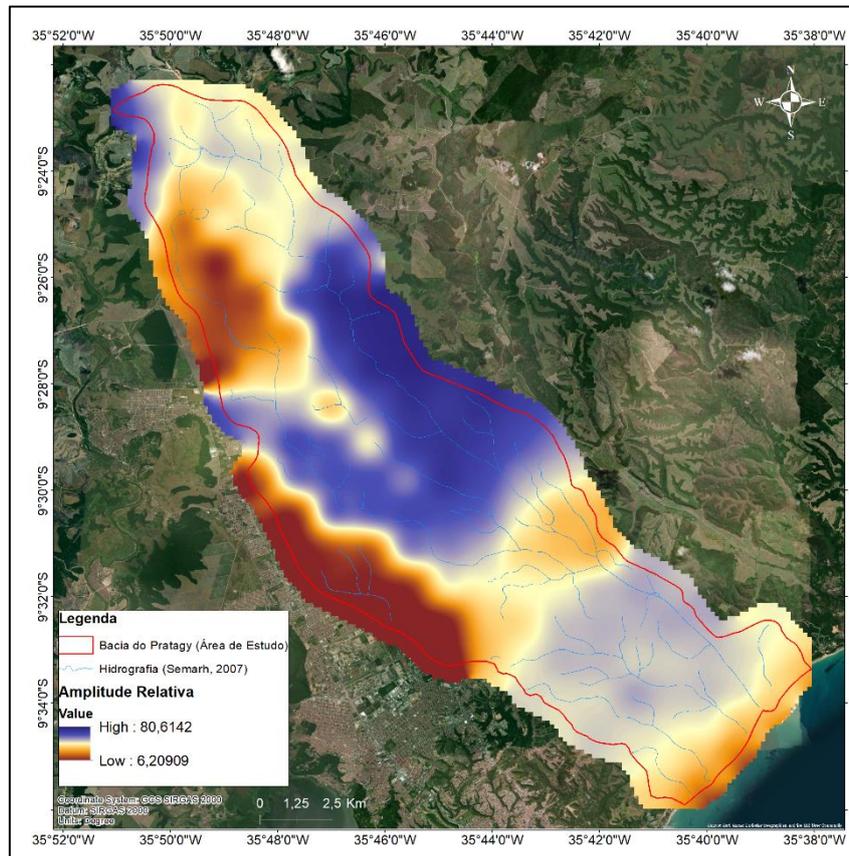


Figura 5.8: Mapa de Amplitude relativa

A área de estudo abrange 5 bacias hidrográficas. A BH do Rio Pratagy (1) abrange uma área de 193,65 km<sup>2</sup>, nela está inserida a sub-bacia do Rio Messias ou do Meio, com 114,40 km<sup>2</sup> de área. As outras bacias inseridas na área de estudo são: Riacho Doce, Riacho Garça Torta e Riacho Guaxuma. A Tabela 5.1 apresenta a área das bacias.

A Figura 5.9 permite observar a localização de 37 nascentes cadastradas pela Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do estado de Alagoas (SEMARH-AL) na área de estudo, além disso, os corpos hídricos não apresentam meandros sinuosos, sendo visualmente caracterizadas como dendríticas.

É importante destacar que a delimitação da área de estudo segue a determinada pela SEMARH-AL, que está destacado em vermelho na Figura 5.9, e não a delimitação hidrográfica da bacia do Rio Pratagy, o que exclui parte da área desta.

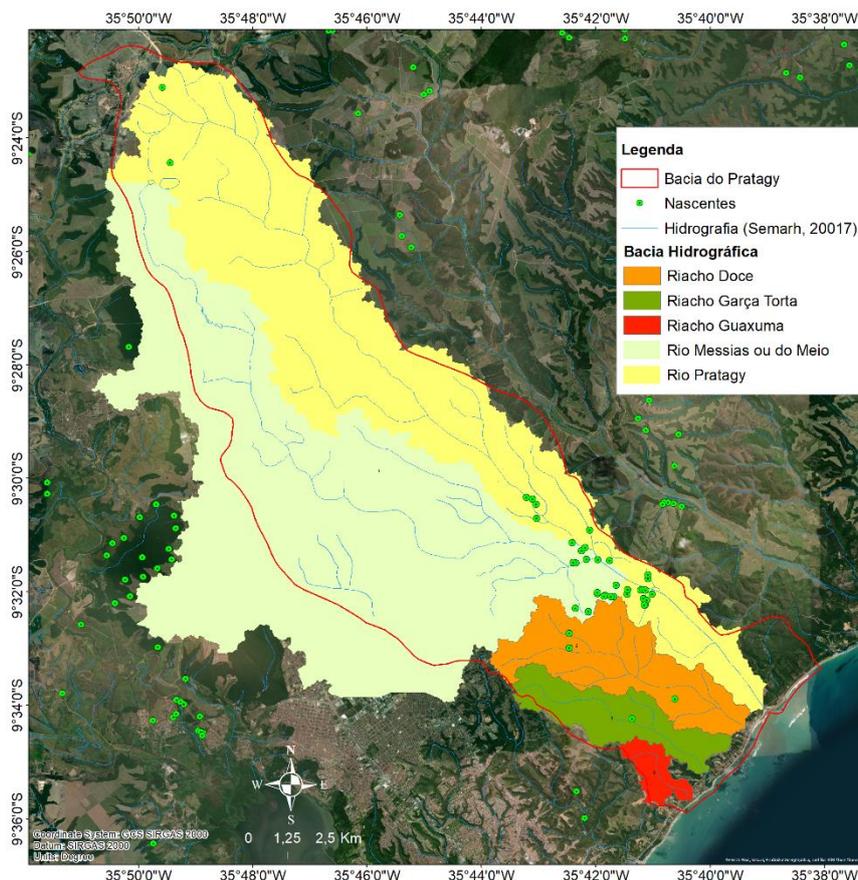


Figura 5.9: Rede hidrográfica e bacias delimitadas

Tabela 5.1: Área Total das Bacias Hidrográficas

Bacia	Area (km <sup>2</sup> )
<b>Rio Pratagy</b>	193,65 (incluindo a área da bacia do rio Messias)
<b>Riacho Doce</b>	16,14
<b>Riacho Garça Torta</b>	9,32
<b>Riacho Guaxuma</b>	2,55
<b>Rio Messias ou do Meio</b>	114,41

Com relação a análise do HAND, foi observado que há muitas regiões com áreas mais baixas em relação à drenagem, (< 5,00 m) em áreas urbanas e de cultivo agrícola, que também pela baixa declividade se tornam suscetíveis à alagamentos. A maior parte das planícies fluvio-marinhas e fluviais apresentam alta suscetibilidade à inundações, aproximadamente 70%.

No encarte de ampliação é visível a influência da bacia endorréica para os baixos valores de HAND (< 4,00 m), principalmente onde está localizado os bairros Benedito Bentes e Cidade Universitária, locais que historicamente sofrem com alagamentos.

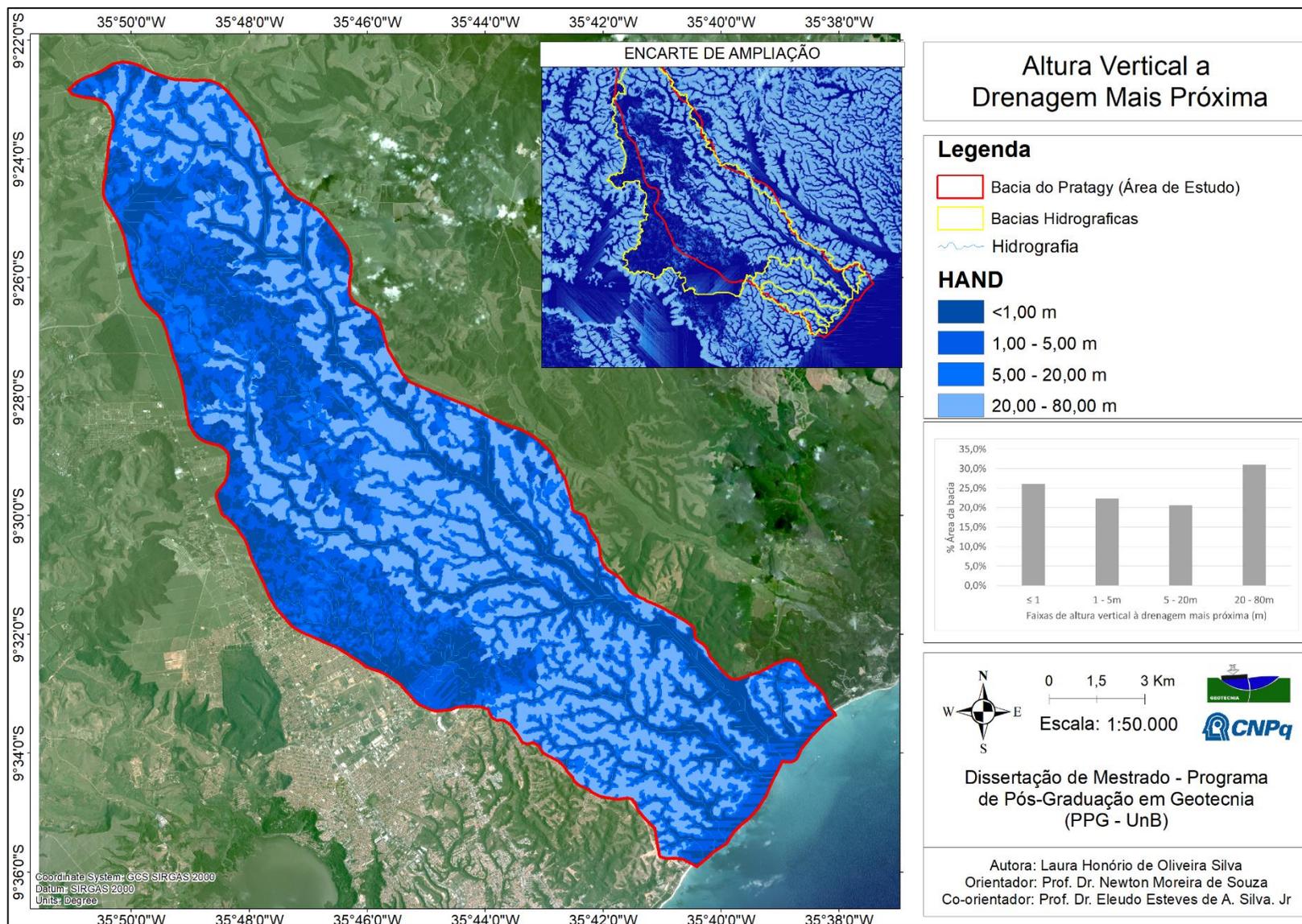


Figura 5.10: Carta de altura vertical a drenagem mais próxima

### 5.1.2. GEOLOGIA

A Carta Geológica foi modificada de Alcantara & Sampaio (2021) e está na escala 1:50.000 e é apresentada no Apêndice 4. A Figura 5.11 é o recorte da carta, e é possível visualizar 4 unidades geológicas na Bacia do Pratagy, elas são:

Formação Barreiras (ENb): É formado pelo litotipo argilito arenoso, arenito, conglomerado e siltito e abrange praticamente toda a extensão estudada. Por suas características, esta unidade pode vir a apresentar níveis lateríticos e formas erosivas superficiais como sulcos, ravinas e voçorocas. A formação Barreiras ocorre geralmente sob a forma de extensos tabuleiros costeiros formando uma superfície elevada, plana e pouco dissecada. (Villanueva, 2016)

Os solos resultantes do intemperismo das rochas da Formação Barreiras costumam ser bem drenados, o que favorece o cultivo agrícola, o que justifica a presença de cana-de açúcar nos tabuleiros. (Villanueva, 2016)

Depósitos Flúvio Lagunares (Q2fl) e Depósitos Litorâneos (Q2l): Datam do Quaternário e ocorrem em zona litorânea e no leito dos rios. São formados por sedimentos fluviomarinhos inconsolidados, do litotipo depósitos de areia quartzosas, que apresentam tonalidade creme-clara e granulometria variando de fina a média. Em áreas alagadas e de mangue apresentam sedimentos argilo-arenosos de coloração escura. (Tavares, 2016)

Complexo Arapiraca (PP23car): segundo Villanueva (2016), esta unidade é formada por gnaisses, migmatitos e/ ou granulitos associados e rochas metamórficas e/ou metaultramáficas, incluindo formações ferríferas bandadas. Apresenta relevos compartimentados em tabuleiros, com superfícies aplainadas conservadas, superfícies aplainadas degradadas, colinas dissecadas, morros baixos e serras baixas vales encaixados.

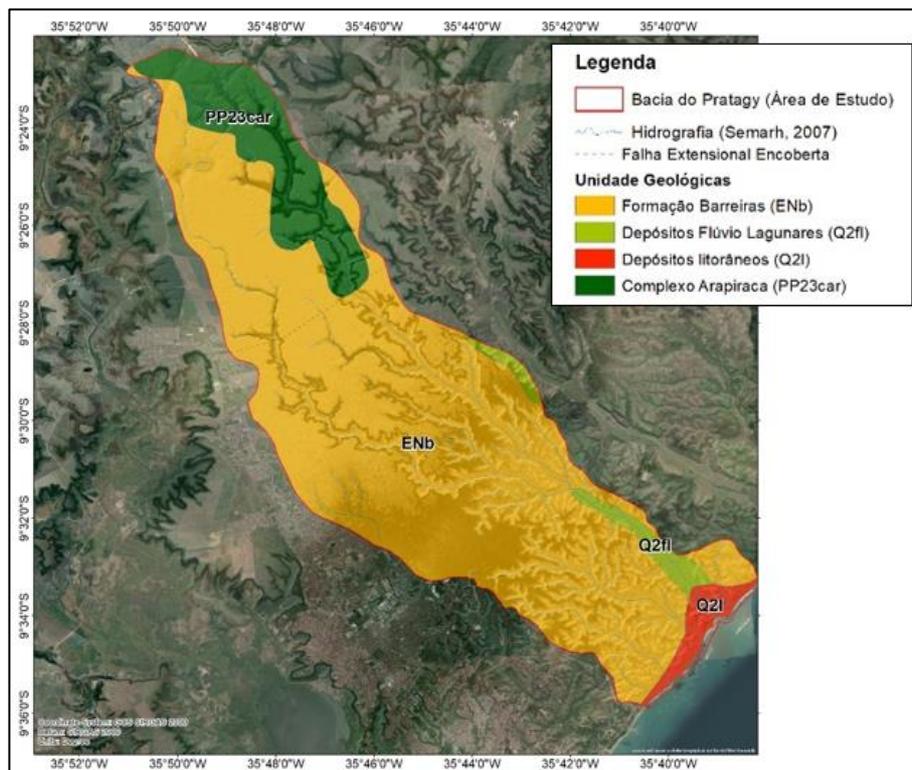


Figura 5.11: Recorte da Carta Geológica

### 5.1.3. SOLOS

A carta de solos da Bacia Hidrográfica do Pratagy (Apêndice 5), apresenta 6 tipologias distintas. A distribuição espacial do solo da área estudada se baseou o Zoneamento Agroecológico de Alagoas (Embrapa), e apresenta clara predominância de Latossolos Amarelos (LA), abrangendo 72% da região, ocorrem em ambientes bem drenados, sendo muito profundos e uniformes em características de cor, textura e estrutura em profundidade. Apresentam boas condições físicas de retenção de umidade e boa permeabilidade, sendo intensivamente utilizados para agropecuária. (Embrapa, 2006)

Os latossolos acinzentados ocupam apenas 1,08% da BHP, “eles apresentam a cor cinza devido ao intenso processo de desferrificação. É um sistema jovem e instável que é afetado no processo de dissecação de chapadas”. (Ferreira, 2008)

Os Neossolos Quartzarenicos (NQ), são solos presentes na planície marinha, são solos arenosos com permeabilidade muito alta, eles ocupam 1,5% da área. Ocorrem em relevo plano e apresentam textura arenosa ao longo do perfil e cor amarelada uniforme abaixo do horizonte A. Apresentam alta suscetibilidade à erosão devido à textura ser essencialmente arenosa (EMBRAPA, 2006)

Os Gleissolos Háplicos (Gx) ocupam 22% da área da bacia, ocorrem nas planícies fluviais, no fundo dos vales, e são influenciados pela Formação Barreiras. São solos minerais, hidromórficos, desenvolvidos de sedimentos recentes não consolidados, de constituição argilosa e argilo-arenosa, do

período do Holoceno. São solos mal a muito mal drenados que sofrem pelo excesso de umidade pela proximidade do lençol freático à superfície. (EMBRAPA, 2006)

A Figura 5.12 apresenta um recorte da carta de solos e a Tabela 5.2 apresenta a área que cada classe ocupa dentro da BHP, bem como o percentual destas.

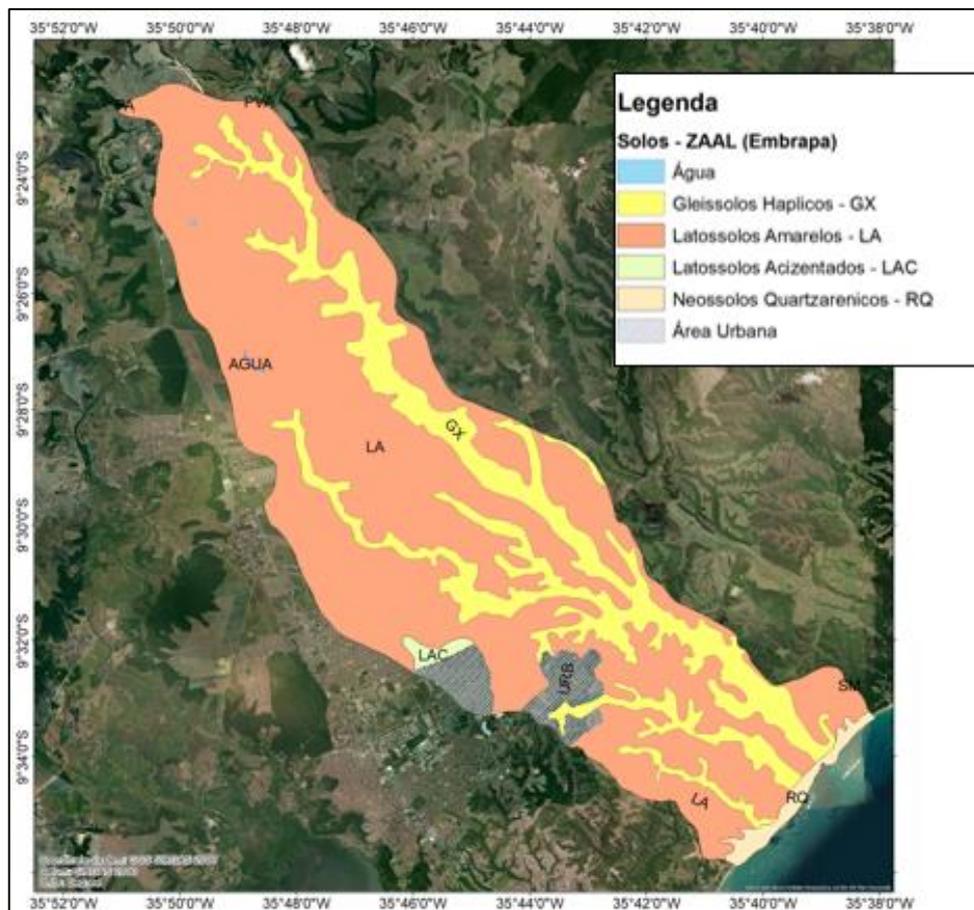


Figura 5.12: Recorte da carta de solos

Tabela 5.2: Áreas das classes de solo e porcentagem de ocupação

Classe de Solo	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentagem (%)
<b>Latossolos Amarelos</b>	139,92	72%
<b>Solos De Mangue</b>	< 0,01	0,001%
<b>Água</b>	0,07	0,04%
<b>Latossolos Acinzentados</b>	1,08	0,55%
<b>Area Urbana</b>	7,37	3,79%
<b>Neossolos Quartzarenicos</b>	2,93	1,51%
<b>Gleissolos Haplicos</b>	42,86	22%

#### 5.1.4. GEOMORFOLOGIA

A carta de geomorfologia em escala 1:50.000 (Apêndice 6) foi montada a partir dos produtos derivados do Modelo Digital de Elevação, principalmente declividade para definir a inclinação das vertentes, hipsometria e amplitude de relevo, que são considerados por Dantas (2012) na Biblioteca

de Padrões de Relevo, utilizando o conceito de terceiro táxon proposto por Ross (1990). Outras variáveis consideradas foram as classes de solos presentes na região e a geologia local.

Também foram utilizadas imagens obtidas pelo Google Earth para a visualização da compartimentação geomorfológica. As imagens permitiram observar a transição nas áreas de planície, passando por terraços para os morros (Figura 5.13), as regiões de tabuleiros dissecados que e o fundo dos vales (Figura 5.14) e o bairro do Benedito Bentes localizado no tabuleiro e as áreas de encostas com declividades acentuadas. (Figura 5.15)



Figura 5.13: Imagem 3D da foz do rio Pratygy de 17/11/2021. É possível observar a planície fluvial e as áreas mais elevadas dos tabuleiros dissecados (Fonte: Google Earth)

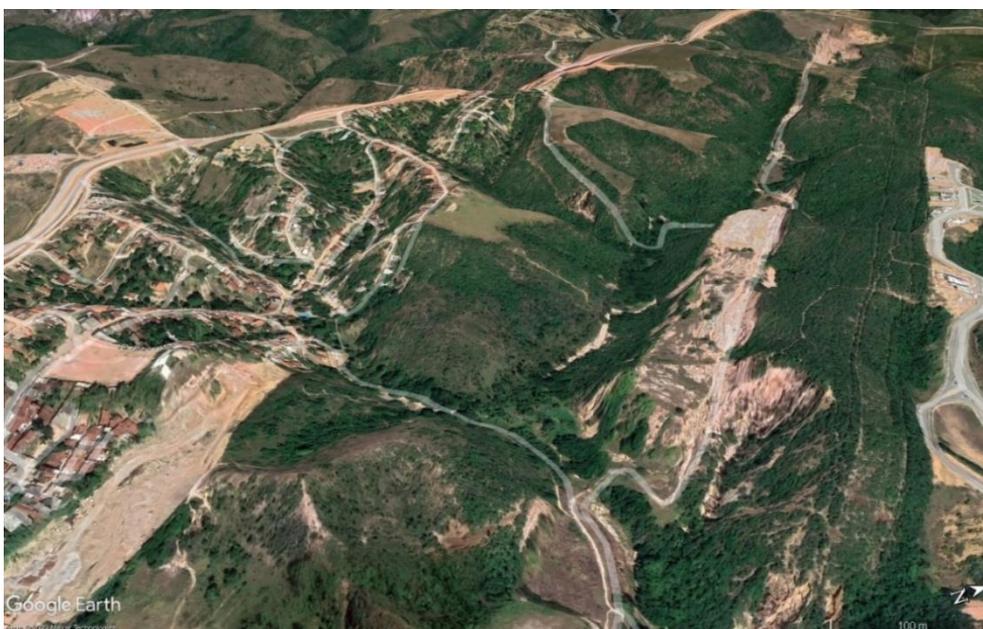


Figura 5.14: Imagem 3D do alto do Guaxuma de 24/10/2021. É possível observar cicatrizes de escorregamento em, em áreas de encostas e vales fluviais, além da área ocupada por edificações tanto em encostas como nos tabuleiros dissecados (Fonte: Google Earth)



Figura 5.15: Imagem 3D do Bairro do Benedito Bentes de 24/10/2021, o bairro está assentado no tabuleiro, em área plana. É possível visualizar as cicatrizes de escorregamento nas áreas de encosta, além do avanço do perímetro urbano em direção as encostas e vales dissecados (Fonte: Google Earth)

A Figura 5.16 apresenta um recorte da Carta Geomorfológica, observa-se que a área de estudo é caracterizada pela presença de oito classes geomorfológicas distintas. É notável a presença massiva de formações tabuliformes, que ocupam 63% da área. Estas são rodeadas por encostas e vales fluviais (32%) que acompanham o trajeto dos cursos d’água pelas planícies fluviais (5%) até a planície Flúvio-marinha (1%) que se apresenta como praias, mangues e estuário. As porcentagens de área ocupadas pelas classes geomorfológicas estão descritas na Figura 5.17.

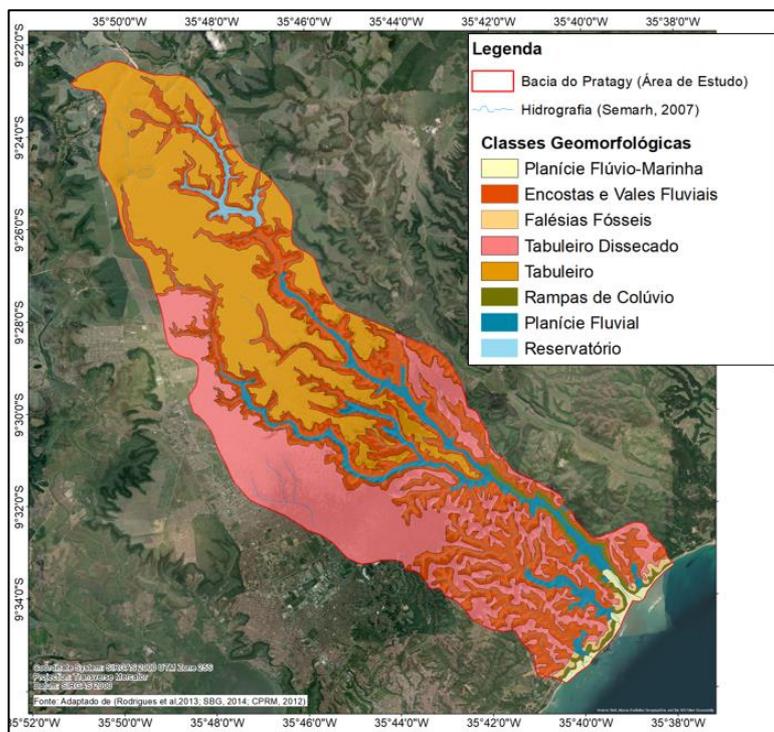


Figura 5.16: Recorte da Carta Geomorfológica

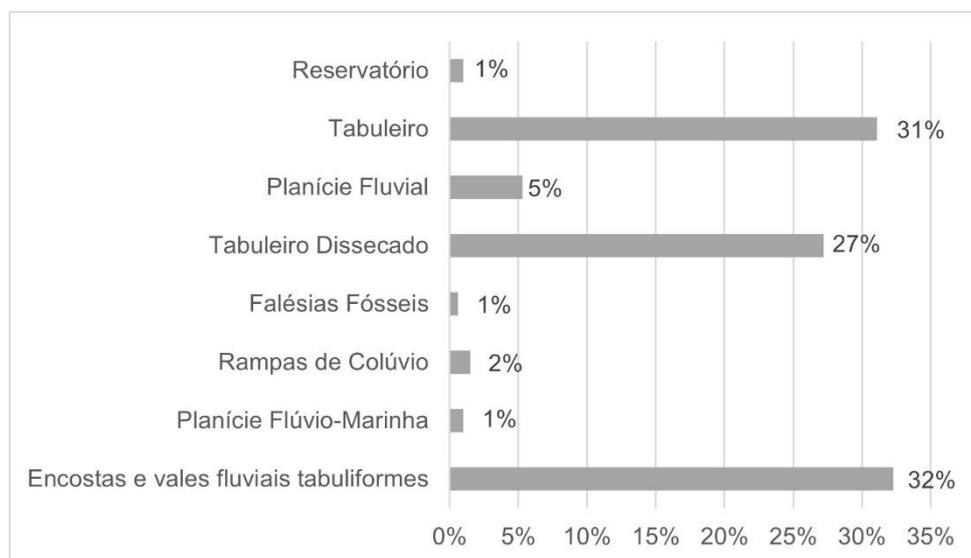


Figura 5.17: Porcentagem das classes geomorfológicas na área de estudo

Os relevos tabuliformes (tabuleiros e tabuleiros dissecados) dominam a paisagem da Bacia Hidrográfica do Rio Pratagy representando 58% da área. Eles são formados por sedimentos da Formação Barreiras, em solos do tipo Latossolos Amarelos. Em regiões de solos do tipo Gleissolos Háplicos, a morfologia se apresenta com declives acentuados nas encostas e vales fluviais tabuliformes que representam 32% da área, como uma transição para as planícies fluviais.

Nos tabuleiros predominam áreas de declividade baixa, 0-3%, de relevo plano e de relevo suavemente ondulados, 3-8%, nas áreas localizadas em altitudes acima de 100m se desenvolve a monocultura da cana-de açúcar. Na Figura 5.18 são apresentados os perfis topográficos da BHP, em que é possível observar as áreas de tabuleiro aplainados e os tabuleiros dissecados (topo convexo) que são intercalados pelas encostas e vales.

As planícies fluviais percorrem a área da Bacia desde altitudes mais elevadas, 130 m, até o nível do mar, com declividades que variam de 0-8%, formações planas e inundáveis, rodeadas por matas ciliares. As Planícies fluviais distribuem-se ao “longo dos canais de drenagem, compreendidos pelas várzeas laterais resultantes dos depósitos aluviais.” (Cohidro, 200).

A Planície Flúvio-Marinha se apresenta na área com altitudes que variam entre 0 e 6 metros na faixa de praia (cordões praias), a altitude se eleva à medida que a planície adentra o continente em direção a planície marinha, na região de manguezal. A declividade presente na planície flúvio-marinha varia entre 0-3%, característica de relevo plano. Esta classe geomorfológica apresenta-se de forma diversificada e complexa já que é uma área que apresenta ecossistemas distintos, variando desde o ambiente fluvial até o marinho, com a foz do rio Pratagy e de cursos d’água menores encontrando o oceano em estuários.

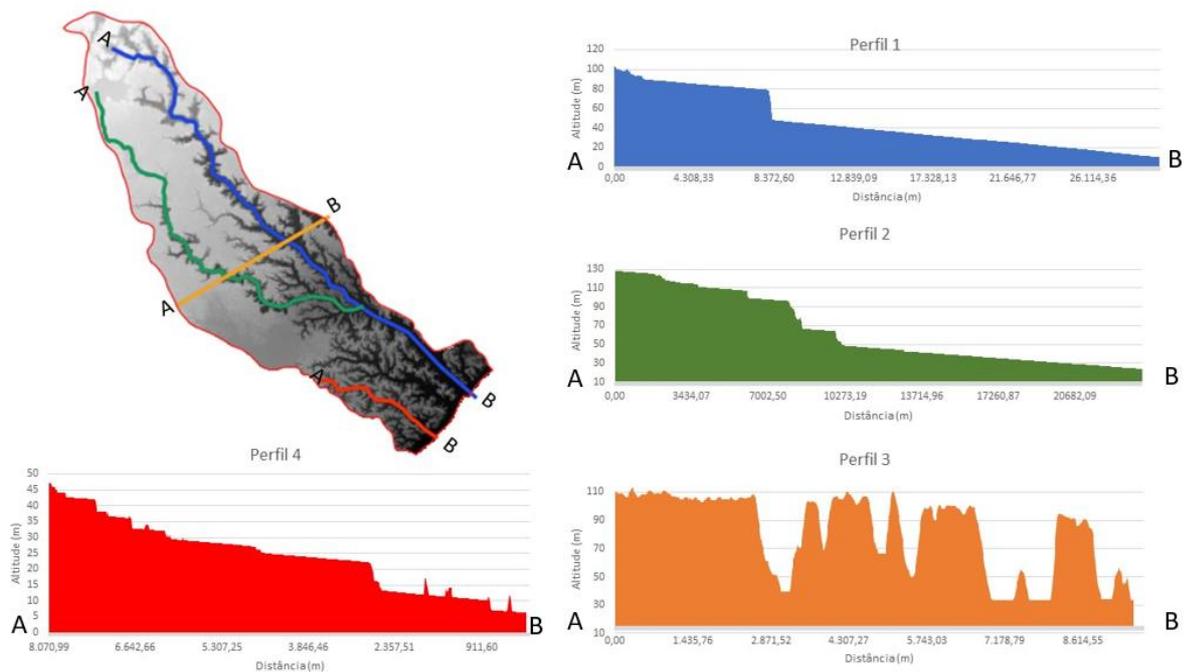


Figura 5.18: Perfis Topográficos da Área Estudada

### 5.1.5. PRECIPITAÇÃO

O mapa de precipitação foi modelado a partir das definições apresentadas no item 4.3.5 e é apresentada na Figura 5.19. A partir da interpolação da precipitação média anual de cada estação por meio do método IDW, o mapa foi obtido. Através dele, observa-se que a área da BHP chove de 1400-1900 mm por ano, estando as maiores precipitações mais próximas do oceano.

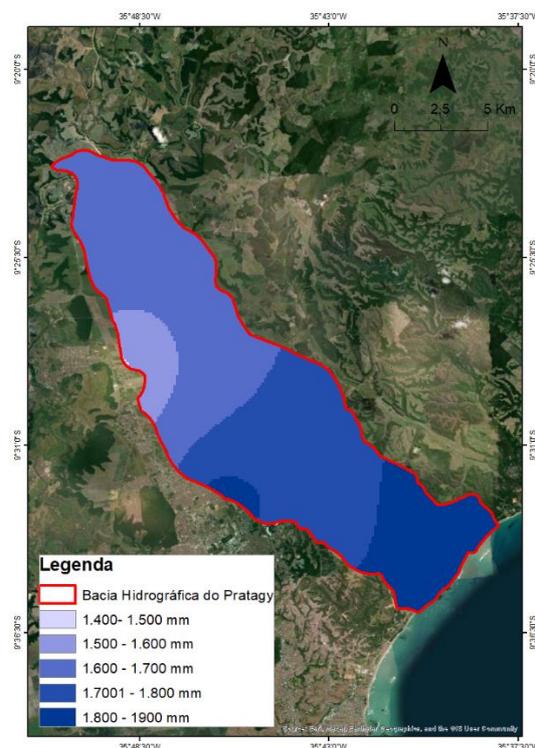


Figura 5.19: Precipitação Média Anual

### 5.1.6. MAPA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

De acordo com as classes adotadas para o mapa de uso e ocupação do solo (Apêndice 7), mostrado na Figura 5.20, o cultivo agrícola é a classe predominante (40%) ela representa a monocultura de cana de açúcar, localizada em uma área de relevo plano e suave ondulado. A classe Reservatório, refere-se ao da Fazenda Santa Clotilde que é utilizado para a irrigação do plantio ocupa 1% da área.

A densidade de cobertura vegetal é um fator que evita a ocorrência de processos de movimento de massa e erosão, a vegetação remanescente na área ocupa 28,2% da área da bacia e trata-se em grande parte da mata ciliar, cerrado e mata atlântica, que acompanha os cursos d'água.

A classe composta por solo exposto apresentou frequência de 0,9% e corresponde as áreas de instalação de loteamentos na classe geomorfológica Tabuleiro e encostas recortadas em áreas de tabuleiros dissecados.

Os campos correspondem à 14,4% da área, se trata de vegetação arbustiva e de baixo porte. A Embrapa (2021) define silvicultura como “a arte e a ciência que estuda as maneiras naturais e artificiais de restaurar e melhorar o povoamento nas florestas, para atender às exigências do mercado”, essa classe ocupa 0,9% da área. Os campos de várzea representam a área de vegetação que sofrem influência marinha e fluvial, no caso da área de estudo se trata de manguezal, e ocupa 1,9% da BHP.

Com relação as áreas de uso urbano, tem-se 11,2% ocupado por bairros já consolidados, que possuem infraestrutura básica para suprir as necessidades populacionais. 1% da área urbana é ocupada por favelas, inseridas em locais de difícil acesso, com elevada declividade e que não há atendimento de saneamento básico completo para a população, esta de baixa renda.

A nomenclatura regional para favela é “Grota”, na área de estudo estão inseridas as grotas: Alto da Boa Vista, Vila Coreia, Grota do Andraújo, Rua Cinco Irmãos, Do Gino, Grota da Paz, Rua do Posto, Frei Damião, Grota da Princesa, Grota da Esperança, Mocambo, Mundaú, Travessa Norma Pimentel e Grota da Alegria.

É importante mencionar que em áreas urbanas como favelas, pela sua localização, ausência de infraestrutura urbana e edificações precárias, são locais de elevada vulnerabilidade à movimentos de massa. Além dos cortes de talude e retirada de cobertura vegetal nativa que intensificam os processos de escorregamento superficial.

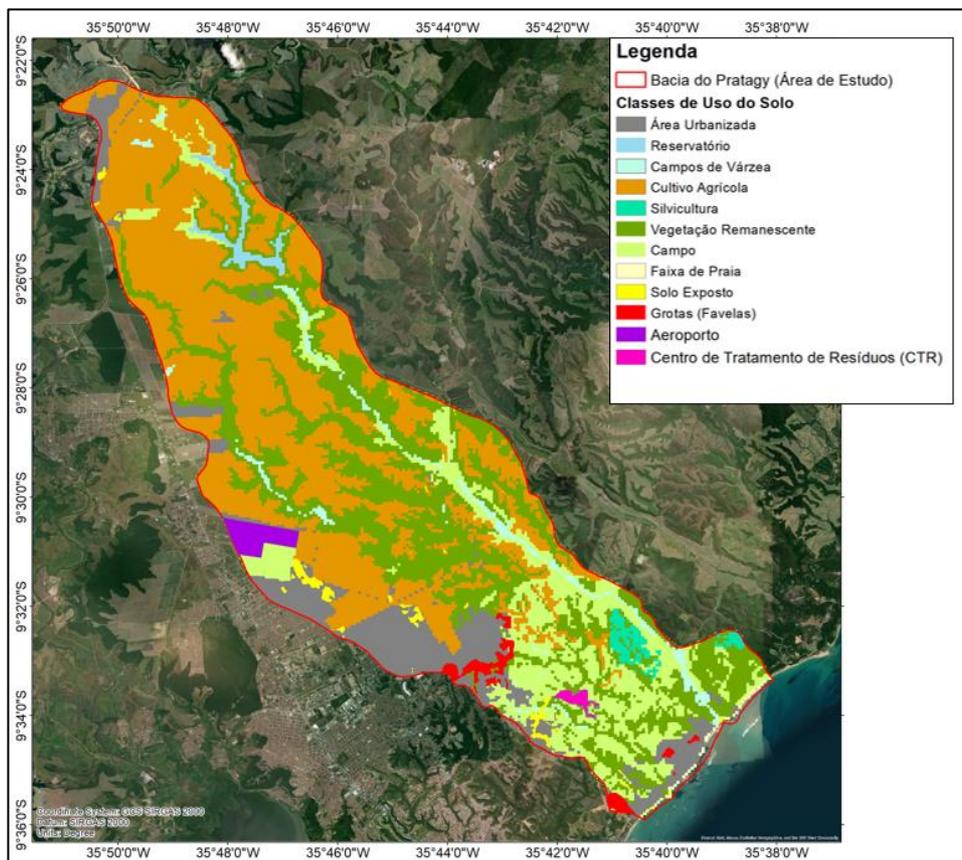


Figura 5.20: Recorte do Mapa de Uso e Ocupação do Solo

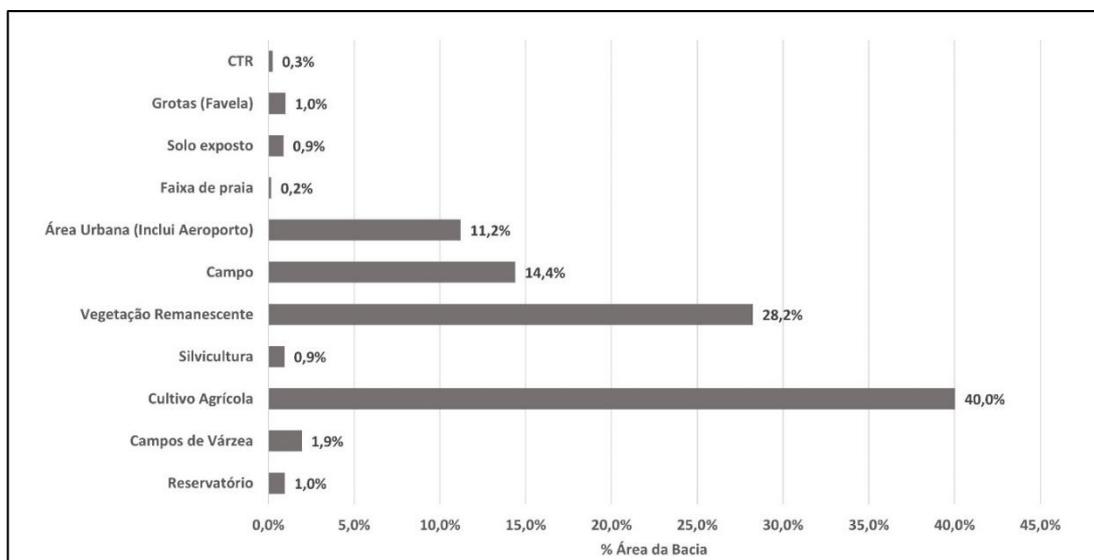


Figura 5.21: porcentagem das classes de uso e ocupação do solo na BHP

### 5.1.7. MAPA DE RESTRIÇÕES AMBIENTAIS

O mapa de restrições ambientais foi construído a partir das definições apresentadas no item 4.3.7 e é apresentada no Apêndice 8 e seu recorte na Figura 5.22 ele há o encarte de ampliação no canto superior direito, que facilita a visualização da APPs, principalmente a de Nascente (50 m). As APPs de reservatório foram consideradas de 100m devido a sua localidade em área rural e para ser

mais conservador. Ressalta-se que além do Reservatório da barragem Canoas, foram identificados outros 2 e que foram considerados para esta pesquisa.

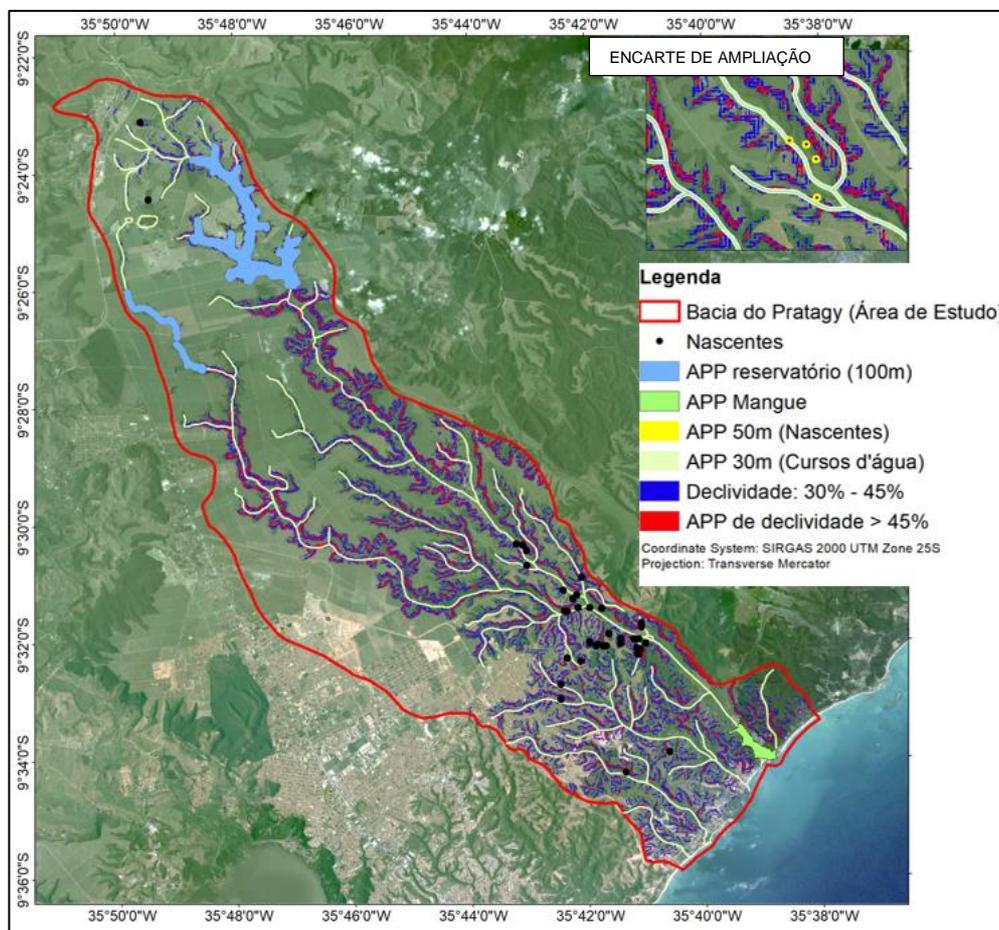


Figura 5.22: Recorte do Mapa de Restrições Ambientais

## 5.2. CARTA DE SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÕES E ALAGAMENTOS

A carta de suscetibilidade à inundação e alagamentos é apresentada no Apêndice 9 e seu recorte na Figura 5.23. A carta foi resultado da integração entre a classes geomorfológicas suscetíveis à inundação (planícies fluviais e fluviomarinhas e regiões de acumulação no tabuleiro), as declividades nestas áreas e os dados obtidos pela carta de altura vertical à drenagem mais próxima (HAND) apresentada na Figura 5.10.

A Figura 5.24 apresenta a distribuição percentual das classes de inundação e alagamento na BHP, as áreas correspondem a 27% da área total da BHP, sendo 5% de áreas de suscetibilidade baixa, 7% de áreas de suscetibilidade média e 15% de áreas de suscetibilidade alta.

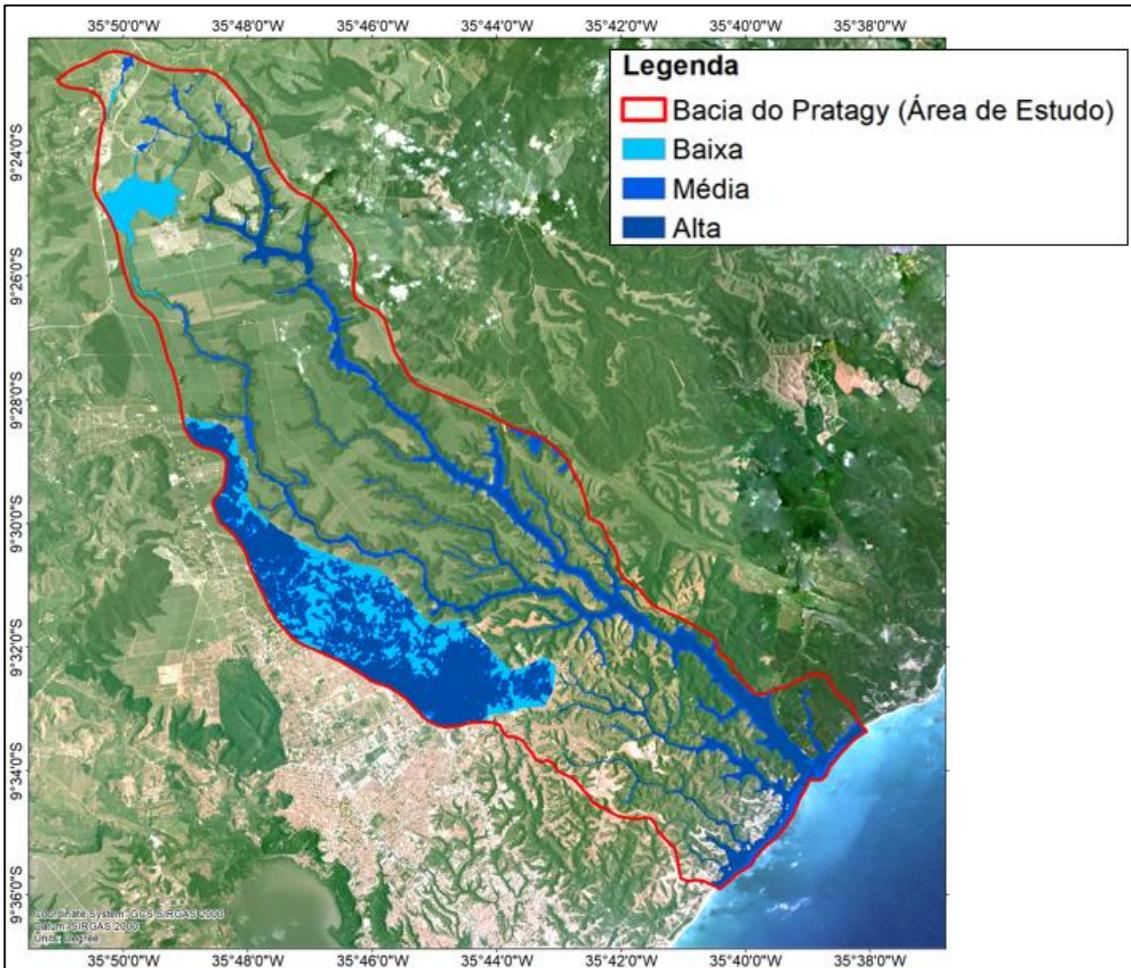


Figura 5.23: Recorte da Carta de Suscetibilidade à Inundações e Alagamentos

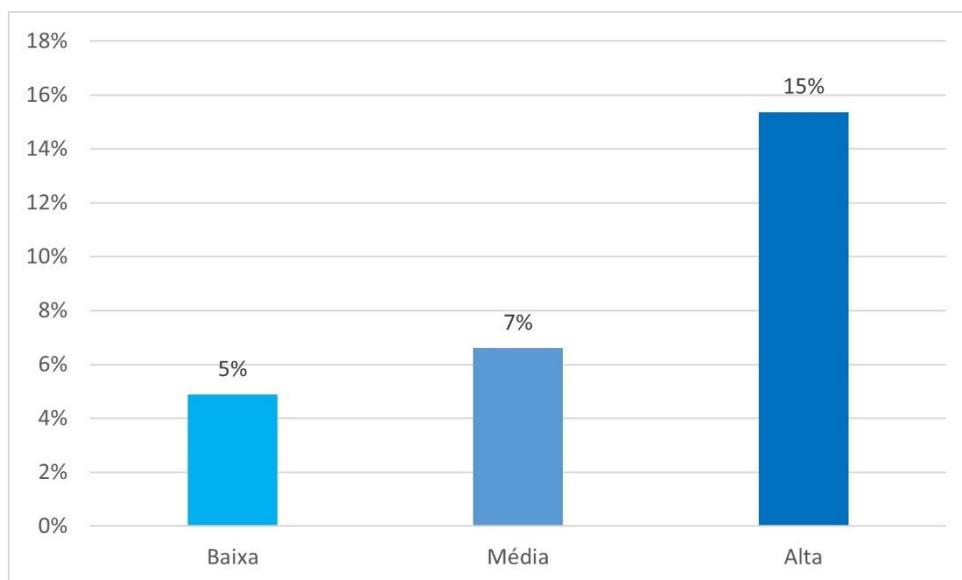


Figura 5.24: Frequência de Classes de Inundações Alagamentos na BHP

A definição das áreas de suscetibilidade à alagamento foi baseada no histórico de ocorrências de alagamentos nos bairros inseridos na BHP:

Tabela 5.3: Exemplos de ocorrências de Alagamentos nas áreas mapeadas

Bairro	Ano	Ocorrência
Benedito Bentes	2021	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alagamento de trechos da EcoVia Norte</li> </ul>
Cidade Universitária	2016	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alagamento severo no conjunto Graciliano Ramos. Com pedestres e veículos ilhados.</li> </ul>
Cidade Universitária	2022	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alagamento no conjunto Graciliano Ramos.</li> <li>Jovem cai em bueiro e é arrastado pela correnteza.</li> </ul>
Cidade Universitária	2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>Avenida Empresario Nelson Oliveira Menezes, conjunto Graciliano Ramos, na Cidade Universitária, ficou completamente alagada</li> </ul>

Outros fatores foram levados em consideração para o mapeamento das áreas de suscetibilidade à alagamento, como o fato de a área estar inserida na bacia endorréica e da proximidade a drenagem verificada com o modelo HAND.

### 5.3.CARTA DE SUSCETIBILIDADE À MOVIMENTOS DE MASSA

A carta de suscetibilidade à movimento de massa considerou três níveis de suscetibilidade: baixo (1), médio (2) e alto (3), para a modelagem da carta utilizou-se os condicionantes: formas de vertente, uso e ocupação do solo, solos, declividade e geomorfologia. As tabelas com os valores utilizados para cada classe dos mapas estão apresentadas a seguir.

Tabela 5.4: Atribuição dos valores de suscetibilidade à movimento de massas para as classes de Uso e Ocupação do Solo

Uso do Solo	Valor atribuído
Reservatório Campo de Várzea Vegetação Remanescente Faixa de Praia	1
Cultivo Agrícola Silvicultura Campo	2
Área Urbana (Incluindo CTR e Aeroporto) Grotas Solo Exposto	3

Tabela 5.5: Atribuição dos valores de suscetibilidade à movimento de massas para as classes de Formas de Vertente

<b>Valores de suscetibilidade à movimento de massas</b>			
	<b>Convergente</b>	<b>Planar</b>	<b>Divergente</b>
<b>Côncava</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>2</b>
<b>Retilínea</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
<b>Convexa</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

Tabela 5.6: Atribuição dos valores de suscetibilidade à movimento de massas para as classes Geomorfológicas

<b>Geomorfologia</b>	<b>Valor atribuído</b>
<b>Planície Fluvial</b>	<b>1</b>
<b>Planície Flúvio-Marinha</b>	
<b>Reservatório</b>	
<b>Tabuleiro</b>	
<b>Tabuleiro Dissecado</b>	<b>2</b>
<b>Encostas e vales fluviais tabuliformes</b>	<b>3</b>
<b>Falésias Fósseis</b>	
<b>Rampas de Colúvio</b>	

Tabela 5.7: Atribuição dos valores de suscetibilidade à movimento de massas para as classes de Solos

<b>Solos</b>	<b>Valor atribuído</b>
<b>Latosolos Amarelos</b>	
<b>Água</b>	
<b>Latosolos Acinzentados</b>	<b>1</b>
<b>Solos De Mangue</b>	
<b>Area Urbana</b>	
<b>Gleissolos Haplicos</b>	
<b>Neossolos Quartzorenicos</b>	<b>3</b>

Tabela 5.8: Atribuição dos valores de suscetibilidade à movimento de massas para as classes de Declividade

<b>Declividade</b>	<b>Valor atribuído</b>
<b>&lt;3%</b>	<b>1</b>
<b>3 - 8%</b>	
<b>8 - 20%</b>	<b>2</b>
<b>20 - 45%</b>	<b>3</b>
<b>&gt; 45%</b>	

As áreas que apresentam suscetibilidade alta, ocupam 25,6% da área da BHP, nela estão presentes os condicionantes mais propícios a escorregamentos, como elevada declividade, que pela inclinação de vertente provoca instabilidade em eventos de precipitação intensa, com aumento do peso específico do solo. Além de serem áreas cujos usos apresentam pouca vegetação e alta impermeabilização do solo, com morfodinâmica local alterada e fluxo hídrico acelerado. 47% das grotas estão localizadas em áreas de suscetibilidade alta e 47% em áreas de suscetibilidade média, isso se deve a locação desse tipo de moradia em encostas da formação barreiras, com elevada declividade com forma de vertente convergente-côncava e convergente-retilínea.

Quando realizada tabulação cruzada (Tabela 5.9) entre a suscetibilidade à movimento de massa e geomorfologia, tem-se 72,4% da classe de suscetibilidade alta estão na classe de valor 3 de geomorfologia, que corresponde às encostas e vales fluviais tubuliformes, falésias fósseis e rampas de colúvio. Elas também ocupam 47,0% da classe de suscetibilidade média.

A classe que apresenta suscetibilidade baixa ocupa 63,4% da área de valores geomorfológicos 1, equivalente a planície fluvial, planície flúvio-marinha, reservatório, regiões de declividade baixa.

Tabela 5.9: Tabulação Cruzada - Suscetibilidade à Movimento de Massa x Geomorfologia

		<b>Valores de suscetibilidade à movimento de massas para as classes Geomorfológicas</b>			
		1	2	3	Somatório
<b>Suscetibilidade à Movimento de Massa</b>	Baixa	63,4%	27,3%	9,3%	100,0%
	Media	18,3%	34,7%	47,0%	100,0%
	Alta	11,6%	16,1%	72,4%	100,0%

A Carta de Suscetibilidade a Movimento de Massa da Bacia Hidrográfica do Pratygy (Apêndice 10), apresenta 38,4% de classe de suscetibilidade baixa. 36,0% de suscetibilidade média e 25,6% de suscetibilidade alta.

Com relação a influência dos solos, 72% da área é ocupada por latossolos amarelos. Destes 19% está em grau de suscetibilidade alto, 35,4% no grau de suscetibilidade médio e 45,6% no grau baixo. Esse tipo de solo corresponde geologicamente à formação barreiras que apresenta fragilidades ambientais que a torna suscetível à movimentos de massa, que em declividades acima de 20%, em áreas de encostas são responsáveis pela elevação do grau de suscetibilidade na área.

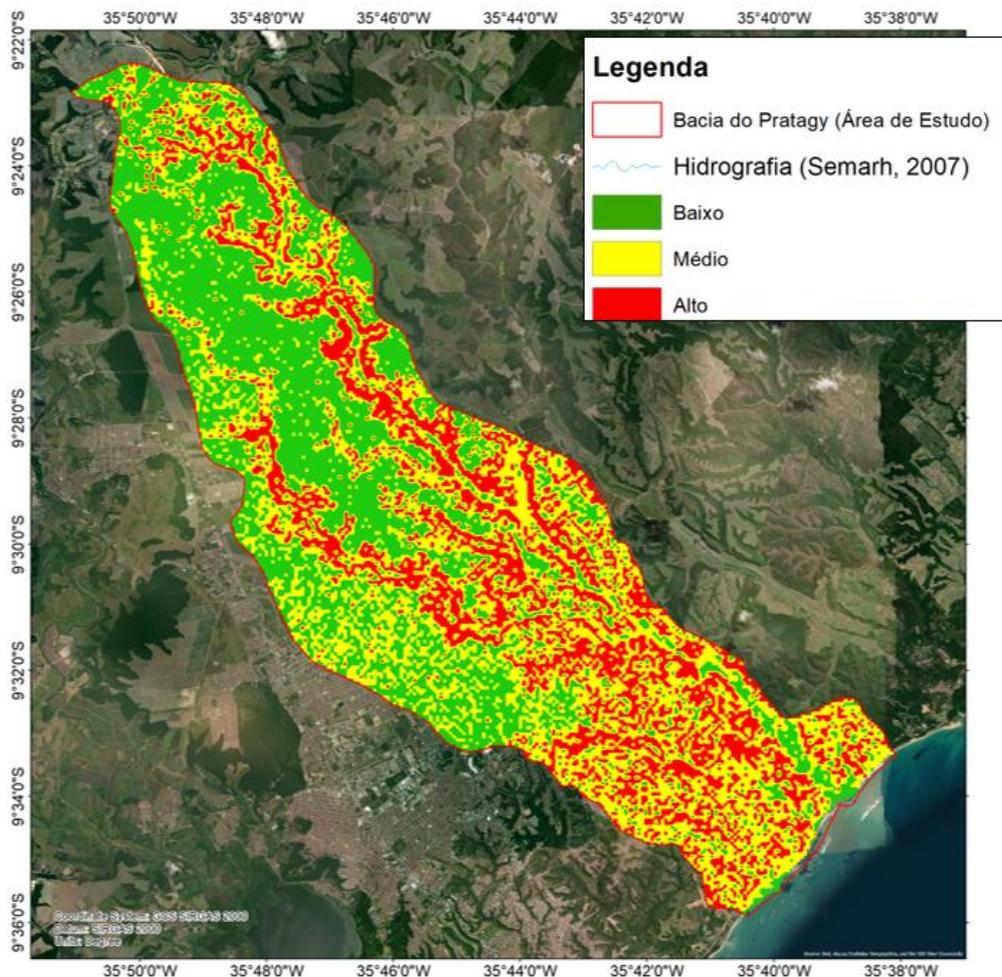


Figura 5.25: Recorte da Carta de suscetibilidade à Movimento de Massa

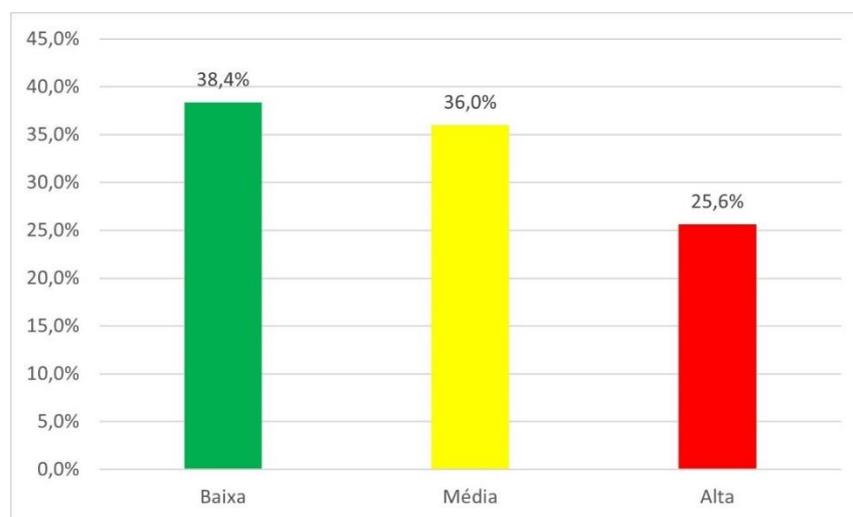


Figura 5.26: Distribuição das classes de Suscetibilidade à Movimento de Massa na BHP

Para validar o mapa obtido, foi feita a catalogação das cicatrizes de escorregamento da área, nela foram levantadas 83 cicatrizes, estas estão majoritariamente nas classes de suscetibilidade média e alta, em áreas geomorfologicamente de tabuleiros dissecados, falésias fósseis e encostas e vales tubuliformes.

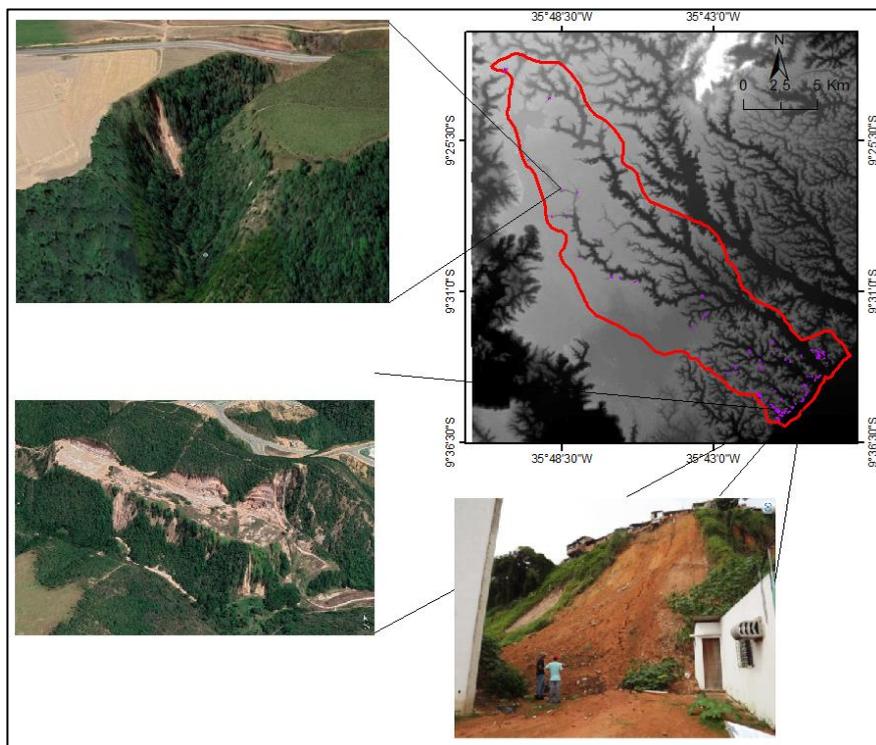


Figura 5.27: Cicatrizes de escorregamento em roxo e imagens de algumas delas. (Fonte das imagens: Google Earth, 2022; BISPO, 2018)

#### 5.4.CARTA DE SUSCETIBILIDADE À EROSÃO

A análise de suscetibilidade à erosão utilizou os critérios que influenciam a ocorrência do processo erosivo: curvatura, uso e ocupação do solo, precipitação, declividade e geologia. Para os mapeamentos foram atribuídos diferentes valores, baseando-se em valores utilizados na literatura, eles variaram de 1 (muito fraco) até 3 (forte). As tabelas com os valores utilizados para cada classe dos mapas (critério) estão apresentadas a seguir.

Tabela 5.10: Atribuição dos valores de suscetibilidade à erosão para as classes de Uso e Ocupação do Solo

Uso do Solo	Valor	Importância
Reservatório Campo de Várzea Vegetação Remanescente Faixa de Praia Silvicultura	1	Baixa
Campo Área Urbana Aeroporto	2	Média
Cana de açúcar CTR Grotas Solo Exposto	3	Alta

Tabela 5.11: Atribuição dos valores de suscetibilidade à erosão para as classes de Solos

<b>Solos</b>	<b>Valor</b>	<b>Importância</b>
<b>Água Solos de Mangue Área Urbana</b>	1	Baixa
<b>Latossolos Amarelos Latossolos Acinzentados</b>	2	Média
<b>Neossolos Quartzarenicos Gleissolos Háplicos</b>	3	Alta

Tabela 5.12: Atribuição dos valores de suscetibilidade à erosão para as classes de Curvatura de Perfil

<b>Curvatura</b>	<b>Valor</b>	<b>Importância</b>
<b>Convexo</b>	1	Baixa
<b>Retilíneo</b>	2	Média
<b>Côncavo</b>	3	Alta

Tabela 5.13: Atribuição dos valores de suscetibilidade à erosão para as classes de Declividade

<b>Declividade</b>	<b>Valor</b>	<b>Importância</b>
<b>0% - 8%</b>	1	Baixa
<b>8% - 20%</b>	2	Média
<b>&gt;20%</b>	3	Alta

Tabela 5.14: Atribuição dos valores de suscetibilidade à erosão para as classes de Geologia

<b>Litologia</b>	<b>Valor</b>	<b>Importância</b>
<b>Depósitos Flúvio lagunares Depósitos Litorâneos</b>	1	Baixa
<b>Complexo Arapiraca</b>	2	Média
<b>Formação Barreiras</b>	3	Alta

Tabela 5.15: Atribuição dos valores de suscetibilidade à erosão para as classes de Geologia

<b>Precipitação</b>	<b>Valor</b>	<b>Importância</b>
<b>1400-1600 mm</b>	2	Média
<b>1600 – 1900 mm</b>	3	Alta

Na Figura 5.28 é apresentado o recorte da carta de suscetibilidade à erosão (Apêndice 11), e na Figura 5.29 são apresentadas as 3 classes de suscetibilidade e sua frequência na área da bacia: Baixa (54,3% da área da BHP), Média (23,4% da área da BHP) e Alta (23,1% da área da BHP)

Através da Tabela 5.16 observa-se que 38% da classe de uso Cana de açúcar, 56% da Área Urbana, 36% da classe CTR está inserida na suscetibilidade Baixa, isso pode ser justificado pela influência da declividade na definição da erosão, já que em declividades baixas, < 3%, localizam-se os tabuleiros, que é onde está boa parte da área urbana e o plantio de cana de açúcar, além de que 24% da classe baixa, e 57% da classe média está nessa geomorfologia.

36% do solo exposto está na classe de suscetibilidade alta e 40% na classe de suscetibilidade média, o que é explicado pelo fato de que o solo desnudo, sem proteção de vegetação torna-se altamente suscetível aos processos de erosão fluvial.

Tabela 5.16: Tabulação Cruzada, Suscetibilidade à Erosão x Uso do Solo

<b>Classe</b>	<b>Baixa</b>	<b>Média</b>	<b>Alta</b>	<b>Somatório</b>
<b>Reservatório</b>	17%	66%	18%	100%
<b>Campo de Várzea</b>	41%	11%	48%	100%
<b>Grotas</b>	8%	37%	55%	100%
<b>Solo Exposto</b>	24%	40%	36%	100%
<b>Faixa de Praia</b>	100%	0%	0%	100%
<b>Cana de açúcar</b>	38%	44%	18%	100%
<b>Silvicultura</b>	56%	0%	44%	100%
<b>Campo</b>	70%	2%	27%	100%
<b>Vegetação Remanescente</b>	65%	5%	30%	100%
<b>Área Urbana</b>	56%	25%	19%	100%
<b>Classe</b>	<b>Baixa</b>	<b>Média</b>	<b>Alta</b>	<b>Somatório</b>
<b>Aeroporto</b>	20%	79%	1%	100%
<b>CTR</b>	36%	4%	60%	100%

A análise da Tabela 5.17 permite observar que 42% da classe de suscetibilidade Alta ocupa regiões de tabuleiros dissecados e 8% em encostas e vales fluviais tubuliformes que estão assentados sobre os tipos de solos gleissolos háplicos e latossolos amarelos de suscetibilidade alta.

Tabela 5.17: Tabulação Cruzada, Suscetibilidade à Erosão x Geomorfologia

<b>Classe</b>	<b>Baixa</b>	<b>Média</b>	<b>Alta</b>
<b>Encostas e Vales Fluviais Tubuliformes</b>	36%	13%	8%
<b>Planície Flúvio Marinha</b>	0%	0%	0%
<b>Rampas de colúvio</b>	2%	0%	1%
<b>Falésias Fósseis</b>	1%	0%	1%
<b>Tabuleiro Dissecado</b>	28%	29%	42%
<b>Planície Fluvial</b>	7%	0%	12%
<b>Tabuleiro</b>	24%	57%	36%
<b>Água</b>	1%	1%	1%
<b>Somatório</b>	100%	100%	100%

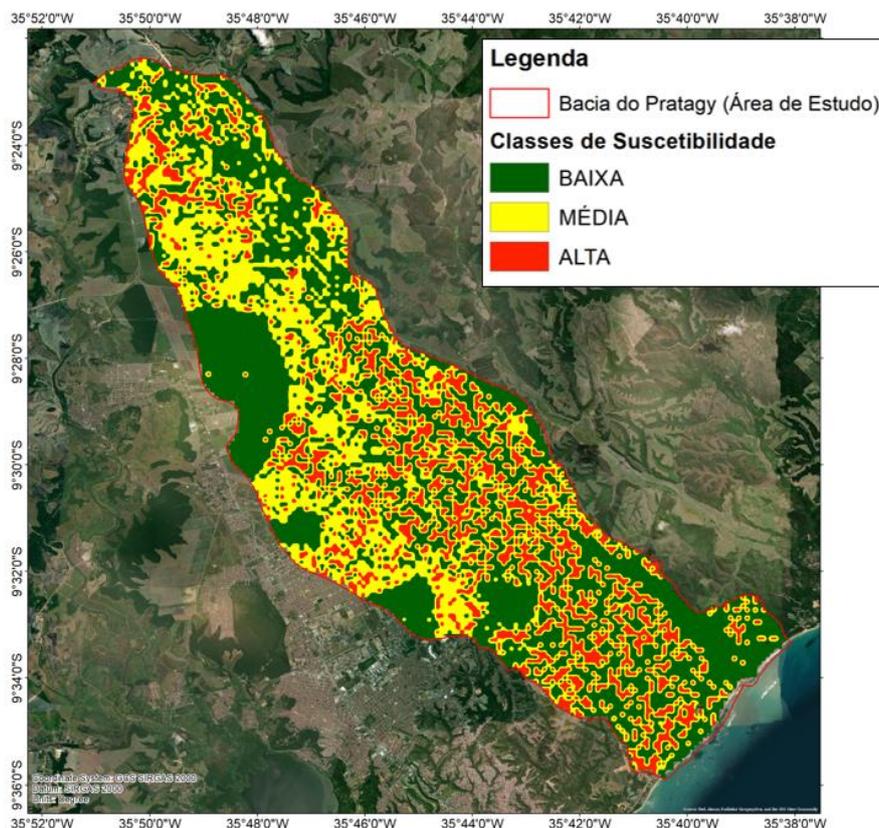


Figura 5.28: Recorte da carta de suscetibilidade à erosão

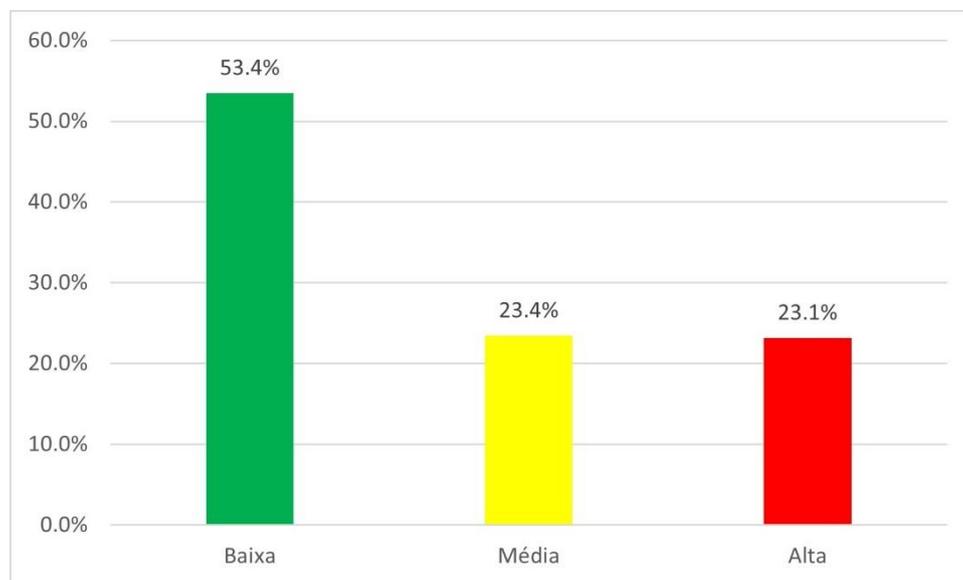


Figura 5.29: Distribuição das classes de Suscetibilidade à Erosão na BHP

### 5.5.CARTA GEOTÉCNICA DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO

O Apêndice 12 apresenta a Carta de Aptidão à Urbanização elaborada para a Bacia Hidrográfica do Rio Pratygy. Ela é dividida em 4 classes que são distribuídas de acordo com a Figura 5.31. A Figura 5.31 apresenta a distribuição das classes na Bacia Hidrográfica do Rio Pratygy: a classe de Aptidão à Urbanização nula equivale a 21,0%, a Aptidão à Urbanização

baixa, 35,0% da área, a de Aptidão à Urbanização média 30,0% e a de Aptidão à Urbanização alta ocupa 13% da BHP. O recorte da carta é apresentado na Figura 5.30.

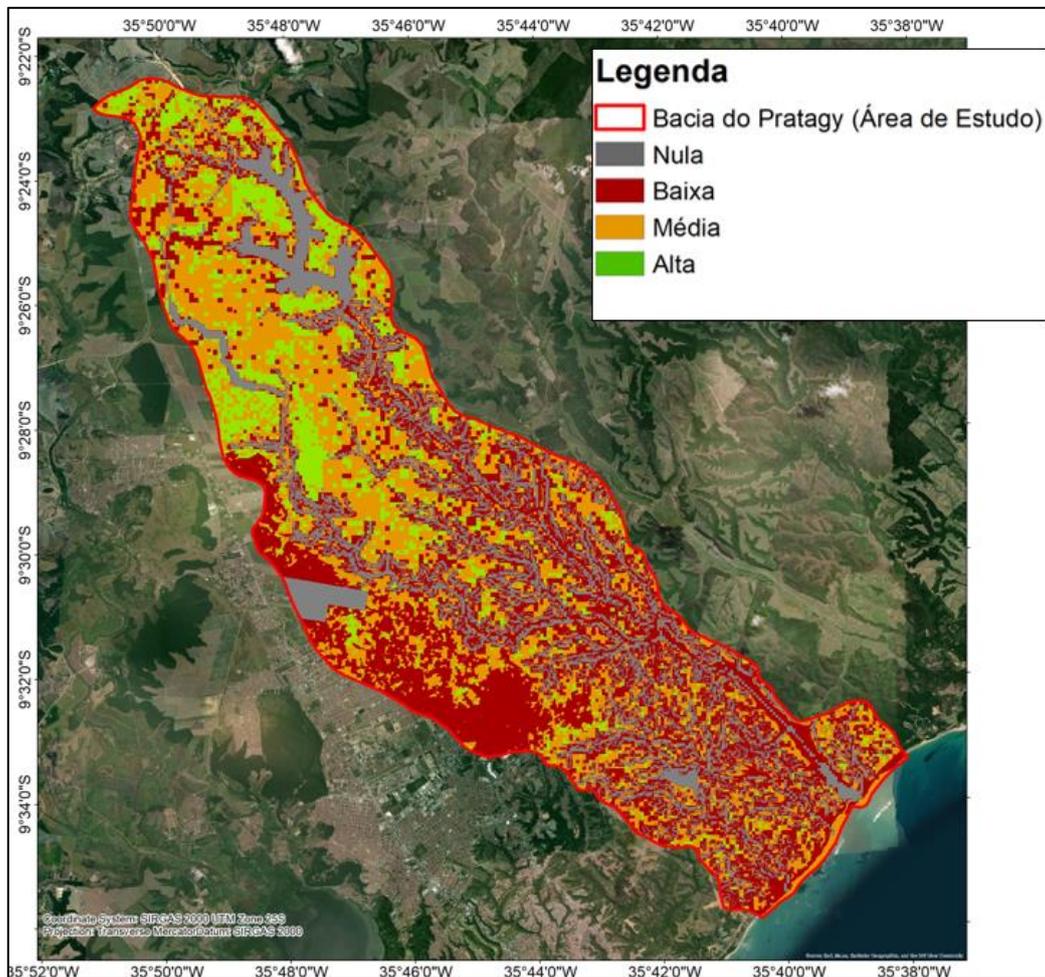


Figura 5.30: Recorte da Carta de Aptidão à Urbanização

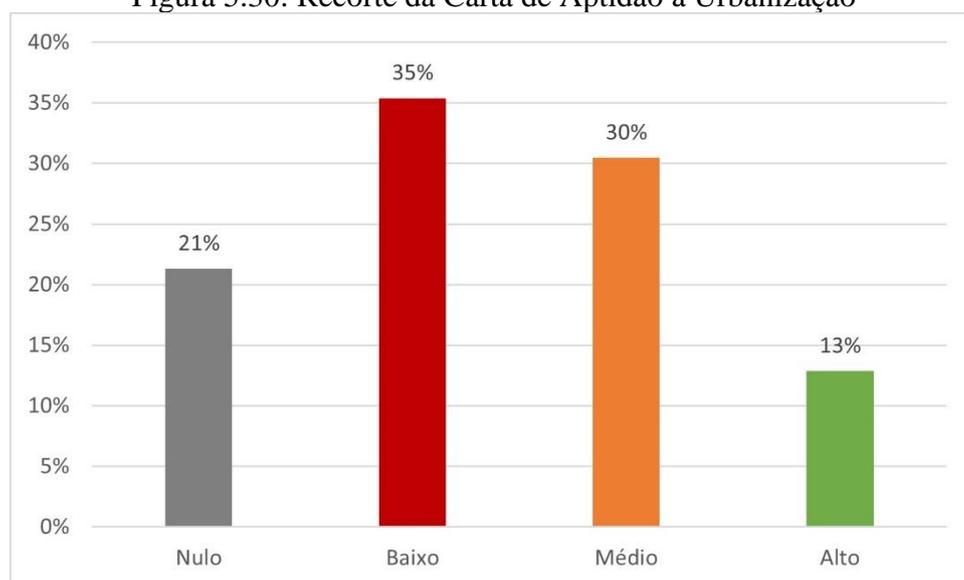


Figura 5.31: Distribuição de frequência das classes da Carta de Aptidão à Urbanização

A classe de aptidão urbana nula, ocupa uma área de 41,25 km<sup>2</sup>, ela foi definida a partir da carta de restrições ambientais, assim as Áreas de Proteção Permanente (APP) são áreas em que legalmente não é permitido a instalação urbana, além das áreas de Aeroporto e do Centro de Tratamento de Resíduos de Maceió.

A classe de aptidão à urbanização baixa ocupa uma área de 68,53 km<sup>2</sup>. A partir dos resultados gerados foi possível realizar a tabulação cruzada entre a carta de aptidão à urbanização e as cartas de suscetibilidade. Tabela 5.18 mostra que 57% da área de aptidão à urbanização nula e 39% de aptidão à urbanização baixa corresponde às áreas de alta suscetibilidade à movimento de massa. Com relação à suscetibilidade à erosão (Tabela 5.19), 43% das áreas de aptidão nula e 70% das áreas de aptidão baixa, apresentam alta suscetibilidade à erosão.

A classe de aptidão média ocupa 59,0 km<sup>2</sup> da área da bacia, 12% da classe aptidão à urbanização média está na área de suscetibilidade à movimento de massa média e 88% na suscetibilidade baixa. A classe de aptidão à urbanização alta ocupa 24,88 km<sup>2</sup> da área de estudo, esta classe ocupa 100% da classe de suscetibilidade baixa à ocorrência de movimentos de massa e erosão.

A Tabela 5.20 apresenta a tabulação cruzada entre aptidão à urbanização e suscetibilidade à inundação e alagamentos, nela observa-se que existe uma coerência no resultado, já que 60% da classe à aptidão urbana nula e 80% da classe à aptidão urbana baixa está em áreas de suscetibilidade alta, e 96% da alta classe de aptidão à urbanização está em áreas de suscetibilidade baixa.

Tabela 5.18: Tabulação Cruzada Aptidão à urbanização x Suscetibilidade à Movimento de Massa

		Suscetibilidade à Movimento de Massa			
		Alta	Média	Baixa	
<b>Aptidão à urbanização</b>	Classes				
	Nula	57%	33%	10%	100,0%
	Baixa	39%	31%	30%	100,0%
	Media	0%	12%	88%	100,0%
	Alta	0%	0%	100%	100,0%

Tabela 5.19: Tabulação Cruzada Aptidão à urbanização x Suscetibilidade à Erosão

		<b>Suscetibilidade à erosão</b>			
		Alta	Média	Baixa	Soma
<b>Aptidão à urbanização</b>	Classes				
	Nula	43%	12%	45%	100,0%
	Baixa	70%	22%	8%	100,0%
	Media	0%	52%	48%	100,0%
Alta	0%	0%	100%	100,0%	

Tabela 5.20: Tabulação Cruzada Aptidão à urbanização x Suscetibilidade à Inundação e Alagamentos

		<b>Suscetibilidade à Inundação e Alagamentos</b>			
		Alta	Média	Baixa	Soma
<b>Aptidão à urbanização</b>	Classes				
	Nula	60%	32%	7%	100,0%
	Baixa	80%	13%	7%	100,0%
	Media	3%	53%	44%	100,0%
Alta	1%	3%	96%	100,0%	

A Tabela 5.21 apresenta a tabulação cruzada entre a aptidão à urbanização e o uso e ocupação do solo, 42% da área de vegetação remanescente está em classe de aptidão nula, 34% na classe baixa, 19% na classe média e 5% classe alta.

Quando o a classe de uso “grotas” é analisada em relação à aptidão à urbanização, tem-se que 7% das grotas estão em áreas de aptidão à urbanização alta, 24% estão em área de aptidão média, 45% em área de aptidão baixa e 25% em área de aptidão nula, o que torna a análise de risco dessas áreas uma necessidade, que seria o próximo passo da metodologia de detalhamento progressivo, sendo uma análise de detalhe que necessita de dados cartográficos de maior escala, além de visitas de campo e análises geotécnicas.

Em relação as áreas de aptidão média, tem-se que 45% do uso de cultivo agrícola e 26% da área urbana estão nessa classe. As áreas de aptidão média são áreas em que o processo de urbanização pode ser realizado mediante ressalvas, já que no geral são áreas sujeitas à má drenagem, medianamente suscetíveis à erosão e movimento de massa.

Para a ocupação das áreas de média e alta aptidão à urbanização é necessário a expansão da rede de distribuição de água e de coleta de esgoto, além da implantação de áreas comuns

arborizadas de modo a diminuir a vulnerabilidade do solo dessas regiões, e preservação de vegetação remanescentes nos tabuleiros, tabuleiros dissecados e encostas e vales. Pois como dito por Japiassú (2015):

“As características físico-ambientais da área urbana de Maceió, apesar da existência das áreas com declives acentuados, apresentam muita área favorável à ocupação, nas planícies e nos topos chatos do platô. No entanto a fragilidade ambiental se faz presente em função dos seus recursos naturais abundantes (vegetação e corpos d’água).”

Tabela 5.21: Tabulação Cruzada Aptidão à urbanização x Uso e Ocupação do Solo

<b>CLASSE</b>	<b>Nulo</b>	<b>Baixo</b>	<b>Médio</b>	<b>Alto</b>	<b>Somatório</b>
<b>Reservatório</b>	100%	0%	0%	0%	100%
<b>Campo de Várzea</b>	32%	52%	15%	2%	100%
<b>Grotas</b>	25%	45%	24%	7%	100%
<b>Solo Exposto</b>	5%	62%	29%	4%	100%
<b>Faixa de Praia</b>	8%	69%	24%	0%	100%
<b>Cultivo Agrícola</b>	4%	27%	45%	24%	100%
<b>Silvicultura</b>	23%	49%	24%	4%	100%
<b>Campo</b>	30%	43%	23%	4%	100%
<b>Vegetação Remanescente</b>	42%	34%	19%	5%	100%
<b>Área Urbana</b>	5%	60%	26%	9%	100%
<b>Aeroporto</b>	100%	0%	0%	0%	100%
<b>CTR</b>	99%	1%	0%	0%	100%

## 6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Mediante os resultados apresentados, é possível concluir que o processo de urbanização desordenada do município de Maceió em direção ao litoral norte esbarra em suscetibilidades físicas e ambientais da área, causando a pressão imobiliária em áreas pouco aptas para o uso urbano e a concentração da população de baixa renda em favelas (grotas), que apresentam elevada suscetibilidade a ocorrência de movimentos de massa.

Para que uma área seja urbanizada, diversos fatores precisam ser analisados, o presente estudo utilizou-se de dados cartográficos, estudos anteriores e informações disponíveis na mídia para caracterizar o meio físico da BHP e construir um diagnóstico com relação a aptidão à urbanização da área.

Como mencionado ao longo do texto, os mapas gerados são considerados preliminares, já que o estudo ficou limitado ao trabalho de gabinete, visto o impedimento da realização de trabalhos de campo durante a pandemia e pela deficiência de informações de melhor escala de detalhe.

A suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa foi estudada mediante a análise conjunta dos critérios condicionantes. Na área estudada os principais condicionantes foram a declividade, formas de vertente, geomorfologia, solos e uso e ocupação do solo.

A partir daí o mapa de suscetibilidade à movimento de massa apresentou três classes, com a preponderância da classe de suscetibilidade baixa (38,4%), seguida da classe de suscetibilidade média (36,0%), e da classe de suscetibilidade alta (25,6%) que se dá devido à grande extensão de áreas de encostas e vales tabuliformes com elevadas declividades e da ocupação urbana em locais ambientalmente vulneráveis.

O que indica a necessidade de avaliação dos riscos geológicos presentes nessas áreas e na intervenção política com relação as populações locadas em áreas de alto risco, além da ação da defesa civil e da prefeitura de Maceió com relação as áreas de média aptidão à urbanização, para que sejam ocupadas mediante a instalação de infraestrutura urbana adequada.

Assim, é indicado as áreas de alta suscetibilidade a movimentos de massa e erosões sejam prioritárias para a análise de risco, em grandes escalas, de modo a detalhar os fenômenos que provocam o aumento do risco geológico e as intervenções que necessitam ser feitas.

O uso da técnica AHP para a confecção das cartas de suscetibilidade permitiu a compreensão da influência de cada critério utilizado, além de terem sido obtidos resultados coerentes com outros da literatura, como Bispo (2018), Tavares (2017), Menezes Jr (2015), Rodrigues, et. Al (2013), entre outros.

A metodologia de detalhamento progressivo que norteou este estudo foi apresentada pela fase preliminar, com a construção do inventário, obtenção de dados para construção dos mapas base, levantamento bibliográfico e cartográfico, em seguida foram construídos os mapas básicos de uso e ocupação do solo e de restrições ambientais, essenciais para a confecção das cartas de suscetibilidade e por último a Carta Geotécnica de Aptidão à urbanização. Todos os produtos foram gerados em escala 1:50.000, devido à ausência de dados de maior detalhe para a área.

Os pesos utilizados na aplicação da técnica AHP para obtenção das cartas de suscetibilidade à movimento de massa e à erosão demonstram que devido aos dados de mapas básicos existentes, como geologia e solos, serem de escalas menores que 1:50.000, foi necessário dar maior ênfase na influência da topografia para obter resultados coerentes.

A Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização apresentou que 56% da área apresenta aptidão baixa ou nula, o que indica a necessidade de preservação das áreas de proteção ambiental existentes na área com o fortalecimento da APA do Pratagy a partir da construção de seu plano de manejo, já que um dos principais problemas enfrentados é a pressão urbana as margens dos cursos d'água.

Através das análises realizadas, tem-se que 45% das grotas e 60% da área urbana existente encontra-se na classe de aptidão urbana baixa, sendo muitas destas áreas deficientes de sistemas de drenagem urbana e esgotamento sanitário, o que potencializa a suscetibilidade às inundações e alagamentos. É notável que pela ausência de áreas disponíveis na planície litorânea, há uma crescente ocupação das regiões do tabuleiro por condomínios fechados, que não são acompanhados por um planejamento urbano que atendam a população.

Reforça-se que, o planejamento urbano adequado das áreas de média e alta aptidão precisa ser baseados em um dimensionamento adequado da rede de saneamento básico, além de estruturas mínimas para o bem estar social, como transporte público, áreas de convivência e lazer e políticas públicas de saúde, educação e cultura para que não se criem áreas residenciais deficientes com uma população que viva a margem da sociedade.

Conclui-se que o estudo contribui para o levantamento e organização de dados sobre a área, a obtenção de resultados relevantes para nortear a gestão pública quanto a aptidão à urbanização, principalmente no que tange a obtenção de cartas de aptidão à urbanização nas escalas recomendadas pelo Ministério das Cidades, CPRM, Política Nacional de Defesa Civil, e outras legislações referentes ao tema, que seria entre 1:25.000 – 1:10.000.

No mais, a metodologia utilizada nesta dissertação é possível de ser replicada, de modo a contribuir para o desenvolvimento da cartografia geotécnica, além de servir como um apelo

para que haja maior interesse dos órgãos públicos do estado de Alagoas investirem na obtenção de dados geotécnicos e cartográficos que permitam o aprofundamento dos estudos de aptidão à urbanização e de riscos geológicos.

Para a continuidade deste trabalho e de trabalhos de temática semelhante, são propostas algumas sugestões para pesquisas futuras:

- Buscar uma parceria com a Universidade Federal de Alagoas para a realização de ensaios geotécnicos que possam contribuir na validação dos resultados;
- Realização de trabalhos de campo para coleta de registros fotográficos e dados que permitam uma melhor avaliação dos processos erosivos existentes na região, e cadastro das feições erosivas existentes.
- Buscar fazer pesquisas com o auxílio de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA), drones, para levantamento de informações topográficas em escala de detalhe que permitam uma avaliação de risco mais coerente com a realidade.

## 7. REFERÊNCIAS

- ALAGOAS (1978). Decreto nº 3.766 de 30 de outubro de 1978 Enquadra os cursos d'água do estado de alagoas na classificação estabelecida pela Portaria nº GM-0013, de 15 de janeiro de 1976, do Ministério do Interior, e dá outras providências.
- ALCANTARA, K. C.; SAMPAIO, M. A. Mapa Geológico da Região Metropolitana de Maceió/AL e Adjacências. Projeto Estudos dos Insumos Minerais para a Construção Civil da Região Metropolitana de Maceió/AL. Recife: Serviço Geológico do Brasil - CPRM, 2021. 1 mapa color. 111,1 cm X 74,67 cm. Escala 1:150.000. Programa Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Ação: Avaliação dos Recursos Minerais do Brasil.
- ALMEIDA, A. J. P.; FERREIRA NETO, J. V. (2015) Análise do Processo de Urbanização e Impermeabilização do Solo da Bacia Endorreica do Tabuleiro Do Martins, Maceió-AL. Anais ENANGEPE 2015. Disponível em: < 532.pdf (enanpege.ggf.br)> Acesso em 20 de outubro de 2022.
- ALMEIDA, E. M. A.; DUARTE, A. G. (2019). Fragmentos da Memória: A evolução urbana nos 200 anos de história em Maceió, Alagoas. Capítulo 11. Estudos brasileiros sobre patrimônio – Volume 1/ Organização: Rachel Myrrha de Paula Silva Neves; Vânia Myrrha de Paula Silva - Belo Horizonte - MG: Poisson, 2019.
- ANA, Agência Nacional de Águas. (2011). Estudos Hidrogeológicos para Subsidiar a Gestão Sustentável dos Recursos Hídricos Subterrâneos na Região Metropolitana de Maceió. Vol. II - Geologia, Hidrogeologia e Hidroquímica.
- ASSAD, E. D. (1998). Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura / Eduardo Delgado Assad, Edson Eyji Sano. -2º edição. Brasília: Embrapa-SPI/ Embrapa – CPA, 1998. ISBN: 857383045X.
- BARROSO, J. A. et al. (1986). Mapeamento geológico-geotécnico como instrumento básico para o planejamento do uso do solo na grande região metropolitana do Rio de Janeiro. Revista SEARJ- 20 anos de geotécnicos, 20: 40-44.
- BARROSO, J.A et al. (1993). Subsídios geológico-geotécnicos como apoio ao Plano Diretor do município do Rio de Janeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 7, 1993, Poços de Caldas. Anais... São Paulo, ABGE, v.2, p.167-176.
- BATISTA, P. H. L. (2014). Cartografia Geotécnica Aplicada aos Riscos de Alagamento e Inundação na Bacia do rio São Bartolomeu (Distrito Federal). 223 p. (ENC/FT/UnB, Mestre, Geotecnia, 2014)

- BISPO, Carlos de Oliveira. (2018) Suscetibilidade natural e induzida à ocorrência de escorregamentos no litoral norte de Maceió, Alagoas. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Recife, 2018. 115 f.
- BITAR, Y. O. (2014). Carta de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações: 1:25.000. Nota técnica explicativa, IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo; CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Brasília, DF, 50 p.
- BRASIL (1979). Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências. Diário Oficial República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 11 p.
- BRASIL (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Diário Oficial República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 292 p.
- BRASIL (2001). Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Diário Oficial República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 19 p.
- BRASIL (2005). Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 357, de 15 de junho de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.
- BRASIL (2007). Lei municipal n. 5.593, de 08 de fevereiro de 2007. Institui o código de urbanismo e edificações do município de Maceió, estabelece o zoneamento da cidade. Disponível em: <  
[http://www.serveal.al.gov.br/legislacao/codigos/Lei%20n0%205.593\\_2007\\_Edif%20e%20Urb\\_Mcz.doc/view](http://www.serveal.al.gov.br/legislacao/codigos/Lei%20n0%205.593_2007_Edif%20e%20Urb_Mcz.doc/view)> Acesso em: 10 jan. 2017.
- BRASIL (2010). Lei n.º 12.340, de 1 de dezembro de 2010. Dispõe sobre as transferências de recursos da União aos órgãos e entidades dos Estados, Distrito Federal e Municípios para a execução de ações de prevenção em áreas de risco de desastres e de resposta e de recuperação em áreas atingidas por desastres e sobre o Fundo Nacional para Calamidades Públicas, Proteção e Defesa Civil; e dá outras providências. 2010b. Disponível em: <  
[http://www.planalto.gov.br/civil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112340.htm](http://www.planalto.gov.br/civil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112340.htm)>. Acesso em: 20 jun. 2020.
- BRASIL (2012). Lei n.º 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC. Dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil -

- SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil – CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; altera as Leis nos 12.340, de 1o de dezembro de 2010, 10.257, de 10 de julho de 2001, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 11 abr. 2012a.
- BRASIL (2012). Lei n.º 12.651, de 25 de maio de 2012. Código Florestal Brasileiro. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 28 maio 2012d
- BRASIL (2012). Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres. Diário Oficial República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 12 p.
- BRASIL (2015). LEI Nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015. Institui o Estatuto da Metrópole, altera a Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001, e dá outras providências. Diário Oficial República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 8 p.
- BRASIL (2021). decreto nº 10.829, de 5 de outubro de 2021: Regulamenta a Lei nº 14.204, de 16 de setembro de 2021, que simplifica a gestão de cargos em comissão e de funções de confiança na administração pública federal direta, autárquica e fundacional, e altera o Decreto nº 9.739, de 28 de março de 2019.
- CABUS, R. (2005). Clima e conforto ambiental – um estudo para Maceió. Apostila da disciplina de Iluminação natural do Mestrado em Dinâmicas do Espaço Habitado da Universidade Federal de Alagoas, Maceió/AL.
- CERRI, L. E. S. & Amaral, C. P. (1998). Riscos Geológicos. In: OLIVEIRA, A. M. S. & BRITO, S. N. A. (eds.) 1998. Geologia de Engenharia. São Paulo, ABGE.
- CERRI, L. E. S. (1990). Carta Geotécnica: contribuições para uma concepção voltada as necessidades brasileiras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 6., Salvador, 1990. Anais. Salvador, ABGE, v.1, p. 309-317.

- CERRI, L. E. S. (1999) Riscos Geológicos Urbanos. In: CHASSOT, A; CAMPOS, H. (Org.) Ciências da Terra e Meio Ambiente: diálogos para (inter)ações no Planeta. São Leopoldo (RS): Editora Unisinos, 1999.
- CERRI, L.E.S.; AKIOSSI, A.; AUGUSTO FILHO, O. & ZAINÉ, J.E. (1996). Cartas e mapas geotécnicos de áreas urbanas: reflexões sobre as escalas de trabalho e proposta de elaboração com o emprego do método de detalhamento progressivo. 8º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, ABGE, Rio de Janeiro, RJ, 2: 537-548.
- CHRISTOFOLETTI, A. Análise de sistemas em Geografia São Paulo: Hucitec/Edusp: 1979.
- CIRILO, J. A.; ALVES, F. H. B.; SILVA, B. M.; CAMPOS, P. H. A. L. Pernambuco Tridimensional: Base de dados espaciais para planejamento urbano e gestão territorial. Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Portuguesa, p. 1- 10, 2015.
- CNM (2022a). Mais de 25% das mortes por chuvas no Brasil nos últimos 10 anos ocorreram em 2022. Confederação Nacional de Municípios. Disponível em: < <https://www.cnm.org.br/comunicacao/noticias/mais-de-25-das-mortes-por-chuvas-no-brasil-nos-ultimos-10-anos-ocorreram-em-2022>> Acessado em: 14 de janeiro de 2023.
- CNM (2022b). Danos e prejuízos causados por desastres no brasil entre 2013 a 2022. Confederação Nacional de Municípios. Disponível em: < Ofício nº /2010-BSB/CNM Brasília, segunda-feira, 05 de janeiro de 2010 >. Acesso em: 14 de janeiro de 2023.
- COHIDRO (2006). Plano Diretor Região Hidrográfica do Pratygy. Relatório Final. p. 277. Disponível em <- Planos Diretores de Recursos Hídricos — semarh>. Acesso em 09 de agosto de 2021.
- CONCEIÇÃO, Raimundo Almir Costa Conceição; SIMÕES, Patrícia Mara Lage (2021). Nota técnica para elaboração de modelagens de inundação. CPRM, 2021.
- COSTA, J. de A.; LIMA, R. C. . A. .; LIMA, L. M. C. A. de .; RAMOS, V. A.; CALHEIROS, S. Q. C. .; SILVA, A. P. L. da .; BRANDÃO, D. M. dos S. .; SILVA, J. P. . A geomorfologia de Maceió e área de influencia para análise ambiental por geoprocessamento. Sociedade & Natureza, [S. l.], v. 8, n. 15, 2021. DOI: 10.14393/SN-v8-1996-61898. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/61898>. Acesso em: 23 oct. 2022.
- COUTINHO, R. Q. (2013). Parâmetros para a cartografia geotécnica e diretrizes para medidas de intervenção de áreas sujeitas a desastres naturais. Documento Técnico. Convênio Ministério das Cidades. Recife: GEGEP / UFPE.

- CPRM (2021). Serviço Geológico do Brasil. Guia de procedimentos técnicos do Departamento de Gestão Territorial: volume 4 – cartas de padrões de relevo municipais, escala 1:25.000 (versão 1) / Organizadores Marcelo Eduardo Dantas ... [et al.]. – Brasília : CPRM, 2021. ISBN 978-65-5664-107-2
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao ordenamento territorial. (INPE-8454-RPQ/722). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2001.
- CRUDEN, David. (1996). Cruden, D.M., Varnes, D.J., 1996, Landslide Types and Processes, Special Report , Transportation Research Board, National Academy of Sciences, 247:36-75. Special Report - National Research Council, Transportation Research Board. 247. 76.
- DANTAS, M. R. (2012). Biblioteca de relevo do território brasileiro. Geodiversidade do Estado de Minas Gerais, M. F. Machado & S. F. Silva, CPRM, Belo Horizonte, MG, Apêndice II. 136 p.
- de Informações básicas. Maceió: IBAM - Instituto Brasileiro de Administração Municipal/DUMA- Área de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente.
- DINIZ, N. C. & CINTRA, J. P. (1999). Automação da cartografia geotécnica: uma panorâmica da cartografia geotécnica no IPT na década de 90. Anais. Rio Claro: UNESP, 1999.
- DINIZ, N.C. (2012). Cartografia Geotécnica por Classificação de Unidades de Terreno e Avaliação de Suscetibilidade e Aptidão. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, São Paulo, SP, v. 2, n. 1, p. 29-77.
- ESRI (2019). Fuzzy Membership (Spatial Analyst). Disponível em: <Fuzzy Membership (Spatial Analyst)—ArcGIS Pro>. Documentation. Acessado em 01 de fevereiro de 2023.
- FARIAS, M. (2021) Chuva provoca alagamentos e deslizamentos de terra em Maceió. Disponível em: < <https://g1.globo.com/al/alagoas/noticia/2021/06/15/chuva-provoca-alagamentos-em-ruas-de-maceio.ghtml>> Acessado em 03/02/2021
- FERREIRA, R. V. Geomorfologia da região de Japaratinga – AL. 1999. 86f. Dissertação (mestrado em Geociências) - Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco. 1999.
- HAMMAMI, A; ZOUHRI L.; SOUISSI D.; SOUEI A., ZGHIBI A., Marzougui, A. & DLALA, M. (2019) .Application of the GIS based multi-criteria decision analysis and analytical hierarchy process (AHP) in the flood susceptibility mapping (Tunisia). Arabian Journal of Geosciences (2019).

- IAEG (1976). Engineering Geology maps: a guide to their preparation. Unesco, Paris, França, 79 p.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Brasileiro de 2010. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.
- IBGE (1999). Noções Básicas de Cartografia. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em junho de 2020.
- IBGE (2013). Manual técnico de uso da terra. Coleção Ibgeana. Manuais técnicos em geociências, ISSN 0103-9598. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=281615>> Acessado em junho de 2020
- IBGE (2018). Perfil dos municípios brasileiros 2017. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. 106 p. Acima do título: Pesquisa de Informações Básicas Municipais. ISBN 978-85-240-4462-5. Disponível em: < <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101595.pdf> > Acessado em junho de 2020.
- JAPIASSÚ, L. A. T. (2015). Expansão Urbana de Maceió, Alagoas: Caracterização do Processo de Crescimento Territorial Urbano em Face do Plano de Desenvolvimento – de 1980 a 2000. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2015. 165 f.
- LAGO, D. (2019). O Censo Brasileiro de 2020. Disponível em: <<https://g1.globo.com/politica/blog/matheus-leitao/post/2019/12/31/o-censo-brasileiro-de-2020.ghtml>>. Acessado em: 09/06/2020
- LIMA, E. R. V.; PINTO, S. A. F. e LANDIM, P. M. B. (2014). Análise multivariada e cartografia de síntese no estudo da erosão dos solos. Revista do Departamento de Geografia – USP, Volume Especial Cartogeo (2014), p. 40-93.
- LIMA, R. R. (2016). Carta geotécnica de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais e induzidos elaborada para o município do Ipojuca-PE na escala de planejamento (1:25.000). Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2016.
- MATAMOROS SEVILLA, TANIA MARIELA. (2016) Estudo de Processos Erosivos: Análise Geotécnica de Áreas Degradadas no Entorno do Reservatório de Batalha GO/MG 2016 xix, 151 p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Geotecnia, 2016)
- MCiIDADES - MINISTÉRIO DAS CIDADES (2006). Capacitação em Mapeamento e Gerenciamento de Risco. 2006.

- MENESES, P.R. and Almeida, T.D. (2012) Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. UnB, Brasília, 1-33. 2012.
- MENEZES JÚNIOR, E. M.(2015) Análise geomorfológica da suscetibilidade a deslizamentos na folha Paulista (1:25.000) – Região Metropolitana do Recife. 2015. 156 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015
- OLIVEIRA, A.N.S; AMORIM, C.M.F; LEMOS, R.P.L. (Org). (2014). As riquezas das áreas protegidas no território alagoano. Instituto do Meio Ambiente do Estado de Alagoas: Mineração Vale Verde, 2014.ima
- PARAHYBA, R. da B. V. et al. (2008). Solos do Município de Maceió-AL. In: Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais. Rio de Janeiro.
- PELOGGIA A. U. G. (1997). Deve Haver um Método para a Cartografia Geotécnica? Discussão Metodológica acerca da Cartografia Geotécnica em algumas de suas Modalidades mais difundidas. Revista Brasileira de Geociências 27(2), p. 199-206, 1997.
- Perfil Municipal. Messias, Ano 4, nº 4 (2013). (2018) Maceió: Secretaria de Estado do Planejamento, Gestão e Patrimônio, 2018. Disponível em <<http://www.dados.al.gov.br>>.
- PMM. (2005). Prefeitura Municipal de Maceió. Plano Diretor do município de Maceió, Lei Municipal nº 5.486/2005.
- PRANDINI, F.L. et al. (1995). Cartografia Geotécnica nos planos diretores regionais e municipais. In: O.Y. Bitar (coord.). 1995. Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente. ABGE/IPTDIGEO. São Paulo. Série Meio Ambiente. p.187-202.
- Raimundo Conceição; Patrícia Simões. (2019) Modelagem de Suscetibilidade a Inundação Utilizando Processo Analítico Hierárquico (AHP) E Lógica Fuzzy. In: ANAIS DO XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2019, Santos. Anais eletrônicos... São José dos Campos, INPE, 2019. Disponível em: <<https://proceedings.science/sbsr-2019/papers/modelagem-de-suscetibilidade-a-inundacao-utilizando-processo-analitico-hierarquico--ahp--e-logica-fuzzy?lang=pt-br>>. Acesso em: 31 de jan. 2023.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- RODRIGUES, B. T.; CALHEIROS, S. Q. C.; Melo, N. A.(2013).POTENCIAL DE MOVIMENTO DE MASSA NO MUNICÍPIO DE MACEIÓ-ALAGOAS.Geo UERJ - Ano 15, nº. 24, v. 1, 1º semestre de 2013 p. 207-227 ISSN: 1415-7543E-ISSN: 1981-9021. Disponível em: <<http://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/geouerj> > Acessado em: 10/11/2022.
- ROLNIK, R. (1994). Planejamento Urbano nos Anos 90: novas perspectivas para velhos temas. In: Luís Ribeiro; Orlando Júnior. (Org.). Globalização, Fragmentação e Reforma Urbana

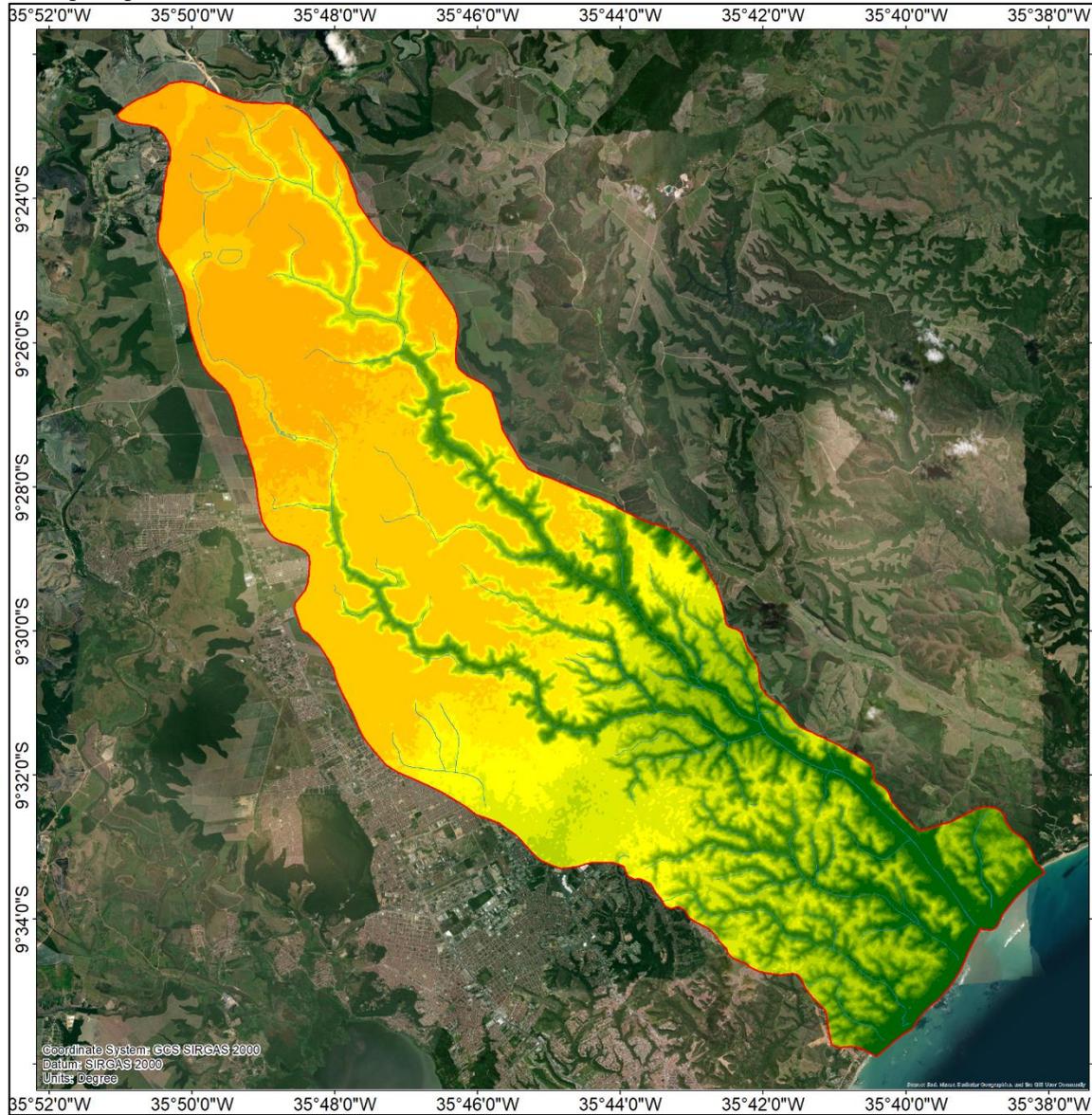
- O futuro das cidades brasileiras na crise. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 1994, v., p. -. Referências adicionais: Brasil/Português;
- ROLNIK, R., et al. (2012). 10 anos do Estatuto da Cidade: das lutas pela Reforma Urbana às cidades da Copa do Mundo. In: RIBEIRO, A.C.T; VAZ, L.F.; SILVA, M.L.P. (Org.). Quem planeja o território? Atores, arenas e estratégias. 1 ed. Rio de Janeiro: Letra Capital/ANPUR, 2012, v. -, p. 87-104.
- ROSA, C. R.(2017). Cartografia geotécnica da área costeira no município do Conde (PB): caracterização morfopedológica e processos de urbanização. Tese de Doutorado, Publicação G.TD – 139/17, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 183 p.
- ROSS, J. L. S. Geomorfologia: ambiente e planejamento. São Paulo: Contexto, 1990.
- Saaty, T.L. (1977) A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures. Journal of Mathematical Psychology, 15, 234-281.
- Saaty, T.L. (2008) Decision Making with the Analytic Hierarchy Process. International Journal of Services Sciences, 1, 83.
- SWAIN, K. C.; SINGHA, C. e NAYAK Laxmikanta (2020). Flood Susceptibility Mapping through the GIS-AHP Technique Using the Cloud. ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2020, 9, 720.
- SANTOS JUNIOR, O. A. & MONTANDON D. T. (2011). Síntese, Desafios e Recomendações. In: SANTOS, O. A; MONTANDON, D. T. (Org.), Os Planos Diretores Municipais Pós- Estatuto da Cidade: balanço crítico e perspectivas. Rio de Janeiro: Letra Capita: Observatório das Cidades: IPPUR/UFRJ, 2011. (ENC/FT/UnB, Doutor, Geotecnia, 2011)
- SANTOS, A. R. (2014). Manual básico para a elaboração e para o uso da Cartografia Geotécnica. Rudder, São Paulo, SP, 109 p.
- SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F.. (2018) Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, DF: Embrapa, 2018.
- SILVA JUNIOR, E.E.A. (2019). Geotecnologias e Planejamento Urbano: Proposta Metodológica e Avaliação de Dados Obtidos por Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA) como Contribuição à Cartografia Geotécnica. Tese de Doutorado, Publicação G.TD – 155/19, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 272 p.

- SILVA, L. H. O. (2018). Riscos geológicos urbanos: estudo de caso do bairro do Santo Amaro. Monografia de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Alagoas. 2018.
- SOBREIRA, F. G. & SOUZA, L. A. (2012). Cartografia geotécnica aplicada ao planejamento urbano. *Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental*.
- SOUZA, L. A. & SOBREIRA, F. G. (2015). Procedimentos para Elaboração de Cartas Geotécnicas no Planejamento Urbano. *Revista Brasileira de Cartografia* (2015) N0 67/1 141-156. Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto. ISSN: 1808-0936.
- STRAHLER, A. N. (1952). "Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topology", *Geological Society of America Bulletin*.
- TAVARES, K. A. S. (2017). Avaliação multitemporal da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Pratagy, Alagoas. Dissertação de Mestrado em Geografia. Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Alagoas F. 96. 2017
- THOMPSON, D., Fidalgo, E.C.C. (2013). Vulnerabilidade dos solos à erosão: estimativa da perda de solos na bacia hidrográfica do rio Guapi-Macacu – RJ Embrapa Solos, Rio de Janeiro. (Embrapa Solos. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 237).2013.
- TONIOLO, B. P. et al. (2019). Determinação de Fragilidade Ambiental por Meio de SIG na Bacia Hidrográfica do Rio Jundiá-Mirim, SP., Bruno & Marins Zurssa, Lazaro & Baptista, Acacio & Silva, Darllan & Medeiros, Gerson & Lourenço, Roberto. (2019). Determinação de Fragilidade Ambiental por Meio de SIG na Bacia Hidrográfica do Rio Jundiá-Mirim, SP.
- UFAL. Departamento de Geologia e Topografia & Departamento de Construção Civil e Transportes. Projeto: Mapa Geotécnico da Cidade de Maceió, 1º etapa. 1987.
- VALERIANO, M.M.; CARVALHO JÚNIOR, O. A. Geoprocessamento de modelos digitais de elevação para mapeamento da curvatura horizontal em microbacias. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 1, n 1, p. 17-29, 2003.
- VARNES, D.J. (1978). Slope movement types and processes. In: SCHUSTER, R. L; KRIZEK, R.J. (Ed.). *Landslides: analysis and control*. Washington: National Academy of Sciences, 1978. p. 11-33.
- VILLANUEVA, Tereza Cristina Bittencourt. (2016). Geodiversidade do estado de Alagoas / Organização Tereza Cristina Bittencourt Villanueva, – Salvador: CPRM, 2016.
- XAVIER, S. C. (2010). O mapeamento geotécnico por meio de geoprocessamento como instrumento de auxílio ao planejamento do uso e ocupação do solo em cidades costeiras:

- Estudo de caso para Pelotas (RS). 261 f. (Programa de Pós de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica/UFRGS, Mestre, Engenharia Oceânica, 2017)
- XAVIER, S. C. (2017). Mapeamento geotécnico aplicado ao planejamento do uso e ocupação do solo da cidade de Pelotas: estudo voltado à expansão urbana. 338 f. (Programa de Pós de Pós-Graduação em Engenharia Civil/UFRGS, Doutor, Geotecnia, 2017)
- ZAINE, J. E. (2000). Mapeamento geológico-geotécnico por meio do método do detalhamento progressivo: ensaio de aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP) / José Eduardo. 149f. (Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Doutor, Geociências, 2000)
- ZUQUETTE, L.V. & GANDOLFI, N. (2004). Cartografia geotécnica. Oficina de Textos, São Paulo, SP, 190 p.
- ZUQUETTE, L.V. (1987). Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para condições brasileiras. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, SP, 219 p.
- ZUQUETTE, L.V. (1993) Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamentos e guia para elaboração. São Carlos, SP, 1993. 2v. Tese de Livre Docência - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo/USP.

## **8. APÊNDICES**

Apêndice 1 - Mapa Hipsométrico

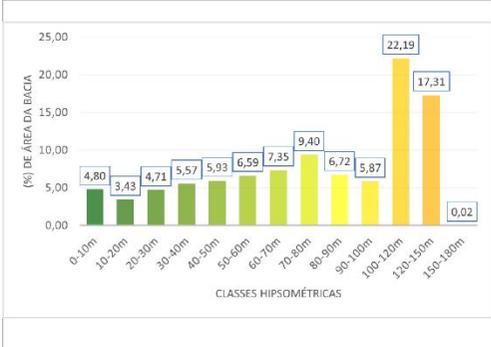


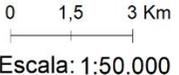
### HIPSOMÉTRICO

**Legenda**

□ Bacia do Pratagy (Área de Estudo)

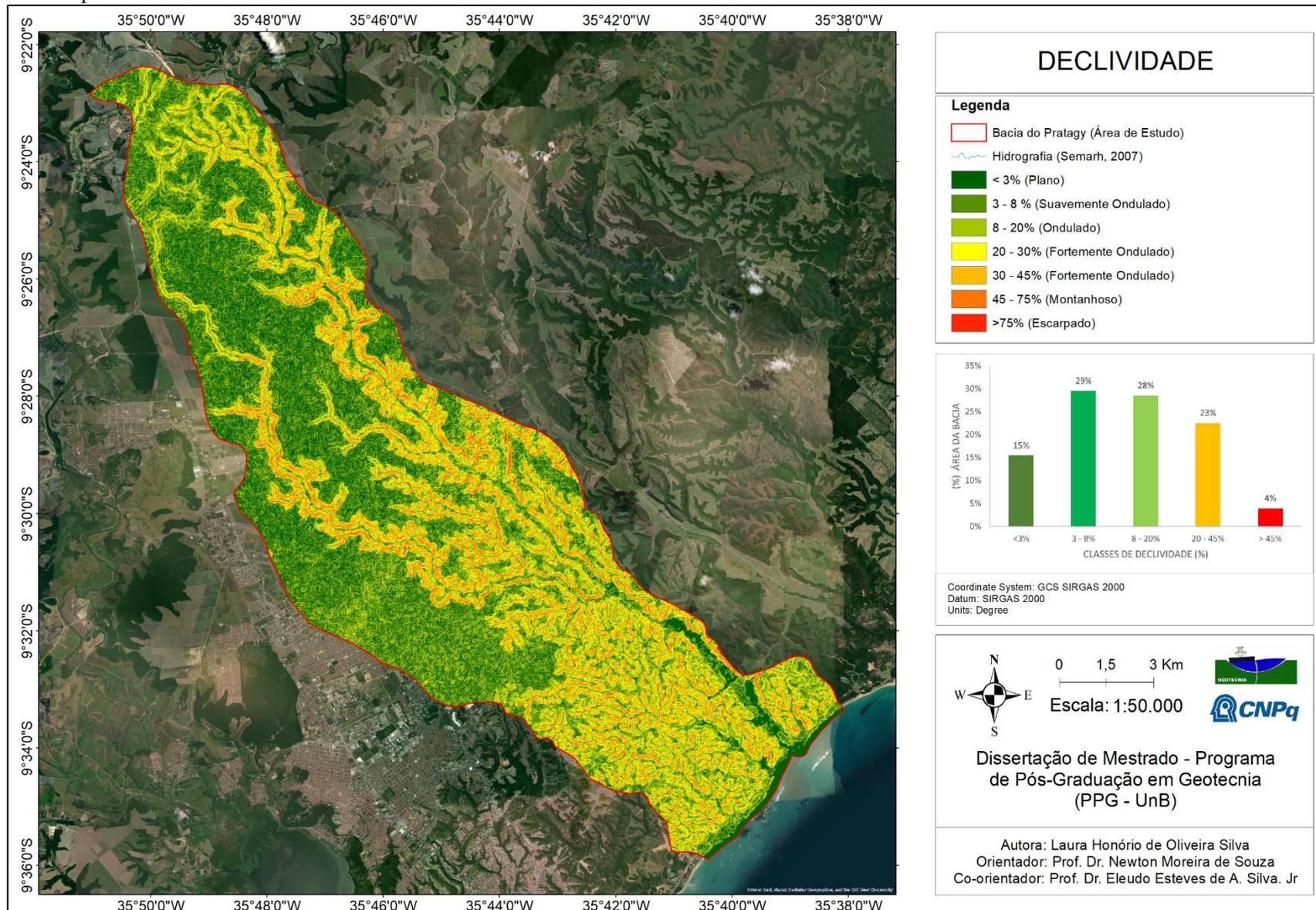
0-10 m	40-50 m	80-90 m
10-20 m	50-60 m	90-100 m
20-30 m	60-70 m	100-120 m
30-40 m	70-80 m	120-150 m
		150-180 m



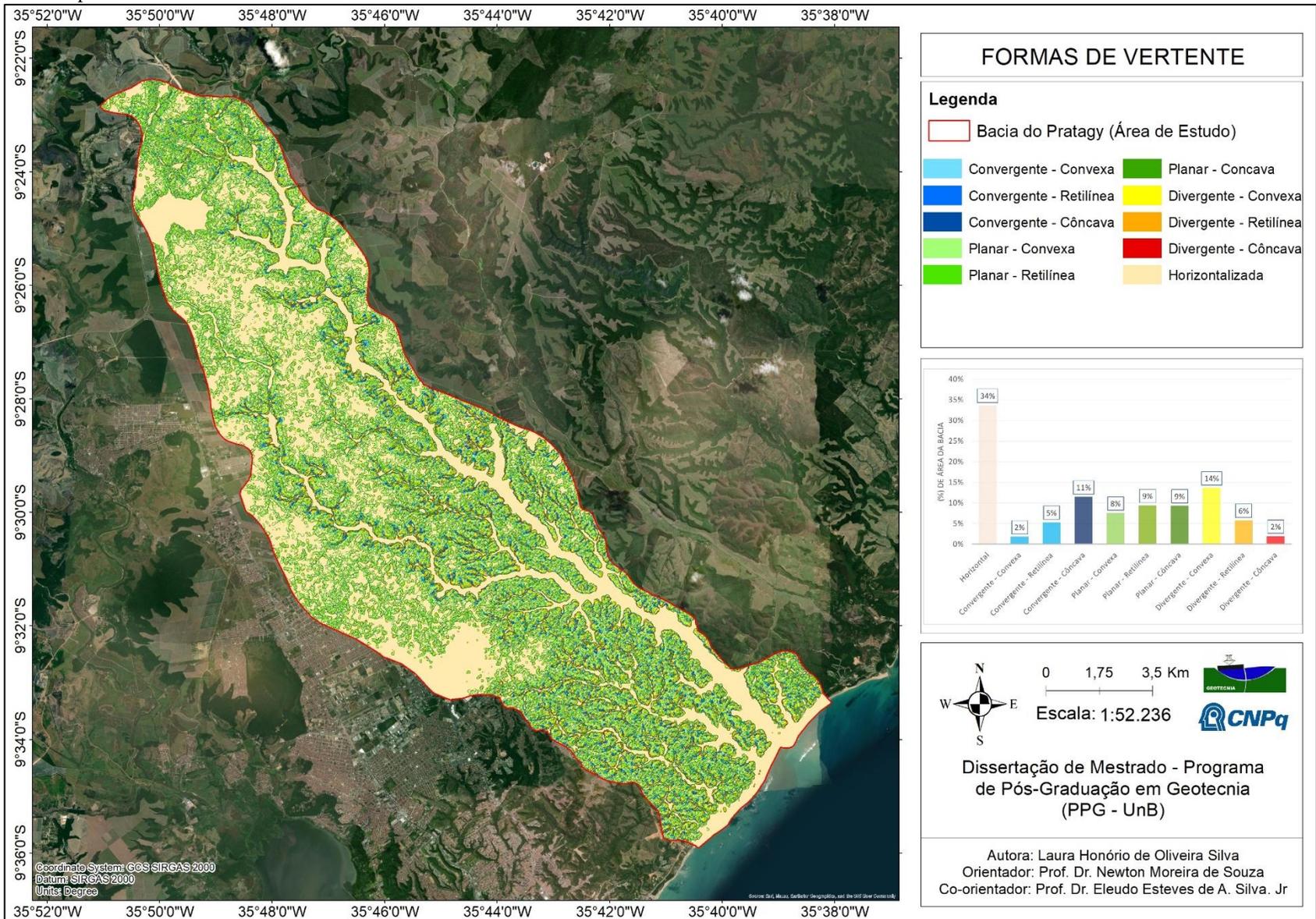




Escala: 1:50.000  
 Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Geotecnia (PPG - UnB)  
 Autora: Laura Honório de Oliveira Silva  
 Orientador: Prof. Dr. Newton Moreira de Souza  
 Co-orientador: Prof. Dr. Eleudo Esteves de A. Silva. Jr

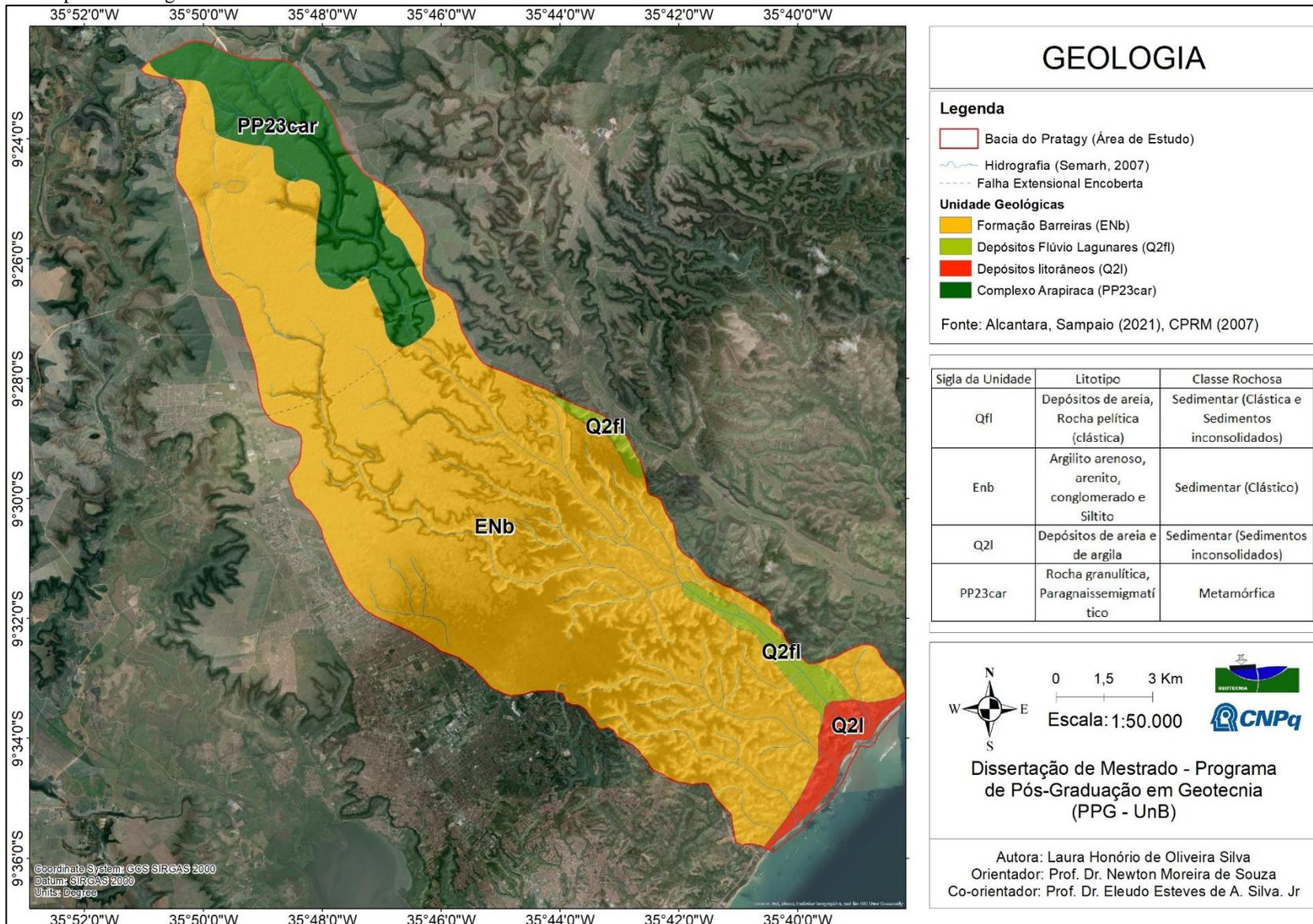
Apêndice 2: Mapa de declividade



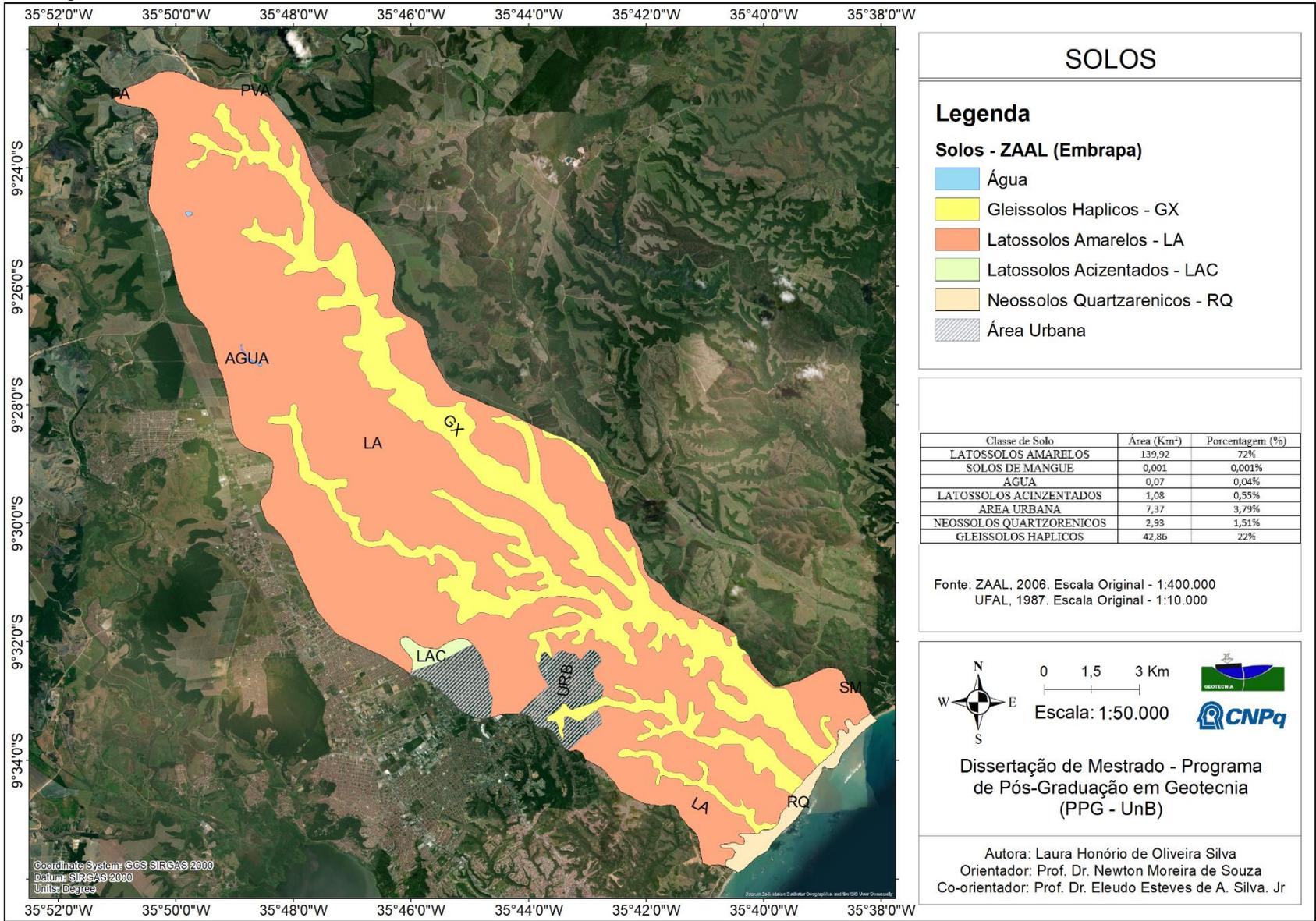
Apêndice 3 – Mapa de Formas de Vertente



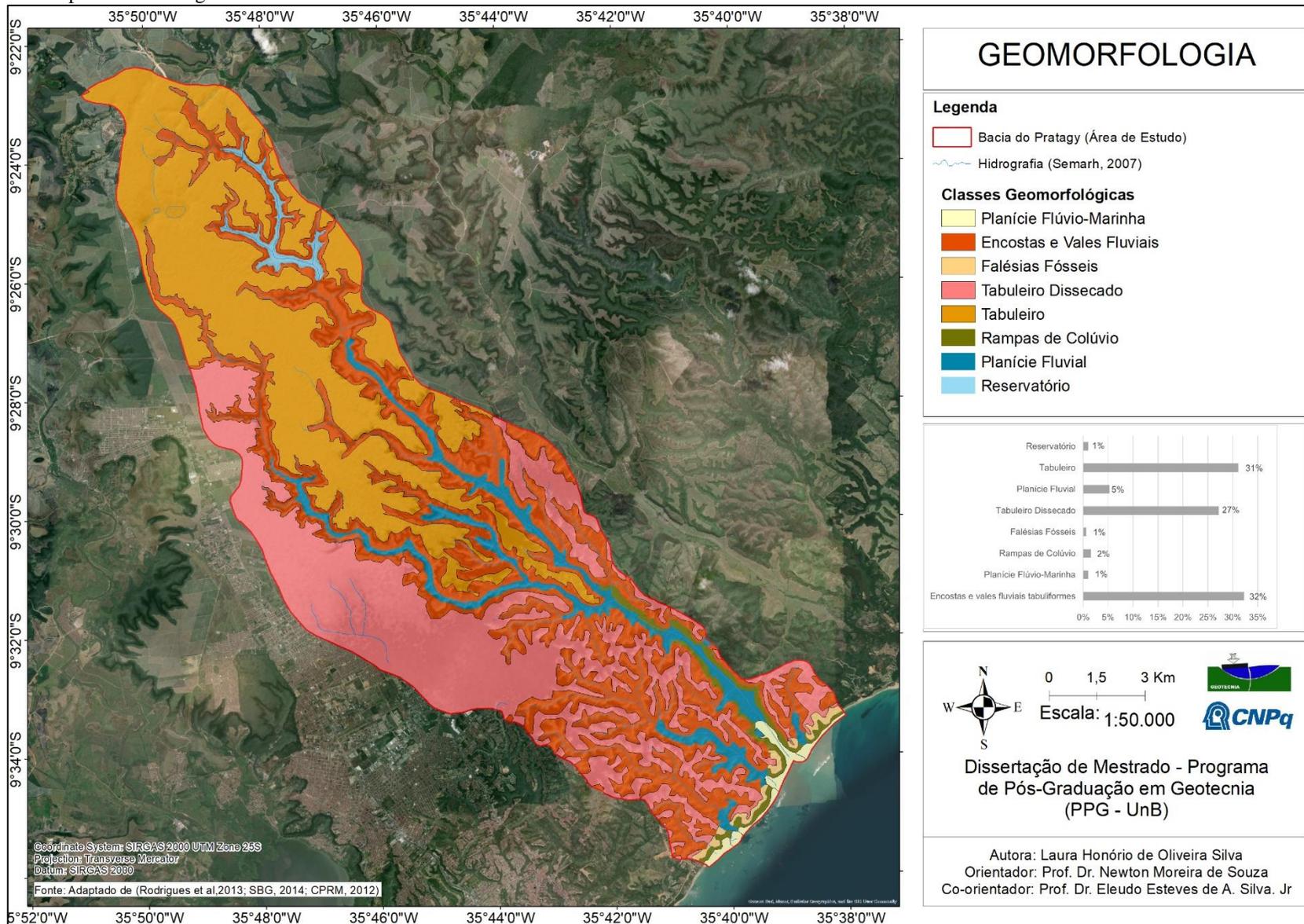
Apêndice 4: Mapa de Geologia



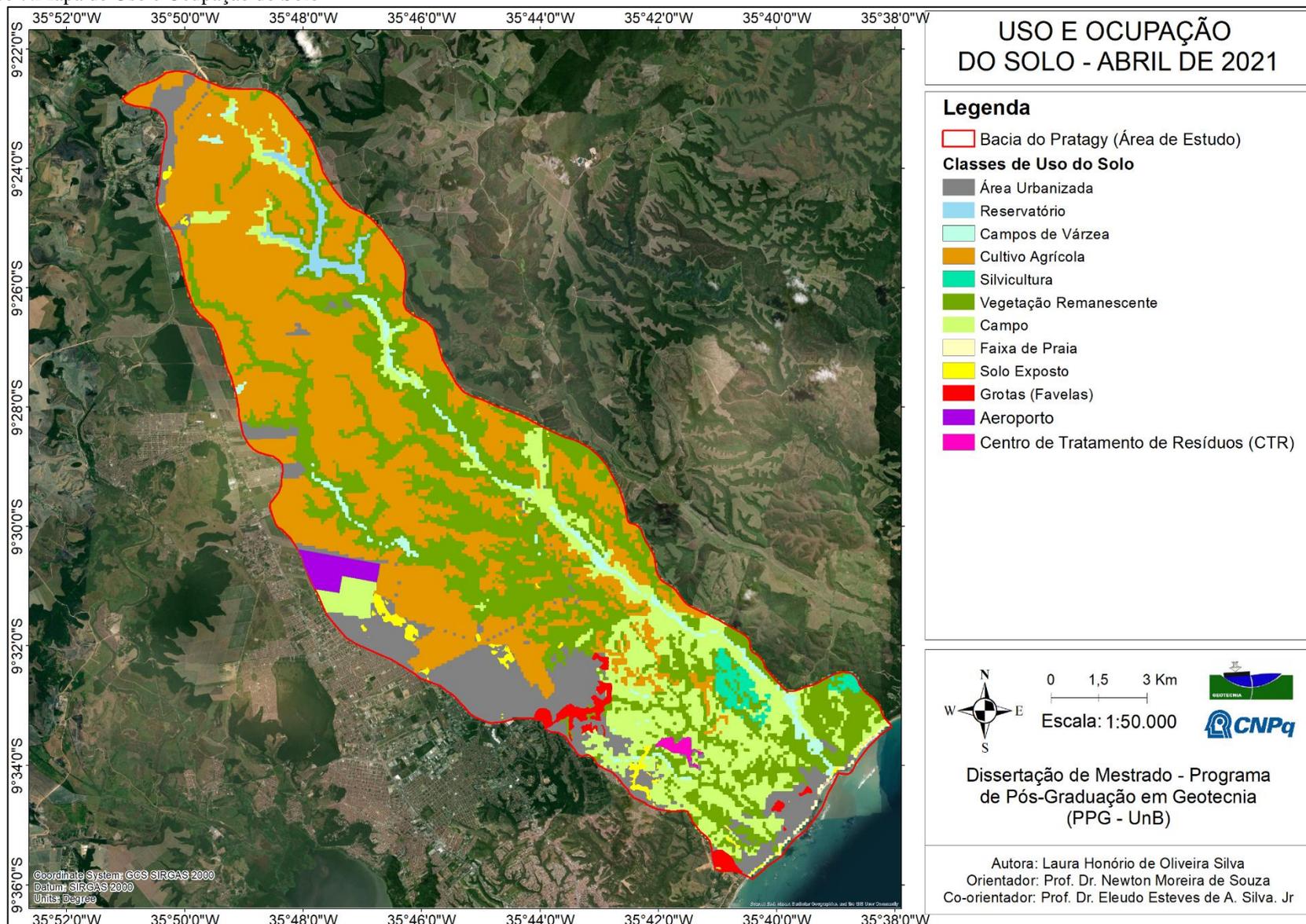
Apêndice 5: Mapa de Solos



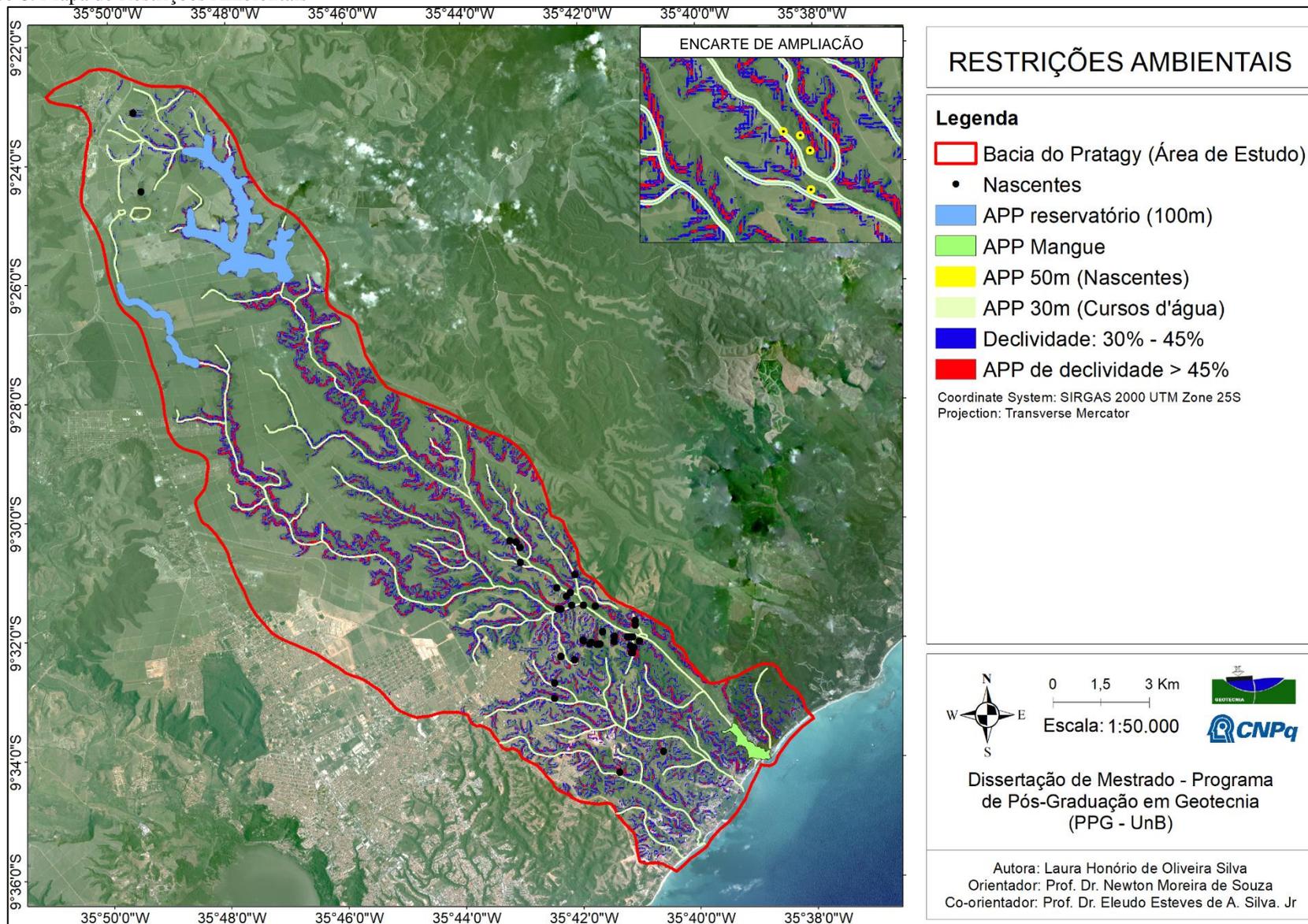
Apêndice 6: Mapa Geomorfológico



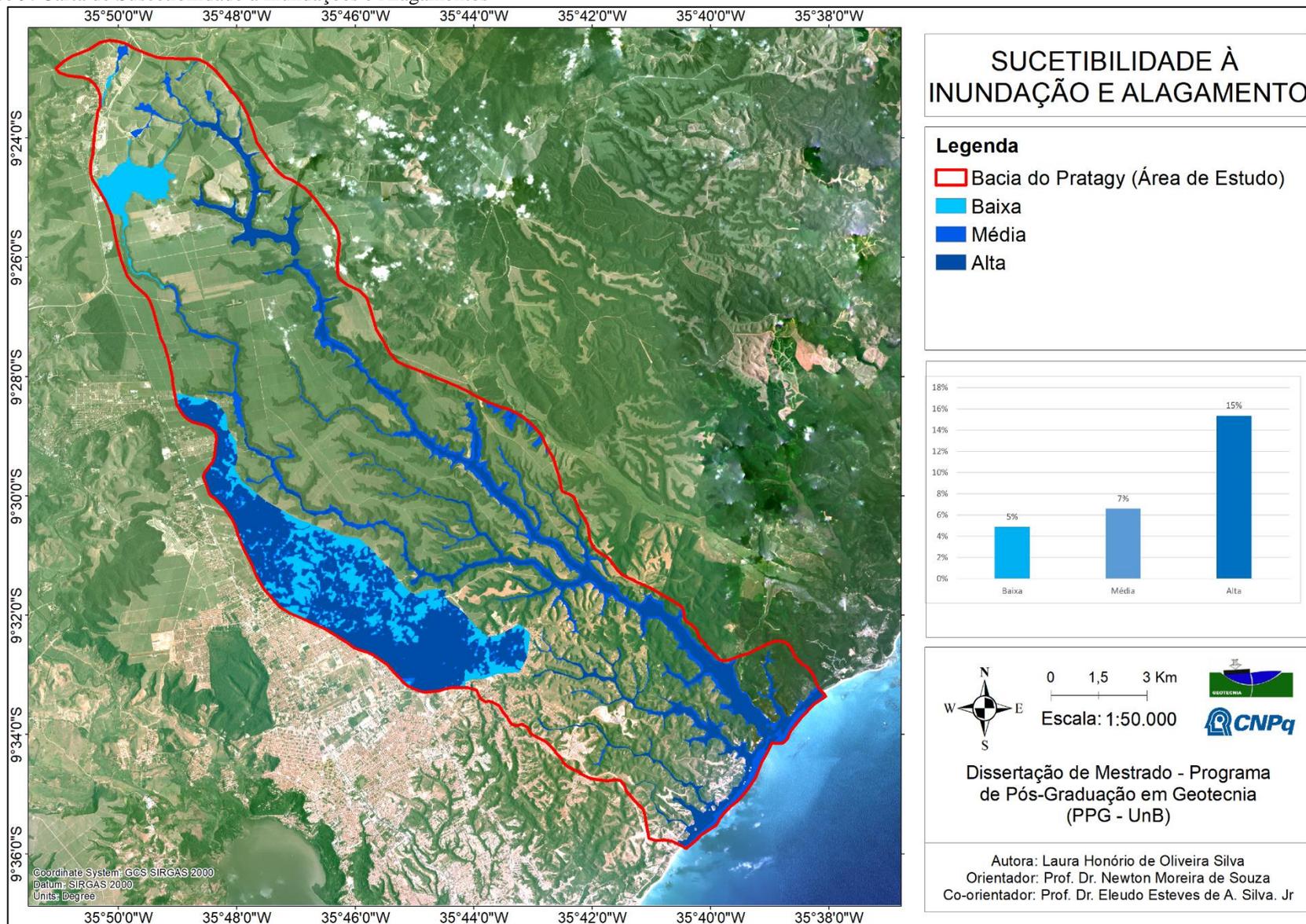
Apêndice 7: Mapa de Uso e Ocupação do Solo



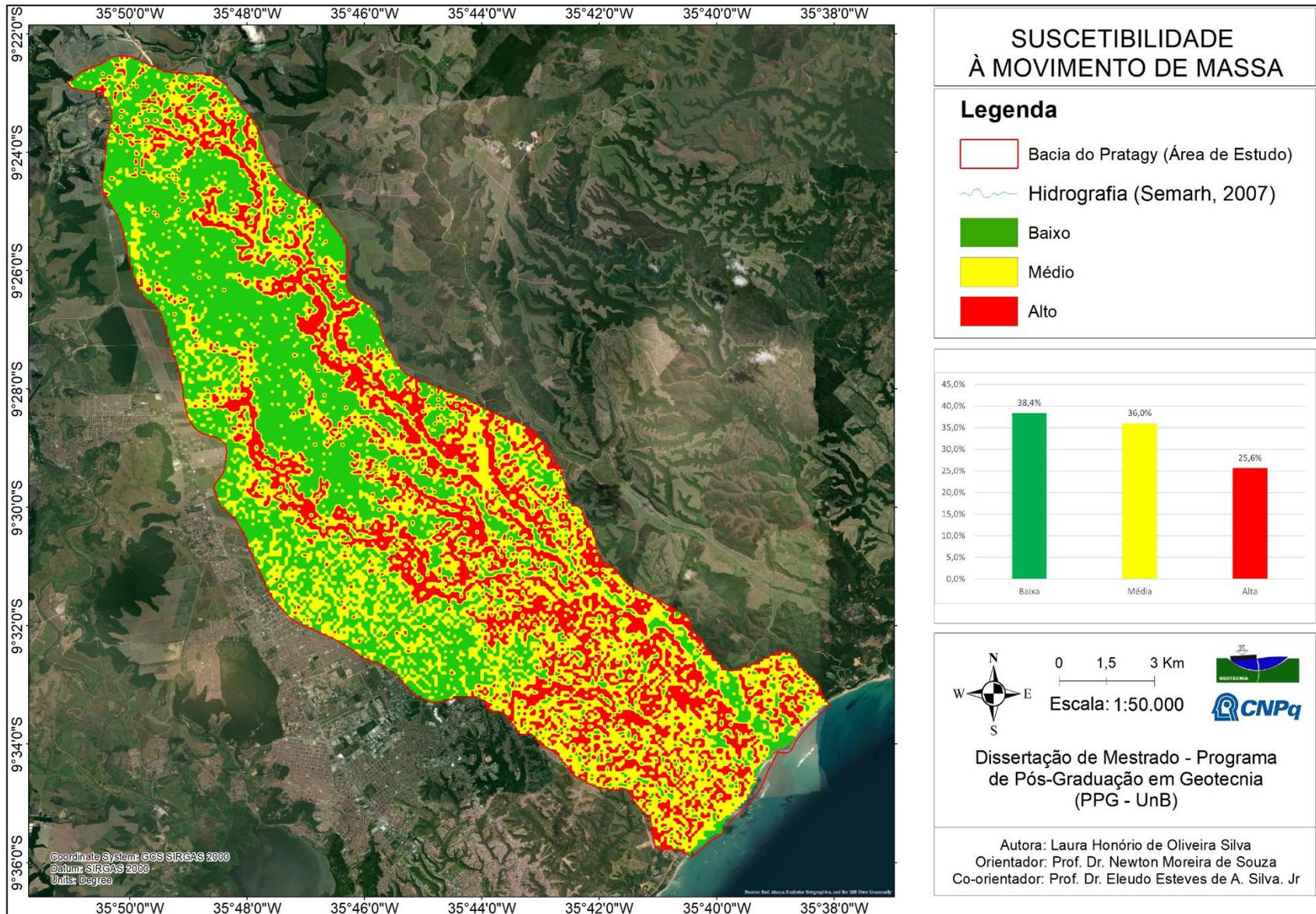
Apêndice 8: Mapa de Restrições Ambientais



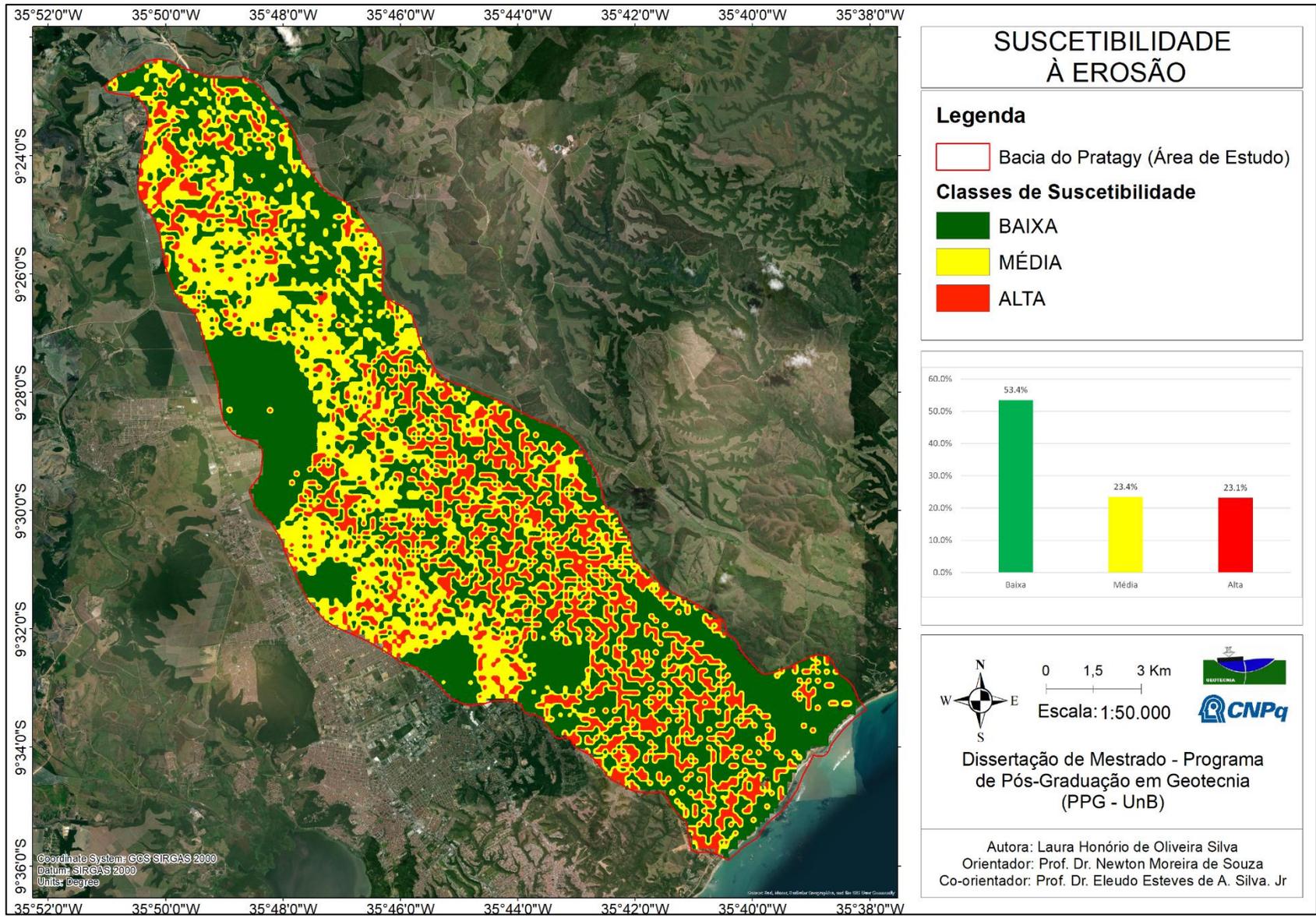
Apêndice 9: Carta de Suscetibilidade à Inundações e Alagamentos



Apêndice 10: Carta de Suscetibilidade à Movimento de Massa



Apêndice 11: Carta de suscetibilidade à Erosão



Apêndice 12: Carta de Aptidão à urbanização da Bacia Hidrográfica do Rio Pratygy

