



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CARIRI
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO REGIONAL
SUSTENTÁVEL

SANMIA DE LIMA PINTO

MAPA DE SUSCETIBILIDADE À EROSÃO
DO MUNICÍPIO DE JUAZEIRO DO NORTE/CE

CRATO/CE, 2021.

SANMIA DE LIMA PINTO

**MAPA DE SUSCETIBILIDADE À EROSÃO
DO MUNICÍPIO DE JUAZEIRO DO NORTE/CE**

Dissertação apresentada como requisito ao título de mestre do Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Desenvolvimento Regional Sustentável da Universidade Federal do Cariri – UFCA.

Orientadora: Prof^a Dr^a Ana Patrícia Nunes Bandeira.

Linha de Pesquisa: Uso e ocupação do solo no âmbito do planejamento urbano e geotecnia ambiental.

CRATO/CE, 2021.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação.
Universidade Federal do Cariri.
Sistema de Bibliotecas

- P659m Pinto, Sanmia de Lima.
Mapa de suscetibilidade à erosão do município de Juazeiro do Norte / CE / Sanmia de Lima Pinto. – 2021.
143 f.: il. color.30 cm
- Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Cariri, Mestrado em Desenvolvimento Regional Sustentável (PRODER), Crato, 2021.
- Orientação: Profa. Dra. Ana Patrícia Nunes Bandeira.
1. Cartografia geotécnica. 2. Erodibilidade. 3. Álgebra de mapas. 4. Erosão – Juazeiro do Norte. I. Título.

CDD 526

Bibliotecária: Glacínésia Leal Mendonça
CRB 3/ 925

SANMIA DE LIMA PINTO

**MAPA DE SUSCETIBILIDADE À EROSÃO
DO MUNICÍPIO DE JUAZEIRO DO NORTE/CE**

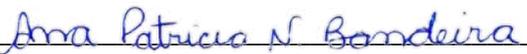
Dissertação apresentada como requisito ao título de mestre do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Desenvolvimento Regional Sustentável da Universidade Federal do Cariri – UFCA.

Área de Concentração: Desenvolvimento Regional Sustentável.

Linha de Pesquisa: Meio Ambiente.

Aprovada em: 08/11/2021.

BANCA EXAMINADORA


Prof^a Dr^a Ana Patrícia Nunes Bandeira
(Orientadora – UFCA)



Prof. Dr. Marcelo Martins de Moura-Fé
(Examinador Interno – UFCA/URCA)



Prof^a Dr^a Simone Cardoso Ribeiro
(Examinadora Externa – URCA)

Dedico esse trabalho ao meu companheiro Thiago,
pelo incentivo e amor durante a nossa caminhada.

AGRADECIMENTOS

Ao Nosso Deus, que nos momentos mais difíceis, continua conosco incondicionalmente e nos faz reerguer com a sua infinita misericórdia.

À minha mãe, Maria Cleide, tão dedicada aos seus filhos cuidando da nossa educação prioritariamente e com muito esmero.

Ao meu pai, Antônio Moacir (*in memorian*), por nos ensinar a ver a vida com muita naturalidade.

Ao meu companheiro Thiago por ter me incentivado a ingressar no PRODER e vibrar com cada aprendizado meu, e por escolher evoluir comigo nessa vida.

Aos meus irmãos Sidney, Swianne, Sarah e Sofia, seus companheiros e meus sobrinhos, por serem meu elo de amor e porto seguro sempre.

À minha segunda família D. Terezinha, Sr. Valmir (*in memorian*), Helton e Erica, seus companheiros e meus sobrinhos, pelo incentivo e acolhimento.

Ao PRODER, pela minha transformação de como ver o mundo buscando em minhas atitudes mais íntimas o equilíbrio entre sociedade, meio ambiente e economia.

À minha orientadora, professora Ana Patrícia, por não desistir de mim, por ter segurado a minha mão, transcendendo a orientação deste trabalho, empregando em cada atitude e em cada palavra, a verdadeira função do mestre.

Ao corpo docente do PRODER, por “quebrar paradigmas” do pensamento do desenvolvimento regional sustentável e instigar a busca de um mundo melhor.

Aos membros da banca, professora Simone Ribeiro e professor Marcelo Moura-Fé, pelas sugestões engrandecedoras durante a qualificação.

Ao Sr. Antônio Oliveira de Sousa, diretor da Defesa Civil de Juazeiro do Norte, pela disponibilidade de acompanhar os trabalhos de campo e pelo apoio à consolidação deste trabalho.

Aos meus amigos que ingressaram no PRODER em 2019, pela rede de apoio criada desde então, pelas trocas de experiências de forma muito respeitosa e enriquecedora.

Aos amigos Antônio Italcy e Izequiel Laurentino, pela contribuição valerosa nos conhecimentos de geoprocessamento e pelo incentivo durante essa caminhada.

RESUMO

Os grandes centros urbanos brasileiros têm apresentado diversos problemas socioambientais. Se por um lado tem-se a Constituição Federal e o Estatuto da Cidade como instrumentos legislativos que orientam a elaboração dos Planos Diretores de Desenvolvimento Urbano (PDDUs), por outro lado os municípios registram problemas agravados pelo aumento populacional desordenado nas zonas urbanas, como tem ocorrido em Juazeiro do Norte, localizado no sul cearense, nordeste do Brasil. Dentre os problemas registrados nas cidades, destacam-se os relacionados aos desastres naturais, tais como os processos erosivos, os deslizamentos e as inundações, o que provocou o surgimento da Lei 12.608/2012, que instituiu a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), mostrando a necessidade de elaboração de cartas geotécnicas com a finalidade de orientar a ocupação do solo urbano, para evitar o surgimento de novas áreas de risco e prevenir os desastres. Diante deste contexto, o objetivo deste trabalho é apresentar os resultados de um mapeamento de áreas suscetíveis aos processos erosivos de Juazeiro do Norte/CE, e assim contribuir com os gestores municipais na melhor forma de ocupar o solo, sobretudo nas áreas em potencial expansão urbana. Este trabalho foi desenvolvido por meio de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), usando mapas temáticos de: uso e ocupação do solo, relevo, geologia, pedologia e erosividade da chuva; com a sobreposição destes mapas através da Análise Hierárquica de Processo (AHP), mediante aplicação do método heurístico. Através dos dados analisados, observou-se um aumento expressivo da área de Infraestrutura Urbana nos últimos anos, cuja suscetibilidade à erosão se enquadra na classe muito alta, que correspondia a 4% da área do município em 2000, triplicando em 2019 (atingindo 13%) e continuando a crescer em 2021 (alcançando os 16%). Algumas áreas de baixa suscetibilidade à erosão apresentam cicatrizes desse processo, nitidamente acentuadas pela ausência ou insuficiência de redes de drenagem. O mapa final de suscetibilidade à erosão de Juazeiro do Norte apresentou 22% da área classificada como alta suscetibilidade, 37% como média e 41% como baixa suscetibilidade. As áreas com melhores condições de ocupação quanto à suscetibilidade à erosão estão localizadas em direção ao município de Missão Velha e na porção ao norte do Rio Salgadinho, sugerindo zonas que podem ser consideradas como de futura expansão urbana do município. No entanto, é necessário a implantação de obras de drenagem e de proteções do solo, por exemplo, para que os processos erosivos não ocorram de maneira acelerada.

Palavras-chave: cartografia geotécnica; erodibilidade; álgebra de mapas; análise multicritério; planejamento urbano.

ABSTRACT

Large Brazilian urban centers has been presenting several socio-environmental problems. If, on the one hand, the Federal Constitution and the City Statute are legislative instruments that guide the preparation of Urban Development Master Plans (UDMP's), on the other hand, municipalities have problems aggravated by the disorderly population increase in urban areas, as has occurred in Juazeiro do Norte, located in southern Ceara, northeastern Brazil. Among these problems registered in cities, those related to natural disasters stand out, such as erosion, landslides and floods, which led to the emergence of Law 12.608/2012, instituting the National Policy for Civil Defense and Protection (PNPDEC), showing the need to prepare geotechnical maps with an adequate guide for the occupation of urban land, to avoid the emergence of new risk areas and preventing natural disasters. Given this context, the objective of this work is to present the results of a mapping of areas susceptible to erosion processes in Juazeiro do Norte/CE, and thus contribute to municipal managers in the best way to occupy the land, especially in areas with potential urban expansion. This work was developed through Geographic Information Systems (GIS), using thematic maps of: land use and occupation, relief, geology, pedology and rainfall erosivity; with the overlapping of these maps through the Hierarchical Process Analysis (HPA), by applying the heuristic method. Through the data obtained, it is observed a significant increase in the area of Urban Infrastructure in the years, whose susceptibility to erosion falls within the very high class, which corresponds to 4% of the municipality's area in 2000, tripling in 2019 (reaching 13%) and continuing to grow in 2021 (reaching 16%). Some areas of low susceptibility to erosion have scars from this process, clearly accentuated by the absence or insufficiency of drainage networks. The final erosion susceptibility map of Juazeiro do Norte shows 22% of the area classified as high susceptibility, 37% as medium and 41% as low susceptibility. The areas with the best conditions of occupation in terms of susceptibility to erosion are towards the municipality of Missão Velha and the northern portion of the Salgado River, suggesting areas that can be considered as areas of future urban expansion in the municipality. However, it is necessary to implement drainage and soil protection works, for example, so that erosion processes do not occur in an accelerated manner.

Keywords: geotechnical cartography; erodibility; map algebra; multicriteria analysis; urban planning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização do Ceará e Juazeiro do Norte.....	15
Figura 2 – Imagem aérea de Juazeiro do Norte no ano 2000 (poligonal na cor vermelha).....	18
Figura 3 – Imagem aérea de Juazeiro do Norte no ano 2020 (poligonal na cor vermelha).....	18
Figura 4 – Imagem aérea da ocupação na colina do Horto (4a-2000 e 4b-2020), com áreas de expansões indicadas nas setas de cor amarela.....	19
Figura 5 – Imagem aérea da ocupação na Zona Especial 2 (poligonal amarela) (5a-2000 e 5b-2020), com áreas de expansões indicadas nas setas de cor amarela.....	19
Figura 6 – Registro da chuva em 2018 e a falta de infraestrutura em Juazeiro do Norte/CE.....	20
Figura 7 – Erosões decorrentes da chuva e falta de infraestrutura em Juazeiro do Norte/CE.....	20
Figura 8 – Deslizamento no Crato/CE após chuvas concentradas em 2019.....	21
Figura 9 – Objetivos do Desenvolvimento Sustentável favorecidos com o estudo.....	26
Figura 10 – Objetivos do Desenvolvimento Sustentável que tem relação indireta.....	28
Figura 11 – Classificação das erosões.....	29
Figura 12 – Tipos de formatos das erosões.....	30
Figura 13 – Erosões aceleradas em áreas periurbanas de Juazeiro do Norte/CE.....	32
Figura 14 – Erosões no Parque Natural Municipal das Timbaúbas em Juazeiro do Norte/CE.....	32
Figura 15 – Histórico dos principais acontecimentos relacionados à Gestão de Riscos.....	40
Figura 16 – Distribuição do investimento para atividades do PNGRRDN.....	41
Figura 17 – Municípios monitorados pelo CEMADEN na região do nordeste brasileiro.....	42
Figura 18 – Exemplo de delimitação pela Unidade Homogênea de Terreno (UHT).....	44
Figura 19 – Zoneamento de suscetibilidade a movimentos de massa, distinguindo-se as três classes pela tonalidade da cor (mais escura: alta; intermediária: média; mais clara: baixa).....	45
Figura 20 – Exemplo de carta síntese de suscetibilidade com os dados principais.....	46
Figura 21 – Mapa de suscetibilidade à erosão da Bacia Hidrográfica do São José (BHSJ).....	48
Figura 22 – Avanço urbano de Juazeiro do Norte entre 1990 e 2019.....	54
Figura 23 – Mapa de cobertura vegetal por NVDI do município de Juazeiro do Norte/CE.....	56
Figura 24 – Mapa de altimetria do município de Juazeiro do Norte/CE.....	57
Figura 25 – Mapa geomorfológico do município de Juazeiro do Norte/CE.....	58
Figura 26 – Mapa hidrográfico do município de Juazeiro do Norte/CE.....	59
Figura 27 – Ponto de assoreamento no riacho dos Macacos.....	60
Figura 28 – Avanço da urbanização nas margens da rede de drenagem de Juazeiro do Norte/CE.....	61
Figura 29 – Mapa da faixa de desdobramento do Rio Salgado (Projeto Radambrasil, 1981, escala 1:1.000.000) dentro do contexto da geologia regional.....	62
Figura 30 – Precipitação média e máxima de Juazeiro do Norte/CE em mm entre 1974 e 2020.....	64
Figura 31 – Etapas das atividades desenvolvidas na pesquisa.....	68
Figura 32 – Imagens da vegetação arbórea: Sentinel-2 (a), Google Earth (b) e em campo (c).....	70
Figura 33 – Imagens da vegetação arbustiva: Sentinel-2 (a), Google Earth (b) e em campo (c).....	70
Figura 34 – Imagens da vegetação herbácea: Sentinel-2 (a), Google Earth (b) e em campo (c).....	70
Figura 35 – Mapa de Uso e Ocupação do Solo do Município de Juazeiro do Norte/CE.....	71
Figura 36 – Comparativo entre as manchas de Uso e Ocupação do Solo do Município de Juazeiro do Norte/CE entre os anos de 2000 (a) e 2019 (b).....	72
Figura 37 – Mapa de Classes de Relevo do Município de Juazeiro do Norte/CE.....	73
Figura 38 – Mapa de Classes Litológicas do Município de Juazeiro do Norte/CE.....	74
Figura 39 – Mapa de Classes Pedológicas do Município de Juazeiro do Norte/CE.....	75
Figura 40 – Mapa de Média Pluviométrica Anual do Município de Juazeiro do Norte/CE.....	77
Figura 41 – Fatores utilizados na pesquisa inseridos como dados de entrada na AHP.....	84
Figura 42 – Comparação pareada dos fatores na Calculadora AHP.....	85
Figura 43 – Matriz de decisão e prioridades com percentuais.....	85
Figura 44 – Mapas de suscetibilidade à erosão quanto aos fatores individuais.....	86
Figura 45 – Mapa Resumo de Suscetibilidade à Erosão de Juazeiro do Norte/CE.....	87

Figura 46 – Distribuição dos pontos vistoriados em Juazeiro do Norte/CE.....	88
Figura 47 – Localização do Ponto P01.....	90
Figura 48 – Registro da erosão e tipo de material identificado no Ponto P01	91
Figura 49 – Localização do Ponto P02.....	92
Figura 50 – Registro de quedas de blocos rochosos e material identificado no Ponto P02	93
Figura 51 – Localização do Ponto P03.....	94
Figura 52 – Registro da erosão e tipo de material identificado no Ponto P03	94
Figura 53 – Localização do Ponto P04.....	95
Figura 54 – Registro da erosão e material identificados no Ponto P04.....	96
Figura 55 – Localização do Ponto P05.....	97
Figura 56 – Registro da erosão e material identificados no Ponto P05.....	97
Figura 57 – Localização do Ponto P06.....	98
Figura 58 – Registro da erosão e material identificados no Ponto P06.....	99
Figura 59 – Localização do Ponto P07.....	100
Figura 60 – Registro da erosão e material identificados no Ponto P07	100
Figura 61 – Localização do Ponto P08.....	101
Figura 62 – Registro da erosão e material identificados no Ponto P08.....	102
Figura 63 – Localização do Ponto P09.....	103
Figura 64 – Registro da erosão e material identificados no Ponto P09.....	103
Figura 65 – Localização do Ponto P10.....	104
Figura 66 – Registro da erosão e material identificados no Ponto P10.....	105
Figura 67 – Localização do Ponto P11.....	106
Figura 68 – Registro da erosão e material identificados no Ponto P11	106
Figura 69 – Localização do Ponto P12.....	107
Figura 70 – Registro da erosão e material identificados no Ponto P12.....	108
Figura 71 – Localização do Ponto P13.....	109
Figura 72 – Registro da erosão e material identificados no Ponto P13.....	109
Figura 73 – Localização do Ponto P14.....	110
Figura 74 – Registro da erosão e material identificados no Ponto P14.....	111
Figura 75 – Localização do Ponto P15.....	112
Figura 76 – Registro da erosão e material identificados no Ponto P15.....	112
Figura 77 – Localização do Ponto P16.....	113
Figura 78 – Registro da erosão e material identificados no Ponto P16.....	114
Figura 79 – Localização do Ponto P17.....	115
Figura 80 – Registro da erosão e material identificados no Ponto P17	115
Figura 81 – Localização do Ponto P18.....	116
Figura 82 – Registro da erosão e material identificados no Ponto P18.....	117
Figura 83 – Localização do Ponto P19.....	118
Figura 84 – Registro da erosão e material identificados no Ponto P19.....	118
Figura 85 – Localização do Ponto P20.....	119
Figura 86 – Registro da erosão e material identificados no Ponto P20.....	120
Figura 87 – Localização do Ponto P21.....	121
Figura 88 – Registro da erosão e material identificados no Ponto P21	121
Figura 89 – Localização do Ponto P22.....	122
Figura 90 – Registro da erosão e material identificados no Ponto P22.....	123
Figura 91 – Localização do Ponto P23.....	124
Figura 92 – Registro da erosão e material identificados no Ponto P23.....	124
Figura 93 – Localização do Ponto P24.....	125
Figura 94 – Registro da erosão e material identificados no Ponto P24.....	126

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Suscetibilidade à erosão de diferentes tipos de solo.....	30
Tabela 2 – Níveis de cartas geotécnicas no planejamento urbano, escalas e processos.....	43
Tabela 3 – Classe de solos do município de Juazeiro do Norte/CE e suas características.....	63
Tabela 4 – Postos pluviométricos, médias de precipitação mensal e anual e erosividade.....	76
Tabela 5 – Produtos Cartográficos Utilizados no Estudo.....	77
Tabela 6 – Pesos aplicados segundo o grau de suscetibilidade à erosão por fator.....	78
Tabela 7 – Classificação dos valores do índice de erosividade anual.....	82
Tabela 8 – Pesos aplicados por característica dos fatores considerados no estudo.....	83
Tabela 9 – Localização dos pontos selecionados para análise das erosões.....	89
Tabela 10 – Características e suscetibilidades dos fatores no ponto P01.....	91
Tabela 11 – Características e suscetibilidades dos fatores do ponto P02.....	93
Tabela 12 – Características e suscetibilidades dos fatores do ponto P03.....	94
Tabela 13 – Características e suscetibilidades dos fatores do ponto P04.....	96
Tabela 14 – Características e suscetibilidades dos fatores do ponto P05.....	97
Tabela 15 – Características e suscetibilidades dos fatores do ponto P06.....	99
Tabela 16 – Características e suscetibilidades dos fatores do ponto P07.....	100
Tabela 17 – Características e suscetibilidades dos fatores do ponto P08.....	102
Tabela 18 – Características e suscetibilidades dos fatores do ponto P09.....	103
Tabela 19 – Características e suscetibilidades dos fatores do ponto P10.....	105
Tabela 20 – Características e suscetibilidades dos fatores do ponto P11.....	106
Tabela 21 – Características e suscetibilidades dos fatores do ponto P12.....	108
Tabela 22 – Características e suscetibilidades dos fatores do ponto P13.....	109
Tabela 23 – Características e suscetibilidades dos fatores do ponto P14.....	111
Tabela 24 – Características e suscetibilidades dos fatores do ponto P15.....	112
Tabela 25 – Características e suscetibilidades dos fatores do ponto P16.....	114
Tabela 26 – Características e suscetibilidades dos fatores do ponto P17.....	115
Tabela 27 – Características e suscetibilidades dos fatores do ponto P18.....	117
Tabela 28 – Características e suscetibilidades dos fatores do ponto P19.....	118
Tabela 29 – Características e suscetibilidades dos fatores do ponto P20.....	120
Tabela 30 – Características e suscetibilidades dos fatores do ponto P21.....	121
Tabela 31 – Características e suscetibilidades dos fatores do ponto P22.....	123
Tabela 32 – Características e suscetibilidades dos fatores do ponto P23.....	124
Tabela 33 – Características e suscetibilidades dos fatores do ponto P24.....	126

APÊNDICES

Apêndice A - Mapa com os pontos avaliados e zoneamento do PDDU.

Apêndice B - Planilha resumo dos pontos avaliados e classificação dos graus de suscetibilidade à erosão por fator fatores.

Apêndice C - Mapa de Suscetibilidade à Erosão do Município de Juazeiro do Norte/CE.

LISTA DE SIGLAS

AMAJU	Autarquia Municipal de Meio Ambiente
CBERS-4	<i>China-Brazil Earth-Resources Satellite</i>
CEMADEN	Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
CONPDEC	Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
HIS	Habitação de Interesse Social
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
MDT	Modelo Digital de Terreno
MCTIC	Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PDDU	Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano
PNGRRDN	Plano Nacional de Gestão de Riscos e Respostas a Desastres Naturais
PNPDEC	Política Nacional de Proteção e Defesa Civil
SEINFRA	Secretaria de Infraestrutura de Juazeiro do Norte
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SINPDEC	Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
UFCA	Universidade Federal do Cariri
UFC	Universidade Federal do Ceará
UFPE	Universidade Federal do Pernambuco

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1. Problematização e Justificativa do Estudo	15
1.2. Objetivos	22
<i>1.2.1. Objetivo geral</i>	<i>22</i>
<i>1.2.2. Objetivos específicos</i>	<i>22</i>
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
2.1. Desenvolvimento Regional Sustentável	23
2.2. Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS)	25
2.3. Processos Erosivos em Juazeiro do Norte/CE	29
2.4. Plano Diretor de Ordenamento Territorial	33
<i>2.4.1. Generalidades</i>	<i>33</i>
<i>2.4.2. Plano Diretor de Ordenamento Territorial de Juazeiro do Norte/CE</i>	<i>36</i>
2.5. Cartografia Geotécnica e Mapa de Suscetibilidade à Erosão como Instrumento de Ordenamento Territorial e Gestão de Riscos de Desastres	38
<i>2.5.1. Mapas de Suscetibilidade e Cartas Geotécnicas</i>	<i>38</i>
<i>2.5.2. Suscetibilidade, Risco e Vulnerabilidade</i>	<i>39</i>
<i>2.5.3. Cartografia Geotécnica e a Aplicação na Gestão Territorial</i>	<i>39</i>
<i>2.5.3.1. Histórico</i>	<i>39</i>
<i>2.5.3.2. Estudos de Cartografia Geotécnica</i>	<i>42</i>
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	52
3.1. Síntese do Processo de Ocupação e Urbanização do Município de Juazeiro do Norte/CE	52
3.2. Caracterização Geoambiental de Juazeiro do Norte	55
<i>3.2.1. Localização</i>	<i>55</i>
<i>3.2.2. Cobertura Vegetal</i>	<i>55</i>
<i>3.2.3. Relevo, Geomorfologia e Hidrografia</i>	<i>56</i>
<i>3.2.4. Geologia e Pedologia</i>	<i>62</i>
<i>3.2.5. Clima e Pluviometria</i>	<i>63</i>
4. MATERIAIS E MÉTODOS	65
4.1. Delineamento do Estudo	65
4.2. Sistemática do Trabalho	66
4.3. Preparação da Base Cartográfica	67
<i>4.3.1. Mapa de Uso e Ocupação do Solo de Juazeiro do Norte/CE</i>	<i>68</i>

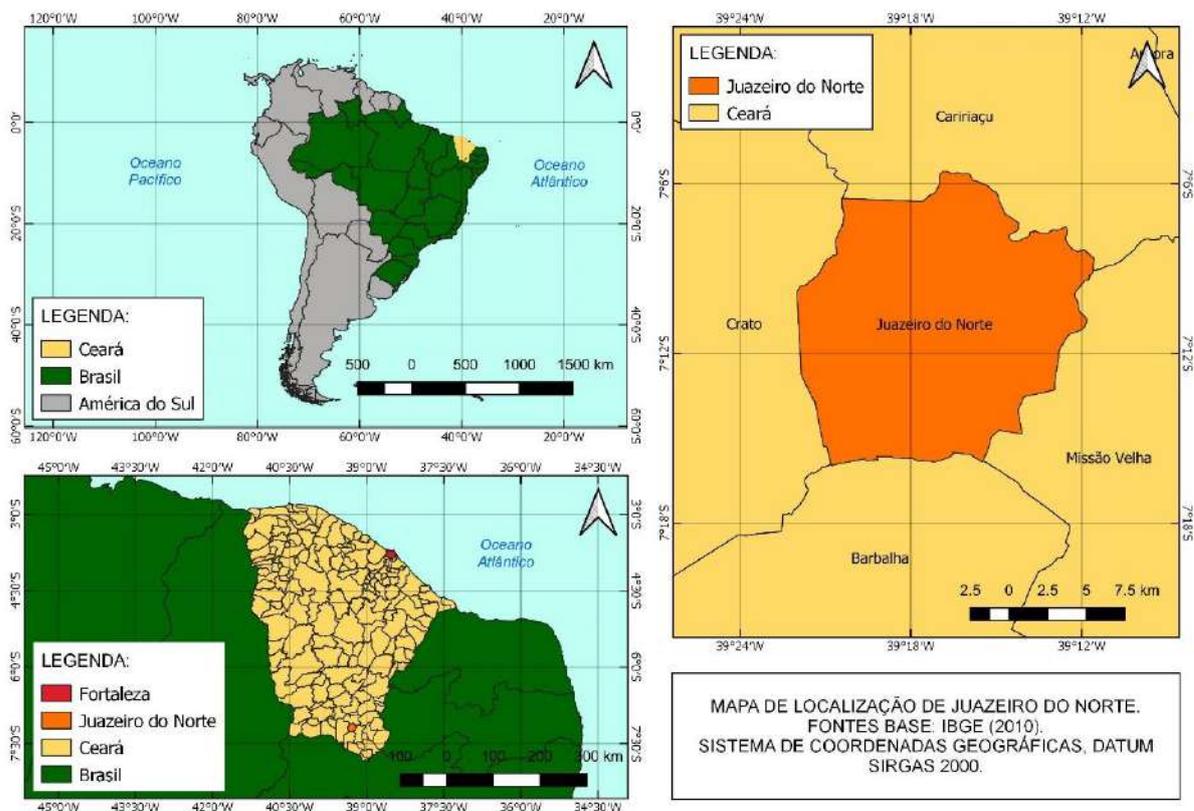
4.3.2.	<i>Mapa de Relevo de Juazeiro do Norte/CE</i>	72
4.3.3.	<i>Mapa Geológico de Juazeiro do Norte/CE</i>	74
4.3.4.	<i>Mapa Pedológico de Juazeiro do Norte/CE</i>	75
4.3.5.	<i>Mapa de Pluviometria de Juazeiro do Norte/CE</i>	76
4.4.	Fatores, Classes e Pesos	78
4.4.1.	<i>Pesos das Classes de Uso e Ocupação do Solo de Juazeiro do Norte/CE</i>	79
4.4.2.	<i>Pesos das Classes de Relevo de Juazeiro do Norte/CE</i>	79
4.4.3.	<i>Pesos das Classes de Geologia de Juazeiro do Norte/CE</i>	80
4.4.4.	<i>Pesos das Classes de Pedologia de Juazeiro do Norte/CE</i>	81
4.4.5.	<i>Pesos das Classes de Erosividade da Chuva de Juazeiro do Norte/CE</i>	82
4.5.	Análise Hierárquica de Processos	83
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	86
5.1.	Mapas de Suscetibilidade por Fator e Mapa Resumo de Suscetibilidade à Erosão	86
5.2.	Validação do Mapa por Meio de Vistorias de Campo	88
5.3.	Mapa de Suscetibilidade à Erosão de Juazeiro do Norte/CE	126
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	128
	REFERÊNCIAS	131

1. INTRODUÇÃO

1.1. Problematização e Justificativa do Estudo

Juazeiro do Norte é um município localizado no sul do estado do Ceará, nordeste do Brasil, que foi emancipado do vizinho Crato, elevado à categoria de vila pela Lei 1.028 em 1911 e à categoria de cidade pela Lei Estadual 1.178 em 1914 (IBGE, 2010). Faz divisa ao norte com o município de Caririçu, ao sul com os municípios de Crato, Barbalha e Missão Velha, ao leste com Missão Velha e Caririçu e à oeste com o município de Crato. Suas coordenadas são 7°12'47" latitude Sul e 39°18'55" longitude oeste (Figura 1).

Figura 1 – Localização do Ceará e Juazeiro do Norte



Elaboração: Autora (2021). Fonte: IBGE (2010).

Segundo dados do Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE, 2017), o município de Juazeiro do Norte possui clima tropical quente semiárido e tropical quente semiárido brando, com pluviosidade média anual de 925,1mm e temperatura média do ar entre 24 e 26°C, tendo o período chuvoso concentrado entre janeiro e março. O município tem geomorfologia classificada em Depressão Cariri e Alinhamento de Cristas do Patamar Sertanejo, com predominância de Neossolos Flúvicos e Argissolo Vermelho-Amarelo, com Floresta Caducifólia Espinhosa como vegetação; e pertence à Bacia Hidrográfica do Salgado.

O município de Juazeiro do Norte compõe a Região Metropolitana do Cariri (RM-

Cariri), possuindo uma população contabilizada em 249.939 habitantes no último censo de 2010, estimando-se o aumento para 274.207 habitantes em 2019, representando um crescimento populacional em cerca de 10% em quase dez anos. Com base na população determinada pelo censo de 2010 e diante da abrangência territorial de cerca de 249 km², alcançou a marca de 1.004,45 habitantes por quilômetro quadrando na sua densidade demográfica (IBGE, 2010). Isso significa que Juazeiro do Norte ocupa a 3^a posição no ranking de densidade demográfica do estado do Ceará, perdendo apenas para a capital Fortaleza e Maracanaú, além de ser a 7^a mais populosa da região do Nordeste. Esse número é considerado alto em relação ao denominado adensamento populacional, pois a disponibilidade de recursos por habitante, por exemplo, diminui ao passo que a densidade demográfica aumenta. Obviamente os efeitos da alta densidade demográfica, estão associados ao planejamento urbano adequado, viabilizando o aproveitamento e disponibilização equilibrada dos recursos.

Quando a Lei 2.572/2000 foi publicada com a Legislação Básica do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU) de Juazeiro do Norte/Ce (JUAZEIRO DO NORTE, 2000a), a população do município foi contabilizada em 212.133 (ATLASBRASIL, 2020); o que significa dizer que esta aumentou cerca de 18% ao comparar com a publicada pelo censo de 2010 e pouco mais de 29% em relação à estimada em 2019. Considerando essas informações, a população urbana aumentou de 95,33% no ano de 2000 para 96,07% no ano de 2010.

O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) aumentou de 0,419 em 1991 para 0,694 em 2010; a renda *per capita* alcançou R\$ 15.604,19 em 2016; e o salário médio dos trabalhadores formais foi registrado em cerca de 2 salários mínimos. Da área do município, em 2010 foi estimado que 47,2% possui esgotamento sanitário adequado, 89,6% e 11,6% de arborização e urbanização de vias públicas, respectivamente (IBGE, 2010).

É notório o crescimento econômico e populacional do município de Juazeiro do Norte nos últimos anos. Porém, que a região enfrenta problemas em decorrência da urbanização acelerada, provocando problemas de infraestrutura, sobretudo nas periferias da cidade-sede.

Um dos problemas decorrentes do aumento populacional desordenado, associado à falta de infraestrutura e de políticas públicas adequadas de planejamento urbano, é o surgimento de assentamentos inadequados, sendo impactados por desastres naturais associados aos processos de inundações, deslizamentos e/ou de erosões. Embora erosão dos solos seja um fenômeno natural, a ação humana acelera o processo, em quase todo Brasil, onde há uma grande variedade de solos, correspondendo às diversas formas de relevo, climas, materiais de origem e cobertura vegetal que interferem nos processos do meio físico. As diferenças regionais, em termos de uso e de ocupação podem causar diferentes tipos de processos erosivos, incluindo as

erosões por voçorocas, que é o estágio mais avançado da erosão e responsável pela degradação dos solos (BOTELHO, 2011; GUERRA, 2016; GUERRA *et al.*, 2014, 2017 e 2018).

As premissas do direito urbanístico transcendem o ordenamento territorial, e busca prioritariamente a qualidade nas relações sociais e as consequências de ocupação do solo urbano. Num país onde o percentual de pessoas morando em zonas urbanas ultrapassa os 80% (PNAD, 2015), e num contexto municipal de Juazeiro do Norte esse percentual é mais de 96%, ações estratégicas relacionadas ao uso e ocupação do solo devem ser prioritárias (IBGE, 2010).

No contexto nacional, o Estatuto da Cidade, denominação da Lei N° 10.257 de 10 de julho de 2001, é o instrumento legislativo federal que estabelece diretrizes gerais da política urbana, voltadas para o interesse social e com o objetivo de ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e da propriedade urbana, evitando, especialmente em relação à ordenação e controle do uso do solo: a utilização inadequada de imóveis; a proximidade de usos incompatíveis ou inconvenientes; o parcelamento do solo; a edificação ou o uso excessivo ou inadequados em relação à infraestrutura urbana; empreendimentos ou atividades geradoras de tráfego, sem infraestrutura correspondente; a especulação imobiliária que resulte na sua subutilização ou não utilização; a deterioração das áreas urbanizadas; a poluição e a degradação ambiental; a exposição da população a riscos de desastres naturais (BRASIL, 2001).

Quase 20 anos depois de publicado o Estatuto da Cidade, com o aumento populacional nos centros urbanos, os municípios brasileiros continuam enfrentando problemas que foram assinalados nas diretrizes gerais da referida Lei.

Considerando o contexto municipal, o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU) do município de Juazeiro do Norte/Ce, regido pela Lei N° 2.572, de 08 de setembro de 2000 (JUAZEIRO DO NORTE, 2000a), está com a atualização defasada em quase 10 anos, o que acarreta em dissonância à evolução da cidade em diversos aspectos. A desatualização do Plano Diretor fere o parágrafo 3° do artigo 39 da Lei 10.257, de 10 de julho de 2001, que regulamenta os Artigos 182 e 183 da Constituição Federal, no Capítulo II sobre Política Urbana, onde está destacada a necessidade de revisão da lei municipal que regulamenta o Plano Diretor Municipal a cada 10 anos (BRASIL, 2001). Recentemente, em julho/2021, foi firmado um Convênio entre a UFCA e a Prefeitura Municipal de Juazeiro do Norte para atualização do PDDU do município de Juazeiro do Norte (JUAZEIRO DO NORTE, 2021).

A Figura 2 mostra a imagem de uma área do município no ano da publicação do Plano Diretor da Cidade de Juazeiro do Norte (2000) e a Figura 3 apresenta imagem atual da mesma área do município (2020). Embora tenham sido geradas em qualidades incompatíveis, percebe-se entre as imagens que o crescimento da ocupação urbana, muitas vezes, é feito

desordenadamente e em locais que deveriam ter restrições de ocupação.

Figura 2 – Imagem aérea de Juazeiro do Norte no ano 2000 (poligonal na cor vermelha)



Elaboração: Autora (2021). Fonte: Adaptado de Google Earth (2020).

Figura 3 – Imagem aérea de Juazeiro do Norte no ano 2020 (poligonal na cor vermelha)



Elaboração: Autora (2021). Fonte: Adaptado de Google Earth (2020).

Por sua vez, as Figuras 4a e 4b apresentam o crescimento ocupacional (setas amarelas) no Horto, entre 2000 e 2020; e as Figuras 5a e 5b apresentam o crescimento em torno do riacho dos Macacos, que se trata de uma Zona Especial 2, conforme Lei 2570/2000. O Art. 55 do PDDU de Juazeiro do Norte diz que Zona Especial constitui em uma área para instalação de equipamentos institucionais abrangentes e de ordem de grandeza municipal, com características que fomentem necessidades legislativas específicas nas três esferas governamentais (JUAZEIRO DO NORTE, 2000).

Figura 4 – Imagem aérea da ocupação na colina do Horto (4a-2000 e 4b-2020), com áreas de expansões indicadas nas setas de cor amarela



Elaboração: Autora (2021). Fonte: Adaptado de Google Earth (2020).

Figura 5 – Imagem aérea da ocupação na Zona Especial 2 (polígono amarelo) (5a-2000 e 5b-2020), com áreas de expansões indicadas nas setas de cor amarela



Elaboração: Autora (2021). Fonte: Adaptado de Google Earth (2020).

Um dos problemas decorrentes do aumento populacional desordenado, associado à falta de infraestrutura e de políticas públicas adequadas de planejamento urbano é o surgimento de erosões por causas antrópicas, por exemplo. Com apenas 25mm de chuva no mês de abril de 2018, Juazeiro do Norte enfrentou alagamentos, conforme Figura 6 (G1 CE, 2018).

Figura 6 – Registro da chuva em 2018 e a falta de infraestrutura em Juazeiro do Norte/CE



Fonte: Jornal G1 Ceará (2018).

Além das causas naturais (como chuva, vento, declividade do relevo, etc.), as erosões podem surgir por consequência das associações de ausência de infraestrutura adequada, qualidade do solo além do efeito combinado com a chuva, por exemplo. Após evento citado no parágrafo anterior, as erosões podem aparecer conforme apresentado na Figura 7.

Figura 7 – Erosões decorrentes da chuva e falta de infraestrutura em Juazeiro do Norte/CE



Fonte: Jornal G1 Ceará (2018).

No entanto, outros fatores como o relevo, lançamento inadequado de águas servidas no solo e o alto índice pluviométrico podem desencadear erosões e progredirem para deslizamentos, causando desastres, como o que ocorreu no município do Crato-CE, onde

130mm de chuva, com duração de 24 horas, contribuíram com o desastre ocorrido em abril de 2019, conforme apresentado na Figura 8 (G1 CE, 2019).

Figura 8 – Deslizamento no Crato/CE após chuvas concentradas em 2019



Fonte: Jornal G1 Ceará (2019).

Após eventos como esse, como ocorreu na região serrana do Rio de Janeiro em 2011, onde mais de 900 pessoas morreram, a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC) foi instituída em abril de 2012 a Lei N° 12.608, dispondo sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC) e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil (CONPDEC). Sendo assim, foi criado o sistema de informações e monitoramento de desastres, enfatizando que essa política deve ser integrada aos planos de ordenamento territorial, objetivando o desenvolvimento urbano e infraestrutura (BRASIL, 2012).

De forma a contribuir com a viabilização e complementação das informações para atualização do PDDU de Juazeiro do Norte e demais estudos associados, este trabalho busca oferecer como instrumento técnico necessário para tal, o mapeamento das suscetibilidades à erosão do solo do referido município.

Para isso, este trabalho está estruturado em apresentar os elementos de referência dos termos de mapa de suscetibilidade à erosão, em escala de planejamento urbano (1:25.000) e sua relação com o desenvolvimento regional sustentável.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo geral

Contribuir com o ordenamento territorial do município de Juazeiro do Norte/CE a partir da elaboração do mapa de suscetibilidade à erosão, em escala de planejamento urbano (impressão 1:25.000).

1.2.2. Objetivos específicos

1) Analisar as características do meio físico (declividade, erosividade da chuva, erodibilidade do solo, geologia, geomorfologia, pedologia, de uso e ocupação do solo e de erosividade da chuva) que contribuem com as ocorrências de processos erosivos;

2) Avaliar a suscetibilidade à erosão das áreas por meio de cruzamento de mapas temáticos (uso e ocupação do solo, relevo, geologia, pedologia e pluviometria) e Análise Hierárquica de Processo (AHP);

3) Consolidar as informações preliminares do mapa resumido e produzir o mapa final de suscetibilidade à erosão.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os subitens apresentados nesta seção estão associados com o tema central. As definições dos termos foram pesquisadas tanto em plataformas digitais de pesquisas científicas (Science Direct, Periódicos Capes, UFCA, UFC, UFPE, revistas, entre outros), quanto em livros.

Buscou-se definir o termo “Desenvolvimento Regional Sustentável” com base na disciplina homônima do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional Sustentável da Universidade Federal do Cariri (UFCA), onde os autores, previamente selecionados, foram baseados no conteúdo programático da disciplina, além de outros estudiosos no assunto relacionados ao ordenamento territorial, para fins de planejamento urbano. Desta forma, as diferentes visões dos autores foram ponderadas, como pode ser visto no item 2.1.

No subitem 2.2, realizando-se a pesquisa dos “Objetivos do Desenvolvimento Sustentável” na página oficial da Organização das Nações Unidas (ONU), foi possível selecionar três, dos dezessete objetivos, e fazer as associações com a temática do estudo. Além disso, buscou-se estudos desta temática relacionados aos processos erosivos.

Sobre o Plano Diretor de Ordenamento Territorial do município de Juazeiro do Norte/CE, apresentado no item 2.3, inicialmente foi necessário definir e ponderar sobre Plano Diretor de Ordenamento Territorial dentro de um contexto geral, especialmente analisando os aspectos principais trazidos pela Constituição Federal de 1988 e a evolução de tal instrumento, no município de Juazeiro do Norte.

Por fim, foi introduzido o item 2.5 sobre cartografia geotécnica, com as definições sobre o assunto e as diferentes metodologias de elaboração de cartas e mapas encontradas na literatura científica, com os ajustes necessários para alcançar os objetivos supramencionados.

2.1. Desenvolvimento Regional Sustentável

Atualmente há uma busca incessante pela definição e formas de medir o Desenvolvimento Sustentável, tanto visando obter um panorama do desenvolvimento de uma região, quanto alcançar investimentos e relações comerciais em grande escala.

No entanto, a criação de índices pode não estar representando o contexto de uma região de forma fiel e, assim, qualquer estabelecimento de metas de desenvolvimento podem ter bases valorais completamente equivocadas.

Antes mesmo de adentrar ao termo de cartografia geotécnica como instrumento que beneficie o planejamento urbano, faz-se necessário observar como o desenvolvimento de uma região pode ser conceituado e medido, buscando autores que contribuíram com a literatura sobre o termo desenvolvimento regional sustentável.

Desta forma, essa dissertação apresenta as definições feitas pelos autores e autoras, que em diferentes momentos e situações do desenvolvimento mundial frente às dificuldades, sejam essas na esfera econômica, ambiental ou territorial, buscaram reunir os elementos necessários e trazer indagações relevantes de forma a contribuir com novas formas de ver e descrever o desenvolvimento sustentável.

A Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (*Commission on Environmental and Development – WCED, 1987*) conceitua que Desenvolvimento Sustentável é “o desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade do futuro para atender a sua própria necessidade”.

Pensando sobre uma ideia de equilíbrio, Sachs (2002) comenta que, muito embora algumas pessoas afirmassem que os recursos naturais tivessem perdido a importância frente aos recursos humanos e do conhecimento, uma combinação de recursos naturais abundantes e baratos, força de trabalho qualificada e conhecimento moderno resulta em vantagem.

Questionando também a ideia de desenvolvimento considerando não apenas o viés econômico, Amaro (2003) provoca a discussão sobre este conceito quando comenta em sua obra sobre a necessidade de uma visão sistêmica e interdisciplinar tanto no quesito de estratégias quanto na metodologia de intervenção, trazendo novas formulações e desafios para o contexto do desenvolvimento sustentável.

O que se percebe é que pouco mais de dez anos depois da WCED conceituar “Desenvolvimento Sustentável”, a ideia temporal do conceito e a interdisciplinaridade dos pilares que o sustentam (humano, ambiental e econômico), foram mantidos, muito embora na prática não fossem observados os progressos almejados.

Veiga (2010) apresenta em sua obra o conceito e as formas de medir o desenvolvimento e a sustentabilidade, mostrando diversos autores no processo de formulação dessas ideias, além das devidas críticas, uma vez que, na sua opinião, embora tenha havido muita contribuição dentro deste contexto, algumas lacunas ficaram ausentes ou foram mediocrementemente consideradas, sobretudo o fator humano.

Sen (2010) desconstrói o termo desenvolvimento, trazendo a ideia de liberdade na forma de conceituar, mostrando, inclusive, os parâmetros não ponderados na valoração dos índices de desenvolvimento.

Em 2016, Acosta mostrou uma ideia revolucionária sobre desenvolvimento: o bem viver como uma oportunidade de imaginar outros mundos. Na obra, o autor mostra o bem viver como estratégia de desenvolvimento, sendo necessário recorrer às experiências, às visões e às propostas de povos que buscaram viver harmoniosamente com a natureza.

O que pode perceber no histórico dos conceitos apresentados por esses autores, é que inicialmente foi dada certa importância a valoração da medida algébrica do desenvolvimento sustentável e os últimos autores desconstruem essa ideia dando um valor mais subjetivo para o desenvolvimento sustentável.

Observando o pensamento de Acosta (2016) e direcionando para o viés das cidades sustentáveis e resilientes, Pastorelli Junior (2018) conclui que o planejamento urbano cria um lugar como ele deveria ser e não como ele realmente é, propondo metas adequadas para apropriação do território.

Essas duas ideias reforçam a definição de Ordenamento Territorial pensada ainda em 1950 na França por Claudius-Petit, baseada numa política de bem-estar e conforto da população.

Lyle (1996), observando o desenvolvimento sustentável aliado à perspectiva de planejamento urbano, considera ainda que devem ser aproveitados os parâmetros de meio ambiente no espaço urbano, integrando este e o homem, mesmo que se pesem as alterações futuras, decorrentes da ocupação do solo, respeitando os aspectos de gestão de riscos.

Assim, considerando o uso e ocupação do solo de forma adequada, o desenvolvimento e a sustentabilidade são promovidos de forma equilibrada e consciente. Desta forma, a elaboração de mapas de suscetibilidade à erosão para o planejamento urbano favorece o desenvolvimento humano, econômico e sustentável pois minimiza as possibilidades de erosões aceleradas do solo, que podem progredir para um importante movimento de massa, protegendo a natureza e os custos com reparos de ordem social, ambiental e indenizações.

2.2. Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS)

Os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) compreendem 17 metas, com vigência entre 2015 e 2030. A Organização das Nações Unidas – ONU – (2021) diz que, para atingir a Agenda 2030, faz-se necessário que os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) sejam alcançados. Esses objetivos são uma busca globalizada para erradicar a pobreza, proteger o meio ambiente e o clima e garantir que todas as pessoas em todos os lugares desfrutem de paz e de prosperidade.

Os ODSs foram provenientes dos 8 Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM), que vigorou entre 2000 e 2015, assumidos pelos países-membro da ONU, cujo intuito era o progresso efetivo para eliminar a extrema pobreza do planeta (ROMA, 2019).

Pastorelli Junior (2018) estudou os “10 Passos para Cidades Resilientes” e os indicadores do “Programa Cidades Sustentáveis”, avaliando as vertentes da sustentabilidade e resiliência urbana para redução de riscos de desastres e gestão integrada do território urbano. Os 10 Passos para cidades resilientes fazem parte de um guia desenvolvido pelo escritório das Nações Unidas para Redução de Riscos de Desastres (UNDRR) para que os governos locais pudessem, de uma forma geral, montar estratégias para que as cidades fossem resilientes aos desastres, sendo necessário que cada município estabelecesse ações próprias para aplicação (UNISDR, 2012). Já o Programa Cidades Sustentáveis (PCS) é uma ferramenta e um conjunto de metodologias para uso dos gestores públicos no planejamento urbano integrado, viabilizando o alcance dos ODSs (PROGRAMA CIDADES SUSTENTÁVEIS, 2016).

Considerando as políticas regionais sustentáveis, Wei (2015) alerta que o desenvolvimento urbano só pode ser atingido com ações concomitantes de monitoramento e avaliação desse crescimento em tempo hábil frente: aos impactos ambientais e recursos naturais, infraestrutura e serviços urbanos, percepção pública, ambiente institucional e capacidade de suporte da sociedade.

Saccaro Junior e Coelho Filho (2016) afirmam que a urbanização e o desenvolvimento sustentável coadunam do mesmo cerne, onde os ODSs são a base da urbanização sustentável.

Nessa ótica, percebe-se que a relação entre os ODSs e a cidade pode ser vista de forma direta por, pelo menos, três dentre os dezessete objetivos, sendo eles: Cidades e comunidades sustentáveis (11); Ação contra a mudança global do clima (13), e; Vida terrestre (15) (Figura 9).

Figura 9 – Objetivos do Desenvolvimento Sustentável favorecidos com o estudo



Fonte: ONU (2020).

Segundo a Agenda 2030, estima-se que, em 2050, 66% da população mundial ocupe

os espaços urbanos, onde a pobreza extrema estará concentrada, aumentando a desigualdade social, sendo necessária a gestão e o planejamento dos espaços urbanos. Como meta, o ODS 11 é proveniente de um dos ODMs, que é tornar a cidade mais resiliente à desastres; desenvolvendo, de acordo com o Marco de Sendai para a Redução do Risco de Desastres 2015-2030, o gerenciamento do risco de desastres em todos os níveis (ONU, 2017).

Ao relacionar os ODSs e o PCS, no Eixo Temático “Planejamento e Desenho Urbano”, Pastorelli Junior (2018) também destaca o ODS 11 – Cidades e Comunidades Sustentáveis – estabelecendo indicadores para mensurar ações de planejamento e desenho urbano sustentável.

A falta de um planejamento urbano adequado pode provocar ou aumentar a possibilidade de ocorrência de desastres. Considerando que a temperatura terrestre aumente cerca de 3°C até o final do Século XXI, e que este é um dos potencializadores na ocorrência de desastres, o ODS 13 é visto como um caminho estratégico para promover as mudanças necessárias para impedir que estas projeções se tornem realidade (ONU, 2017).

No que consiste a Vida Terrestre de uma maneira geral, uma das metas dos ODMs que sustenta o ODS 15 é que até 2030 seja possível combater a desertificação restaurando o solo degradado, incluindo áreas afetadas por secas e inundações. Para isso, é necessário que haja políticas públicas para atingir essa e outras metas (ONU, 2017).

Assim, a elaboração de mapa de suscetibilidade à erosão e de outras cartas geotécnicas são essenciais para subsidiar aos gestores a tomada de decisões para acesso da população à habitação segura e aos serviços básicos, contribuindo para o aumento da urbanização inclusiva e sustentável. Este tipo de mapa também auxilia na redução das catástrofes naturais, na medida que ordena o espaço urbano e contribui para a redução da degradação do solo. Esses aspectos estão alinhados com os três objetivos citados, uma vez que coadunam com a promoção de infraestrutura adequada para cidades e comunidades sustentáveis, minimizam os efeitos climáticos negativos e favorecem a vida terrestre.

Ressalta-se, ainda, que há também uma relação indireta de outros ODSs com a cidade, destacando-se a contribuição na qualidade de vida e bem-estar da população (Objetivo 3), na gestão da água e saneamento (Objetivo 6) e na implantação de infraestrutura de qualidade (Objetivo 9) (Figura 10). Essa relação indireta se dá pelo fomento ao gerenciamento de riscos de desastres relacionados à infraestrutura, promovendo o saneamento adequado e favorecendo a saúde e o bem-estar da população.

Figura 10 – Objetivos do Desenvolvimento Sustentável que tem relação indireta



Fonte: ONU (2020).

Os planos diretores, elaborados com base em informações técnicas do meio físico, favorecem a ocupação e uso do solo de forma ordenada, evitando ocupações em áreas inadequadas e indicando as áreas de preservação. Essas ações possibilitam a redução dos efeitos das ocorrências de desastres naturais e aumentam a capacidade de planejamento e gestão dos municípios.

Num contexto mundial, tais ações fortalecem os esforços para proteger e salvaguardar o patrimônio cultural e natural do mundo, diminuindo significativamente o número de mortes e o número de pessoas afetadas por catástrofes, bem como minimizando as perdas econômicas diretas causadas por elas em relação ao produto interno bruto global, incluindo os desastres relacionados à água, com o foco em proteger os pobres e as pessoas em situação de vulnerabilidade. Como um dos alvos do ODS 11 é aumentar o número de cidades que adotam e implementam políticas e planos integrados para a inclusão, o emprego da cartografia geotécnica, como auxílio ao ordenamento territorial, auxilia no mapeamento para buscar a eficiência dos recursos, mitigação e adaptação às mudanças climáticas, e a resiliência a desastres (ONU, 2017).

Em 7 de abril de 2015, a ONU apresentou o Marco de Sendai para Redução do Risco de Desastres 2015-2030 na Terceira Conferência Mundial, estabelecendo marcos para o gerenciamento do risco de desastres em todos os níveis (ONU, 2015).

Embora o combate aos efeitos negativos que as mudanças climáticas provocam envolva outros fatores, um bom plano diretor auxilia na redução dos efeitos destas, promovendo o reforço, a resiliência e a capacidade de adaptação a riscos relacionados ao clima e às catástrofes naturais, conforme preconiza o ODS 13. Assim, um bom planejamento urbano, que possa refletir a realidade da expansão urbana de um município, promove mecanismos para a criação de capacidades para o planejamento relacionado à mudança do clima e à gestão eficaz, nos países menos desenvolvidos, inclusive com foco em mulheres, jovens, comunidades locais e marginalizadas.

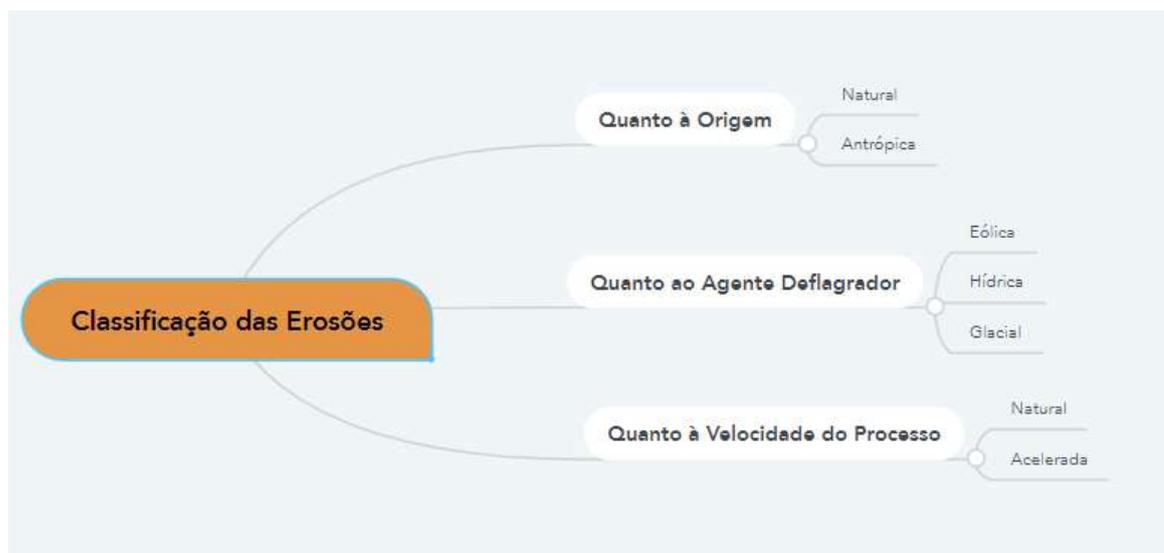
Completando o tripé de desenvolvimento sustentável, além dos aspectos relacionados ao clima e à sociedade, a atualização do plano diretor, considerando os aspectos inerentes ao estudo de cartografia geotécnica de suscetibilidade à erosão, protege, recupera e promove o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerindo de forma sustentável as florestas, combatendo a desertificação, detendo e revertendo a degradação da terra e detendo a perda de biodiversidade, conforme estabelece o ODS 15. Ações como essas combatem a desertificação, restaurando a terra e o solo degradado, incluindo terrenos afetados pela desertificação, secas e inundações.

2.3. Processos Erosivos em Juazeiro do Norte/CE

Erosão é o processo resultante da desagregação e remoção de partículas do solo ou fragmentos e partículas de rocha, pela ação da água e da gravidade combinadas, além de vento, gelo e/ou organismos (SALOMÃO; IWASA, 1995).

Bandeira (2003) afirma que as erosões podem ser classificadas quanto à origem ou ao agente deflagrador. Além destas, as erosões podem ser classificadas quanto à velocidade do processo. Diversos são os autores que, a depender do conteúdo do seu estudo, apresentam classificações adequadas, conforme visto nos trabalhos de Alheiros (1998), Coutinho *et al.* (2015), entre outros. A Figura 11 mostra as classificações das erosões.

Figura 11 – Classificação das erosões

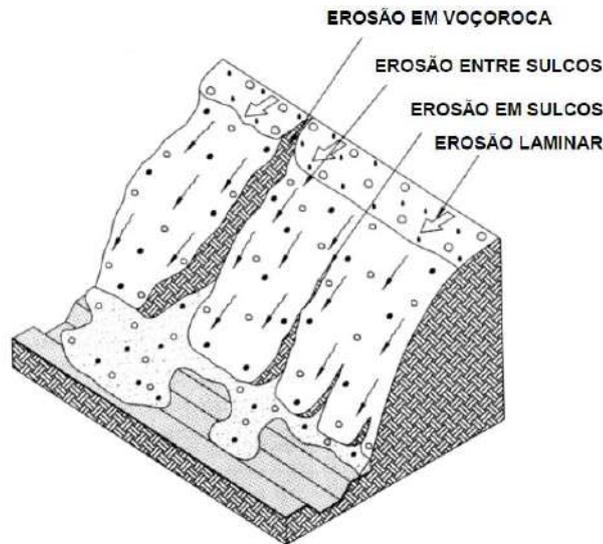


Elaboração: Autora (2021).

Quanto à origem natural, as erosões podem ocorrer conforme os seguintes processos: (i) ação da chuva; (ii) tipo da cobertura vegetal; (iii) ação do relevo; (iv) tipo de solo;

(v) tipo do substrato rochoso. Quanto à origem antrópica, fatores como a remoção da cobertura vegetal e as formas como ocorrem o uso e a ocupação do solo são determinantes nas ocorrências das erosões. Quanto ao agente deflagrador, a erosão hídrica pluvial pode formar: (i) erosão laminar; (ii) erosão em sulcos; (iii) erosão entre sulcos; e (iv) erosão em voçoroca (LLOPIS TRILLO, 1999), conforme pode ser visto na Figura 12.

Figura 12 – Tipos de formatos das erosões



Fonte: Llopis Trillo (1999).

Llopis Trillo (1999) traz uma classificação da suscetibilidade do solo à erosão com base na textura, do menos erodível ao mais erodível: pedregulhos, areias, cascalhos, argilas inorgânicas, siltes, as misturas de areias argilosas e areias siltosas (Tabela 1).

Tabela 1 – Suscetibilidade à erosão de diferentes tipos de solo

SÍMBOLO	DESCRIÇÃO DO SOLO	ERODIBILIDADE
GW	Pedregulho e mistura de pedregulho e areia, bem graduados, com poucos ou sem finos	Menos erodível ↓ Mais erodível
GP	Pedregulhos e mistura de pedregulhos e areia, mal graduados, com poucos ou sem finos	
SW	Areias e areias pedregulhosas, bem graduadas, com poucos ou sem finos	
GM	Cascalho siltoso, misturas de cascalho, areia e silte	
CH	Argilas inorgânicas de plasticidade elevada, argilas gordas	
CL	Argilas inorgânicas de plasticidade baixa ou média, argilas pedregulhosas, argilas arenosas, argilas siltosas, argilas magras	
OL	Siltes orgânicos, siltes e argilas orgânicas de plasticidade baixa	
MH	Siltes inorgânicos, solos arenosos finos ou siltosos mecáceos e diatomáceos, solos elásticos	
SC	Areias argilosas, misturas de areia e argila	
SM	Areias siltosas, misturas de areia e silte	
ML	Siltes inorgânicos e areias muito finas, pó-de-pedra, areias finas siltosas ou argilosas, e siltes argilosos pouco plásticos	

Fonte: Adaptado de Llopis Trillo (1999).

Essa sugestão de classificação da erodibilidade dos solos, com base na textura, foi utilizada após a elaboração do mapa resumo de suscetibilidade à erosão de Juazeiro do Norte, objeto desta dissertação, para avaliação *in loco* da erodibilidade do solo através de identificação táctil visual. Desta forma, neste estudo foi feita a seguinte classificação, de menos erodível ao mais erodível: Classe de muito baixa suscetibilidade (pedregulhos); Classe de baixa suscetibilidade (areias e pedregulhos siltosos); Classe de média suscetibilidade (solos argilosos); Classe de alta suscetibilidade (argilas, siltes e areias argilosas); Classe de muito alta suscetibilidade (areias siltosas e solos siltosos). Sendo assim, solos de granulometria média e não coesivos (areias e siltes) são solos potencialmente erodíveis.

Em mapeamentos voltados para o planejamento urbano, informações da textura do solo para avaliação do potencial de erodibilidade pode ser suficiente; no entanto, para outros casos, em estudos de recuperação de áreas degradadas por erosão, por exemplo, é necessário avaliar outros fatores que interferem na erodibilidade do solo, tais como: a composição químico-mineralógica, presença de matéria orgânica, estrutura e umidade. Tais características intervêm diretamente na estabilidade estrutural do solo e na sua drenabilidade (permeabilidade), responsáveis diretos pela maior ou menor resistência dos solos frente aos processos erosivos (JESUS, 2013).

No contexto do municipal, no que consiste ao registro de ocorrências de erosões, Lima e Ribeiro (2012) afirmam que por Juazeiro do Norte ser predominantemente urbano, o que causa impactos com características próprias, e devido à geomorfologia, não há grandes ocorrências de movimentos de massa induzidos, salvos quedas de bloco no relevo cristalino da colina do Horto, com o desprendimento de matacões. No entanto, devido ao crescimento desordenado da cidade, as erosões são constantes, principalmente, nas áreas periurbanas, como é o caso dos registros apresentados na Figura 13.

A Figura 13a apresenta ravinamentos no solo descoberto no bairro São José, com alguns sulcos medindo cerca de 3 metros de profundidade.

A Figura 13b representa uma voçoroca de 4 metros de profundidade por quase 4 metros de largura, que aumentou após a implantação de um bueiro tubular duplo de concreto também no bairro São José.

A Figura 13c e a Figura 13d foram registradas no bairro Antônio Vieira, e representam voçorocas, sendo a principal com abertura erosiva de mais de 5 metros de profundidade.

Figura 13 – Erosões aceleradas em áreas periurbanas de Juazeiro do Norte/CE



Fonte: Lima e Ribeiro (2012).

Macêdo (2019) e Bandeira *et al.* (2021) apresentam resultados de um estudo realizado na área do Parque Natural Municipal das Timbaúbas, em Juazeiro do Norte/CE, caracterizada por ter profundas marcas de erosão como sulcos e ravinas, sendo este último um aprofundamento dos sulcos (Figura 14). Os autores observaram que diversos fatores vêm contribuindo para as ocorrências dos processos erosivos na área, desde os naturais aos antrópicos, destacando-se: as características morfométricas da microbacia de drenagem que favorecem o escoamento rápido do fluxo de águas pluviais; a supressão da cobertura vegetal, deixando o solo mais exposto aos processos do meio físico; as características mecânicas do solo, favorecendo a suscetibilidade; e a ausência de infraestrutura de drenagem.

Figura 14 – Erosões no Parque Natural Municipal das Timbaúbas em Juazeiro do Norte/CE



Fonte: Macêdo (2019).

2.4. Plano Diretor de Ordenamento Territorial

2.4.1. *Generalidades*

A Constituição Federal de 1988 estabelece, especialmente em seu Artigo 182, no Capítulo II da referida Lei, destinada à Política Urbana, que para cidades com mais de 20 mil habitantes “A política de desenvolvimento urbano, executada pelo Poder Público municipal,” (...) “tem por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e garantir o bem-estar de seus habitantes” (BRASIL, 1988, art. 182).

A partir da Política Urbana descrita na Constituição Federal, foram estabelecidas suas diretrizes gerais na Lei 10.257, de 10 de julho de 2001, denominada “Estatuto da Cidade”, onde o Plano Diretor de Ordenamento Territorial é um dos instrumentos de planejamento municipal necessários à qualidade de vida, ao desenvolvimento econômico e à justiça social dos cidadãos, devendo este ser atualizado, pelo menos, a cada 10 anos (BRASIL, 2001).

Após a criação do Ministério das Cidades, em 2003, que culminou no surgimento da Secretaria Nacional de Programas Urbanos, em 2004, foi amadurecida a ideia dos governantes em elaborar o guia de como desenvolver o Plano Diretor Participativo, em 2006, cujo objetivo principal é “garantir que o interesse coletivo prevaleça sobre os interesses individuais ou de grupos específicos, servindo assim de base para todos os instrumentos e mecanismos de planejamento setorial, em especial os de habitação, saneamento, transporte e mobilidade” (BRASIL, 2004).

Rolnik (2004), líder da autoria do Guia para Elaboração do Plano Diretor Participativo pelos Municípios e Cidadãos, citado no parágrafo anterior, acrescenta ainda que o Plano Diretor:

[...] deixa de ser um mero instrumento de controle do uso do solo para se tornar um instrumento que introduz o desenvolvimento sustentável das cidades brasileiras. Para isso, por exemplo, é necessário que assegure espaços adequados para a provisão de novas moradias sociais que atendam a demanda da população de baixa renda; que preveja condições atraentes para micro e pequenas empresas – itens vitalmente importantes para que haja crescimento urbano equilibrado; para que se evite ocupação irregular e informal do território do município; e outros. (ROLNIK, 2004, p. 15).

Vale lembrar que, antes mesmo de ter surgido o guia para Plano Diretor Participativo, pensando de uma forma mais realista sobre Planos Diretores, Villaça (2005) fala que desde 1930 a ideia deste instrumento existe no Brasil, quando foi publicado o “Plano Agache” por um urbanista francês para a cidade do Rio de Janeiro. Foi então que a metodologia começou a se difundir no país, principalmente pela elite brasileira, arquitetos e engenheiros.

Porém, sempre há os questionamentos: (i) se as questões técnicas que demandam o ordenamento territorial são prevalecidas; e, (ii) se os interesses sociais provenientes da sociedade são considerados, sobretudo os de comunidades que fazem o uso de ocupações irregulares.

Numa visão voltada para o desenvolvimento sustentável, Buarque e Lima (2005) aludem alguns critérios necessários para o planejamento urbano como a integração entre governo e sociedade, articulação entre técnica e política, multi e interdisciplinaridade, consideração dos aspectos metropolitanos, entre outros; num momento, inclusive, que se pleiteava a participação da sociedade no denominado Plano Diretor Participativo.

Numa perspectiva ampla, Costa Silva, Santos e Silva (2011) reforçam que a ideia central de um Plano Diretor é normatizar o uso e ocupação do solo e leis que regem economia, política, meio ambiente, conduzindo ao município o recebimento de recursos do governo federal.

Após 10 anos do Estatuto da Cidade, Rolnik (2011) considerou que o instrumento de orientação para o desenvolvimento das cidades é um marco para a política urbana brasileira, uma vez que constitucionaliza o conceito de moradia.

Com base no Estatuto da Cidade, Lei 10.257, de 10 de julho de 2001, um Plano Diretor faz parte do instrumento de planejamento municipal e deve conter a delimitação de áreas urbanas onde é aplicado o parcelamento, edificação ou utilização compulsórios, considerando a existência de infraestrutura e de demanda para utilização. Sendo essas áreas livres, o plano diretor também deve estabelecer a sua delimitação onde o Poder Público municipal tem o direito de preempção. Devem ser estabelecidos os coeficientes de aproveitamento e quais áreas e seus limites que podem superar tais coeficientes, bem como as áreas que podem ter alterado o uso do solo e as previstas em operações consorciadas. Essas últimas são relacionadas às operações de intervenções e medidas coordenadas pelo Poder Público municipal, com a participação dos proprietários, moradores, usuários permanentes e investidores privados, com o objetivo de alcançar transformações urbanísticas estruturais, melhorias sociais e a valorização ambiental. Também está previsto em planos diretores a apresentação de sistemas de monitoramento e controle (BRASIL, 2001).

Pohlmann *et al.* (2014), observando o viés do planejamento urbano, mas na perspectiva de gestão de risco, pontua que o planejamento urbano pouco avançou sobre a ótica da gestão de risco, tanto no trato da problemática em si quanto na ideação do conceito de “risco” propriamente dita, devido esta ser multissetorial.

Com a criação da Lei 12.608/2012, Política Nacional de Proteção e Defesa Civil,

os municípios que apresentam áreas suscetíveis à deslizamentos, inundações ou processos geológicos ou hidrológicos, devem incluir nos seus Planos Diretores Municipais parâmetros de parcelamento, uso e ocupação do solo, para promover a diversidade de usos e contribuir com a geração de emprego e renda. Tais parâmetros devem fazer parte de um mapeamento contendo as áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos. Além disso, devem conter o planejamento de ações de intervenção preventiva e realocação de população de áreas de risco de desastre, bem como conter medidas de drenagem urbana necessárias à prevenção e à mitigação de impactos de desastres e diretrizes para a regularização fundiária de assentamentos urbanos irregulares. Essas orientações estão contidas na Lei 11.977, de 7 de julho de 2009, que dispõe sobre o Programa Minha Casa, Minha Vida (PMCMV) e a regularização fundiária de assentamentos localizados em áreas urbanas (BRASIL, 2009). No Plano Diretor Municipal também devem estar previstas áreas para Habitação de Interesse Social por meio da demarcação de zonas especiais de interesse social e de outros instrumentos de política urbana, onde o uso habitacional for permitido. No caso de áreas verdes municipais, estas devem estar devidamente identificadas e as suas diretrizes para preservação e ocupação das mesmas, quando for o caso, com vistas à redução da impermeabilização das cidades.

Além destes, o Plano Diretor Municipal deve identificar e mapear áreas de risco através de cartas geotécnicas. A ampliação do perímetro urbano também deve ser considerada numa atualização do Plano Diretor, delimitando os trechos com restrições à urbanização em função de desastres naturais, considerando ainda infraestrutura, sistema viário, equipamentos e instalações públicas, urbanas e sociais (BRASIL, 2012).

Mais recentemente, Ayub e Koury (2017) afirmam que o Plano Diretor Municipal deve fornecer as diretrizes de orientação para o crescimento e o desenvolvimento urbano de uma cidade, de forma que haja estrategicamente o controle das ações de políticas públicas, visando a melhoria da qualidade de vida através da universalização do direito de acesso à cidade.

Em estudo sobre o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Santiago, considerando as vertentes do planejamento urbano sustentável, Fabrício *et al.* (2019) concluíram que no Brasil não há o devido tratamento com a comunidade periférica das cidades, sendo necessárias mudanças nas políticas públicas voltadas para os interesses das pessoas.

Com base nos instrumentos públicos elaborados desde a Constituição de 1988 até o presente momento, percebe-se um interesse de inserir a comunidade no aspecto estratégico-organizacional, reforçando, principalmente, a ideia de justiça social, um dos pilares do

desenvolvimento sustentável. No entanto, o que ocorre efetivamente na prática, é que os interesses técnicos, sociais e ambientais, pelo menos de uma maioria pouco atuante estrategicamente, são descartados aos interesses de outras grandezas que os sobrepõem.

2.4.2. Plano Diretor de Ordenamento Territorial de Juazeiro do Norte/CE

O Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU) do município de Juazeiro do Norte/CE, publicado através da Lei 2.572 de 08 de setembro de 2000, encontra-se desatualizado em 10 anos, apresentando informações baseadas em dados antigos e fornecendo diretrizes em desconformidade com a realidade atual. Vale ressaltar que nas Disposições Finais apresentadas no Título VII, Artigo 65 da referida Lei, está registrado que o documento de orientação municipal para plano de ordenamento territorial tem suas macro diretrizes garantidas para os 20 anos seguintes (JUAZEIRO DO NORTE, 2000a).

O Artigo 1º do PDDU estabelece que este instrumento visa, “a partir da fixação de objetivos e diretrizes definidos no Plano Estratégico e no Plano de Estruturação Urbana, orientar o processo de transformação do município, assegurando uma melhor qualidade de vida a seus habitantes”. Na mesma Lei, o município reafirma o oferecimento de melhores condições de acesso da população à moradia e ainda proporcionar o crescimento da cidade e compatibilizar esse crescimento com a expansão demográfica, social e econômica (JUAZEIRO DO NORTE, 2000, art. 1º).

Ainda no mesmo instrumento legislativo municipal, no seu Título III, Zonas de Planejamento, no artigo 46, parágrafo 3º, comentando especificamente sobre o zoneamento, está estabelecida a necessidade de informar as condições de uso do solo, podendo ser classificados em permitidos, tolerados, permissíveis e proibidos.

Na mesma data foi expedida a Lei 2.570, denominada Lei de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo da cidade de Juazeiro do Norte/CE. Como objetivos, a referida Lei promulga a orientação para o desenvolvimento físico da estrutura urbana, proporcionando a garantia de condições cabíveis às atividades humanas (JUAZEIRO DO NORTE, 2000b).

Nesta Lei, conforme apresentado no Capítulo XI, dos Indicadores de Ocupação do Solo, no seu Artigo 72, há duas possibilidades de classificação para o referido uso do solo, podendo o mesmo ser “adequado” ou “inadequado”, sendo esse último quando algum parâmetro esteja em desacordo com as restrições construtivas para tal zona.

Doze anos após a publicação do Plano Diretor Municipal, uma equipe formada pelos membros titulares e suplentes do Conselho Municipal do Plano Diretor de Juazeiro do

Norte, totalizando 26 organizações e instituições, sendo a metade parte do poder público e a outra metade parte da sociedade civil, reuniu-se para capacitação para exercício das atividades relacionadas ao desenvolvimento do Plano Diretor Participativo promovendo assim a futura revisão do Plano Diretor Municipal então vigente (PLANO DIRETOR PARTICIPATIVO, 2012. Acesso em: 20/07/2021).

A iniciativa para desenvolver o Plano Diretor Participativo em Juazeiro do Norte/CE, mesmo que tardia, ocorreu pela motivação do município em participar do rol das cidades que inserem a comunidade no contexto estratégico. Motivação essa provocada pela previsão do rompimento da barreira dos 50% dos habitantes morando em cidades, conforme visto pela ONU ainda em 2007, demandando assim por mais recursos e serviços (BRASIL, 2007). Essa situação provocou o Governo Federal a elaborar um documento incentivando a participação da comunidade na elaboração do planejamento urbano, dando início ao Plano Diretor Participativo.

No Brasil, o percentual de pessoas morando em cidades ultrapassa os 80%. Em Juazeiro do Norte, esse percentual é de cerca de 96% (IBGE, 2010). Não apenas em função do incentivo governamental para a participação da comunidade, mas também pela identificação de Planos Diretores Municipais falhos, muito mais voltados para estratégias de instituições e iniciativa privada, a defesa pelo desenvolvimento de Planos Diretores Participativos é feita com o objetivo de inserir a comunidade no contexto estratégico, aproximando as suas reais necessidades em relação ao espaço ocupado (BRASIL, 2004).

O cerne de todo Plano Diretor Municipal é legítimo em se tratando do “bem estar” da comunidade, conforme defendido por Ishimaru (2015, p. 65), quando comenta sobre o referido documento ser uma “excelente oportunidade para ampliar a cidadania e o número de sujeitos competentes para lidar com as questões de interesse coletivo”.

Na prática, o que se percebe é a discrepância entre a expansão das cidades de uma forma geral com o que foi planejado, especialmente nas zonas residenciais periféricas, com as consequências desastrosas da má ocupação do alto adensamento populacional.

Menezes (2016), em seu trabalho sobre as condições de salubridade ambiental em Juazeiro do Norte, confirma a ocupação desordenada na cidade, através do cálculo do Índice de Salubridade Ambiental em áreas não edificáveis em zona urbana, caracterizando o que descreve como “gradiente decrescente das condições materiais a partir do centro em direção à periferia”.

Em seu trabalho sobre o direito à cidade e os espaços urbanos segregacionais, especialmente comentando sobre o bairro São José, local bastante afetado com erosões

provenientes da ocupação desordenada no município de Juazeiro do Norte, embora esteja localizado em Zona Residencial de baixa taxa de ocupação populacional, Santos (2018) comenta sobre a dificuldade que o bairro enfrenta em requerer seu direito à cidade, frente aos agentes governamentais.

2.5. Cartografia Geotécnica e Mapa de Suscetibilidade à Erosão como Instrumento de Ordenamento Territorial e Gestão de Riscos de Desastres

2.5.1. Mapas de Suscetibilidade e Cartas Geotécnicas

Para Oliveira (1983):

Mapa é a representação gráfica, geralmente numa superfície plana e em determinada escala, das características naturais e artificiais, terrestres ou subterrâneas, ou, ainda, de outro planeta. Os acidentes são representados dentro da mais rigorosa localização possível, relacionados, em geral, a um sistema de referência de coordenadas. (OLIVEIRA, 1983, p. 322).

Carta é a representação dos aspectos naturais e artificiais da Terra, destinada a fins práticos da atividade humana, permitindo a avaliação precisa de distâncias, direções e a localização geográfica de pontos, áreas e detalhes; representação plana, geralmente em média ou grande escala, numa superfície da Terra, subdividida em folhas, de forma sistemática, obedecendo um plano nacional ou internacional. (OLIVEIRA, 1983, p. 89).

No *web* site do IBGE, na página do Dicionário Cartográfico, além destas relacionadas à representação, as definições também estão relacionadas à escala, onde o mapa é a representação em escala pequena (mais abrangente, menor detalhe) e carta estaria mais relacionada à média ou grande escala (menos abrangente, maior detalhe) (IBGE, 2021).

Comparando os termos “carta”, “planta” e “mapa”, o IBGE (1985) traz uma outra definição mais relacionada ao agrupamento das informações, mas também relacionadas à escala, onde plantas são representações em grande escala, restando ao mapa e à carta a representação em pequena escala. Porém, os mapas seriam representações de unidades geográficas (município, estado, país, etc.), que podem ser posicionados numa única folha; Já as cartas, são uma união de várias folhas, com a representação, inclusive, de indicação de continuidade entre folhas (mapas) para compor uma carta final.

Dentro da cartografia geotécnica, alguns autores não fazem diferença entre mapa e carta, e muitos usam, inclusive, a terminologia “mapa/carta”, independente da escala e/ou conteúdo.

No entanto, outros autores como Zuquette e Gandolfi (2004), associam carta à representação que traz consigo dados das informações que são obtidas pelas interpretações dos

mapas nela contidos.

Neste trabalho será utilizado o termo “mapa” em virtude da ausência de dados mais detalhados como mapas de origem, além da não inclusão da interpretação isolada dos fatores de erosão. Para o uso do termo “carta geotécnica”, aconselha-se a elaboração de mapas de suscetibilidade aos movimentos de massa e inundação e as interpretações a partir dessas ocorrências.

2.5.2. *Suscetibilidade, Risco e Vulnerabilidade*

Para o CEMADEN (2019), suscetibilidade é a predisponência de terrenos ao desenvolvimento de um fenômeno ou processo do meio físico.

O risco é a consequência de uma interação entre perigos naturais e antrópicos em situações de vulnerabilidades, inclusive a probabilidade das suas ocorrências (UNISDR, 2004).

Já a vulnerabilidade está associada à determinadas condições por fatores ou processos físicos, sociais, econômicos e ambientais, que aumentam a suscetibilidade de uma comunidade ao impacto dos perigos que esta pode estar predisponente (UNISDR, 2017).

Bandeira (2003) diz que para avaliar o risco de uma situação, precisam ser considerados (i) a suscetibilidade da área; (ii) o perigo em potencial; (iii) o grau de exposição, e; (iv) a vulnerabilidade dos sistemas.

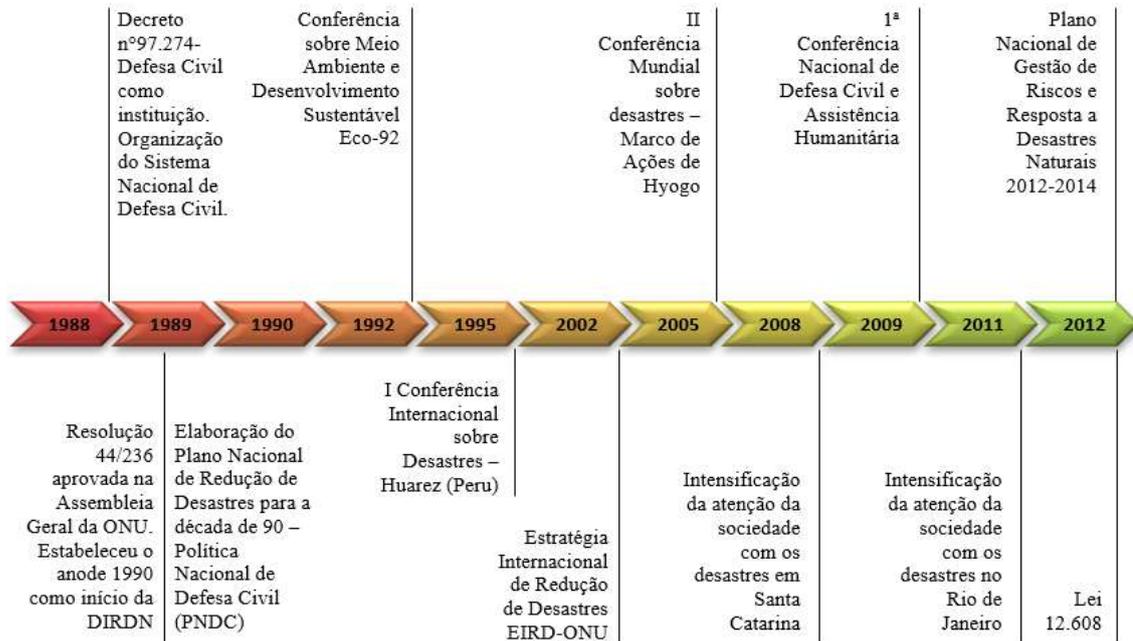
Considerando as terminologias apresentadas, este trabalho adotará a definição de “mapa de suscetibilidade”, por ser a primeira configuração mapeada em relação às áreas suscetíveis à erosão em escala municipal, mediante aplicação do método heurístico e pela ausência de dados com maior detalhamento para uma melhor representação.

2.5.3. *Cartografia Geotécnica e a Aplicação na Gestão Territorial*

2.5.3.1. *Histórico*

Ao longo dos anos, o Brasil passou por situações de emergências, com a ocorrência fenômenos caracterizados como desastres, envolvendo erosões e movimentos gravitacionais de massa em áreas suscetíveis ocupadas por comunidades vulneráveis. Esses acontecimentos foram os propulsores do amadurecimento legislativo, como pode ser visto na Figura 15, extraída do histórico das ocorrências de desastres versus criação de documentos relacionados, de Pohlmann *et al.* (2014).

Figura 15 – Histórico dos principais acontecimentos relacionados à Gestão de Riscos



Fonte: Adaptado de Pohlmann *et al.* (2014).

Como consequência, foi criada em 10 de abril de 2012 a Lei 12.608, que instituiu a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), dispendo sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC) e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil (CONPDEC), bem como autorizando a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres (BRASIL, 2012).

Na PNPDEC, no seu Artigo 3º, Parágrafo Único, enfatiza-se que a esta deve ser integrada às políticas de ordenamento territorial, em especial, ao desenvolvimento urbano e infraestrutura, visando o desenvolvimento sustentável. Especialmente em relação aos municípios, compete a identificação e mapeamento das áreas de risco de desastre. Esta competência é viabilizada mediante a concessão de incentivo por parte do Governo Federal, principalmente em medidas de adoção para aumento da oferta de terra urbanizada para construção de Habitação de Interesse Social (HIS), conforme estabelece o Estatuto da Cidade.

A concessão do incentivo supracitado deverá ser feita mediante o cadastro do município e elaboração de carta geotécnica de aptidão à urbanização, considerando diretrizes de urbanização estabelecendo critérios seguros para o parcelamento para uso e ocupação do solo. No Artigo 23 é estabelecido sobre a proibição da concessão de alvará de construção em áreas de risco, o que precisa ser identificado através de carta geotécnica, cujo mapa de suscetibilidade à erosão pode viabilizar a sua elaboração.

A carta geotécnica para cadastro no SINPDEC deve conter: Parâmetros de parcelamento, uso e ocupação do solo; Mapeamento contendo as áreas suscetíveis à ocorrência

de deslizamento; Planejamento de ações de intervenção preventiva; Medidas de drenagem urbana; Medidas para regularização fundiária de assentamentos urbanos irregulares.

Em agosto de 2012, foi lançado o Plano Nacional de Gestão de Riscos e Respostas a Desastres Naturais (PNGRRDN), onde o monitoramento das ameaças naturais em áreas de riscos nos municípios suscetíveis à desastres naturais no Brasil é realizado pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) e está vinculado ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. A ocorrência dos desastres no Brasil aumentou a partir da década de 1950, com a aceleração da urbanização e a falta de políticas de desenvolvimento urbano capazes de promover moradia eficiente para a comunidade. Assim, especialmente a população mais carente passou a ocupar áreas inadequadas, com declividade acentuada e às margens dos rios, promovendo vulnerabilidade a deslizamentos de encostas, inundações ou enxurradas (CEMADEN, 2020). Entre os anos de 2012 e 2014 estavam previstos R\$ 18,8 bilhões de reais em investimentos federais para as atividades inseridas no PNGRRDN, sendo distribuídas em atividades de prevenção, mapeamento, monitoramento e controle e respostas, conforme pode ser visto na Figura 16. Desta figura, extrai-se que: 83% do investimento do governo federal esteve aplicado nas ações de prevenção; 14% nas atividades de resposta aos desastres; quase 2% destinadas no monitoramento e alerta; e 1% nas ações de mapeamento.

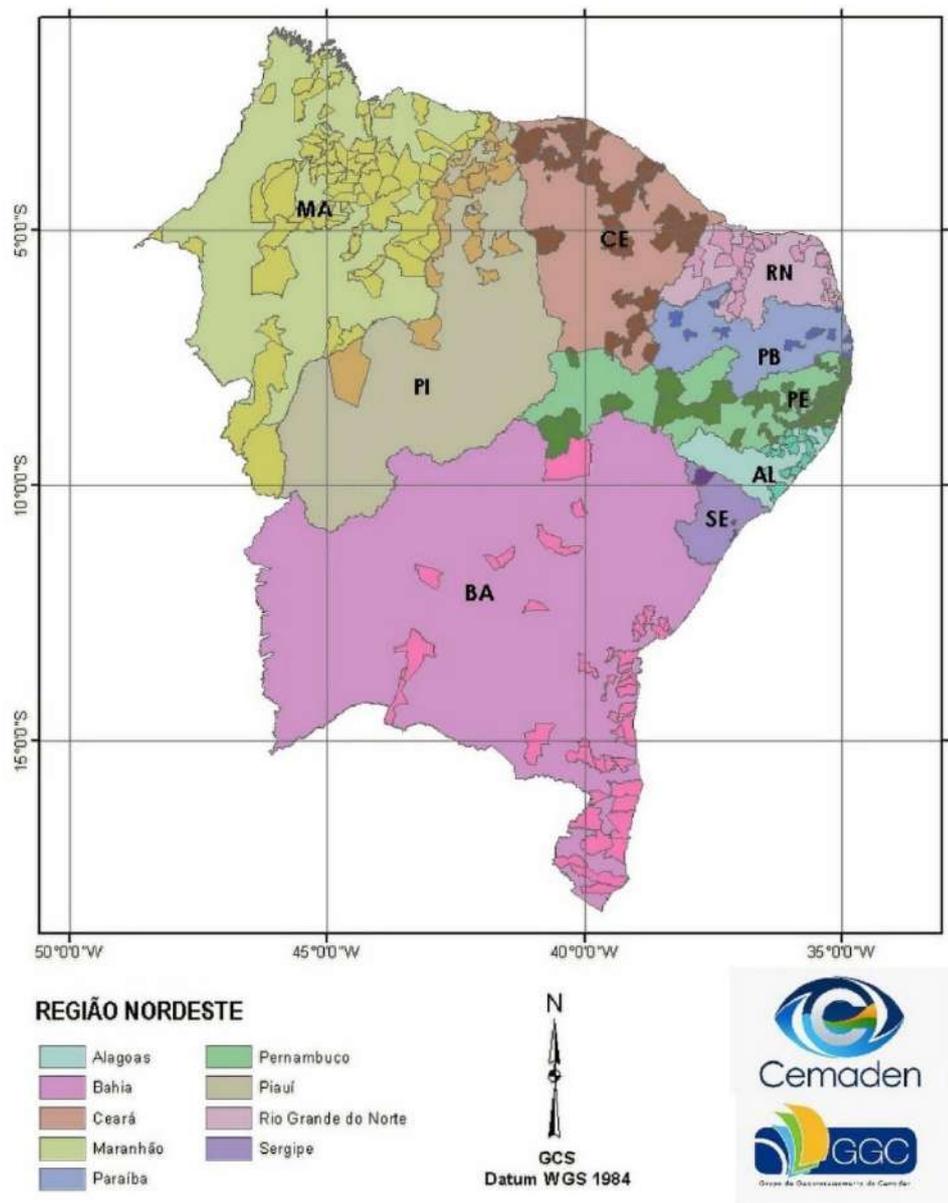
Figura 16 – Distribuição do investimento para atividades do PNGRRDN



Fonte: CEMADEN (2020).

O CEMADEN mantém um histórico de registros de desastres naturais decorrentes de movimentos de massa (deslizamentos de encostas, corridas de massa, solapamentos de margens e terras caídas, queda e rolamentos de blocos e processos erosivos) e Juazeiro do Norte é um dos 958 municípios brasileiros monitorados (Figura 17), conforme escopo do PNGRRDN.

Figura 17 – Municípios monitorados pelo CEMADEN na região do nordeste brasileiro



Fonte: CEMADEN (2020).

2.5.3.2. Estudos de Cartografia Geotécnica

Anos antes de ser oficializada a Lei 12.608/2012, Bandeira (2003), elaborando o mapa de risco de erosão e escorregamento das encostas com ocupações desordenadas no

município de Camaragibe, pertencente à região metropolitana do Recife-PE, sugeriu a elaboração do mapa de suscetibilidade de erosão e escorregamentos, indicando os locais com maior segurança para serem ocupados pelos assentamentos urbanos.

Antes da publicação de Bandeira (2003), ocorreu em Camaragibe/PE um deslizamento que provocou mortes e desabrigados que ocupavam locais indevidos. Além disso, iniciava a estratégia internacional de redução de desastres pela ONU, em virtude das ocorrências de desastres que assolaram várias cidades do mundo, conforme mostra a Figura 15.

Para explicar as características dos mapas possíveis de serem elaborados com a cartografia geotécnica, Sobreira e Souza (2014) apresentam as escalas de mapeamento e os processos a serem desenvolvidos (Tabela 2).

Tabela 2 – Níveis de cartas geotécnicas no planejamento urbano, escalas e processos

PRODUTO	ESCALAS DE MAPEAMENTO	PROCESSOS GEODINÂMICOS PASSÍVEIS DE IDENTIFICAÇÃO
Cartas de Suscetibilidade	1:25.000 ou maiores	Movimentos gravitacionais de massa, inundações/enchentes, corridas, erosões, assoreamento, processos costeiros, sismos induzidos.
Carta de Aptidão à Urbanização	1:10.000, 1:5.000 ou maiores	Movimentos gravitacionais de massa translacionais, inundações/enchentes/alagamentos, corridas, erosões lineares de grande porte (ravinas), assoreamento, subsidências e colapsos, queda e rolamento de blocos rochosos, processos costeiros.
Cartas de Riscos Geológicos	1:2.000 ou maiores	Movimentos gravitacionais de massa – translacionais, rotacionais, em cunha, inundações/enchentes/alagamentos, corridas de lama e detritos, rastejos, erosões lineares (sulcos, ravinas e voçorocas), solapamentos de margem, assoreamento, subsidências e colapsos, expansão de terrenos, queda e rolamento de blocos rochosos, processos costeiros.

Fonte: Sobreira e Souza (2014).

Bitar (2014) fala em Nota Técnica que:

[...] o conhecimento prévio das suscetibilidades dos terrenos à geração e desenvolvimento de fenômenos e processos do meio físico cuja dinâmica pode ocasionar desastres naturais é de grande importância aos municípios, contribuindo para o planejamento do uso e ocupação do solo, controle da expansão urbana, avaliação de cenários potenciais de riscos e, ainda, no âmbito regional, auxiliar na elaboração de zoneamentos ecológico-econômicos. A caracterização do grau de suscetibilidade a determinado processo do meio físico em uma área específica deve impor as correspondentes medidas de restrição à ocupação, de modo a evitar a formação de novas áreas de risco, bem como induzir o desenvolvimento de normas técnicas e práticas que possam assegurar o uso adequado do solo em áreas não ocupadas e fomentar ações voltadas à redução de riscos em áreas ocupadas, especialmente nas urbanizadas. (BITAR, 2014, p. 1).

Bitar (2014) desenvolveu a Nota Técnica e apresentou a Carta de Suscetibilidade à Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundação de Ilhota/MG. Como metodologia, foi utilizada uma base planialtimétrica composta por mapas de: altimetria, hidrografia, limites, ortofotos, viário; gerando os produtos: Modelo Digital de Elevação (MDE), declividade, relevo sombreado, padrões de relevo, feições, geologia, pedologia, isoietas, hietogramas, equações IDF, fotos de campo, suscetibilidade, áreas de risco, pontos selecionados. Os mapas utilizados

foram em *Datum* WGS84 em UTM, convertidos para SIRGAS2000.

Para concluir a carta de suscetibilidade, Bitar (2014) utilizou a modelagem estatística, relacionando fatores condicionantes e distribuição dos deslizamentos (GUZZETTI *et al.*, 1999), diminuindo a subjetividade e aumentando a repetitividade das características de zonas suscetíveis (FERNANDES *et al.*, 2001). Posteriormente foi relacionado ocorrência de cicatrizes e os dados dos mapas como fonte de dados e utilizadas as Equações 1, 2 e 3.

$$D = \frac{A_d}{A_t} \quad (\text{Equação 1})$$

$$D_n = \frac{D}{D_t} \quad (\text{Equação 2})$$

$$ISD = \log D_n \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

D = densidade de cicatrizes em cada classe do fator predisponente;

Ad = área afetada por deslizamentos na classe;

At = área total da classe;

Dn = densidade normalizada;

Dt = densidade média de deslizamentos na área de estudo;

ISD = Índice de Suscetibilidade a Deslizamentos.

Além do ISD, foi sugerida a aplicação de filtros de geoprocessamento e/ou a identificação de Unidades Homogêneas de Terreno (UHT), com a delimitação de polígonos representativos de áreas meramente homogêneas geomorfológica, hidrológica e geologicamente (Figura 18).

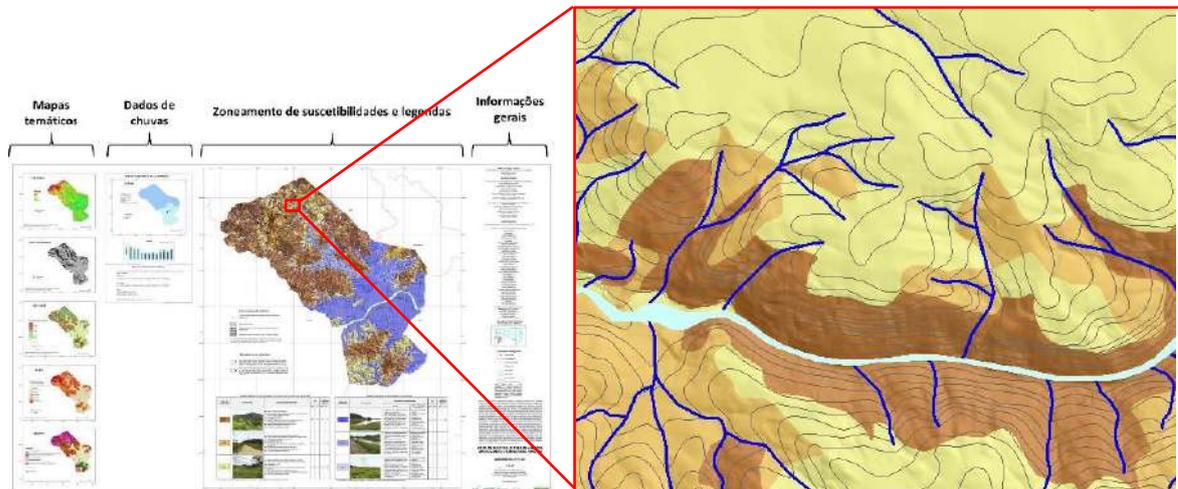
Figura 18 – Exemplo de delimitação pela Unidade Homogênea de Terreno (UHT)



Fonte: Bitar (2014).

Finalmente, categorizando as classificações de baixa, média e alta suscetibilidade aos movimentos de massa, relacionando as áreas com cicatrizes e a área total, com os percentuais, compõe-se o zoneamento das suscetibilidades, conforme mostrado na Figura 19.

Figura 19 – Zoneamento de suscetibilidade a movimentos de massa, distinguindo-se as três classes pela tonalidade da cor (mais escura: alta; intermediária: média; mais clara: baixa)



Fonte: Bitar (2014).

A Figura 20 mostra o resultado da carta síntese de suscetibilidade, apresentada por Bitar (2014), elaborada por um modelo próprio, passível de aplicação à maior parte dos municípios brasileiros sujeitos a desastres naturais. Nela foi usada a orientação proposta por Fell *et al.* (2008) definindo o tipo (inventário, suscetibilidade, perigo e risco) e nível (básico, intermediário ou avançado) de zoneamento, nas escalas regional (1:25.000 até 1:250.000), local (1:5.000 até 1:25.000) ou pontual (1:5.000 até 1:1.000). O mapa elaborado neste trabalho, enquadra-se no nível básico pelo objetivo e pela disponibilidade dos dados de entrada.

Utilizando-se de ferramentas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), Pfaltzgraff (2007) contribuiu com o desenvolvimento de um mapa de suscetibilidade a deslizamentos (construindo uma metodologia de elaboração) da Região Metropolitana de Recife (RMR), bem como fez correlações com mapas existentes.

A cartografia geotécnica teve considerado avanço por volta da década de 60, com a adoção de geoprocessamento de dados cartográficos utilizando SIG como metodologia necessária para o desenvolvimento de mapas e cartas. Nesta mesma época foram divulgados os primeiros trabalhos no Brasil (SOBREIRA; SOUZA, 2012).

Com o avanço tecnológico e surgimento da cartografia digital e dos SIG, além da melhoria da qualidade dos dados disponibilizados, sobretudo nos últimos 20 anos, tornou-se mais ágil e rápida a geração de mapas e cartas com abordagem qualitativa, facilitando os processos de integração de dados e atualização dos produtos cartográficos.

A análise qualitativa para elaboração de cartas de mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos de massa foi uma das primeiras metodologias utilizadas, onde, além do inventário de dados de ocorrências, foram inseridas informações de geologia e declividade (NILSEN *et al.*, 1979).

Anos mais tarde, os dados foram tratados com base em análises multicriteriais. Leão (2016) afirma que os principais métodos multicriteriais utilizados para o mapeamento de áreas suscetíveis aos movimentos de massa são: os heurísticos ou empíricos, os estatísticos e os determinísticos. O método aplicado nesta pesquisa foi o heurístico, cuja abordagem baseia-se na análise qualitativa do grau de risco, que leva em consideração o julgamento sobre os fatores envolvidos que possam causar instabilidade nas áreas investigadas. Segundo Barredo (2000), o método heurístico pode ser desenvolvido a partir de um levantamento direto ou indireto. O primeiro está relacionado ao prévio levantamento de campo, com base num mapa geomorfológico detalhado. O segundo, que foi selecionado para esta pesquisa, baseia-se nos fatores condicionantes à instabilidade da área de estudo, como mapas de geomorfologia, declividade, geologia, geotecnia, uso e ocupação do solo e cobertura vegetal; que são ordenados e ponderados de acordo com sua importância, por meio de pesos para composição da carta geotécnica de suscetibilidade à erosão (AMARAL JUNIOR, 2007).

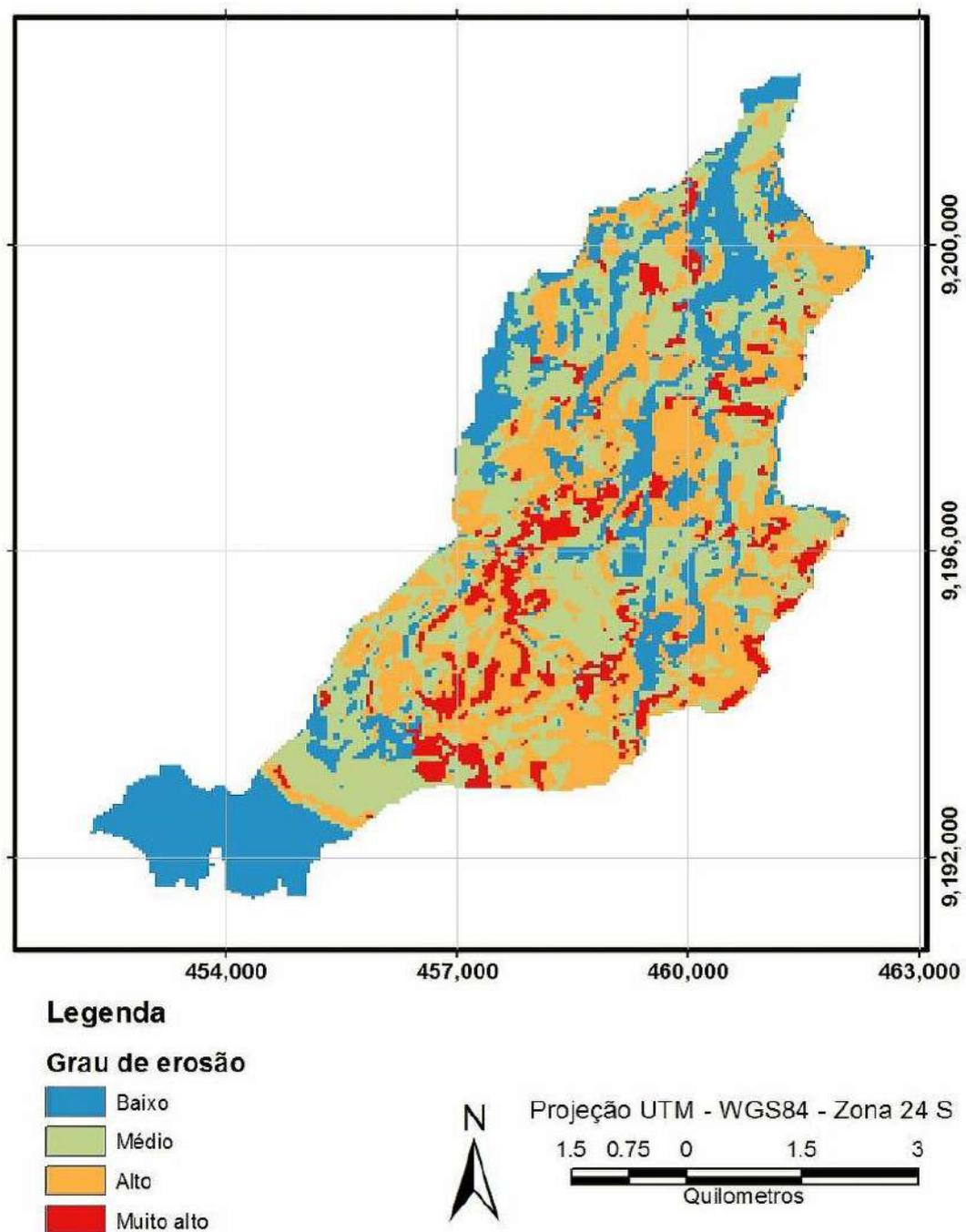
Gonzales, Francisconi e Paviani (2013) afirmam que as ferramentas de geoprocessamento ajudam a melhor instrumentalizar as cidades, o que permite medir, captar e monitorar as condições de quase tudo no espaço urbano.

Nogueira (2017) diz que a carta geotécnica, que é feita através de processo de geoprocessamento, sintetiza o conhecimento sobre o meio físico e seus processos atuantes em

determinada área, de modo a subsidiar o estabelecimento de medidas para a adequada ocupação do solo.

Correlacionando erosividade da chuva, erodibilidade do solo e o fator topográfico da bacia, incluindo, através de SIG, a identificação, delimitação e descrição dos tipos de uso e ocupação dos solos na Bacia Hidrográfica do São José (BHSJ), Costa (2013) desenvolveu o mapa de suscetibilidade, apresentado na Figura 21.

Figura 21 – Mapa de suscetibilidade à erosão da Bacia Hidrográfica do São José (BHSJ)



Fonte: Costa (2013).

Costa (2013) utilizou a Equação Universal de Perda de Solo (acrônimo inglês, USLE), conforme mostrado na Equação 4, avaliando os parâmetros hidrossedimentológicos da BHSJ e sua respectiva produção de sedimentos distribuído por áreas de baixa, média e alta suscetibilidade, conforme mostrado na figura anterior, onde foi utilizado o Modelo Numérico de Terreno (MNT), gerado através do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) e geoprocessado com SIG.

$$E = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

E = massa de solo erodida por unidade de área ($\text{ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$);

R = fator erosividade da chuva ($\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$);

K = fator erodibilidade do solo ($\text{ton} \cdot \text{h} \cdot \text{MJ}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$);

L = fator de comprimento de encosta;

S = fator de declividade de encosta;

C = fator de uso e manejo do solo;

P = fator práticas conservacionistas.

O parâmetro R (erosividade da chuva) foi obtido calculando-se as precipitações médias mensais e anuais, a partir desses dados, foi possível determinar a erosividade da chuva, conforme Equação 6.

$$EIm = 40,251 \times \left(\frac{p^2}{P}\right)^{0,8717} \quad (\text{Equação 6})$$

Onde:

EIm = índice de erosividade acumulado mensal ($\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{mês}^{-1}$);

p = precipitação mensal ($\text{mm} \cdot \text{mês}^{-1}$);

P = precipitação anual média ($\text{mm} \cdot \text{ano}^{-1}$).

A equação apresentada foi utilizada por Costa (2013) para determinar o fator de erosividade da chuva, utilizando no respectivo coeficiente (R) na equação de perda de solo da Bacia Hidrográfica do São José (Equação 5). A erosividade da chuva foi calculada com a aplicação de uma equação regional formulada pela análise de regressão entre o Índice de Erosão de Wischmeier e Smith (1958) e o Coeficiente de Chuva de Fournier (1960). No experimento

foi feita uma leitura a cada 5 minutos num pluviógrafo instalado na estação meteorológica da Bacia Experimental de Aiuaba/CE (coordenadas geográficas 6°34'26''S e 40°7'26''W), por este se localizar num município de mesma isozona proposta por Torrico (1974), conforme cita Fachine Sobrinho (2012). Semelhante procedimento foi utilizado no estudo ora apresentado.

Ribeiro (2004) avaliou a suscetibilidade aos processos erosivos superficiais, com base na dinâmica geomorfológica na microbacia do rio Grangeiro, no município do Crato/CE, estudando erodibilidade do solo, as características das encostas e a cobertura vegetal. Foi concluído que as principais cicatrizes estavam localizadas em áreas de baixa erodibilidade do solo, porém em locais de ocupação desordenada, sem infraestrutura apropriada, ou seja, a ação antrópica inadequada foi a principal causa dos processos erosivos.

A identificação de erosões e deslizamentos em áreas de baixa suscetibilidade também foi encontrada por Dalmas *et al.* (2015), onde 51,56% da área estudada (região costeira do estado de São Paulo), utilizando a metodologia da equação 2 (USLE), obteve essa classificação sob a influência dos fatores antrópicos nesta região.

Adotando a metodologia multicritério do tipo álgebra de mapas e AHP, Santos e De Rezende Nascimento (2021) utilizaram a Equação 7 para determinar a suscetibilidade erosiva (SE). Também foi utilizada a variável da cobertura do solo (CS) para determinar a vulnerabilidade à erosão (VE) (Equação 8), com pesos 1,8 e 3,0 para SE e CS, respectivamente.

$$SE = (R \times 0,057) \times (K \times 0,122) \times (H \times 0,264) \times (D \times 0,558) \quad (\text{Equação 7})$$

Onde:

SE = suscetibilidade erosiva;

R = fator erosividade da chuva;

K = fator erodibilidade do solo;

H = fator hipsometria;

D = fator de declividade.

$$VE = (SE \times 1,8) \times (CS \times 3,0) \quad (\text{Equação 8})$$

Neste estudo será utilizada metodologia semelhante incorporada ao QGIS e calculadora AHP, considerando os fatores por ordem de prioridade e os pesos por característica identificados nos mapas produzidos.

Sousa (1999) *apud* Ribeiro (2004), afirma que o mapa de suscetibilidade à erosão, por se tratar de um documento grafo-técnico que incorpora dados do meio físico associados aos

processos erosivos, viabiliza a ocupação territorial ordenada e o uso sustentável do solo.

Diante do exposto, o momento de revisão do PDDU de Juazeiro do Norte/CE, inclusive o esforço realizado em 2012 para o desenvolvimento do Plano Diretor Participativo, é oportuno ter como um dos instrumentos de fomento à esta atualização, o mapa de suscetibilidade à erosão, objeto do presente estudo. Isso se explica pelo fato de que uma vez existindo este produto técnico que indique a possibilidade de ocorrência de processos erosivos, este servirá de ferramenta de gestão de ordenamento territorial. Além disso, pode antecipar informações para o CEMADEN, promovendo a aquisição de recursos previstos pelo Governo Federal para investimento em gestão de riscos de desastres.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1. Síntese do Processo de Ocupação e Urbanização do Município de Juazeiro do Norte/CE

Segundo Silva (2009), Juazeiro do Norte foi formada pela estruturação de fazendas, onde os fazendeiros e coronéis eram os donos das terras, sendo os principais personagens da política do Cariri cearense.

Há diversos relatos, como por exemplo o de Macêdo (1978), que o primeiro ocupante do território Juazeirense, foi o potiguar Capitão-mor Manuel Rodrigues Ariosa que, obtendo sesmaria em 1703, estabeleceu seu latifúndio “a começar da Cachoeira dos Cariris até entestar com o fim da lagoa dos Cariris”, trecho de brejo que passou a ser denominado Lagoa do Ariosa entre Juazeiro do Norte e Crato. Mais tarde, por volta de 1743, essas terras foram adquiridas pelo Capitão Antônio Mendes Lobato e Lira, sendo que sua filha as recebeu por herança. Maria Ferreira da Silva, casada com o Capitão-mor Domingos Álvares de Matos, diretor dos índios Cariris Novos, doou uma parte das terras aos índios e vendeu a parte remanescente. Um dos adquirentes de alguma gleba, Alferes Manuel de Sousa Pereira, deixou aos herdeiros em 1780, o Sítio Porteiras do Carité, que fora vendido ao então Sargento-mor, e posterior Brigadeiro, Leandro Bezerra Monteiro. Sua filha, Luísa Joana Bezerra de Menezes, herdou essas terras e, em 1827, um de seus filhos, padre Pedro Ribeiro, construiu uma capela junto à casa grande e residências para os escravos e agregados da família, local este que foi denominado Tabuleiro Grande, localizado na estrada real que ligava Crato à Missão Velha, à margem direita do rio Batateira. A capela foi erguida em frente a um frondoso juazeiro, daí a origem do nome “Juazeiro do Norte” (palavra tupi-portuguesa: jua ou iu-à e “fruto de espinho”, em virtude da grande quantidade de espinhos que defendem os ramos da árvore, mais o sufixo eiro). Essa capela foi consagrada à Nossa Senhora das Dores, padroeira do município, a quem o padre doou as suas terras e onze escravos (MACÊDO, 1978; IBGE, 2021). Esses são os primeiros sinais de urbanidade da região (DOS SANTOS, 2013).

O povoado dessa região não teve grande desenvolvimento, até a chegada de padre Cícero Romão Batista, em 11 de abril de 1872, sucedendo padre Pedro Ferreira de Melo. Em 1875, padre Cícero construiu a igreja de Nossa Senhora das Dores junto à capela de mesmo nome, construída anteriormente. Em 1895 foi criada a primeira escola para meninas. (BATISTA, 2020).

Após ser elevada à categoria de município em 1911, tendo suas ruas começado a

receber calçamento em 1919, Juazeiro recebeu seu primeiro trem em 1926 e foi inaugurado um campo de pouso em 1933, mesmo que o primeiro avião de passageiros aterrissaria em 1950 (BATISTA, 2020); anos mais tarde, Juazeiro do Norte foi denominado o maior centro urbano do interior cearense (AMORA; COSTA, 2007).

Na hierarquização dada pelo IBGE, Juazeiro do Norte foi posicionada como centro regional na Divisão do Brasil em Regiões Funcionais Urbanas (2º nível) juntamente com Crato e Sobral em 1972 e como capital regional na Divisão das Regiões de Influência das Cidades (3º nível) com Crato, Iguatu e Sobral em 1987 (IBGE, 1972; 1987 *apud* HOLANDA; SOUZA, 2010).

É notório que a igreja teve um papel importante na formação do município, tanto no contexto social quanto no uso do espaço da região caririense. Também é notória a influência de Padre Cícero, sobretudo na demarcação inicial das ruas e praças do município de Juazeiro, num esforço que a cidade crescesse de forma ordenada (MENEZES; ALENCAR, 1989). No entanto, com a morte do Padre Cícero, a cidade continuou crescendo, porém, sem o planejamento urbano adequado, refletindo nos problemas que se observa através de um simples passeio pelas ruas da cidade. Este crescimento, inicialmente decorrente do turismo religioso, também atrai pessoas com ideais de progresso nas demais áreas, caracterizando o município como local de estreita relação entre política, economia e religiosidade.

Segundo o noticiário da região, a dados de 2019, a construção de edifícios em Juazeiro do Norte cresceu mais de 1000% em 9 anos, onde o número de unidades avançou de 407 em 2010 para 4.309, até o final do ano de 2019, cujo resultado se assemelha com a capital e cidades da Região Metropolitana de Fortaleza (DIÁRIO DO NORDESTE, 2019).

No mesmo ano, foi veiculada notícia que o município ganhara o 2º lugar em vendas de imóveis dentre as cidades do interior do nordeste. Este fato se deve, inclusive, aos investimentos públicos como em Universidades e hospitais, que atraíram a população e aumentou a demanda por moradia, promovendo o surgimento de várias construções (BADALO, 2019).

Apesar do importante benefício econômico advindo desse progresso, sobretudo nos ciclos das romarias, a cidade continua carente de infraestrutura urbana, seja pelo adequado manejo de resíduos sólidos, seja num planejamento apropriado à organização do espaço urbano da cidade, sendo importante o resultado desta pesquisa para subsidiar a gestão do planejamento urbano municipal.

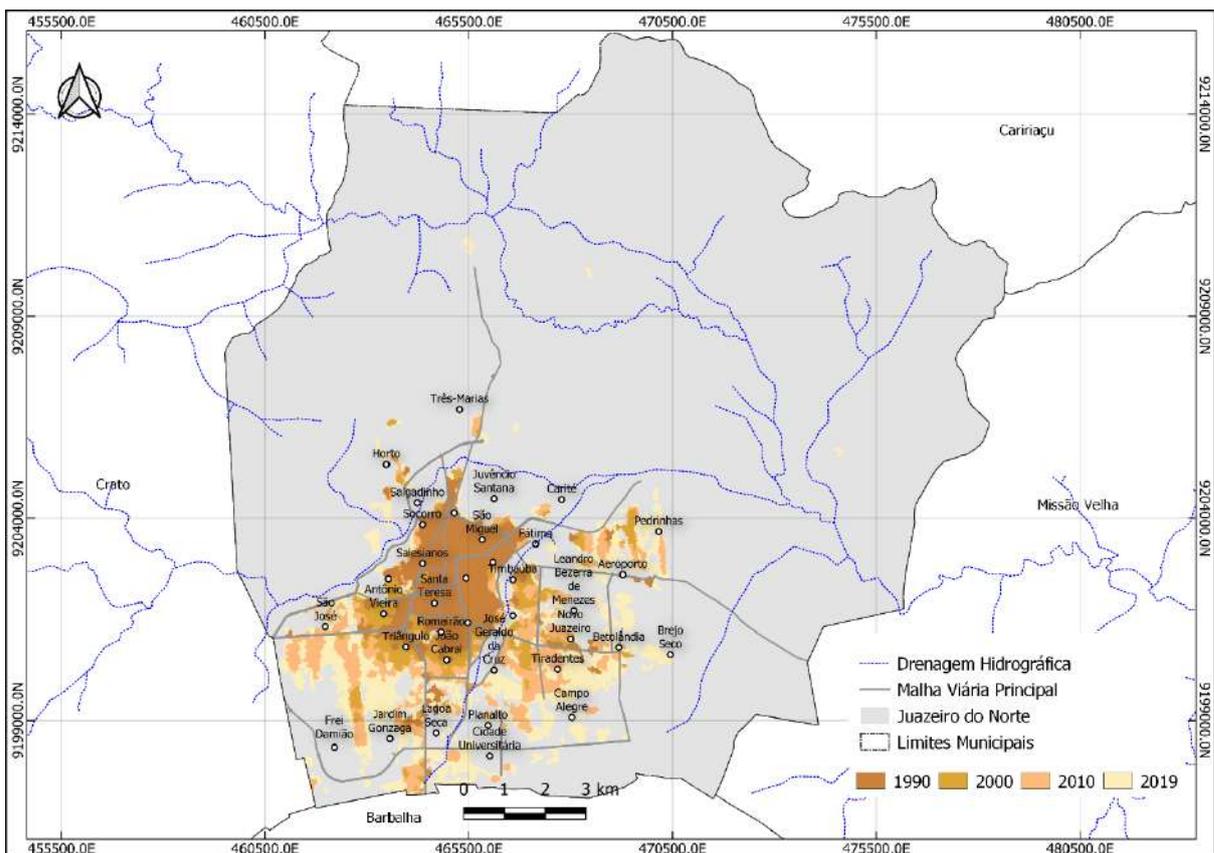
Com pouco mais de 100 anos, Juazeiro do Norte é considerada uma cidade média, e concentra atividades de setores importantes como comércio, serviços, educação, indústria,

habitação, etc; possuindo uma população com mais de 95% de taxa de urbanização, com Produto Interno Bruto (PIB) predominantemente proveniente do comércio e serviços (PEREIRA; OLIVEIRA, 2010).

Com relação à urbanização e arborização, Juazeiro do Norte apresenta 9,6% de domicílios urbanos em vias públicas com arborização e 11,6% composto por domicílios urbanos em vias públicas com urbanização adequada (presença de bueiro, calçada, pavimentação e meio-fio) (IBGE, 2010).

Avaliando o crescimento urbano entre os anos 1990 e 2019, correspondente ao espaço de tempo disponibilizado pelo *site* Mapbiomas, com o devido recorte da Caatinga para o município de Juazeiro do Norte, nota-se a convergência deste processo para leste, em direção ao Crato, e para oeste, em direção à Missão Velha (Figura 22).

Figura 22 – Avanço urbano de Juazeiro do Norte entre 1990 e 2019



Elaboração: Autora (2021). Fonte: Mapbiomas (2008).

As manchas mais escuras correspondem ao processo de urbanização mais antigo que, com base nos dados da plataforma MapBiomas, e comprovação pela história da cidade, é possível compreender que Juazeiro do Norte teve sua formação a partir dos bairros mais centrais (Santa Teresa, Franciscanos, Pirajá).

À medida que a cidade torna a ser ocupada com edificações, categorizadas em

mapas com as descrições “infraestrutura urbana” ou “área antropizada”, há a perda da cobertura vegetal para viabilizar as construções. Desta forma, à medida que Juazeiro do Norte alcançou determinado “progresso” em termos de urbanização, áreas naturalmente verdes são “perdidas”.

3.2. Caracterização Geoambiental de Juazeiro do Norte

3.2.1. Localização

Conforme informado anteriormente, Juazeiro do Norte é um município localizado no sul cearense, fazendo divisa ao Norte com o município de Caririçu, ao Sul com os municípios Crato, Barbalha e Missão Velha, ao Leste com Missão Velha e Caririçu e a Oeste com o município de Crato. Suas coordenadas são 7°12'47" latitude Sul e 39°18'55" longitude Oeste; A Figura 1, apresentada no Capítulo 1, traz a sua localização.

Juazeiro do Norte é um dos municípios do interior do Ceará integrantes da Região Metropolitana do Cariri (RM-Cariri), cuja criação se deu, segundo Nascimento *et al.* (2012) através do reconhecimento da importância do Cariri para o estado. A Lei Complementar 78/2009, dispõe sobre a criação da RM-Cariri, cria o Conselho de Desenvolvimento e Integração e o Fundo de Desenvolvimento e Integração da Região Metropolitana do Cariri (FDMC), e altera a composição de microrregiões do Estado do Ceará, além de outras providências. A RMC é composta pelos municípios: Juazeiro do Norte, Crato, Barbalha, Jardim, Missão Velha, Caririçu, Farias Brito, Nova Olinda e Santana do Cariri (CEARÁ, 2009).

Juntamente com Crato e Barbalha, Juazeiro do Norte forma a conurbação urbana denominada CRAJUBAR; onde Rodrigues, Alves e Pinheiro (2014) defendem que essa RMC se deu mais por fatores políticos do que pela dinâmica metropolitana da região, resumida mais aos municípios da conurbação urbana.

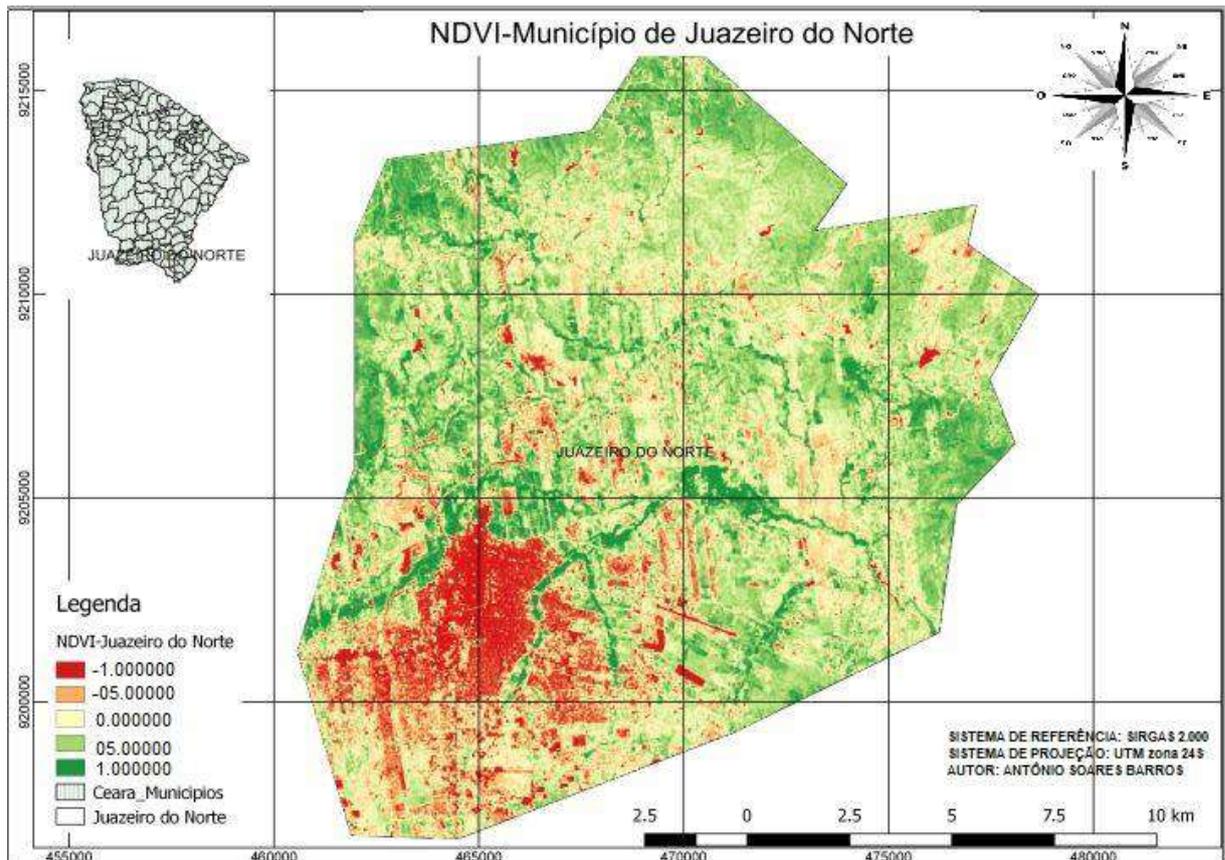
3.2.2. Cobertura Vegetal

Segundo IPECE (2017), Juazeiro do Norte é recoberto pela Floresta Caducifólia Espinhosa (Caatinga Arbórea) como vegetação predominante, característica do semiárido nordestino. As espécies mais comuns encontradas no município são Aroeira (*Myracrodruon*), Imbu (*S. Tuberosa*) e Jucá (*C. Ferrea*) (COSTA, 2013).

Com o objetivo de avaliar o potencial de cobertura vegetal do município de Juazeiro do Norte, Barros, Farias e Marinho (2020) elaboraram um mapa com a variação do *Normalized*

Difference Vegetation Index (Índice de Vegetação com Diferença Normalizada, NVDI), que é um indicador que varia de -1,0 a 1,0, sendo: -1,0, correspondente à áreas de corpos d'água e áreas edificadas; -0,5, áreas de solo exposto; 0,0, áreas com vegetação arbustiva aberta; 0,5, áreas com vegetação arbustiva fechada, e; 1,0, correspondente à áreas de vegetação arbórea mais densa, conforme pode ser visto na Figura 23.

Figura 23 – Mapa de cobertura vegetal por NVDI do município de Juazeiro do Norte/CE



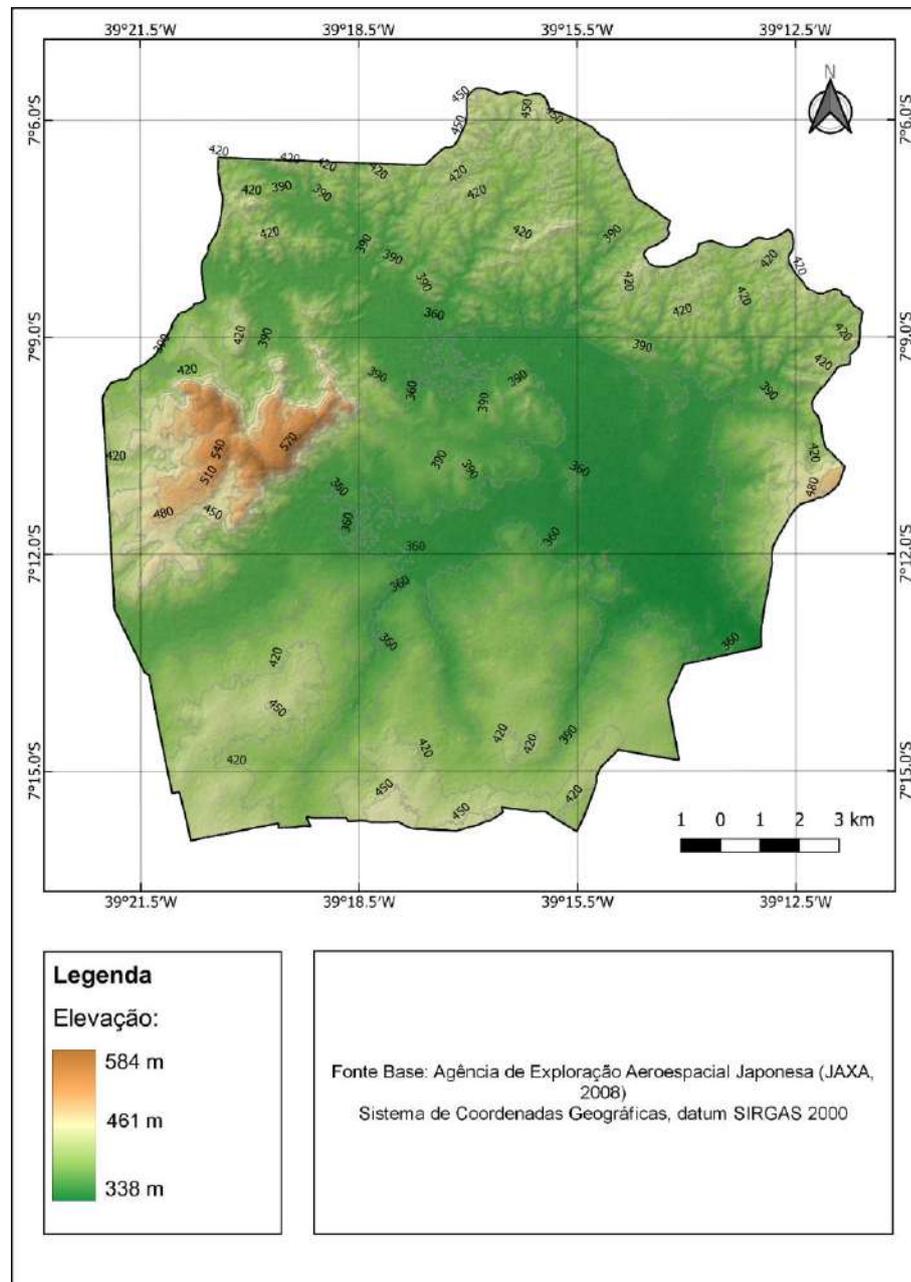
Fonte: Barros, Farias e Marinho (2020).

O potencial de cobertura vegetal obtido através de sensoriamento remoto pelos autores foi de 0,60901, sendo que o índice mais próximo de 1 apresenta maior cobertura vegetal. Isso significa que o município se encontra em processo de forte urbanização, porém ainda possui significativa cobertura vegetal (BARROS; FARIAS; MARINHO, 2020).

3.2.3. *Relevo, Geomorfologia e Hidrografia*

Em escala regional, Juazeiro do Norte possui relevo plano (0 a 3%) a montanhoso (45 a 75%), com curvas de nível variando entre 330m, na porção mais central do município a 590m de altitude na região do bairro Horto, conforme pode ser visto na Figura 24.

Figura 24 – Mapa de altimetria do município de Juazeiro do Norte/CE



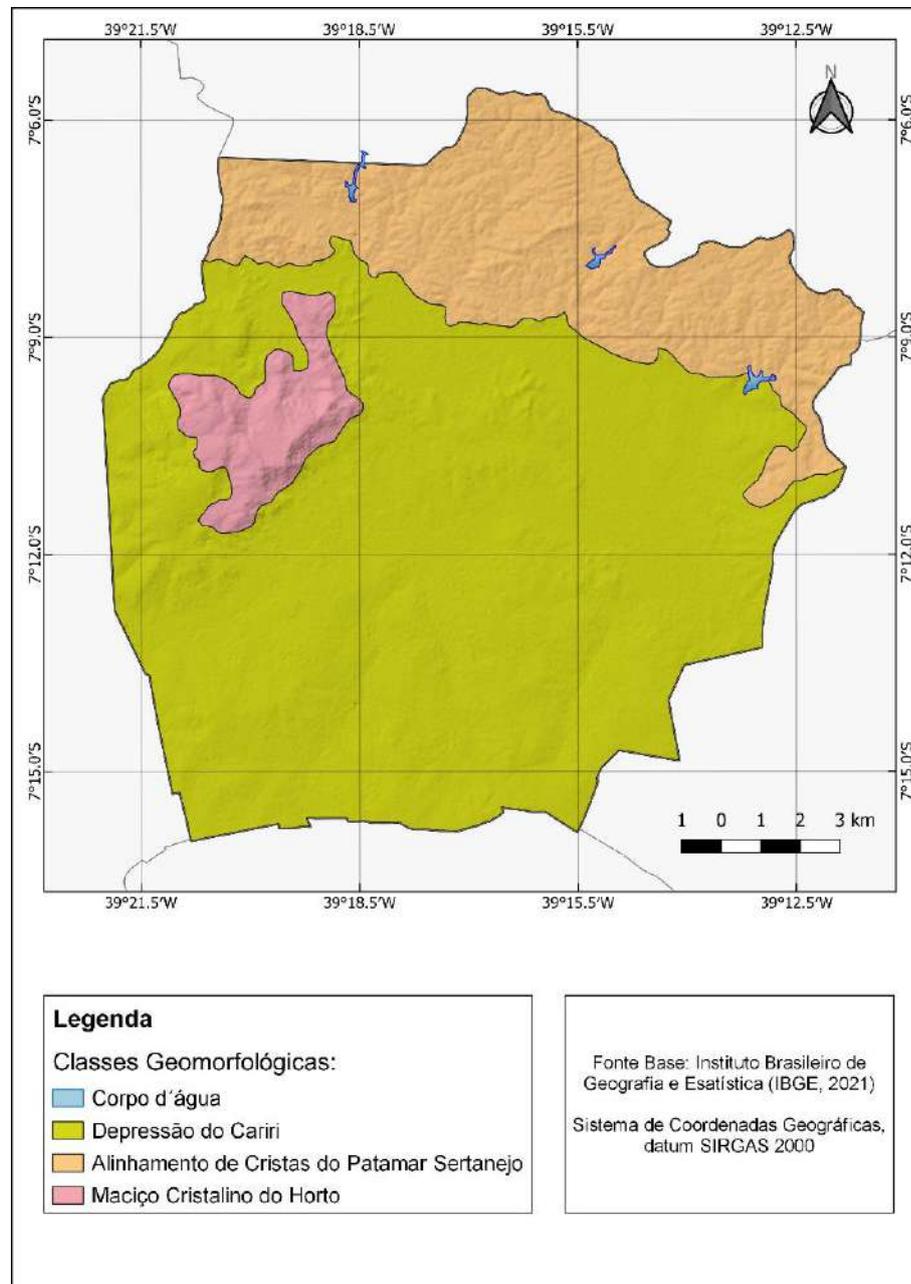
Elaboração: Autora (2021). Fonte: JAXA (2008).

Tendo o município regiões com relevo predominantemente suave ondulado (3 a 8%) a ondulado (8 a 20%), o que corresponde a cerca de 80% do território municipal, os processos morfoesculturadores deste relevo, como os de erosão por exemplo, estão pouco relacionados às ações gravitacionais; estando mais associados às ações antrópicas inadequadas, como a remoção da cobertura vegetal e a concentração de águas.

Geomorfologicamente, Lima e Ribeiro (2012) descrevem que Juazeiro do Norte é um pediplano (região aplainada com clima árido ou semiárido originadora de pedimento, litossolo e/ou extensos afloramentos); esculpido de forma intermediária entre a Depressão

Sertaneja e o Alinhamento de Cristas do Patamar Sertanejo, conforme mostrado na Figura 25.

Figura 25 – Mapa geomorfológico do município de Juazeiro do Norte/CE



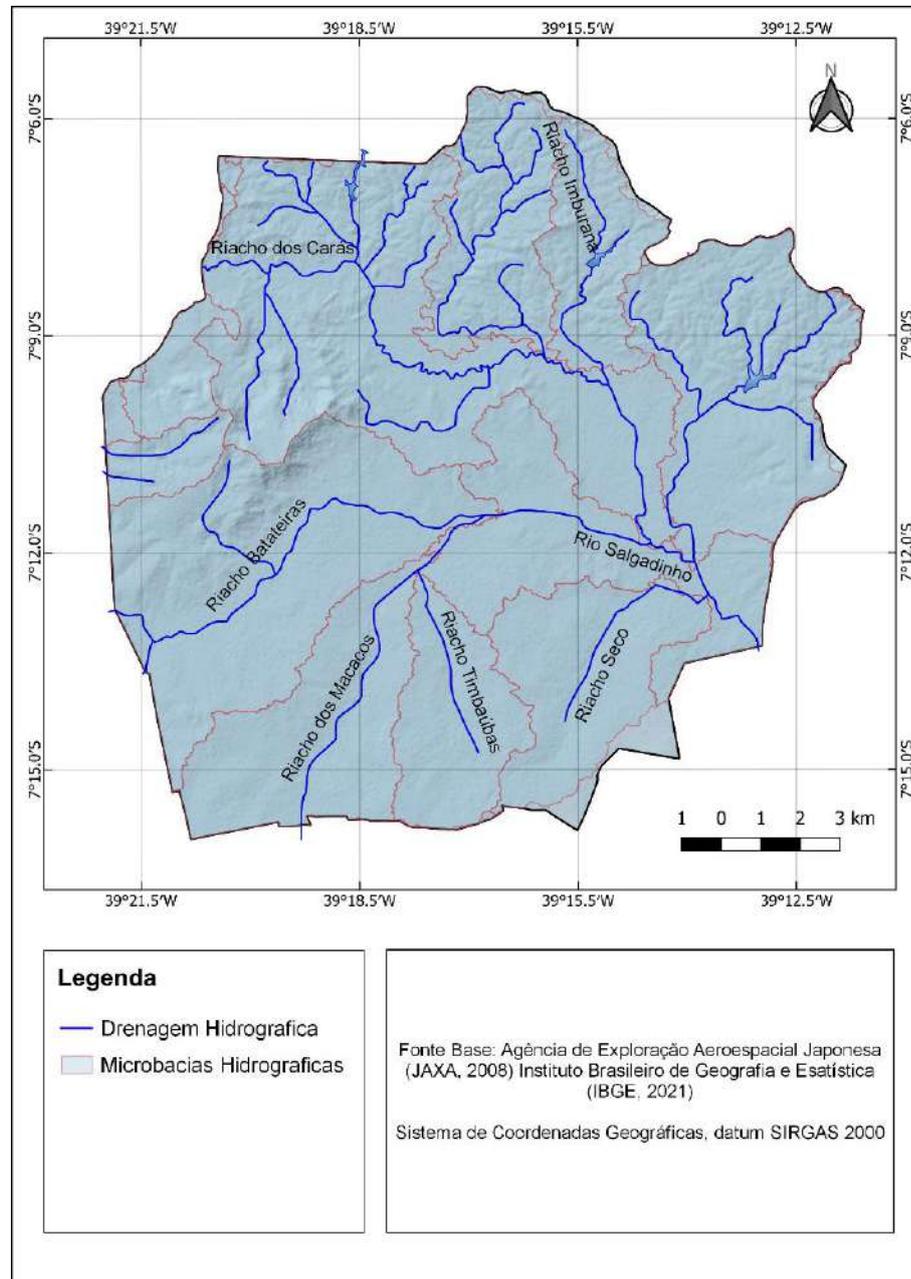
Elaboração: Autora (2021). Fonte: IBGE (2021).

No que consiste a idade geológica das litologias e os geossítios, a Colina do Horto representa o modelado de maior importância do município. É constituída pelas litologias de embasamento, que são as mais antigas da região (cerca de 650 Ma) (MOCHIUTTI *et al.*; CEARÁ. 2012 *apud* MOURA-FÉ, 2016).

Quanto à hidrografia, Juazeiro do Norte está inserido na bacia hidrográfica do rio Salgado, contendo a distribuição das drenagens do riacho Carás que desagua no açude do riacho dos Carneiros como principal reservatório, localizado no município vizinho Caririçu

(PALÁCIO, 2020). Além destes, o Rio Salgado se deriva formando os riachos Batateiras, dos Macacos, Timbaúbas e riacho Seco, que cortam a malha urbana do município, na porção Sul municipal. O Mapa Hidrográfico de Juazeiro do Norte/CE está apresentado na Figura 26.

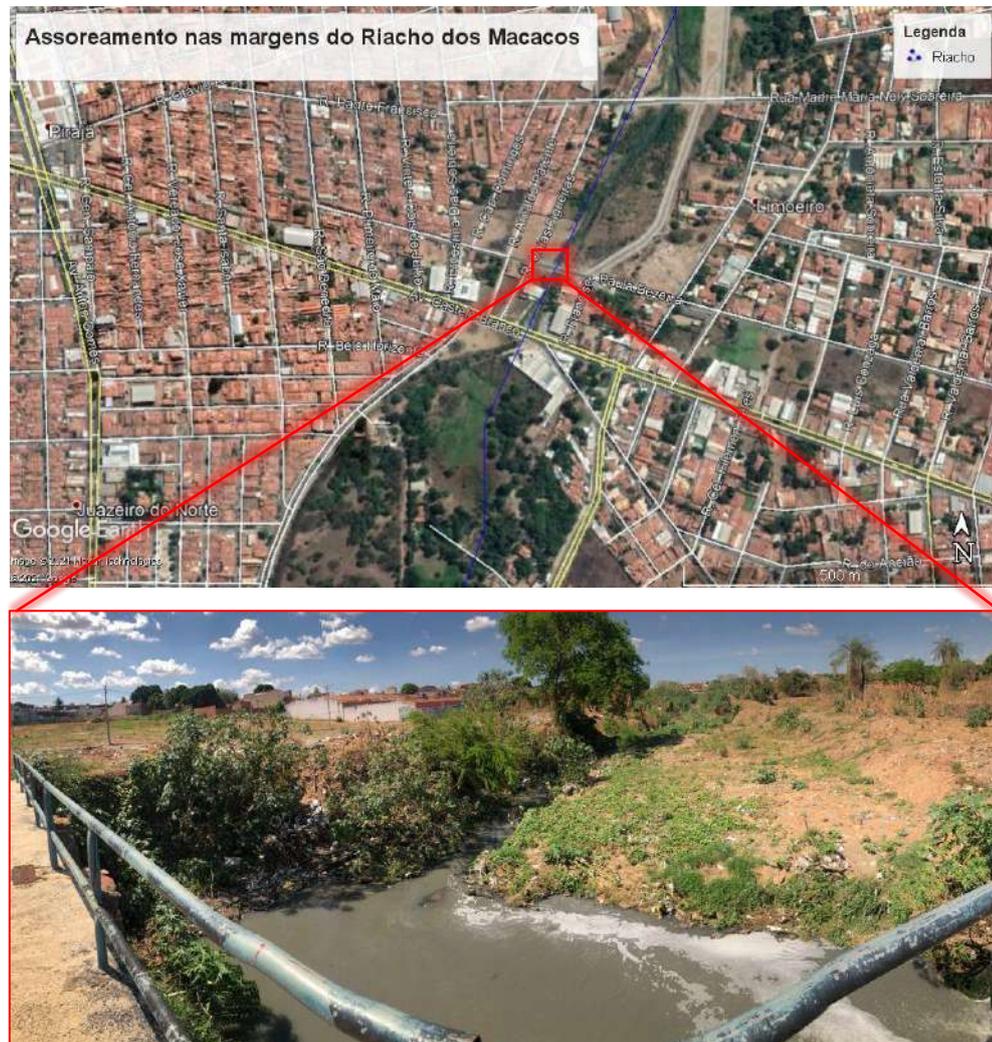
Figura 26 – Mapa hidrográfico do município de Juazeiro do Norte/CE



Elaboração: Autora (2021). Fonte: IBGE (2021) e JAXA (2008).

Em alguns pontos dentro da cidade, o entorno do rio Salgado e dos riachos Batateiras, dos Macacos e das Timbaúbas especialmente, encontram-se com avanço da urbanização (com ocupações residencial, comercial, institucional e industrial), contribuindo com o processo de assoreamento da calha dos rios e riachos (Figura 27).

Figura 27 – Ponto de assoreamento no riacho dos Macacos



Elaboração: Autora (2021). Fonte: Google Earth (2021).

Já o entorno do riacho das Timbaúbas é bastante propenso a inundações, tanto devido à elevada taxa de impermeabilização das ruas centrais da cidade, quanto às ações antrópicas inadequadas ao longo das suas margens, como o lançamento indiscriminado de lixo e a retirada da proteção superficial do solo, causando erosões e conseqüentemente o seu assoreamento. A Figura 28 mostra as cartas-imagem com o processo de urbanização avançando pelas margens no rio Salgado (a), no riacho Batateira (b), riacho dos Macacos (c) e riacho das Timbaúbas (d).

Figura 28 – Avanço da urbanização nas margens da rede de drenagem de Juazeiro do Norte/CE

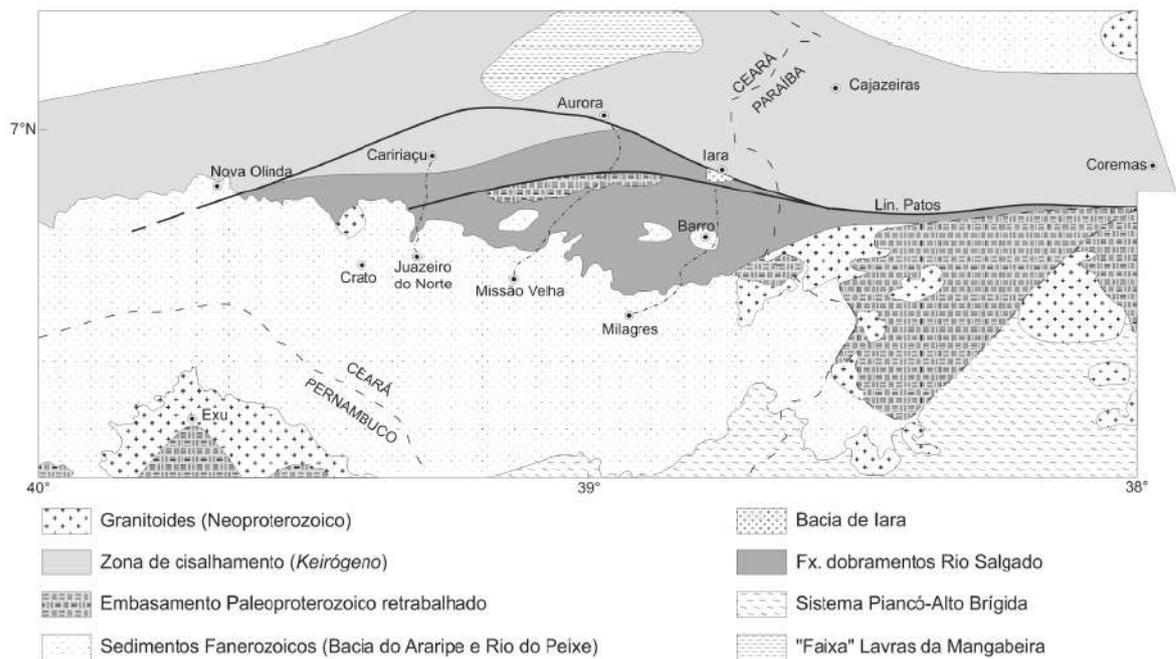


Fonte: Adaptado de Google Earth (2021).

3.2.4. Geologia e Pedologia

Sob o ponto de vista geológico, Juazeiro do Norte está inserido na parte centro-ocidental da Província Borborema, na Faixa de Desdobramentos do Rio Salgado (FDRS), no Sistema Piancó-Alto Brígida (SPAB), na bacia sedimentar do Araripe, conforme mostrado na Figura 29 (BRITO NEVES; CAMPOS NETO, 2016).

Figura 29 – Mapa da faixa de desdobramento do Rio Salgado (Projeto Radambrasil, 1981, escala 1:1.000.000) dentro do contexto da geologia regional



Fonte: Brito Neves e Campos Neto (2016).

Em relação a litoestratigrafia, Assine (2014) e Pinéo *et al.* mostram que, da Bacia Sedimentar do Araripe, as sequências relacionadas ao município de Juazeiro do Norte são: (i) Paleozóica: Formação Cariri (ou Mauriti) (composta por arenitos imaturos, com granulação média a muito grossa, sendo estes com arestas angulares a subangulares, cujas fácies podem ser fruto de sistemas fluviais entrelaçados); (ii) Pré-Rifte: Formação Brejo Santo e Missão Velha (composta por folhelhos e lamitos vermelhos e arenitos quartzosos, por vezes feldspáticos e/ou caolínicos, localmente conglomerado, respectivamente), e; (iv) Pós-Rifte I: Formação Barbalha (composta por arenitos finos a médios subarredondados a subangulares bastante friáveis e argilosos, com intercalações de folhelhos de colorações avermelhadas e de níveis delgados de conglomerados). Pinéo *et al.* (2020) consolidaram recentemente a geologia do estado e, além das feições destacadas por Assine (2014), pode-se destacar ainda observar a presença de Depósitos Aluvionares ao longo das drenagens do rio Salgadinho, riacho das Timbaúbas e

riacho dos Carás, que formam os Neossolos Flúvicos presentes, e depósitos Colúvio-Eluviais, formadores de parte dos Argissolos Vermelhos distribuídos no território municipal. O município conta também com a cobertura sedimentar do Cenozóico, que são sedimentos argilo-arenosos e areno-argilosos, alaranjados, avermelhados e amarelados, em certos locais, cascalhosos e laterizados, que se relacionam com os Argissolos eutróficos, presentes em maior parte. No caso da Colina do Horto, há a presença de rochas granitóides do pré-cambriano formadas principalmente por quartzo, mica e feldspato, coberto predominantemente pelos Neossolos Litólicos. O Mapa de Geologia de Juazeiro do Norte está apresentado no Capítulo 4 (Figura 38, elaborada durante a etapa da metodologia da pesquisa).

Conforme destacado por Dos Santos *et al.* (2018), a EMBRAPA classifica como principais solos do município de Juazeiro do Norte/Ce, os Argissolos Vermelhos (PVe), distribuídos predominantemente na porção central e oeste, os Neossolos Flúvicos (RYve), provenientes dos depósitos aluvionares dos rios Salgadinho e Timbaúbas, justamente nas suas áreas de drenagem, e os Neossolos Litólicos (RLe), localizados na porção norte municipal, conforme pode ser visto mais adiante, no Capítulo 4, Item 4.3 (Figura 39).

As características das classes dos solos estão apresentadas na Tabela 3, com os respectivos locais de ocorrência no relevo, potencial de permeabilidade e particularidades relacionadas à suscetibilidade à erosão.

Tabela 3 – Classe de solos do município de Juazeiro do Norte/CE e suas características

CASSES	CARACTERÍSTICAS
Argissolos Vermelhos	Ocorrem em relevo ondulado ou fortemente ondulado, são pouco permeáveis, possuem textura e profundidades variáveis, pouco férteis e suscetíveis à erosão.
Neossolos Flúvicos	São solos profundos e pouco evoluídos, formados em sedimentos aluvionares ou lacustres recentes e ocorrem em planícies aluvionares e em relevo aplainado e sem presença de lençol freático com risco de inundações nos períodos chuvosos.
Neossolos Litólicos	São solos rasos e ocorrem em relevo forte ondulado ou montanhoso e são muito suscetíveis à erosão com grande potencial para o escoamento superficial.

Fonte: EMBRAPA (2018).

3.2.5. *Clima e Pluviometria*

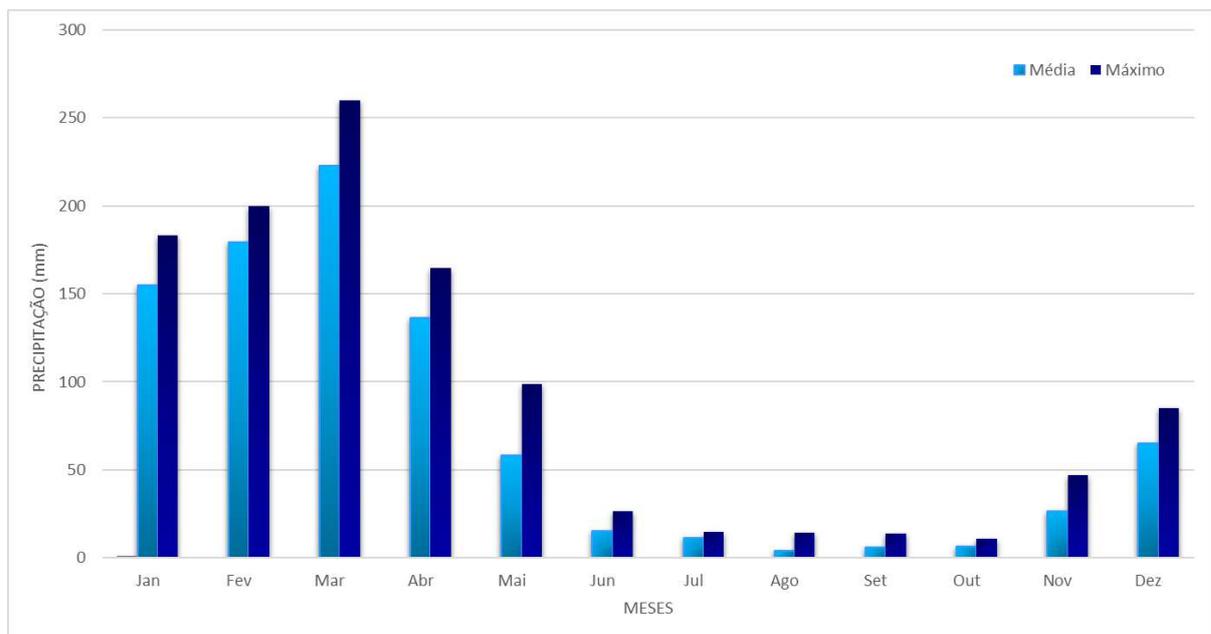
Conforme informado no Capítulo 1, segundo dados do IPECE (2017), o município de Juazeiro do Norte/CE possui clima tropical quente semiárido e tropical quente semiárido brando, com pluviosidade média de 925,1mm e temperatura média do ar entre 24 e 26°C, com período chuvoso concentrado entre os meses de janeiro a maio. Pela classificação climática de Köppen-Geiger, é possível identificar que Juazeiro do Norte/CE enquadra-se na BSh/BWh,

pertencente ao Grupo B, ou seja, com clima árido e semiárido.

Lima e Ribeiro (2012) reforçam que, devido às chuvas serem concentradas e irregulares (intensas e em curto espaço de tempo) no município, estas atuam de maneira significativa no intemperismo físico das rochas e no transporte dos materiais desprendidos, o que pode desnudar as vertentes, instabilizar as bases dos maciços e contribuir com os processos erosivos e outros movimentos gravitacionais de massa.

Com base na série histórica disponibilizada pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), observa-se que o período chuvoso do município se estende de janeiro a março com alta intensidade. Porém, os meses de dezembro e abril, pode-se considerar como iniciação e fechamento deste período, observando neste intervalo chuvas intensas e em curtos espaços de tempo. A precipitação média e máxima dos 4 postos pluviométricos da FUNCEME, entre 1974 e 2020, distribuídos no município de Juazeiro do Norte (Aeroporto, Juazeiro do Norte, São Gonçalo e Vila Padre Cícero) (Figura 30).

Figura 30 – Precipitação média e máxima de Juazeiro do Norte/CE em mm entre 1974 e 2020



Elaboração: Autora (2021). Fonte: FUNCEME (2021).

Considerando que a erosividade da chuva é proporcional à pluviometria, sobretudo o índice mensal frente ao anual, conforme pode ser visto na Equação 6, e observando a Figura 30, é possível reconhecer que o potencial desta está compreendida entre os meses de janeiro e abril, considerando ainda que há o início sutil de precipitação no mês de dezembro e essa ainda estende-se até maio. Além disso, é possível observar a discrepância das máximas precipitações em relação às médias e das médias em relação às mínimas, o que, certamente, fazendo-se uma análise mais aprofundada e direta pra região, a Equação 6 pode ser ajustada para essa região.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Conforme apresentado no Capítulo 1, o primeiro objetivo específico deste estudo é analisar as características do meio físico (declividade, erosividade da chuva, erodibilidade do solo, geologia, geomorfologia, pedologia, de uso e ocupação do solo) que contribuem para as ocorrências dos processos erosivos. Essa análise será realizada por meio da elaboração de mapas temáticos.

Assim, após avaliar a suscetibilidade à erosão das áreas por meio de cruzamento de mapas temáticos (uso e ocupação do solo, relevo, geologia, pedologia e pluviometria), mediante a aplicação da Análise Hierárquica de Processo (AHP), foi possível consolidar as informações preliminares do mapa resumido através de trabalhos de campo, para identificação de cicatrizes erosivas, e produzir o mapa final de suscetibilidade à erosão, conforme visto na sequência.

4.1. Delineamento do Estudo

Gil (2017) afirma que o método de pesquisa hipotético-dedutivo está relacionado ao racionalismo, combinando a observação e avaliando os resultados através da experiência. Desta forma, para alcançar os objetivos do presente estudo, foi realizada uma pesquisa aplicada com a metodologia mencionada no item a seguir, buscando contribuir com o Planejamento Urbano de Ordenamento Territorial do município de Juazeiro do Norte/CE, através do mapeamento das áreas de suscetibilidade à erosão deste município.

Especificamente, como metodologia para conclusão, foi realizado um plano experimental e comparativo numa pesquisa exploratória e descritiva, baseada nos dados disponibilizados pelas entidades governamentais municipais e nos mapas disponibilizados gratuitamente pelas plataformas de SIG.

Com base no modelo de pesquisa-ação, a presente pesquisa está delineada em sua busca de dados num apanhado bibliográfico sobre os termos necessários e o seu atual avanço de estudo em nível nacional, realizando um experimento do tipo “antes-depois” com dois grupos distintos, sendo o primeiro com o Ordenamento Territorial original e defasado e o segundo com o Ordenamento Territorial com base no Mapa de Suscetibilidade à Erosão. Para isto, foram feitos levantamentos de dados de infraestrutura da cidade, característica de ocupação urbana da cidade com imagem geoprocessada e elaboração conclusiva do mapa de suscetibilidade à erosão do município de Juazeiro do Norte/CE.

4.2. Sistemática do Trabalho

Superada as fases descritivas do presente estudo, prosseguiu-se para a etapa metodológica propriamente dita, cujos procedimentos serão apresentados na sequência, onde o primeiro passo foi fazer um levantamento das informações geográficas disponíveis para o município, seja em formato de mapas, seja em formato de dados. Diante da dificuldade de encontrar informações e mapas em formatos e escalas adequados para o estudo, buscou-se em plataformas como EMBRAPA, CPRM, IBGE, FUNCEME, MAPBIOMAS e imagens de satélite, como foi o caso do mapa de relevo.

Para a elaboração do Mapa de Suscetibilidade à Erosão, foi levado em consideração o prévio conhecimento geoambiental da área de estudo, conforme apresentado no Capítulo 3, bem como a adoção da metodologia proposta por Sobreira e Souza (2012), que sugere que os mapas de suscetibilidade para planejamento urbano sejam elaborados entre escalas de 1:15.000 e 1:25.000.

Além disso, em decorrência da ausência de dados de levantamentos planialtimétricos que recobrissem o município inteiramente, para gerar o mapa final de suscetibilidade à erosão, foi preciso elaborar o MDE com base em imagem de satélite.

Como ferramenta, foi escolhido o geoprocessamento de imagens *raster* (relevo e uso e ocupação do solo), mapas vetorizados (geologia e pedologia), além da interpolação dos dados de pluviometria com base nos 4 postos pluviométricos distribuídos no município e mais 6 nos municípios circunvizinhos (Barbalha, Crato, Caririáçu e Missão Velha), para determinar a erosividade da chuva.

Ao final, após a etapa de geoprocessamento no QGis com álgebra de mapas por AHP, conforme definição prévia dos fatores (uso e ocupação do solo, relevo, geologia, pedologia e pluviometria) e seus respectivos graus de suscetibilidade por classe, que definiu o mapa resumo de suscetibilidade, foram feitas visitas em campo para avaliar o solo de superfície, através do exame tátil-visual de uma amostra e classificação segundo Llopis Trillo (1999).

Desta forma, foi elaborado o mapa final de suscetibilidade à erosão na escala definida, como objeto do presente estudo. Os itens a seguir mostram de forma detalhada a metodologia empregada.

Para a elaboração deste trabalho, foram levadas em consideração algumas atividades adotadas na pesquisa de doutorado de Pfaltzgraff (2007), que desenvolveu a carta de suscetibilidade aos deslizamentos na Região Metropolitana de Recife e as proposições de Bitar (2014). Neste contexto o Mapa de Suscetibilidade à Erosão de Juazeiro do Norte foi elaborado

por meio do desenvolvimento de 06 principais etapas de trabalho, conforme descrição a seguir:

(i) revisão bibliográfica sobre os temas afins, sobretudo os de “cartografia geotécnica” e “mapa de suscetibilidade à erosão”;

(ii) levantamento de dados e elaboração de mapas temáticos do município de Juazeiro do Norte/CE (geologia, geomorfologia, pedologia, altimetria, relevo, hidrografia, pluviometria e uso e ocupação do solo);

(iii) montagem do banco de informações geográficas com aplicação de técnicas de geoprocessamento para elaboração do mapa resumo de suscetibilidade à erosão, com base nos fatores de: uso e ocupação do solo, relevo, geologia, pedologia e erosividade da chuva;

(iv) álgebra de mapas temáticos usando geoprocessamento de AHP no QGIS;

(v) ida a campo nos locais de alta, média e baixa suscetibilidade à erosão, identificando cicatrizes para posterior avaliação dos dados de geoprocessamento;

(vi) consolidação do mapa de suscetibilidade à erosão de Juazeiro do Norte/CE.

O desenvolvimento do trabalho é baseado nas recomendações do Guia para Elaboração de Cartas Geotécnicas de Aptidão à Urbanização Frente aos Desastres Naturais (SOBREIRA; SOUZA, 2014), em consonância aos objetivos da Lei 12.608 de 10 de abril de 2012 (BRASIL, 2012).

4.3. Preparação da Base Cartográfica

Essa etapa do trabalho tratou-se da busca de informações de mapas/dados existentes na Secretaria de Infraestrutura (SEINFRA) e na Autarquia Municipal de Meio Ambiente (AMAJU) de Juazeiro do Norte, as quais disponibilizaram: (i) Mapa do limite Municipal de Juazeiro do Norte/CE (Lei 16.821, publicada em 14/01/2019 no Diário Oficial do Estado do Ceará); (ii) Zoneamento Municipal de Juazeiro do Norte (atualizado pela SEINFRA em 2020); e, (iii) Mapa da Zona Urbana de Juazeiro do Norte (atualizada pela SEINFRA em 2019).

Figura 31 – Etapas das atividades desenvolvidas na pesquisa

MAPA DE SUSCETIBILIDADE À EROSÃO DE JUAZEIRO DO NORTE/CE	
1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	1.1. DESENVOLVIMENTO REGIONAL SUSTENTÁVEL
	1.2. OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
	1.3. PLANO DIRETOR DE ORDENAMENTO TERRITORIAL <ul style="list-style-type: none"> 1.3.1. GENERALIDADES 1.3.2. PLANO DIRETOR DE ORDENAMENTO TERRITORIAL DE JUAZEIRO DO NORTE/CE
	1.4. CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E MAPA DE SUSCETIBILIDADE À EROSÃO <ul style="list-style-type: none"> 1.4.1. MAPAS DE SUSCETIBILIDADE E CARTAS GEOTÉCNICAS 1.4.2. SUSCETIBILIDADE, RISCO E VULNERABILIDADE 1.4.3. CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E A APLICAÇÃO NO PLANEJAMENTO URBANO
2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	2.1. PROCESSO DE OCUPAÇÃO E URBANIZAÇÃO DE JUAZEIRO DO NORTE/CE
	2.2. CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL <ul style="list-style-type: none"> 2.2.1. LOCALIZAÇÃO 2.2.2. RELEVO, GEOMORFOLOGIA E HIDROGRAFIA 2.2.3. GEOLOGIA E PEDOLOGIA 2.2.4. CLIMA E PLUVIOMETRIA
	2.3. PROCESSOS EROSIVOS EM JUAZEIRO DO NORTE/CE
3. MATERIAIS E MÉTODOS	3.1. DELINEAMENTO DO ESTUDO
	3.2. METODOLOGIA <ul style="list-style-type: none"> 3.2.1. SISTEMÁTICA DO TRABALHO 3.2.2. PREPARAÇÃO DA BASE CARTOGRÁFICA 3.2.3. FATORES, CLASSES E PESOS 3.2.4. ÁLGEBRA DE MAPA COM AHP
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	4.1. MAPAS-TEMÁTICOS DOS FATORES <ul style="list-style-type: none"> 4.1.1. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO 4.1.2. RELEVO 4.1.3. GEOLOGIA 4.1.4. PEDOLOGIA 4.1.5. PLUVIOMETRIA
	4.2. MAPAS DE SUSCETIBILIDADE POR FATORES
	4.3. PRÉ-MAPA DE SUSCETIBILIDADE À EROSÃO
	4.4. VERIFICAÇÃO DAS EROSÕES NOS PONTOS SELECIONADOS
	4.5. MAPA DE SUSCETIBILIDADE À EROSÃO DE JUAZEIRO DO NORTE/CE

Elaboração: Autora (2021).

4.3.1. *Mapa de Uso e Ocupação do Solo de Juazeiro do Norte/CE*

O mapa de Uso e Ocupação do Solo foi geoprocessado inicialmente no QGis através do recorte do município de Juazeiro do Norte em relação à classificação dos padrões do bioma Caatinga dentro da plataforma do MapBiomas, disponível em https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR.

No entanto, após o geoprocessamento final, viu-se que algumas amostras para análise tátil visual não correspondiam na íntegra à classe de suscetibilidade, pois a disponibilização mais atual deste bioma é do ano de 2019, e viu-se nas inspeções de campo que muitas das áreas classificadas com área de vegetação estava com solo desnudo, impactando diretamente no resultado. Desta forma, partiu-se para uma opção de capturar imagem de satélite mais atual em que fosse possível classificar com maior exatidão as áreas de solo desnudo, por ter sido visto o impacto da ação antrópica nos últimos meses no município de Juazeiro do Norte.

Assim, foi feito um novo geoprocessamento no QGIS a partir de imagens de satélite selecionadas do Sentinel-2, com composição colorida de cor verdadeira das bandas 2, 3 e 4 com sensor *Multispectral Imager* (MSI); resolução espacial de 10m/pixel; resolução radiométrica de 12 bits/pixel; com comprimentos de onda central 490nm da banda B02 (azul), 560nm da banda B03 (verde) e 665 da banda B04 (vermelho). A imagem foi obtida a partir da plataforma *Earth Explorer* que é mantida pela *United States Geological Survey* (USGS) (Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em 10 de set. 2021).

Os dados para o geoprocessamento foram fornecidos pela classificação semiautomática de pixel, através do complemento “Dzetsaka” dentro do software Qgis. Este complemento utiliza o Modelo de Mistura Gaussiana. O procedimento consiste na escolha de amostras representativas de conjunto de pixels de acordo com as classes de uso e ocupação previamente definidas. Para tanto foram escolhidas 10 classes, onde foram selecionadas 4 amostras para cada classe aleatoriamente espalhadas pela área de interesse, totalizando 40 amostras. As classes e interpretação destas estão descritas a seguir.

- 1) Vegetação arbórea: Floresta Estacional Semidecidual e Decidual (verde escuro);
- 2) Vegetação arbustiva: Savana-Estépica Arborizada, caducifólias (verde oliva);
- 3) Vegetação herbácea: Vegetação campestre de baixa estatura (verde claro);
- 4) Casa: Espectro de cores na tonalidade de laranja que representa o telhado;
- 5) Edifícios: Infraestrutura urbana de grande porte, e reflexiva (tons de branco);
- 6) Asfalto: Arruamentos pavimentados (tons de cinza);
- 7) Agricultura: Lavouras temporárias e demais culturas (verde-chá, verde-asparago);
- 8) Água: Corpos hídricos (azul muito escuro);
- 9) Solo: Áreas de solo expostas se apresentando nos tons de amarelo;
- 10) Pasto: Áreas de agropecuária com cobertura vegetal seca (tons amarronzados).

Ao final do processamento, as classes 4 (casas) e 5 (edifícios) foram unidas e classificadas em infraestrutura urbana. A Figura 32 representa a vegetação arbórea com imagens a partir do satélite Sentinel-2 (a), do Google Earth (b) e o registro de campo (c).

Figura 32 – Imagens da vegetação arbórea: Sentinel-2 (a), Google Earth (b) e em campo (c)



Elaboração: Autora (2021).

A Figura 33 representa a vegetação arbustiva com imagens a partir do satélite Sentinel-2 (a), do Google Earth (b) e o registro de campo (c).

Figura 33 – Imagens da vegetação arbustiva: Sentinel-2 (a), Google Earth (b) e em campo (c)



Elaboração: Autora (2021).

A Figura 34 representa a vegetação herbácea com imagens a partir do satélite Sentinel-2 (a), do Google Earth (b) e o registro de campo (c).

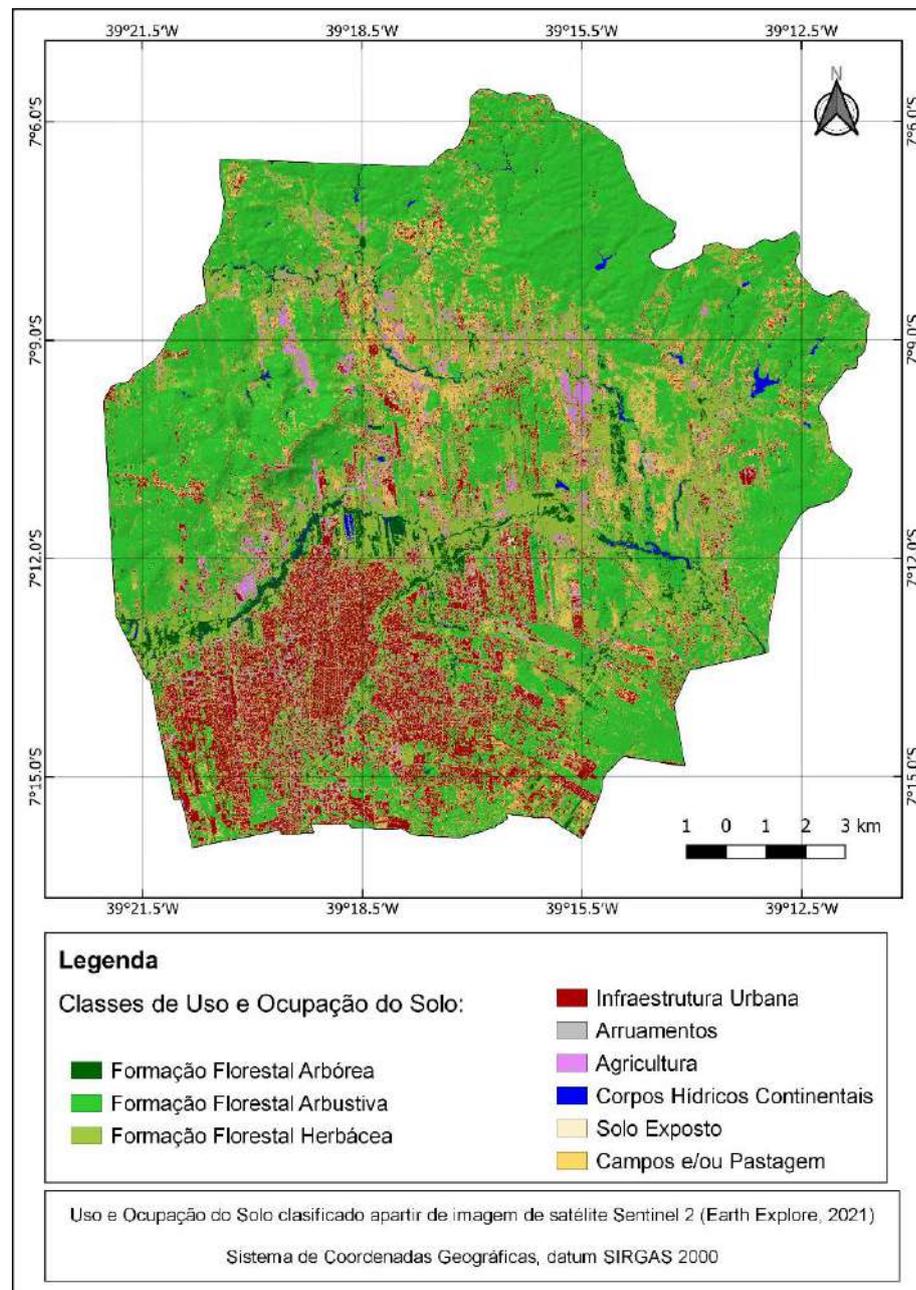
Figura 34 – Imagens da vegetação herbácea: Sentinel-2 (a), Google Earth (b) e em campo (c)



Elaboração: Autora (2021).

A partir do processamento através das classes categorizadas, foi feito o recorte para o município de Juazeiro do Norte, gerando um mapa na escala de 1:110.000 (Figura 35).

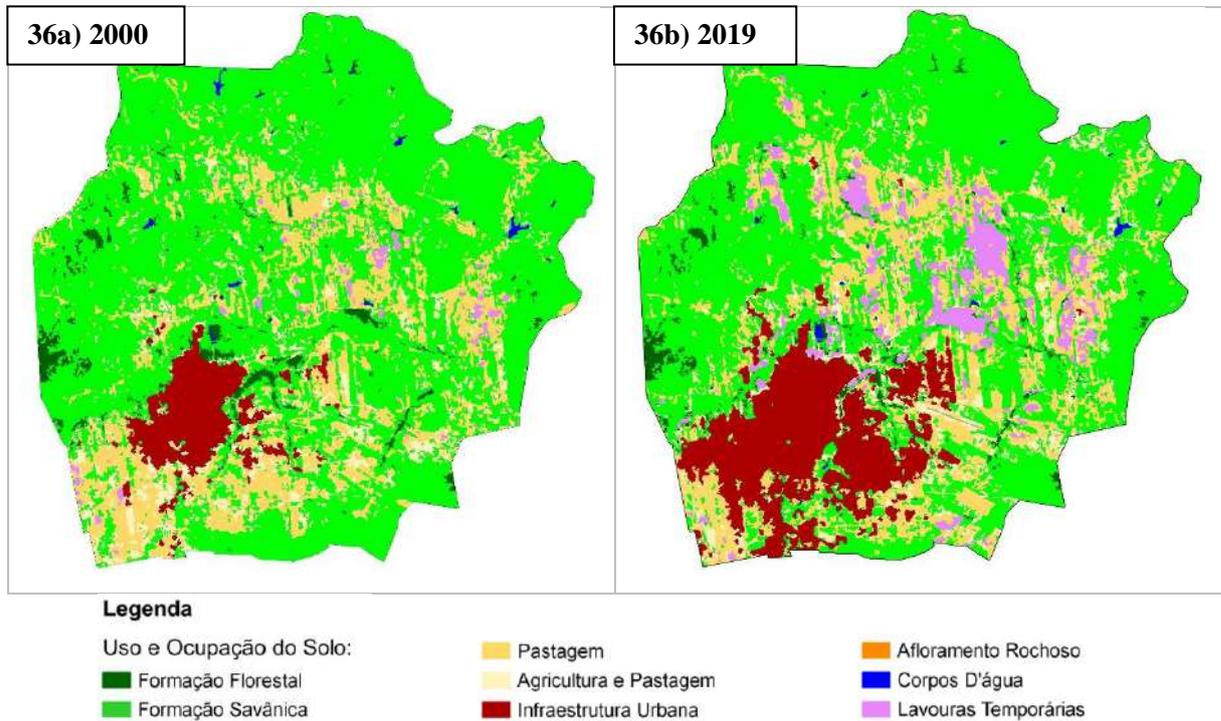
Figura 35 – Mapa de Uso e Ocupação do Solo do Município de Juazeiro do Norte/CE



Elaboração: Autora (2021). Fonte: EARTH EXPLORER (2021).

Conforme pode ser visto na Figura 36, foram elaborados os mapas de uso e ocupação do solo do ano de 2000 (ano da publicação do Plano Diretor Municipal), Figura 36a, para comparação com o de 2019 (ano de disponibilização mais atualizada na Plataforma MapBiomas Versão 5.0), Figura 36b.

Figura 36 – Comparativo entre as manchas de Uso e Ocupação do Solo do Município de Juazeiro do Norte/CE entre os anos de 2000 (a) e 2019 (b)



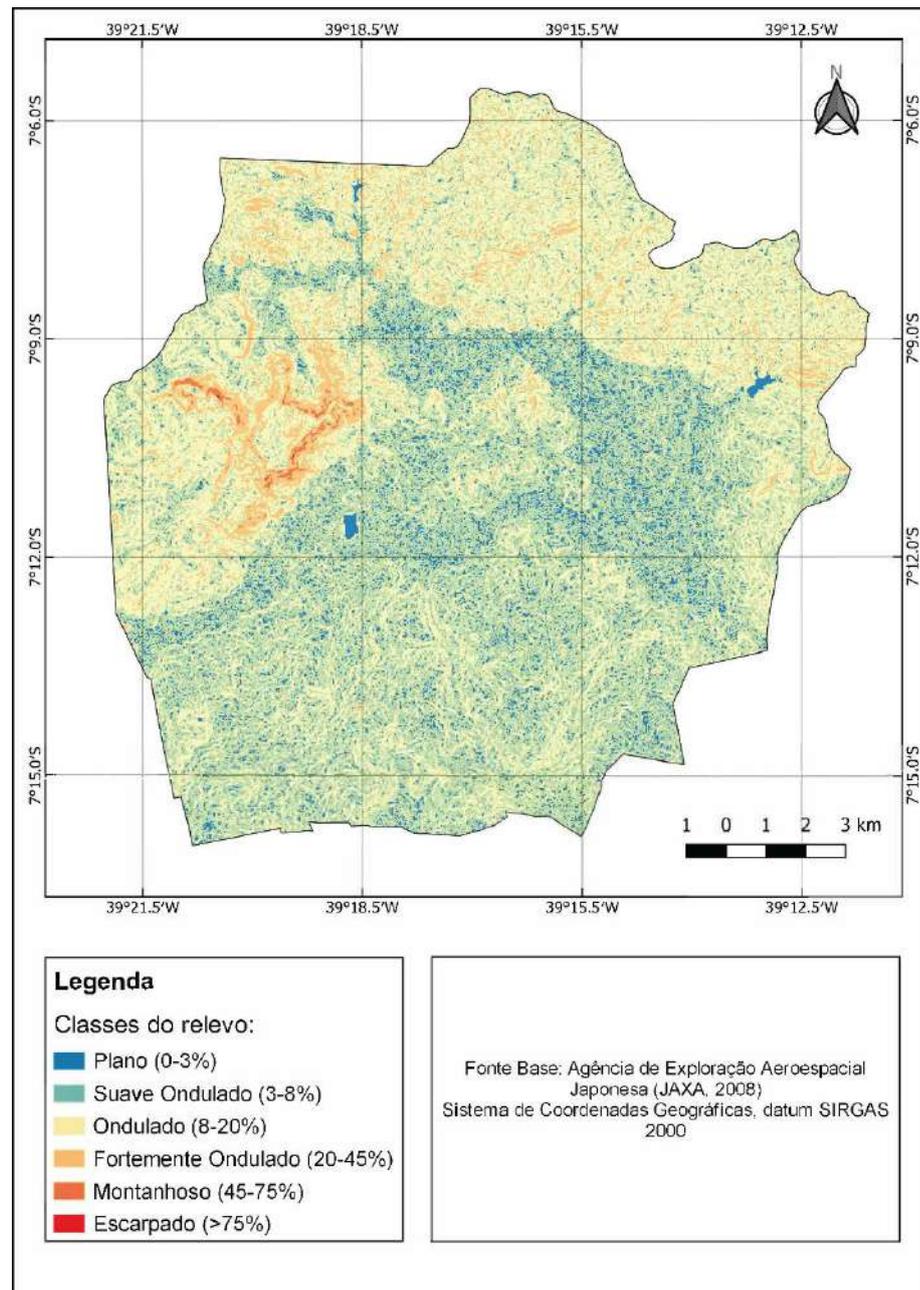
Elaboração: Autora (2021). Fonte: MAPBIOMAS (2019).

Comparando o uso e ocupação do município de Juazeiro do Norte/CE entre os anos de 2000 e 2019, percebe-se que houve um aumento da área urbana do município de 4% para 13% da área total, respectivamente; ou seja, a área urbana triplicou durante esses anos.

4.3.2. *Mapa de Relevo de Juazeiro do Norte/CE*

O mapa de relevo foi elaborado pelo geoprocessamento do MDE (Figura 24), obtido pelo projeto *Alos Palsar*, cujas imagens possuem resolução espacial de 12,5m/pixel. O MDE foi adquirido através de imagens do satélite *Advanced Land Observing Satellite (ALOS)* (órbita 39, cena 7040), lançado em janeiro de 2006 pela *Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)*, equipado com radiômetro *Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping (PRISM)*, instrumento de Sensoriamento Remoto capaz de adquirir imagens tridimensionais detalhadas da superfície terrestre (JAXA, 2008). A Figura 37 mostra o mapa na escala 1:60.000.

Figura 37 – Mapa de Classes de Relevo do Município de Juazeiro do Norte/CE



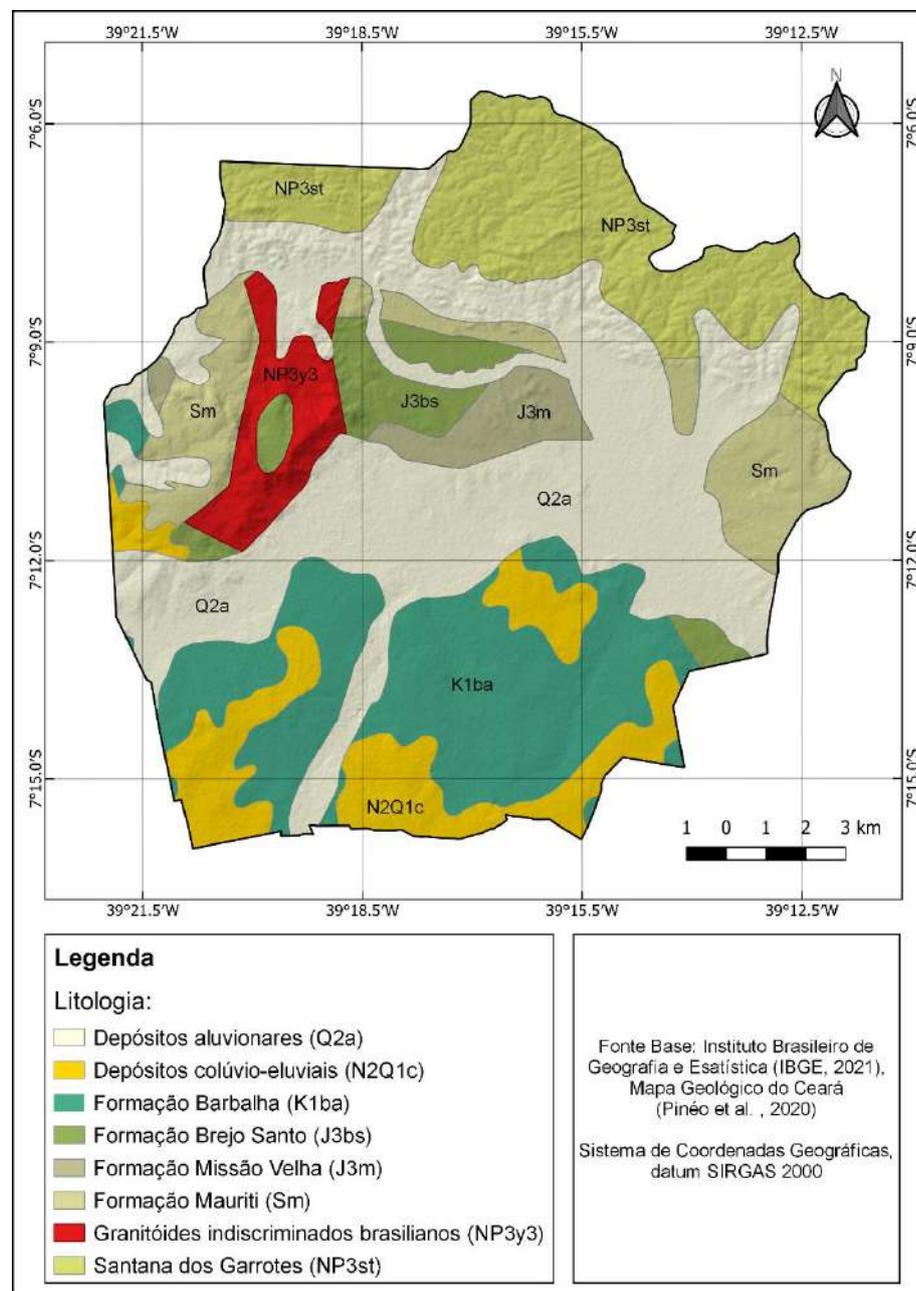
Elaboração: Autora (2021). Fonte: JAXA (2008).

Pela visualização do mapa, pode-se perceber a característica predominantemente plana a ondulada (relevo entre 0 e 20%) de Juazeiro do Norte, sendo a região mais montanhosa (relevo entre 45 a 75%) restrita à colina do Horto e algumas regiões geomorfológicas categorizadas como alinhamento de cristas do patamar sertanejo, conforme mapas apresentados na Figura 24 e Figura 25.

4.3.3. Mapa Geológico de Juazeiro do Norte/CE

O mapa de classes litológicas de Juazeiro do Norte foi produzido a partir do Mapa Geológico do Ceará, produzido por Pinéo *et al.* (2020), a partir da base cartográfica e geológica obtida de dados: (i) da base digital das rodovias do Departamento Estadual de Rodovias (DER); (ii) recursos hídricos, sedes municipais e limite estadual do IBGE; (iii) integração de dados geológicos cedidos pela CPRM; onde foi feito o recorte através de geoprocessamento em Gis para o município em questão, gerando um mapa na escala 1:110.000, apresentado na Figura 38.

Figura 38 – Mapa de Classes Litológicas do Município de Juazeiro do Norte/CE

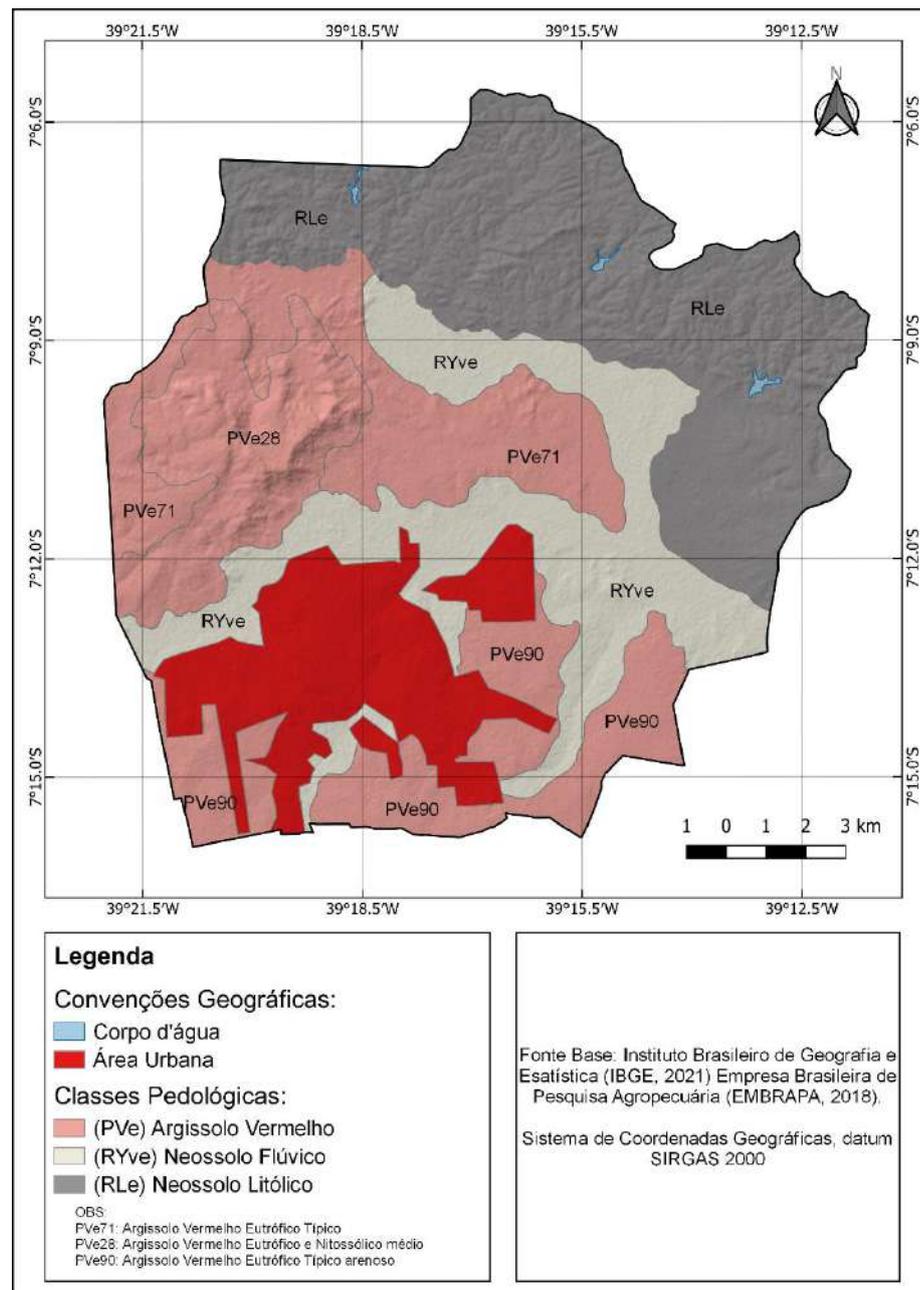


Elaboração: Autora (2021). Fonte: IBGE (2021) e PINÉO *et al.* (2020).

4.3.4. Mapa Pedológico de Juazeiro do Norte/CE

O mapa de pedologia foi desenvolvido a partir de dados de classificação dos solos cedidos pelo IBGE e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), com o devido recorte de geoprocessamento em ambiente do QGis, gerando um mapa na escala de 1:110.000, conforme apresentado na Figura 39.

Figura 39 – Mapa de Classes Pedológicas do Município de Juazeiro do Norte/CE



Elaboração: Autora (2021). Fonte: IBGE (2021) e EMBRAPA (2018).

Juazeiro do Norte tem categorias pedológicas razoavelmente distribuídas entre Argissolo Vermelho (Eutrófico Típico, Eutrófico Nitossólico médio e Eutrófico Típico

Arenoso), além de Neossolo Flúvico e Neossolo Litólico.

4.3.5. *Mapa de Pluviometria de Juazeiro do Norte/CE*

Os dados de pluviometria foram extraídos dos registros da FUNCEME de 10 postos pluviométricos que recobrem por interpolação a área do município de Juazeiro do Norte, conforme apresentado no item 3.2.5.

A erosividade da chuva foi calculada com base nas precipitações médias mensais e anuais, conforme Costa (2013), e os valores obtidos por ponto, suas localizações e respectivas coordenadas geográficas, médias de precipitação mensal e anual e os resultados da erosividade, estão apresentados na Tabela 4.

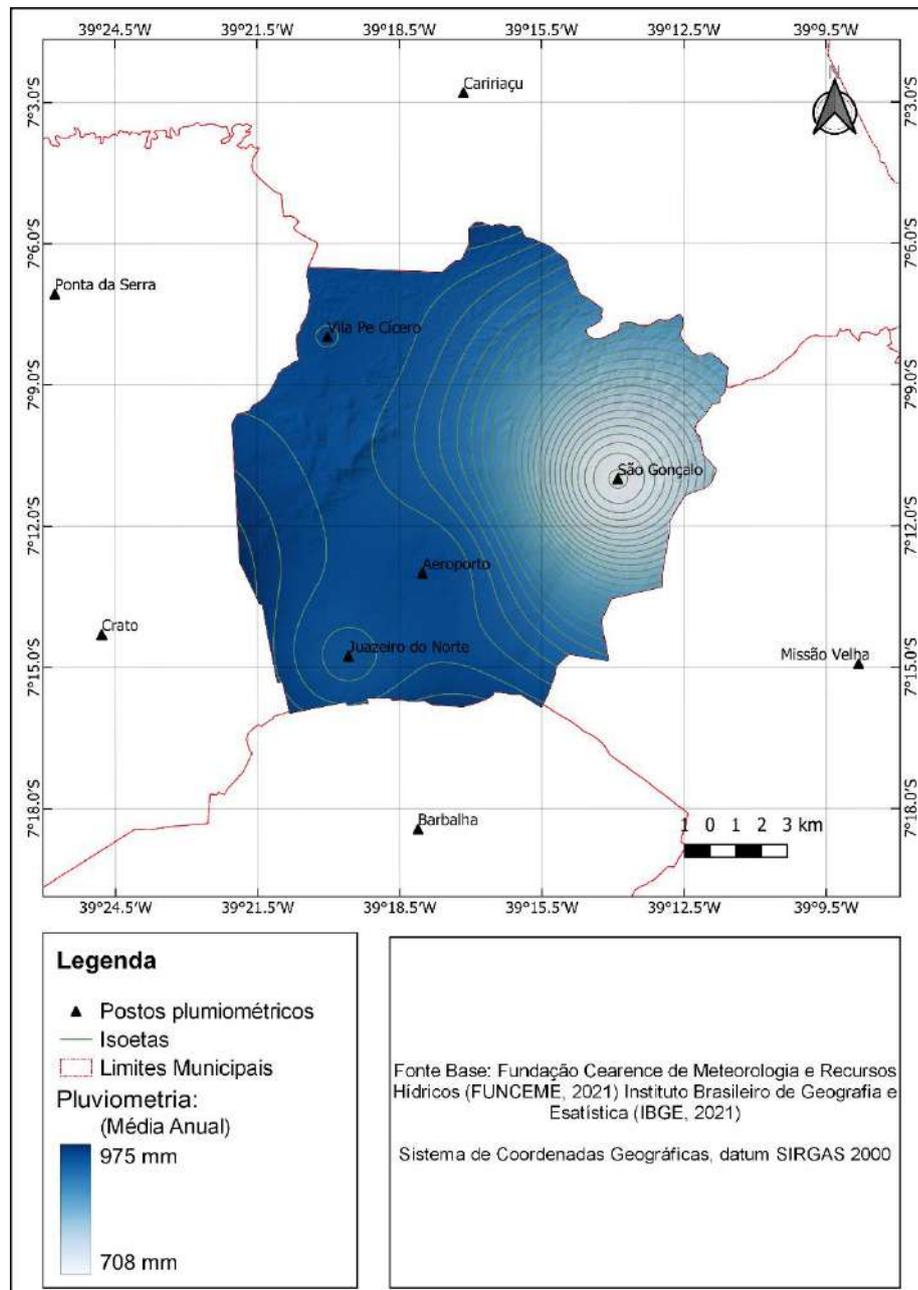
Tabela 4 – Postos pluviométricos, médias de precipitação mensal e anual e erosividade

PONTO	POSTOS	COORDENADAS		PRECIPITAÇÃO		EROSIVIDADE (MJ.mm.ha ⁻¹ .h ⁻¹ .mês ⁻¹)
		S	W	Média Mensal (mm)	Média Anual (mm)	
1	Aeroporto	7°13'0.00"S	39°17'60.00"O	79,15	949,74	3690,38
2	Barbalha	7°18'26.00"S	39°18'5.90"O	87,14	1045,71	4344,51
3	Caldas	7°22'1.20"S	39°19'59.90"O	85,43	1025,15	5652,04
4	Caririaçu	7° 2'47.80"S	39°17'7.50"O	84,68	1016,14	4203,28
5	Crato	7°14'18.00"S	39°24'46.00"O	91,08	1093,00	4473,56
6	Juazeiro do Norte	7°14'45.70"S	39°19'33.60"O	78,03	936,37	4179,13
7	Missão Velha	7°14'55.60"S	39° 8'47.90"O	82,01	984,15	4309,35
8	Ponta da Serra	7° 7'4.00"S	39°25'45.10"O	73,45	881,44	4170,16
9	São Gonçalo	7°11'0.10"S	39°13'52.50"O	59,03	708,33	3582,44
10	Vila Pe Cícero	7° 7'58.80"S	39°19'59.90"O	79,18	950,10	4372,56

Elaboração: Autora (2021).

O uso da equação de erosividade da chuva é pertinente por se tratar de um município de mesma isozona do trabalho desenvolvido por Costa (2013). Os dados de erosividade são provenientes da relação entre as médias pluviométricas mensais e anuais. Sendo assim, interpolando-se os valores, e com o devido recorte de geoprocessamento em ambiente do QGis, foi gerando um mapa na escala de 1:110.000 que está apresentado na Figura 40.

Figura 40 – Mapa de Média Pluviométrica Anual do Município de Juazeiro do Norte/CE



Elaboração: Autora (2021). Fonte: FUNCEME (2021) e IBGE (2021).

Desta forma, com base nos dados de entrada que originaram os mapas temáticos elaborados no presente estudo, e considerando as características dos seus respectivos formatos, foi possível elaborar a Tabela 5 que mostra as escalas de entrada e suas aplicações.

Tabela 5 – Produtos Cartográficos Utilizados no Estudo

MAPAS	ORIGEM	ESCALA DE ENTRADA	FORMATO	APLICAÇÃO
Uso e Ocupação do Solo	MapBiomas, 2019.	1:140.000	<i>Raster</i>	Susceptibilidade à erosão quanto ao uso e ocupação do solo e cobertura vegetal

MAPAS	ORIGEM	ESCALA DE ENTRADA	FORMATO	APLICAÇÃO
Topográfico	<i>Alos Palsar</i> da JAXA, 2008.	1:60.000	<i>Raster</i>	Geração do MDE e respectiva suscetibilidade à erosão quanto ao relevo
Geologia	IBGE, 2021. CPRM, 2020.	1:250.000	Vetor	Suscetibilidade à erosão quanto à geologia
Pedologia	IBGE, 2021. EMBRAPA, 2018.	1:250.000	Vetor	Suscetibilidade à erosão quanto à pedologia
Pluviometria	FUNCEME	1:95.000	Dado cadastral	Suscetibilidade à erosão quanto à pluviometria
Hidrográfico	IBGE, 2021 <i>Alos Palsar</i> da JAXA, 2008.	1:250.000	Vetor	Análise do comportamento do avanço do uso urbano aos leitos de rio
Geomorfológico	IBGE, 2021.	1:250.000	Vetor	Análise da suscetibilidade final

Elaboração: Autora (2021).

4.4. Fatores, Classes e Pesos

O potencial de suscetibilidade à erosão do município de Juazeiro do Norte/CE foi avaliado qualitativamente, a partir do cruzamento de cinco mapas temáticos, dos principais fatores que interferem nos processos erosivos, sendo eles: (i) Uso e ocupação do solo; (ii) Declividade; (iii) Geologia; (iv) Pedologia; e, (v) Erosividade da Chuva.

Para cada fator utilizado, foram estabelecidos os pesos de acordo com as características relacionadas às cinco possíveis classes de suscetibilidade à erosão, classificando desde suscetibilidade muito baixa (peso 1) até muito alta (peso 5), conforme pode ser visto na Tabela 6:

Tabela 6 – Pesos aplicados segundo o grau de suscetibilidade à erosão por fator

PESO	CLASSE DE SUSCETIBILIDADE À EROSÃO (POR FATORES INDIVIDUAIS)
1	Muito Baixo
2	Baixo
3	Médio
4	Alto
5	Muito Alto

Elaboração: Autora (2021).

Os pesos foram atribuídos buscando na bibliografia trabalhos com metodologia semelhante, que incluíssem geoprocessamento, bem como características do meio físico com

alguma analogia ao local ora estudado. Sendo assim, para os pesos atribuídos para o uso e ocupação do solo e declividade, adotou-se a classificação adaptada de Leão (2016) e Ross (1994). No caso da geologia e da pedologia, os pesos foram atribuídos observando o comportamento dos materiais, além da geomorfologia presente no município. No caso da erosividade da chuva, adotou-se a classificação adaptada de Carvalho (1994).

Após o zoneamento das áreas de suscetibilidade à erosão, foi procedida a álgebra de mapas por geoprocessamento de AHP, a suscetibilidade à erosão final do município foi classificada em baixa, média e alta.

4.4.1. Pesos das Classes de Uso e Ocupação do Solo de Juazeiro do Norte/CE

Para o fator de Uso e Ocupação do Solo, foram definidos os pesos de 1 a 5, considerando que quanto mais o solo fosse mantido as suas características inertes de cobertura vegetal, estes receberiam pesos menores. E quanto mais a área fosse antropizada, estas receberiam classes de pesos mais elevados.

Em Juazeiro do Norte se percebe erosões em áreas de vegetação menos densa, por isso foram feitas classificações diferentes variando-se a cor correspondente ao nível de cobertura vegetal. Desta forma, a imagem com vegetação na cor mais intensa, como o caso de **vegetação florestal arbórea**, a classe é muito baixa suscetibilidade à erosão (peso 1), a cor de vegetação intermediária, como o caso de vegetação florestal arbustiva, a classe é de baixa suscetibilidade à erosão (peso 2) e a coloração menos intensa, como o caso de vegetação herbácea, a classe é de média suscetibilidade à erosão (peso 3).

Nas áreas medianamente antropizadas, como o caso de agricultura e pasto, estas são de alta a suscetibilidade à erosão (peso 4). E no caso das áreas com maior antropização (casas, edifícios, arruamentos e solo exposto), a classe seria mais alta suscetibilidade à erosão (peso 5).

4.4.2. Pesos das Classes de Relevo de Juazeiro do Norte/CE

Os pesos atribuídos ao mapa de suscetibilidade à erosão quanto ao relevo obedeceram aos padrões de declividade, sendo os mais favoráveis à suscetibilidade as áreas com relevo **montanhoso** (>45%), que receberam peso 5, e a menos favorável à suscetibilidade à erosão, atribuindo o peso 1 para o relevo **plano** (0 e 3%). Ainda foram atribuídos os pesos 2 para o relevo **suave ondulado** (declividade entre 3 e 8%), 3 para o relevo **ondulado** (declividade entre 8 e 20%) e 4 para o relevo **fortemente ondulado** (declividade 20 e 45%).

4.4.3. *Pesos das Classes de Geologia de Juazeiro do Norte/CE*

As descrições aqui apresentadas, dos materiais e suas características de cada tipo classe geológica, para classificação da suscetibilidade, basearam-se em IBGE (2021), CPRM (2007) e Pinéo *et al.* (2020).

Para aplicação dos pesos no mapa de geologia, foi preciso verificar as ocorrências geológicas, a litoestratigrafia bem como a geomorfologia. Desta forma, a área que possui a **Formação Mauriti**, cuja ocorrência está localizada nos extremos leste e oeste do município, a sua classificação muito baixa (peso 1), por se tratar de uma sequência paleozóica formada por arenito de granulometria fina a grossa, arenito conglomerático e conglomerado, além de conferir alta porosidade ao material, o que facilita infiltração e diminui o escoamento superficial, diminuindo o poder erosivo.

No caso da **Formação Brejo Santo**, sequência Pré-Rifte formado por folhelhos, argilitos e siltitos de cores variadas, com intercalações de arenitos finos; localizadas na porção central do município, foi classificado como baixa suscetibilidade (peso 2), por se tratar de uma litologia formadora de um solo que drena bem e de elevada resistência ao arraste das partículas.

A classe de suscetibilidade média (peso 3), foi aplicada para a área localizada eminentemente na zona urbana e parte posterior do Horto do Padre Cícero, por ter a **Formação Barbalha**, pertencente à sequência Pós-Rifte I, formada por arenito com intercalações de folhelhos de cor vermelha e níveis de conglomerados, sendo estes arenitos finos a médios, subarredondados a subangulares, friáveis e argilosos, cujo formato do grão formado por esta litologia é mais instável à erosão.

A classe de suscetibilidade alta (peso 4) foi atribuída à duas áreas longínquas, a primeira na parte norte do município e a região do Horto do Padre Cícero, cuja geomorfologia é caracterizada pelo Alinhamento de Cristas do Patamar Sertanejo. Estas duas áreas são formadas pela **Formação Santana dos Garrotes**, de idade neoproterozoica, constituída por metapelitos, metasiltitos, metarenitos finos (metarritimitos), predominantes, com raras metasubvulcânicas félsicas e metavulcânicas intermediárias na porção inferior, e várias soleiras/derrames de metavulcânicas félsicas posicionadas principalmente no topo, datadas em cerca de 660-620 Ma, pertencente ao Grupo Cachoeirinha; e, pelos Granitóides Indiscriminados Brasileiros, formado por biotita granito, granitos porfíricos, granodioritos, monzogranitos, sienogranitos, quartzo dioritos, quartzo monzonitos e tonalitos, oriundo de ação tectônica envolvida, o que faz com que tenda a ser muito fraturada e muito deformada, sendo muito

suscetível à erosão, respectivamente.

A classificação mais alta de suscetibilidade à erosão (peso 5) foi atribuída aos **Depósitos Aluvionares**, cuja área está localizada nas proximidades dos rios Batateiras, Riacho dos Macacos e Salgadinho, que cortam o município, geologia essa formada por sedimentos inconsolidados constituída por seixos, areias finas a grossas com níveis de cascalhos e argilas; bem como aos **Depósitos Colúvio-Eluviais**, formação localizada nas proximidades com o limite municipal ao sul, cuja geologia é formada por depósitos de areias, areias argilosas e argilas.

4.4.4. Pesos das Classes de Pedologia de Juazeiro do Norte/CE

As descrições aqui apresentadas, dos materiais e suas características de cada classe pedológica, para classificação da suscetibilidade, basearam-se em IBGE (2021) e EMBRAPA (2018).

No caso dos pesos atribuídos ao mapa de pedologia, com exceção das áreas de corpos d'água e de infraestrutura urbana, a área que recebeu a classe de suscetibilidade muito baixa (peso 1) foi a formada por **Neossolo Litólico**, que são solos minerais não hidromórficos, pouco desenvolvidos, solos rasos com contato com a rocha, sequência de horizontes A e C, com textura variável, frequentemente arenosa, ocorrendo textura argilosa e raramente siltosa, solos bastante heterogêneos, com fertilidade natural variando de acordo com a região e o material de origem. Estes solos costumam apresentar ocorrência de cascalho e fragmentos de rochas no seu perfil e, embora possuam certa suscetibilidade à erosão, este solo está concentrado na porção ao norte do município, em região predominantemente plana. Além disso, se apresenta bem drenante, o que favorece o escoamento da água de chuva, evitando poças e futuras erosões.

Excluindo as áreas adjacentes aos leitos dos rios que cortam o município, e a da porção mais ao norte já classificada, o município possui como classe pedológica de maior ocorrência o **Argissolo Vermelho**. Essa classe possuía a nomenclatura Podzólico Vermelho, antes da atual classificação brasileira de solos, datada de 1999, que são solos minerais, não-hidromórficos, com horizonte A ou E (horizonte de perda de argila, ferro ou matéria orgânica, de coloração clara, com fração marcante de areia) seguido de horizonte B textural, com nítida diferença entre os horizontes, enquadrando a classe de suscetibilidade como média (peso 3).

A classe de alta suscetibilidade à erosão (peso 5), foi atribuída à área cuja pedologia foi categorizada como Neossolo Flúvico, localizada nas adjacências dos leitos dos rios. Esses **Neossolos Flúvicos**, cuja nomenclatura anterior era Solos Aluviais, são solos minerais pouco

evoluídos, pouco profundos, formados em depósitos aluviais recentes como um horizonte A sobre C, por meio de uma sucessão de camadas estratificadas nas margens de cursos d'água. São solos muito heterogêneos devido a formação de sua origem de fonte mais diversas, ocorrem em profundidades variadas, apresentam coloração acinzentado ou amarelados, são bem drenados, possuem textura argilosa ou silto-argilosa, solos com média a boa fertilidade natural.

4.4.5. Pesos das Classes de Erosividade da Chuva de Juazeiro do Norte/CE

Considerando o cálculo da erosividade da chuva apresentada na Equação 6 mostrada no item 4.3, foi possível classificar a suscetibilidade conforme proposto por Carvalho (1994) e utilizada por Costa (2013) para caracterizar o potencial erosivo da bacia hidrográfica do São José, conforme mostrado na Tabela 7.

Tabela 7 – Classificação dos valores do índice de erosividade anual

EROSIVIDADE (MJ.mm.ano⁻¹.ha⁻¹.h⁻¹)	CLASSE DE EROSIVIDADE Carvalho (1994)	CLASSE ATRIBUÍDA NESTA PESQUISA
R ≤ 2.452	Baixo	Muito Baixa (peso 1)
2.452 < R ≤ 4.905	Médio	Baixa (peso 2)
4.905 < R ≤ 7.357	Médio-Forte	Média (peso 3)
7.357 < R ≤ 9.810	Forte	Alta (peso 4)
R > 9.810	Muito Forte	Muito Alta (peso 5)

Fonte: Adaptado de Carvalho (1994).

Com base no estudo de pluviometria já comentados no item 3.2.5, a classificação atribuída ao mapa de suscetibilidade à erosão quanto o índice pluviométrico foi de médio forte, usando os valores dos quatro postos pluviométricos localizados apenas no município de Juazeiro do Norte, recebendo a classe 3.

Houve ainda uma tentativa de concentrar o efeito da pluviometria calculando os índices pluviométricos concentrado no período chuvoso, sem considerar o restante dos registros ao longo dos demais meses; no entanto, a erosividade da chuva permaneceu no intervalo correspondente ao intervalo $2.452 < R \leq 4.905$, se enquadrando na classe de suscetibilidade média por Carvalho (1994); porém, por ter peso 2, foi considerado nesta pesquisa, como classe de baixa suscetibilidade, em razão do intervalo igualmente espaçado no presente estudo.

Sintetizando toda informação anterior, a Tabela 8 apresenta os pesos de cada fator, considerando o seu potencial de suscetibilidade à erosão de forma individual, de acordo com as suas características.

Tabela 8 – Pesos aplicados por característica dos fatores considerados no estudo

PESOS	USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	RELEVO	PEDOLOGIA	GEOLOGIA	EROSIVIDADE DA CHUVA
1	Vegetação arbórea	Plano (entre 0 e 3%)	Neossolo Litólico (RLe)	Formação Mauriti	
2	Vegetação arbustiva	Suave Ondulado (entre 3 e 8%)		Formação Missão Velha; Formação Brejo Santo	2.452 < R ≤ 4.905
3	Vegetação herbácea	Ondulado (entre 8 e 20%)	Argissolo Vermelho (PVe)	Formação Barbalha	
4	Agricultura; pasto	Fortemente Ondulado (entre 20 e 45%)		Formação Santana dos Garrotes; Granitóides Indiscriminados Brasileiros	
5	Casas; edifícios; arruamentos; solo exposto	Montanhoso (entre 45 e 75%); Escarpado (>75%)	Neossolo Flúvico (RYve)	Depósitos Aluvionares; Depósitos Colúvio-Eluviais	

Elaboração: Autora (2021).

4.5. Análise Hierárquica de Processos

Após cruzamento dos fatores e atribuição dos pesos, foi obtido, como dado de saída, o Mapa de Suscetibilidade à Erosão do Município de Juazeiro do Norte/CE, na escala de impressão de 1:25.000. Importante se faz pontuar que os mapas temáticos utilizados tiveram que ser processados de forma individualizada para receberem o recorte do município, uma vez que os dados foram utilizados, em alguns desses mapas, em nível de estado.

Por fim, o mapa foi obtido pela aplicação do método heurístico, com base em análise qualitativa do grau de risco, levando em consideração o julgamento sobre os fatores que possam causar instabilidade nas áreas investigadas. O método heurístico foi aplicado a partir do prévio mapeamento das áreas suscetíveis e posterior levantamento de campo de áreas erodidas para avaliação do solo em questão frente aos fatores considerados (método indireto).

Os fatores previamente selecionados e listados em ordem de importância aos processos erosivos, também denominados de critérios, foram inseridos como dados de entrada na Calculadora AHP, disponível em: <https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php> (GOPEL, 2019). Esses fatores são considerados importantes tanto no grupo dos naturais quanto no grupo dos antrópicos, conforme apresentado por Trainini *et al.* (1994). Eles foram elencados em ordem de importância na Calculadora AHP, conforme mostrado na Figura 41.

No QGis, foram inseridos os mapas temáticos (uso e ocupação do solo, declividade, pedologia, geologia e erosividade da chuva), com seus pesos conforme respectivas classes de suscetibilidade (Tabela 8). Os comandos utilizados foram: `recod` do Grass para reclassificar os mapas já rasterizados de acordo com os critérios e pesos; `v.to.rast.attribute`, para converter vetor em *raster*, baseado num atributo; `interp` para interpolar as curvas de nível do mapa de relevo e os dados de pluviometria para o de índice pluviométrico; a composição do mapa final, foi utilizado o plugin Easy AHP.

Figura 41 – Fatores utilizados na pesquisa inseridos como dados de entrada na AHP

AHP priorities	
Name of Criteria	
1	Uso e Ocupação do Solo
2	Relevo
3	Pedologia
4	Geologia
5	Erosividade da Chuva

Elaboração: Autora (2021).

Como procedimento para a consolidação do Mapa de Suscetibilidade à Erosão foi realizada a análise de multicritérios, também conhecida como Árvore de Decisões ou como Análise Hierárquica de Pesos, que se baseia no mapeamento de variáveis por plano de informação e na definição do grau de pertinência de cada plano de informação e de cada um de seus componentes de legenda para a construção do mapa. No entanto, antes mesmo de inserir os mapas temáticos no QGis, foi utilizada a Calculadora AHP, disponível em <https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php> (GOEPEL, 2019), inserindo os 5 fatores, conforme já mostrado e feito a comparação pareada desses fatores estabelecendo de 1 a 9 qual o nível de importância dos fatores comparados. A comparação dos critérios está apresentada na Figura 42.

Calculada a matriz de conclusão AHP, os fatores são classificados com seus respectivos percentuais de prioridade, conforme mostrado na Figura 43. Observando a Figura 43, a matriz de decisão e prioridades ficou classificada como: (i) 51,1% de prioridade para o fator de uso e ocupação do solo; (ii) 26% para o fator de relevo; (iii) 14,2% para o fator de pedologia; (iv) 4,9% para o fator de geologia; (v) 3,8% para o fator de erosividade da chuva.

Figura 42 – Comparação pareada dos fatores na Calculadora AHP

A - wrt AHP priorities - or B?		Equal	How much more?							
1	<input checked="" type="radio"/> Uso e Ocupação do Solo <input type="radio"/> Relevo	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input checked="" type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
2	<input checked="" type="radio"/> Uso e Ocupação do Solo <input type="radio"/> Pedologia	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input checked="" type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
3	<input checked="" type="radio"/> Uso e Ocupação do Solo <input type="radio"/> Geologia	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input checked="" type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
4	<input checked="" type="radio"/> Uso e Ocupação do Solo <input type="radio"/> Erosividade da Chuva	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input checked="" type="radio"/> 9
5	<input checked="" type="radio"/> Relevo <input type="radio"/> Pedologia	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input checked="" type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
6	<input checked="" type="radio"/> Relevo <input type="radio"/> Geologia	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input checked="" type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
7	<input checked="" type="radio"/> Relevo <input type="radio"/> Erosividade da Chuva	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input checked="" type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
8	<input checked="" type="radio"/> Pedologia <input type="radio"/> Geologia	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input checked="" type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
9	<input checked="" type="radio"/> Pedologia <input type="radio"/> Erosividade da Chuva	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input checked="" type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
10	<input checked="" type="radio"/> Geologia <input type="radio"/> Erosividade da Chuva	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9

CR = 0% Please start pairwise comparison

Elaboração: Autora (2021).

Figura 43 – Matriz de decisão e prioridades com percentuais

Cat		Priority	Rank	(+)	(-)
1	Uso e Ocupação do Solo	51.1%	1	19.2%	19.2%
2	Relevo	26.0%	2	8.8%	8.8%
3	Pedologia	14.2%	3	6.8%	6.8%
4	Geologia	4.9%	4	1.2%	1.2%
5	Erosividade da Chuva	3.8%	5	1.3%	1.3%

	1	2	3	4	5
1	1	3.00	5.00	7.00	9.00
2	0.33	1	3.00	5.00	7.00
3	0.20	0.33	1	3.00	7.00
4	0.14	0.20	0.33	1	1.00
5	0.11	0.14	0.14	1.00	1

Elaboração: Autora (2021).

Considerando os percentuais dos fatores envolvidos, nesta pesquisa o valor da suscetibilidade à erosão foi calculado por meio da Equação 9.

$$S_E = (O \times 0,511) \times (D \times 0,260) \times (P \times 0,142) \times (G \times 0,049) \times (R \times 0,038) \text{ (Equação 9)}$$

Onde:

 S_E = suscetibilidade à erosão;

O = fator uso e ocupação do solo;

D = fator declividade;

P = fator pedológico;

G = fator geológico;

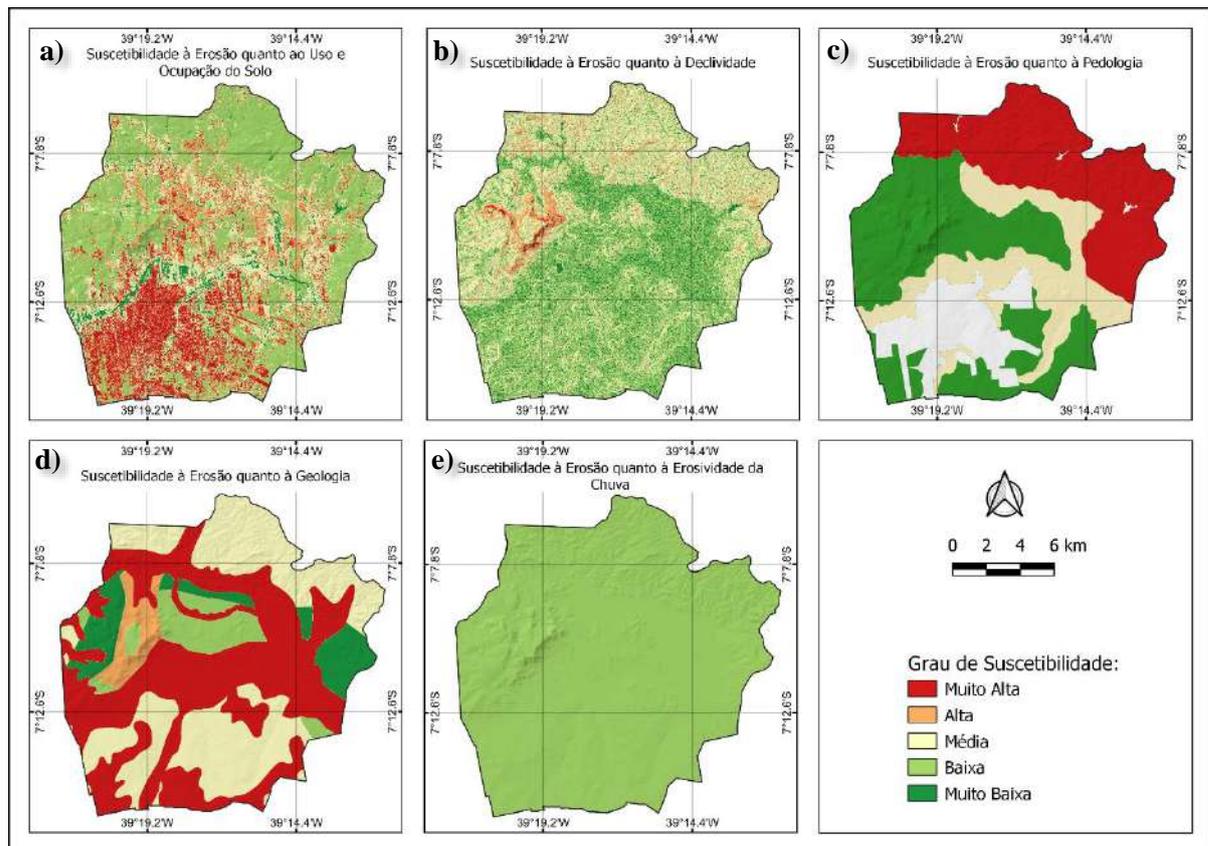
R = fator erosividade da chuva.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Mapas de Suscetibilidade por Fator e Mapa Resumo de Suscetibilidade à Erosão

Para atender os objetivos explicitados no início desta dissertação, foram desenvolvidos mapas de suscetibilidade à erosão devido aos fatores individuais (uso e ocupação do solo, declividade, pedologia, geologia e erosividade da chuva), conforme mostrado na Figura 44, representando o zoneamento em 5 classes (muito baixa, baixa, média, alta, muito alta).

Figura 44 – Mapas de suscetibilidade à erosão quanto aos fatores individuais



Elaboração: Autora (2021).

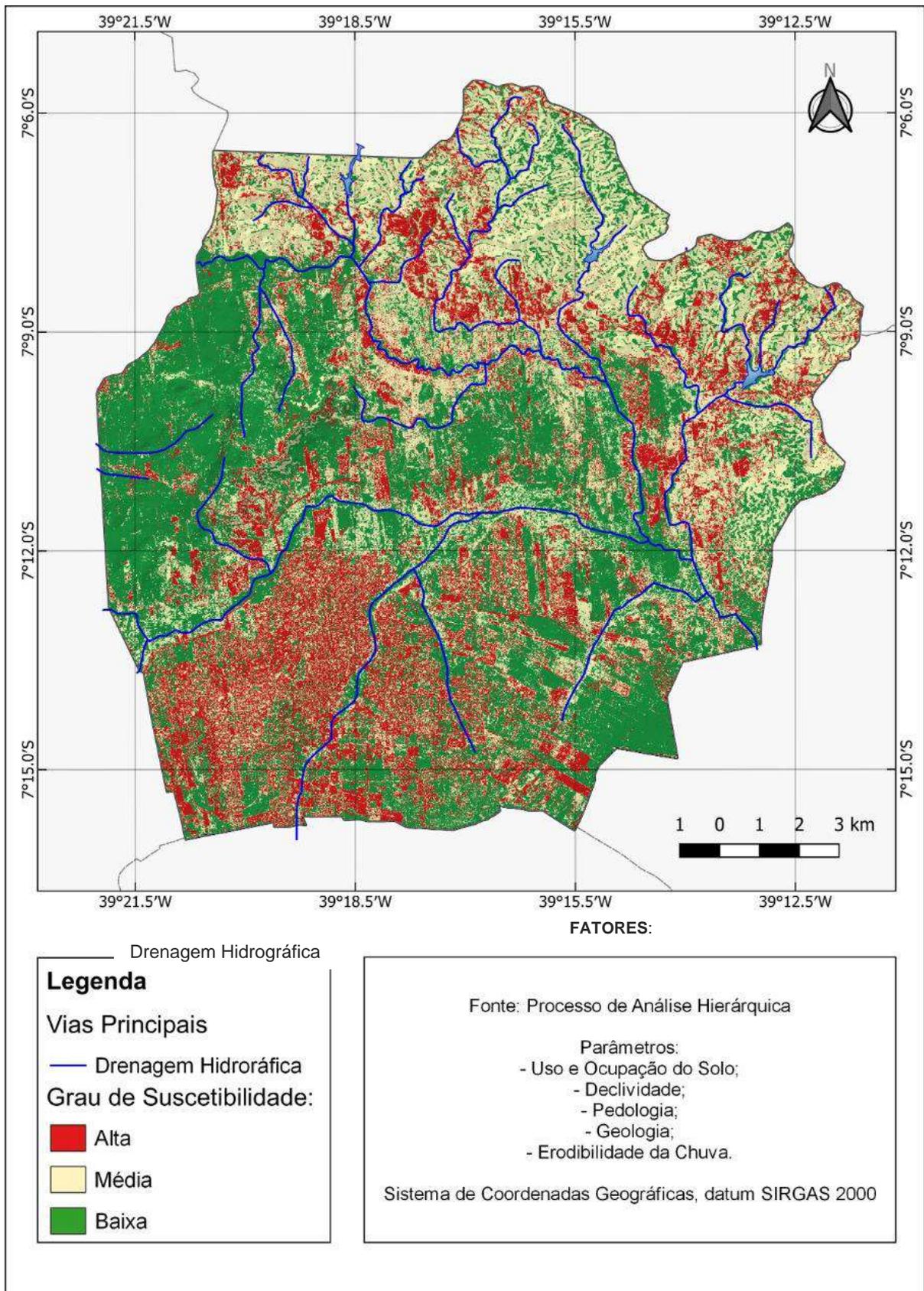
O mapa de suscetibilidade à erosão quanto ao uso e ocupação do solo (Figura 46a) mostra uma concentração de classe muito alta na zona centro-sul e leste do município, devido ser a concentração da zona urbana, conforme foi indicado no mapa do uso e ocupação do solo (Figura 35, apresentada anteriormente).

A suscetibilidade mais alta no fator de declividade se deu na região da Colina do Horto, onde se localizam os pontos mais elevados do município e se desenvolve um relevo mais acentuado, conforme pode ser visto na Figura 37.

Após a aplicação do método AHP, considerando os pesos de todos os fatores utilizados no estudo e as características do município de Juazeiro do Norte/CE, foi possível

desenvolver o Mapa Resumo de Suscetibilidade à Erosão, conforme mostrado na Figura 45.

Figura 45 – Mapa Resumo de Suscetibilidade à Erosão de Juazeiro do Norte/CE



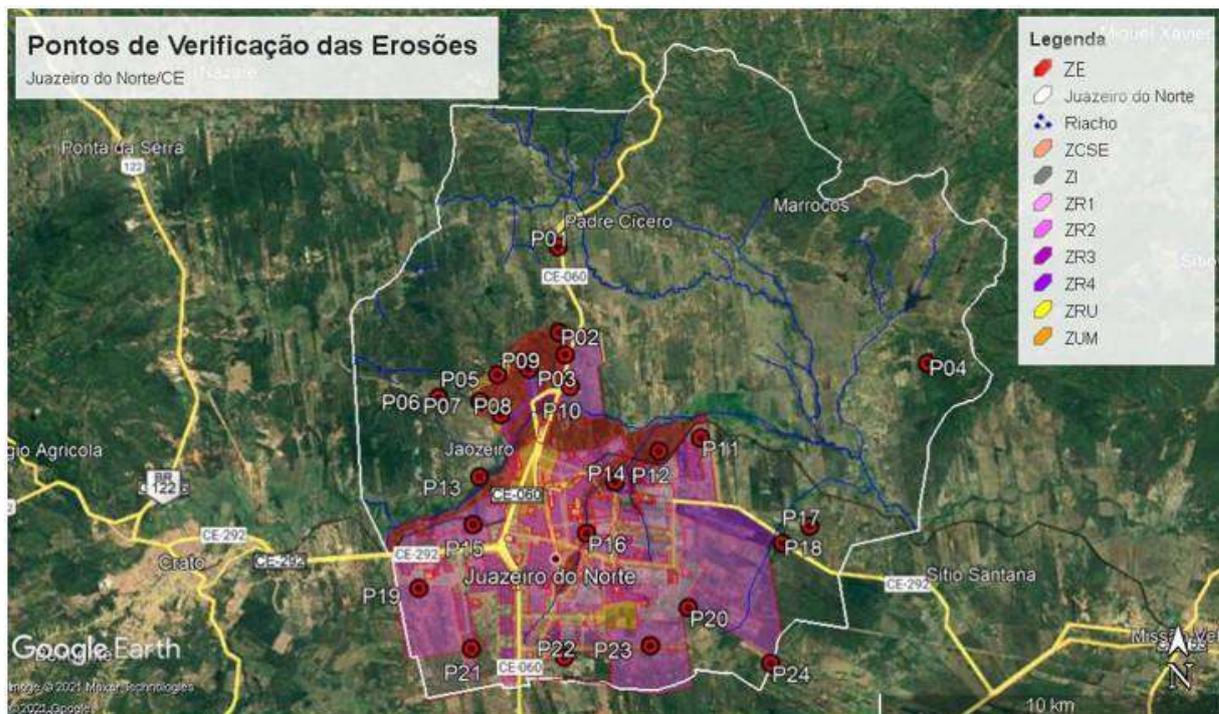
Elaboração: Autora (2021).

A partir da Figura 45, verificou-se que 41,34% da área do município de Juazeiro do Norte foi classificada como de baixa suscetibilidade aos processos erosivos, 36,69% como de média suscetibilidade e 21,97% do território foi classificada como de alta suscetibilidade aos processos erosivos.

5.2. Validação do Mapa por Meio de Vistorias de Campo

A fim de validar o mapa de suscetibilidade à erosão, elaborado por meio de sobreposição dos mapas temáticos, foi realizado um planejamento de vistorias de campo. Com base nos mapas gerados e com o conhecimento geoambiental do município de Juazeiro do Norte, além da identificação de áreas de solos desnudos identificados por imagem de satélite, bem como do conhecimento do histórico de crescimento urbano que foi apontado por Santos (2013), foram escolhidos 24 pontos para realização das vistorias, conforme mostrado no Apêndice A e na Figura 46.

Figura 46 – Distribuição dos pontos vistoriados em Juazeiro do Norte/CE



Fonte: Adaptado de Google Earth (2021). Elaboração: Autora (2021).

A Tabela 9 (Apêndice B) apresenta os pontos, a zona (conforme PDDU, 2000), os bairros (conforme Lei 16.821/2019), as coordenadas geográficas e as respectivas classes de suscetibilidades à erosão indicadas no mapa resumo.

Tabela 9 – Localização dos pontos selecionados para análise das erosões

PONTO	ZONA (PDDU 2000)	BAIRRO (LEI 16.821/2019)	COORDENADAS		SUSCETIBILIDADE FINAL
			LATITUDE	LONGITUDE	
1	Expansão Urbana	Padre Cícero	7° 8'45.36"S	39°18'41.40"O	BAIXA
2	ZE5	Três Marias	7°10'7.11"S	39°18'40.22"O	BAIXA
3	ZR4	Três Marias	7°10'28.25"S	39°18'34.40"O	ALTA
4	Expansão Urbana	Sítio Marrocos	7°10'36.31"S	39°12'48.04"O	ALTA
5	ZRU	Horto	7°10'47.31"S	39°19'38.74"O	MÉDIA
6	Expansão Urbana	Vila Planalto	7°11'9.09"S	39°20'35.15"O	ALTA
7	ZE5	Horto	7°11'12.79"S	39°19'55.85"O	ALTA
8	ZE5	Horto	7°11'25.54"S	39°19'35.87"O	MÉDIA
9	ZR4	Três Marias	7°10'40.48"S	39°19'9.56"O	ALTA
10	ZR2	Romeiro Aureliano Pereira	7°10'58.86"S	39°18'29.66"O	ALTA
11	ZR1	Pedrinhas	7°11'47.87"S	39°16'25.04"O	ALTA
12	ZR4	Pedrinhas	7°12'0.65"S	39°17'4.56"O	ALTA
13	Zona Urbana recente	Salgadinho	7°12'25.05"S	39°19'56.62"O	ALTA
14	ZUM	Fátima	7°12'29.94"S	39°17'46.87"O	ALTA
15	ZR4	Antônio Vieira	7°13'10.59"S	39°20'2.67"O	MÉDIA
16	ZE2	Limoeiro	7°13'18.97"S	39°18'14.02"O	ALTA
17	Expansão Urbana	Brejo Seco	7°13'12.22"S	39°14'40.44"O	ALTA
18	Expansão Urbana	Brejo Seco	7°13'28.40"S	39°15'6.67"O	ALTA
19	ZR2	São José	7°14'11.28"S	39°20'54.52"O	ALTA
20	ZR2	Campo Alegre	7°14'30.04"S	39°16'36.58"O	ALTA
21	ZR4	Jardim Gonzaga	7°15'8.97"S	39°20'4.18"O	ALTA
22	ZR2	Cidade Universitária	7°15'28.57"S	39°18'29.81"O	ALTA
23	ZR2	Campo Alegre	7°15'5.42"S	39°17'12.76"O	ALTA
24	Expansão Urbana	Mons. Fco. Murilo Sá Barreto	7°15'22.78"S	39°15'17.96"O	ALTA

Legenda:

ZE2: Zona Especial 2 - Parque Ecológico das Timbaúbas;

ZR1: Zona Residencial de Baixíssima Densidade (40 hab/ha);

ZUM: Zona de Uso Misto.

ZE5: Zona Especial 5 - Área de Preservação da Serra do Catolé / Horto;

ZR2: Zona Residencial de Baixa Densidade (100 hab/ha);

ZRU: Zona de Renovação Urbana;

ZR4: Zona Residencial de Alta Densidade (500 hab/ha);

Elaboração: Autora (2021).

O ponto P01 (coordenadas geográficas $7^{\circ} 8'45.36''S$ e $39^{\circ}18'41.40''O$), conforme Figura 47, localizado na Vila Padre Cícero, Zona de Expansão Urbana, foi selecionado em área de **baixa suscetibilidade** em relação ao mapa resumo elaborado preliminarmente por meio da sobreposição dos mapas temáticos.

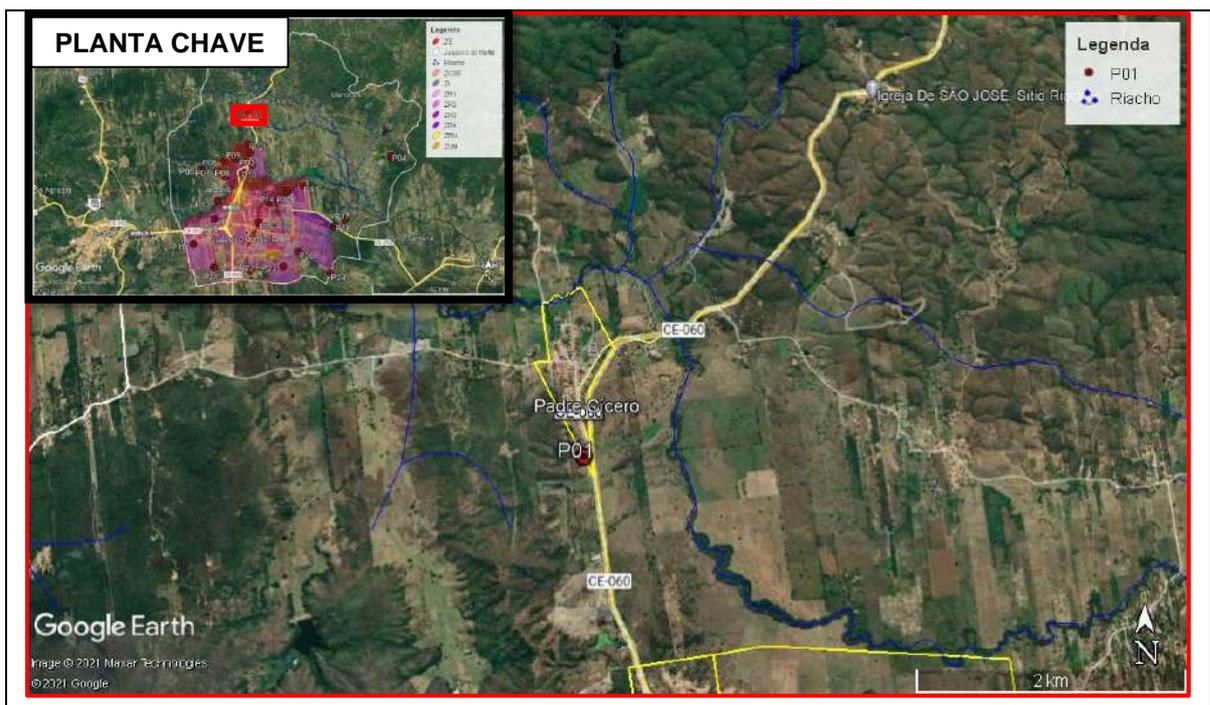
No campo observou-se que se tratava de numa área de extração de material para fins de uso na construção civil, com características de escavação ainda preservadas, apresentando sinais do processo erosivo devido ao solo desnudo, conforme observa-se na Figura 48.

As características dos fatores individuais, a classificação táctil visual do solo e suas respectivas suscetibilidades estão apresentadas na Tabela 10.

A textura do solo é do tipo areia pedregulhosa cujo potencial de erodibilidade é baixo, conforme Tabela 1, sendo um solo que drena bem e de elevada resistência ao arraste das partículas.

Observando a classificação pela análise táctil-visual e comparando com a suscetibilidade do zoneamento no mapa da Figura 45, verifica-se elas possuem o mesmo grau de classificação, ou seja, se trata de uma área de baixa suscetibilidade à erosão, considerando os fatores do meio físico estudados, sendo um indicativo de área de expansão urbana, sem restrições de ocupação. Porém, os gestores devem adotar medidas adequadas de ocupação do solo, caso contrário, pode acelerar processos erosivos e comprometer a segurança da população.

Figura 47 – Localização do Ponto P01



Elaboração: Autora (2021).

Figura 48 – Registro da erosão e tipo de material identificado no Ponto P01



Elaboração: Autora (2021).

Tabela 10 – Características e suscetibilidades dos fatores no ponto P01

FATORES	CATEGORIA	SUSCETIBILIDADE
Uso e Ocupação do Solo	Formação Herbácea	Média
Relevo	Ondulado	Média
Geologia	Formação Brejo Santo	Baixa
Pedologia	Argissolo Vermelho	Média
Material	Areia com Pedregulho	Baixa
Todos	AHP	BAIXA

Elaboração: Autora (2021).

O ponto P02 (coordenadas geográficas 7°10'7.11"S e 39°18'40.22"O), conforme Figura 49, localizado na Vila Três Marias, na Zona Especial 5 - Área de Preservação da serra do Catolé/Horto, foi selecionado em área de **baixa suscetibilidade** à erosão, em relação ao mapa resumo.

Neste ponto foi identificado uma área de corte para execução de uma rodovia de novo acesso ao bairro do Horto. Durante a visita de campo observou-se movimentos de massa do tipo queda/deslizamentos de blocos rochosos, conforme apresentado na Figura 50.

As características dos fatores avaliados, a classificação táctil visual do solo, e suas respectivas suscetibilidades individuais estão apresentadas na Tabela 11.

O material encontrado no ponto P02 é do tipo pedregulho, com presença de silte e areia, cuja erodibilidade é baixa, conforme Tabela 1. Trata-se de um filito, proveniente de uma rocha metamórfica, originada dos argilitos (sedimentares), formadas em um contexto de metamorfismo de contato; que aflora bem fraturada, o que facilita a queda pela gravidade.

Comparando as classificações, da erodibilidade pela análise tátil-visual e a

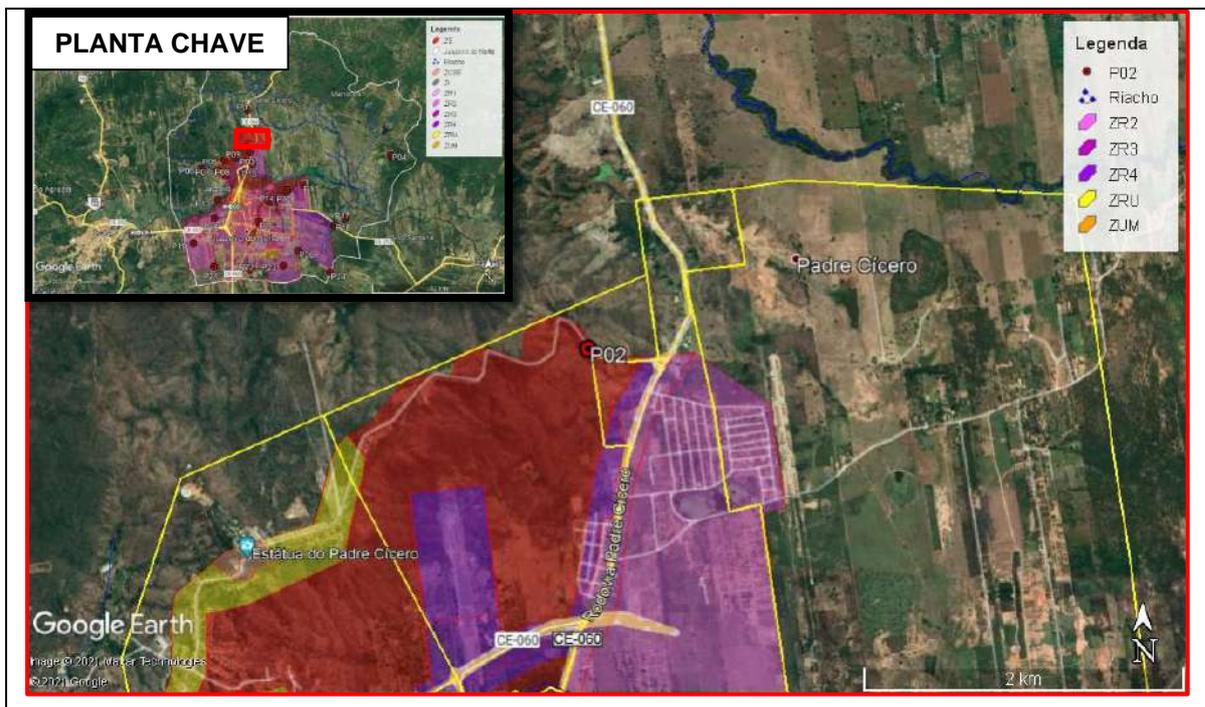
suscetibilidade do mapa resumo, observa-se que ambas foram atribuídas o menor grau, baixo.

A restrição de ocupação está associada ao PDDU do município, por se tratar de uma Zona Especial e ser localizado na margem da avenida em direção ao monumento do Padre Cícero e em região de relevo fortemente ondulado.

Mesmo com a classificação de baixa suscetibilidade à erosão, chama-se mais uma vez a atenção de ser uma área que apresenta movimentos de massa do tipo queda/deslizamentos de blocos rochosos.

Apesar de não ser o tipo de processo estudado no presente trabalho, qualquer intervenção nesta área deve ser realizada por meio de estudos técnicos aprofundados, pois os movimentos de massa são extremamente perigosos e podem causar vítimas fatais, principalmente nesta área que é muito frequentada por romeiros e turistas.

Figura 49 – Localização do Ponto P02



Elaboração: Autora (2021).

Figura 50 – Registro de quedas de blocos rochosos e material identificado no Ponto P02



Elaboração: Autora (2021).

Tabela 11 – Características e suscetibilidades dos fatores do ponto P02

FATORES	CATEGORIA	SUSCETIBILIDADE
Uso e Ocupação do Solo	Formação Arbustiva	Baixa
Relevo	Fortemente Ondulado	Alta
Geologia	Formação Brejo Santo	Baixa
Pedologia	Argissolo Vermelho	Média
Material	Pedregulho com Silte e Areia	Baixa
Todos	AHP	BAIXA

Elaboração: Autora (2021).

O ponto P03 (coordenadas geográficas 7°10'28.25"S e 39°18'34.40"O), conforme Figura 51, localizado na Vila Três Marias, na Zona Residencial de Alta Densidade (500 hab/ha), foi selecionado em área de **alta suscetibilidade** à erosão em relação ao mapa resumo.

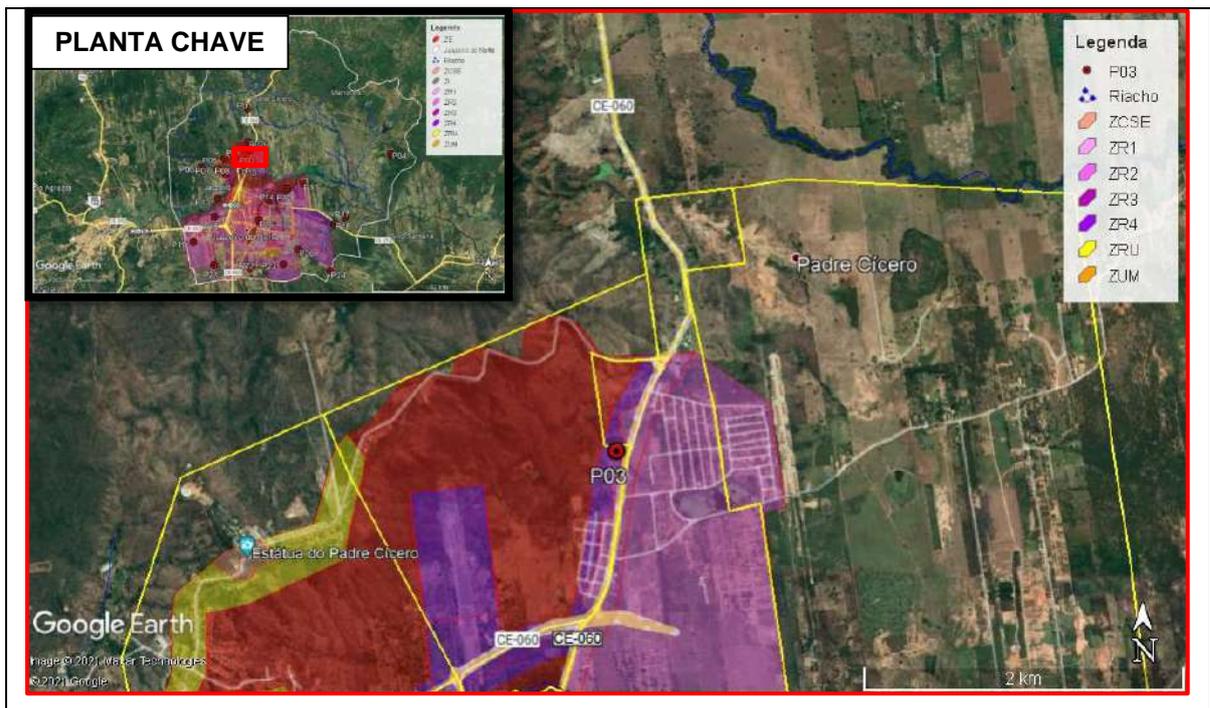
Durante a visita de campo observou-se se tratar de uma área de corte realizado para terraplenagem da futura expansão de indústria vizinha ao terreno, associado ao processo erosivo, apresentou sulcos caracterizados de erosão no talude escavado (Figura 52).

As características dos fatores estudados, a classificação táctil visual do solo realizada em campo, e suas respectivas suscetibilidades individuais estão apresentadas na Tabela 12.

O material do ponto P03 é uma argila arenosa, cuja erodibilidade é classificada como média, segundo Llopis Trillo (1999), sendo próxima da classe obtida pela álgebra dos mapas (alta suscetibilidade), quando se considerou todos os fatores estudados.

Este ponto P03 é um exemplo do efeito de antropização que, associada aos padrões de geologia e geomorfologia, definiu a suscetibilidade final como de grau mais elevado, uma vez que as áreas imediatamente vizinhas são classificadas como formações arbustiva e herbácea, diminuindo o potencial dos processos erosivos.

Figura 51 – Localização do Ponto P03



Elaboração: Autora (2021).

Figura 52 – Registro da erosão e tipo de material identificado no Ponto P03



Elaboração: Autora (2021).

Tabela 12 – Características e suscetibilidades dos fatores do ponto P03

PARÂMETRO	CATEGORIA	SUSCETIBILIDADE
Uso e Ocupação do Solo	Formação Savânica	Muito Alta
Relevo	Ondulado	Média
Geologia	Depósitos Aluvionares	Muito Alta
Pedologia	Argissolo Vermelho	Média
Material	Argila Arenosa	Média
Todos	AHP	ALTA

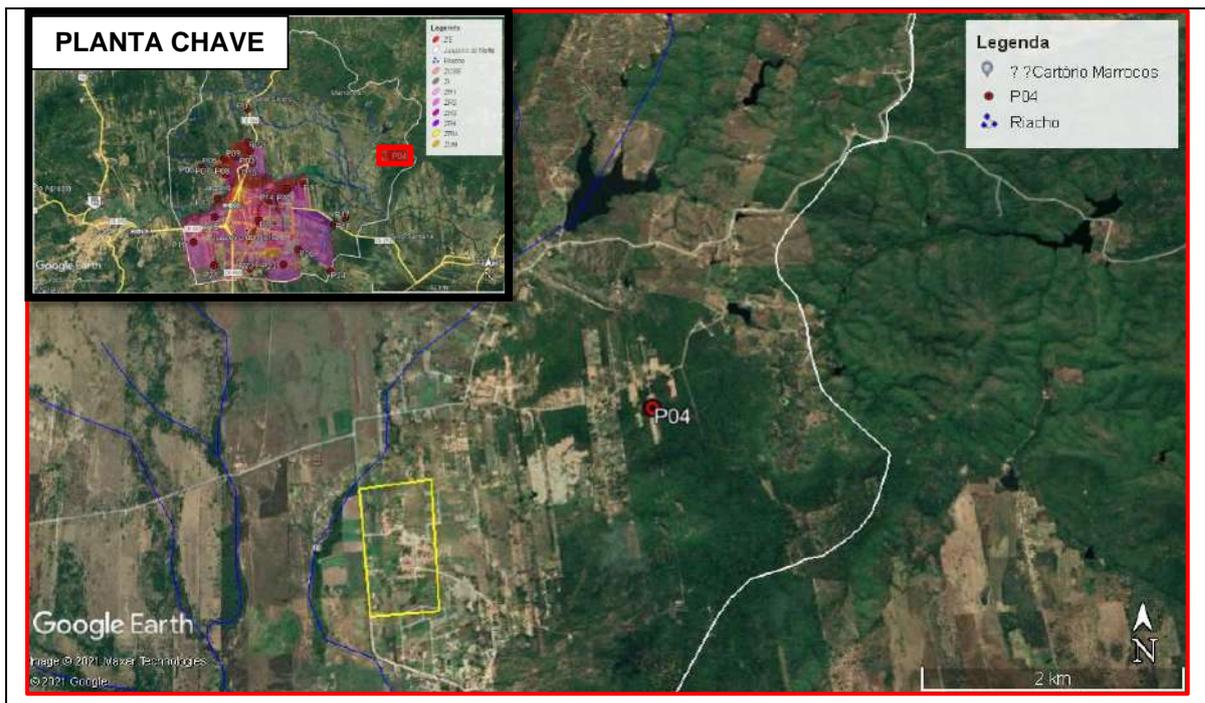
Elaboração: Autora (2021).

O ponto P04 (coordenadas geográficas 7°10'36.31"S e 39°12'48.04"O), Figura 53, localizado no Sítio Marrocos, na Zona de Expansão Urbana, foi selecionado em área de **alta suscetibilidade** à erosão, em relação ao mapa resumo.

Trata-se de uma área de corte onde realizado uma terraplenagem para um futuro loteamento, com cerca de 500 metros de extensão e 10 metros de elevação entre o ponto mais alto e o mais baixo. Durante a visita de campo constatou-se as ocorrências de processos erosivos devido a retirada da cobertura vegetal, conforme apresentado na Figura 54. As características dos fatores, a classificação táctil visual realizada em campo e suas respectivas suscetibilidades individuais estão apresentadas na Tabela 13.

O tipo de material do ponto P04 é uma areia argilosa, cuja erodibilidade é classificada como alta, segundo Llopis Trillo (1999), semelhante à classe enquadrada na álgebra dos mapas (alta suscetibilidade). A ocupação desta área deve considerar as características do relevo, que é fortemente ondulado, e o tipo de solo, que é altamente suscetível aos processos erosivos. Por se tratar de uma zona de expansão urbana vale a pena reforçar que, qualquer intervenção nesta área deve ser realizada com planejamento e extremo cuidado. As instalações de sistemas de infraestruturas de drenagens, por exemplo, são essenciais para evitar danos, antes mesmo de qualquer outro tipo de ocupação; em caso de retirada da cobertura vegetal para o uso e ocupação do solo, a superfície deve ser protegida o mais rápido possível; jamais o solo poderá ficar exposto aos intempéries, por um longo período de tempo.

Figura 53 – Localização do Ponto P04



Elaboração: Autora (2021).

Figura 54 – Registro da erosão e material identificados no Ponto P04



Elaboração: Autora (2021).

Tabela 13 – Características e suscetibilidades dos fatores do ponto P04

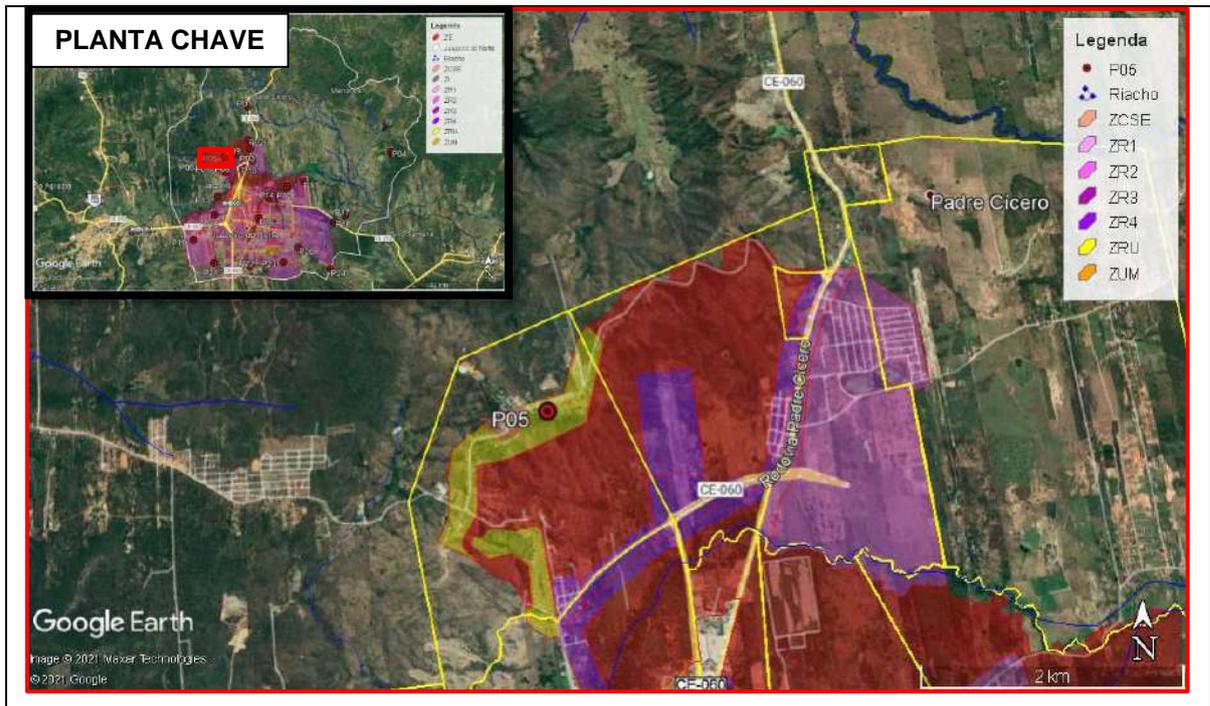
PARÂMETRO	CATEGORIA	SUSCETIBILIDADE
Uso e Ocupação do Solo	Casas, edifícios, arruamentos, solo exposto	Muito Alta
Relevo	Fortemente Ondulado	Alta
Geologia	Formação Mauriti	Muito Baixa
Pedologia	Neossolo Litólico	Muito Baixa
Material	Areia Argilosa	Alta
Todos	AHP	ALTA

Elaboração: Autora (2021).

O ponto P05 (coordenadas geográficas 7°10'47.31"S e 39°19'38.74"O), Figura 55, localizado no Horto, Zona de Renovação Urbana, foi selecionado em área de **média suscetibilidade** em relação ao mapa resumo. Neste local foi feito um corte para implantação do letreiro com o nome do município que, a baixa qualidade do solo e a supressão vegetal, a área fica suscetível aos processos erosivos (Figura 56). As características dos fatores, a classificação tátil-visual e suas suscetibilidades estão apresentadas na Tabela 14.

Trata-se de uma areia siltosa, cuja erodibilidade é muito alta, segundo Llopis Trillo (1999). Apesar do elevado grau de erodibilidade, se os demais fatores fossem preservados, o grau de suscetibilidade seria médio, conforme obtido na álgebra dos mapas, porém, os efeitos das ações antrópicas inadequadas podem intensificar os processos erosivos e agravar a suscetibilidade. Durante a atividade do zoneamento, observou-se que as áreas não vegetadas foram classificadas em média e alta, fortalecendo o efeito que a antropização tem no resultado do processamento das informações.

Figura 55 – Localização do Ponto P05



Elaboração: Autora (2021).

Figura 56 – Registro da erosão e material identificados no Ponto P05



Elaboração: Autora (2021).

Tabela 14 – Características e suscetibilidades dos fatores do ponto P05

PARÂMETRO	CATEGORIA	SUSCETIBILIDADE
Uso e Ocupação do Solo	Infraestrutura Urbana	Muito Alta
Relevo	Ondulado	Média
Geologia	Granióides Indiscrim. Brasileiros	Alta
Pedologia	Argissolo Vermelho	Média
Material	Areia siltosa	Muito Alta
Todos	AHP	MÉDIA

Elaboração: Autora (2021).

O ponto P06 (coordenadas geográficas 7°11'9.09"S e 39°20'35.15"O), Figura 57, localizado na Vila Planalto, na Zona de Expansão Urbana, foi selecionado em área de **alta suscetibilidade** em relação ao mapa resumo.

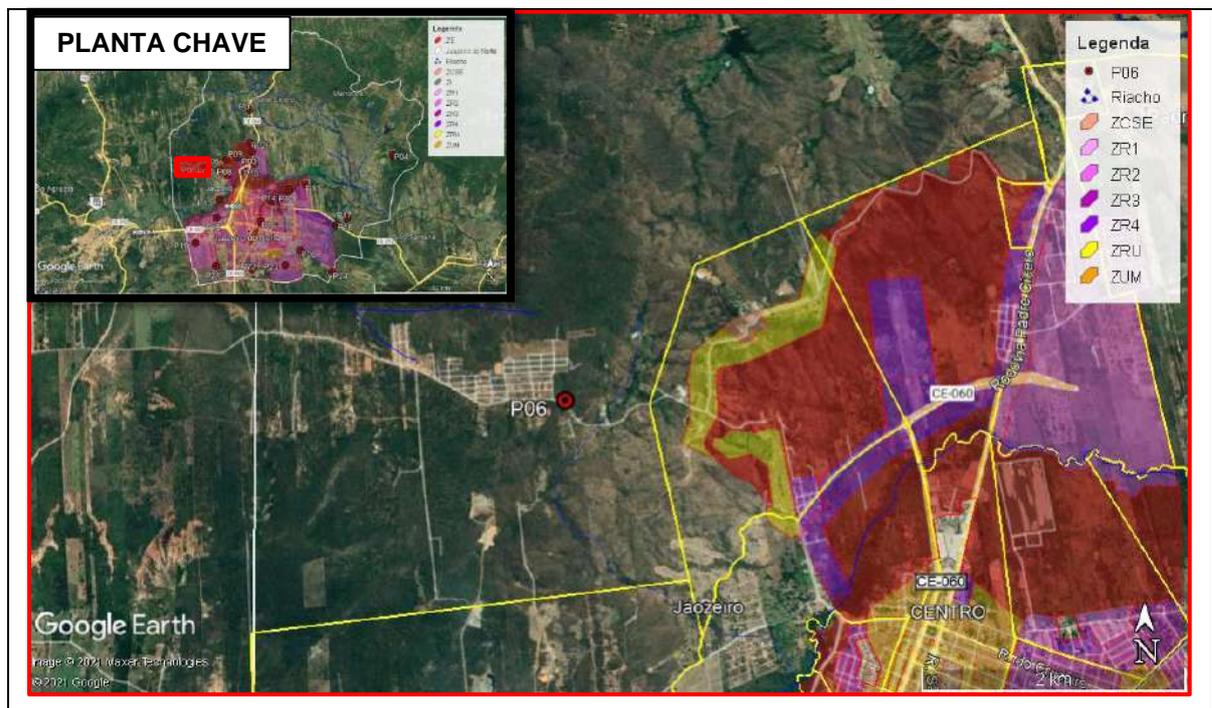
Este ponto esteve localizado em área de corte realizado para terraplenagem de uma via de acesso à área de expansão imobiliária, no sentido Juazeiro do Norte – Crato que, devido à baixa qualidade do solo, associado à retirada da vegetação, apresenta algumas ravinas no talude escavado, conforme apresentado na Figura 58.

As características dos fatores, a classificação tátil visual realizada em campo, e suas respectivas suscetibilidades individuais estão apresentadas na Tabela 15.

Trata-se de uma areia siltosa cuja erodibilidade é muito alta, segundo Llopis Trillo (1999), semelhante à classe obtida pela álgebra dos mapas temáticos (alta suscetibilidade).

Por estar localizado em área de vegetação herbácea, observou-se uma redução do efeito da suscetibilidade no mapa resumo, uma vez que áreas próximas foram classificadas com suscetibilidade alta, por causa da antropização com a implantação de loteamentos nessa região.

Figura 57 – Localização do Ponto P06



Elaboração: Autora (2021).

Figura 58 – Registro da erosão e material identificados no Ponto P06



Elaboração: Autora (2021).

Tabela 15 – Características e suscetibilidades dos fatores do ponto P06

PARÂMETRO	CATEGORIA	SUSCETIBILIDADE
Uso e Ocupação do Solo	Formação Herbácea	Média
Relevo	Ondulado	Média
Geologia	Formação Mauriti	Muito Baixa
Pedologia	Argissolo Vermelho	Média
Material	Areia Siltosa	Muito Alta
Todos	AHP	ALTA

Elaboração: Autora (2021).

O ponto P07 (coordenadas geográficas 7°11'12.79"S e 39°19'55.85"O), conforme Figura 59, localizado no Horto, na Zona Especial 5 - Área de Preservação da Serra do Catolé / Horto, foi selecionado em área de **alta suscetibilidade** em relação ao mapa resumo.

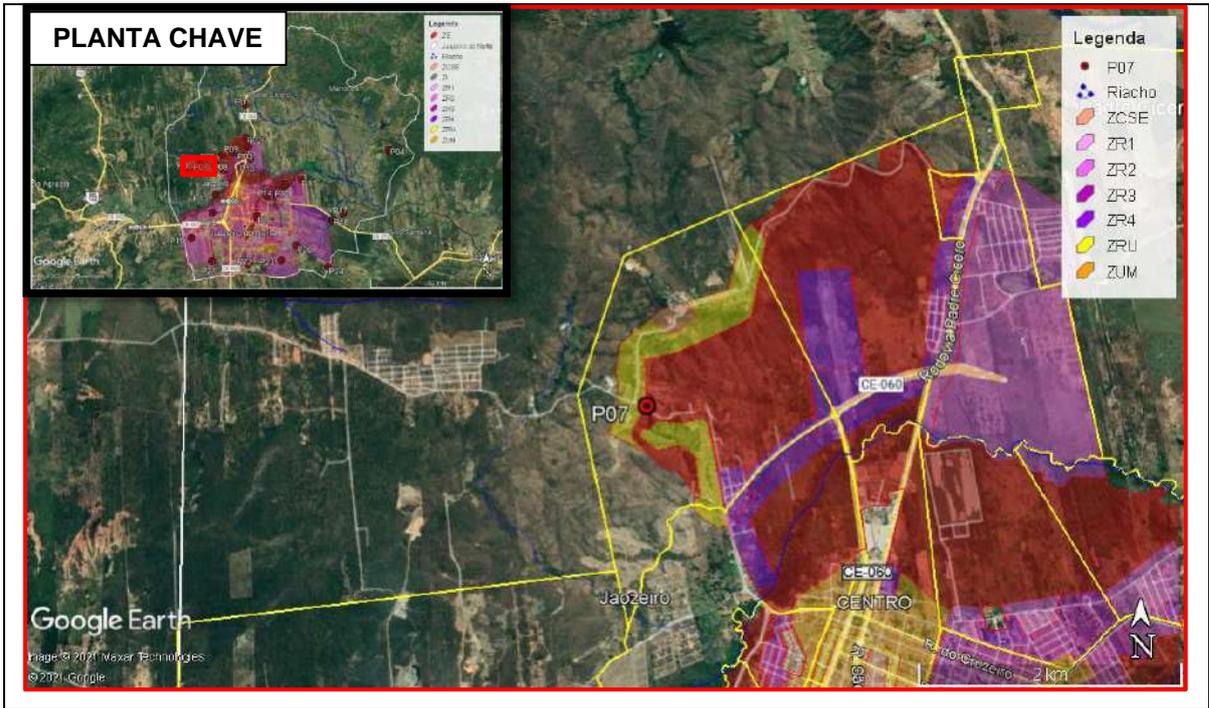
Trata-se de um ponto identificado numa área de corte realizado para implantação de uma residência, com histórico de deslizamento de rocha há cerca de 10 anos atrás, relatado pela própria moradora.

O registro do material do ponto P07 está apresentado na Figura 60. As características dos fatores, a classificação tátil visual realizada em campo, e suas respectivas suscetibilidades individuais estão apresentadas na Tabela 16.

O material do ponto P07 é uma rocha, cuja erodibilidade não é classificada por Llopis Trillo (1999). A classificação pelo mapa resumo foi de alta suscetibilidade, devido ao fator de uso e ocupação do solo associada à geologia, que tem pesos mais elevados no método utilizado, resultando nesta classe final.

A ocupação desta área, no entanto, deve ser restrita, respeitando a legislação municipal vigente, pois se trata de uma região de Zona Especial.

Figura 59 – Localização do Ponto P07



Elaboração: Autora (2021).

Figura 60 – Registro da erosão e material identificados no Ponto P07



Elaboração: Autora (2021).

Tabela 16 – Características e suscetibilidades dos fatores do ponto P07

PARÂMETRO	CATEGORIA	SUSCETIBILIDADE
Uso e Ocupação do Solo	Formação Herbácea	Média
Relevo	Ondulado	Média
Geologia	Granitóides Indiscrim. Brasileiros	Alta
Pedologia	Argissolo Vermelho	Média
Material	Rocha	N/A
Todos	AHP	ALTA

Elaboração: Autora (2021).

O ponto P08 (coordenadas geográficas 7°11'25.54"S e 39°19'35.87"O), conforme Figura 61, localizado no Horto, na Zona Especial 5 - Área de Preservação da Serra do Catolé / Horto, foi selecionado em área de **média suscetibilidade** em relação ao mapa resumo.

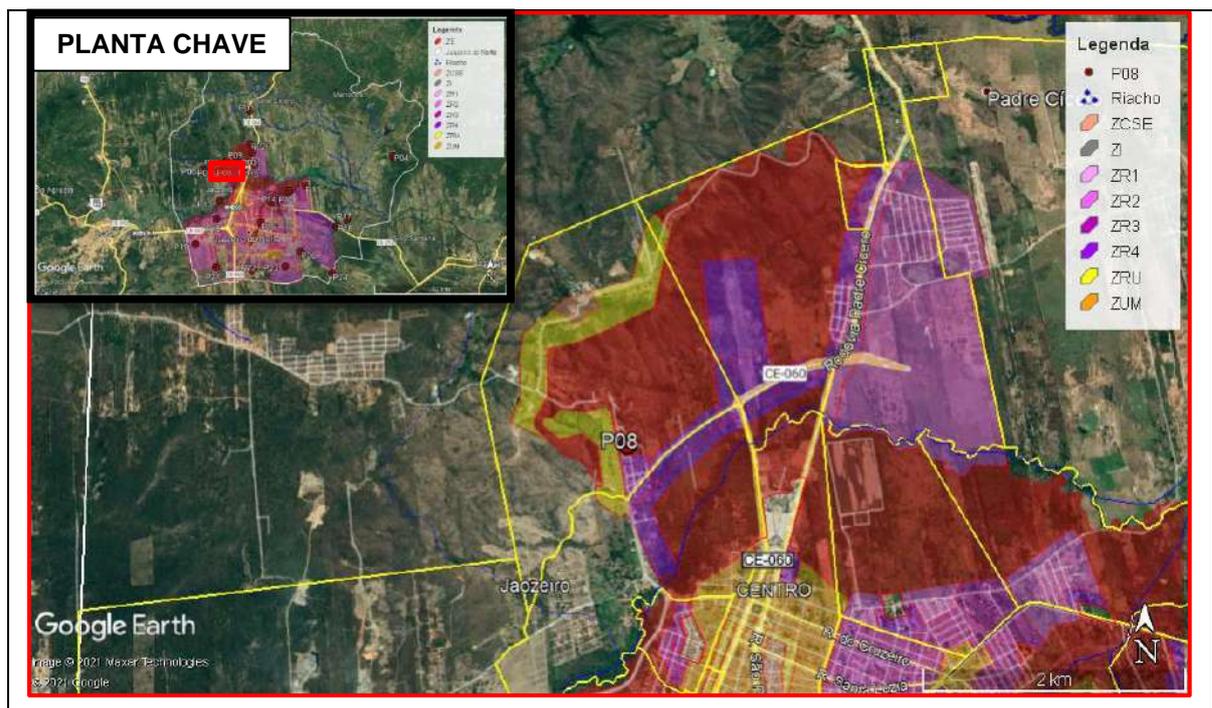
Trata-se de um ponto identificado numa área de corte realizado em terreno disponível para venda em relevo íngreme, inclusive observado localmente, que embora seja rocha, apresenta algumas marcas de desgaste superficial, conforme apresentado na Figura 62.

As características dos fatores, a classificação tátil visual realizada em campo, e suas respectivas suscetibilidades individuais estão apresentadas na Tabela 17.

O material do ponto P08 também se trata de uma rocha, cuja erodibilidade não é classificada por Llopis Trillo (1999).

Em todo caso, como a classificação pelo mapa resumo foi de média suscetibilidade, cujo fator de geologia influenciou no resultado final, a ocupação desta área deve respeitar o que recomenda a ocupação do local pelo PDDU, por ser uma região de Zona Especial.

Figura 61 – Localização do Ponto P08



Elaboração: Autora (2021).

Figura 62 – Registro da erosão e material identificados no Ponto P08



Elaboração: Autora (2021).

Tabela 17 – Características e suscetibilidades dos fatores do ponto P08

PARÂMETRO	CATEGORIA	SUSCETIBILIDADE
Uso e Ocupação do Solo	Formação Herbácea	Média
Relevo	Fortemente Ondulado	Alta
Geologia	Depósitos Aluvionares	Muito Alta
Pedologia	Argissolo Vermelho	Média
Material	Rocha	N/A
Todos	AHP	MÉDIA

Elaboração: Autora (2021).

O ponto P09 (coordenadas geográficas 7°10'40.48"S e 39°19'9.56"O), conforme Figura 63, localizado na Vila Três Marias, na Zona Residencial de Alta Densidade (500hab/ha), foi selecionado em área de **alta suscetibilidade** em relação ao mapa resumo.

Trata-se de um ponto identificado numa área escavada para construção de dois loteamentos com cerca de 1,2km de extensão e diferença de elevação de cerca de 100m que, associado ao talude com vegetação suprimida e escavação, apresenta marcas de desgaste superficial, conforme apresentado na Figura 64.

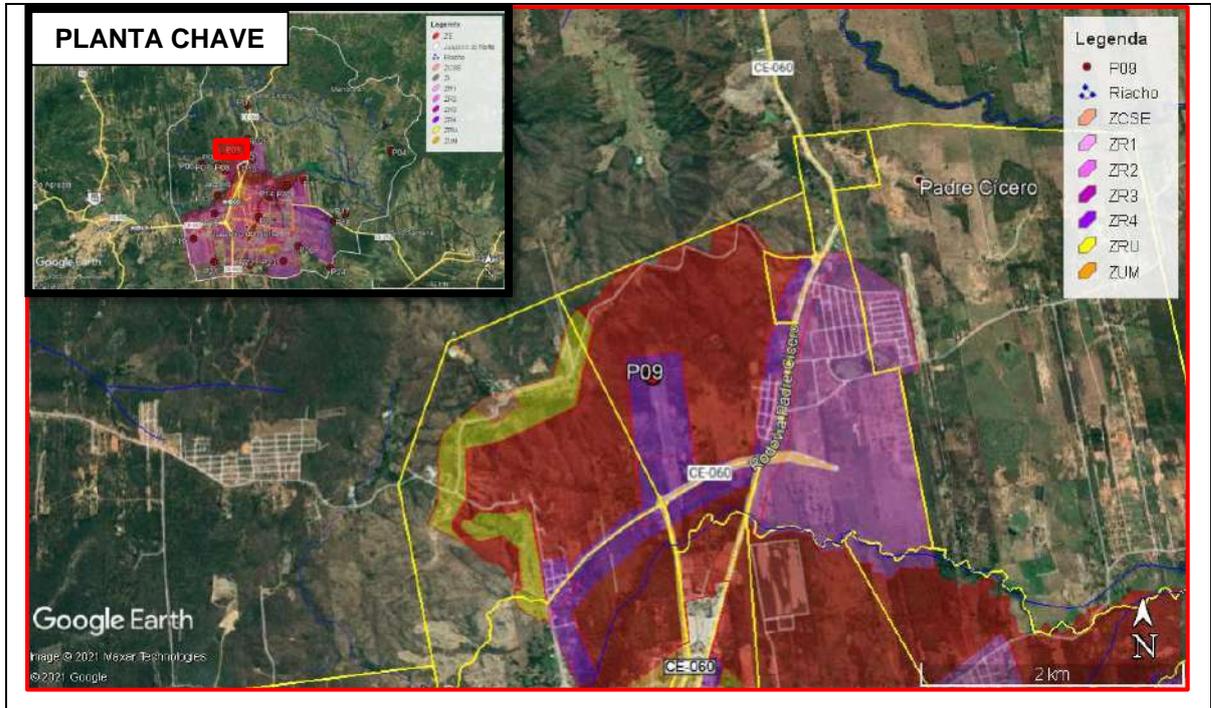
As características dos fatores, a classificação tátil visual realizada em campo, e suas respectivas suscetibilidades individuais estão apresentadas na Tabela 18.

O tipo de material do ponto P09 é um pedregulho, cuja erodibilidade é classificada como muito baixa, segundo Llopis Trillo (1999), conforme Tabela 1. Trata-se de granitos em estágio de intemperismo. Comparando a classificação da erodibilidade pela análise tátil-visual com a classificação do mapa resumo mostrado na Figura 45, a classificação é incompatível com o que foi observado em campo (alta suscetibilidade).

O ponto P09 é um exemplo do efeito de antropização que, associada aos padrões de relevo, geologia, e pedologia, definiu a suscetibilidade final como alta, uma vez que as áreas

imediatamente vizinhas são classificadas como formações arbustiva, que influenciaria na diminuição da suscetibilidade

Figura 63 – Localização do Ponto P09



Elaboração: Autora (2021).

Figura 64 – Registro da erosão e material identificados no Ponto P09



Elaboração: Autora (2021).

Tabela 18 – Características e suscetibilidades dos fatores do ponto P09

PARÂMETRO	CATEGORIA	SUSCETIBILIDADE
Uso e Ocupação do Solo	Casas, edifícios, arruamentos, solo exposto	Muito Alta
Relevo	Ondulado	Média
Geologia	Granitóides Indiscrim. Brasileiros	Alta
Pedologia	Argissolo Vermelho	Média
Material	Pedregulho	Muito Baixa
Todos	AHP	ALTA

Elaboração: Autora (2021).

O ponto P10 (coordenadas geográficas 7°10'58.86"S e 39°18'29.66"O), conforme Figura 63, localizado no bairro Romeiro Aureliano Pereira, na Zona Residencial de Baixa Densidade (100hab/ha), foi selecionado em área de **alta suscetibilidade** em relação ao mapa resumo.

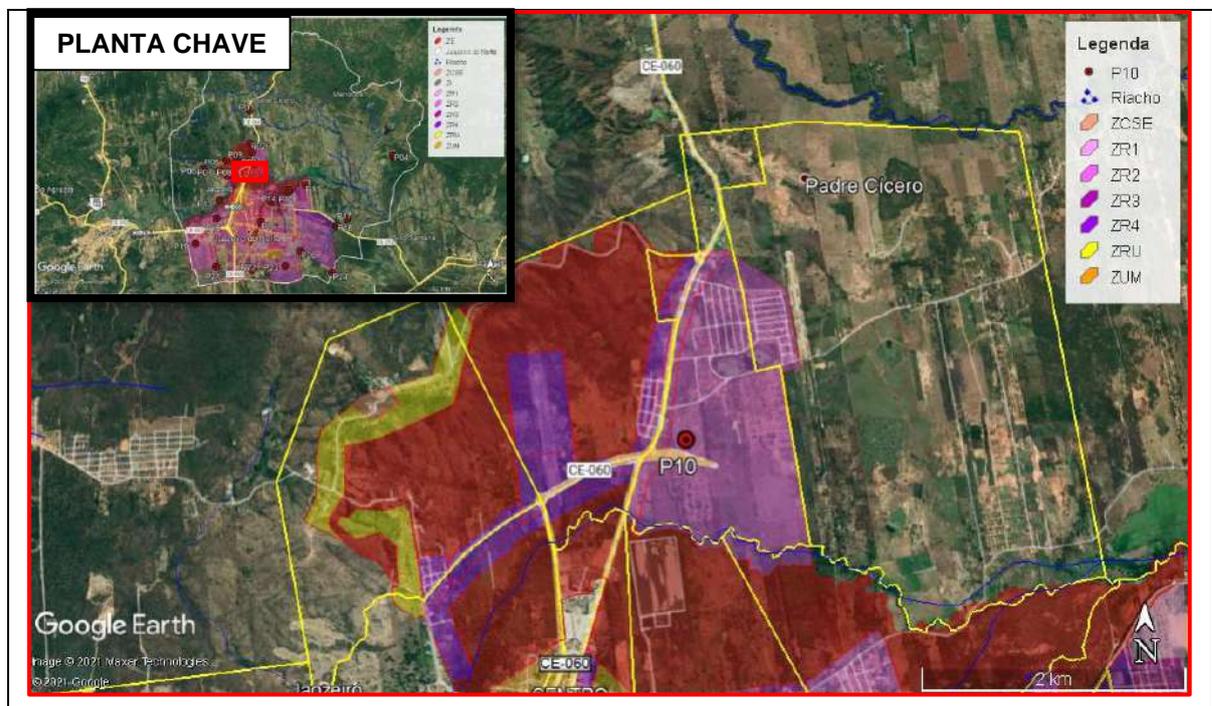
Trata-se de um ponto identificado numa área de corte para execução de um loteamento que também está recebendo aterro em área onde existia um lago. Na área escavada há a presença de cicatrizes de erosão em diversos pontos, conforme apresentado na Figura 66.

As características dos fatores, a classificação tátil visual realizada em campo, e suas respectivas suscetibilidades individuais estão apresentadas na Tabela 19.

O material do ponto P10 é uma areia siltosa, cuja erodibilidade é muito alta, segundo Llopis Trillo (1999), conforme Tabela 1. Comparando esta classificação com a do mapa resumo mostrado na Figura 45 (alta suscetibilidade), estas são compatíveis.

O local em questão é uma área de elevada exploração imobiliária. Além disso, associado ao fato desta área ter sido aterrada em antigo lago, com o material de base de baixa qualidade, podem surgir erosões caso não seja implantada a devida infraestrutura e respeitado o PDDU vigente.

Figura 65 – Localização do Ponto P10



Elaboração: Autora (2021).

Figura 66 – Registro da erosão e material identificados no Ponto P10



Elaboração: Autora (2021).

Tabela 19 – Características e suscetibilidades dos fatores do ponto P10.

PARÂMETRO	CATEGORIA	SUSCETIBILIDADE
Uso e Ocupação do Solo	Casas, edifícios, arruamentos, solo exposto	Muito Alta
Relevo	Suave Ondulado	Baixa
Geologia	Depósitos Aluvionares	Muito Alta
Pedologia	Argissolo Vermelho	Média
Material	Areia siltosa	Muito Alta
Todos	AHP	ALTA

Elaboração: Autora (2021).

O ponto P11 (coordenadas geográficas 7°11'47.87"S e 39°16'25.04"O), conforme Figura 67, localizado no bairro Pedrinhas, na Zona Residencial de Baixíssima Densidade (50hab/ha), foi selecionado em área de **alta suscetibilidade** em relação ao mapa resumo.

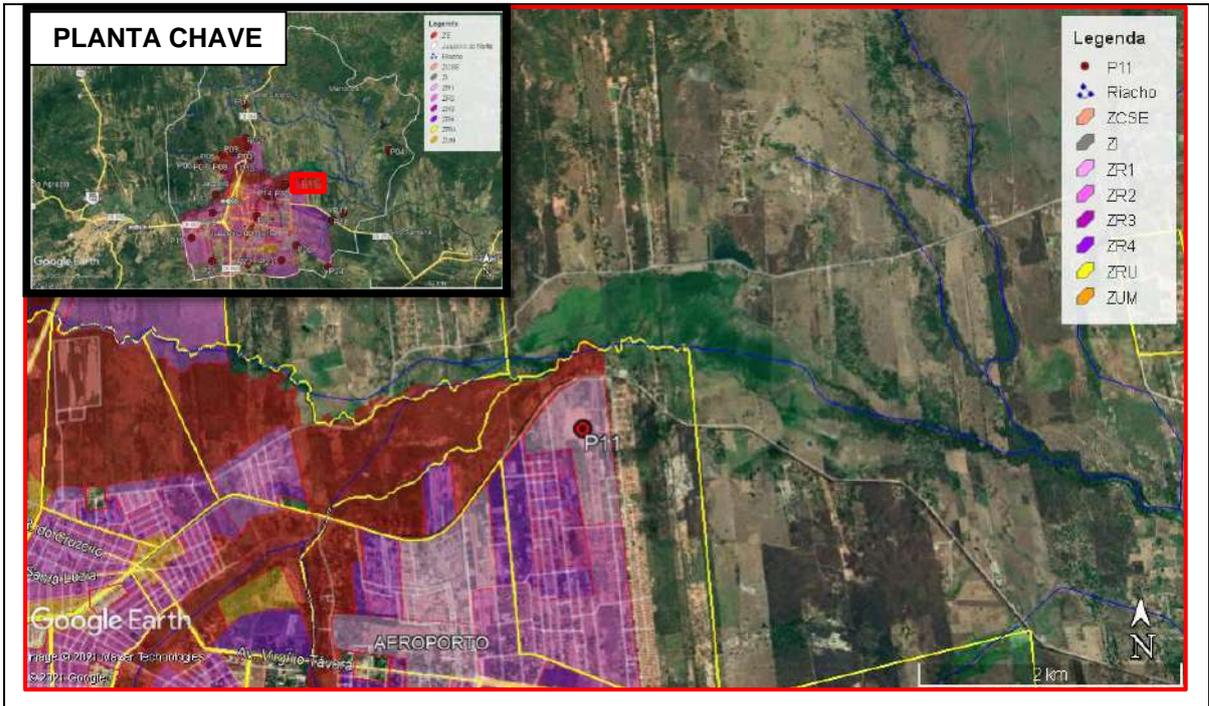
Trata-se de um ponto identificado numa área escavada para construção de lotes que, em decorrência da conformação do terreno e anterior supressão vegetal, originou-se o aparecimento de diversas ravinas no talude escavado, conforme apresentado na Figura 68.

As características dos fatores, a classificação tátil visual realizada em campo, e suas respectivas suscetibilidades individuais estão apresentadas na Tabela 20.

O material do ponto P11 é uma areia siltosa, cuja erodibilidade é muito alta, segundo Llopis Trillo (1999), conforme Tabela 1. Comparando as classificações da erodibilidade (alta suscetibilidade) pela análise tátil-visual com a do mapa resumo mostrado na Figura 45, estas são compatíveis (alta suscetibilidade).

No geoprocessamento, a suscetibilidade da geologia (depósitos aluvionares) foi determinante na classificação final. Desta forma, faz-se necessário que haja a implantação de obras de drenagem e que a terraplanagem seja realizada com posterior compactação do solo, favorecendo-se assim uma melhoria nas condições de ocupação.

Figura 67 – Localização do Ponto P11



Elaboração: Autora (2021).

Figura 68 – Registro da erosão e material identificados no Ponto P11



Elaboração: Autora (2021).

Tabela 20 – Características e suscetibilidades dos fatores do ponto P11

PARÂMETRO	CATEGORIA	SUSCETIBILIDADE
Uso e Ocupação do Solo	Casas, edifícios, arruamentos, solo exposto	Muito Alta
Relevo	Suave Ondulado	Baixa
Geologia	Depósitos Aluvionares	Muito Alta
Pedologia	Área Urbana	N/A
Material	Areia siltsosa	Muito Alta
Todos	AHP	ALTA

Elaboração: Autora (2021).

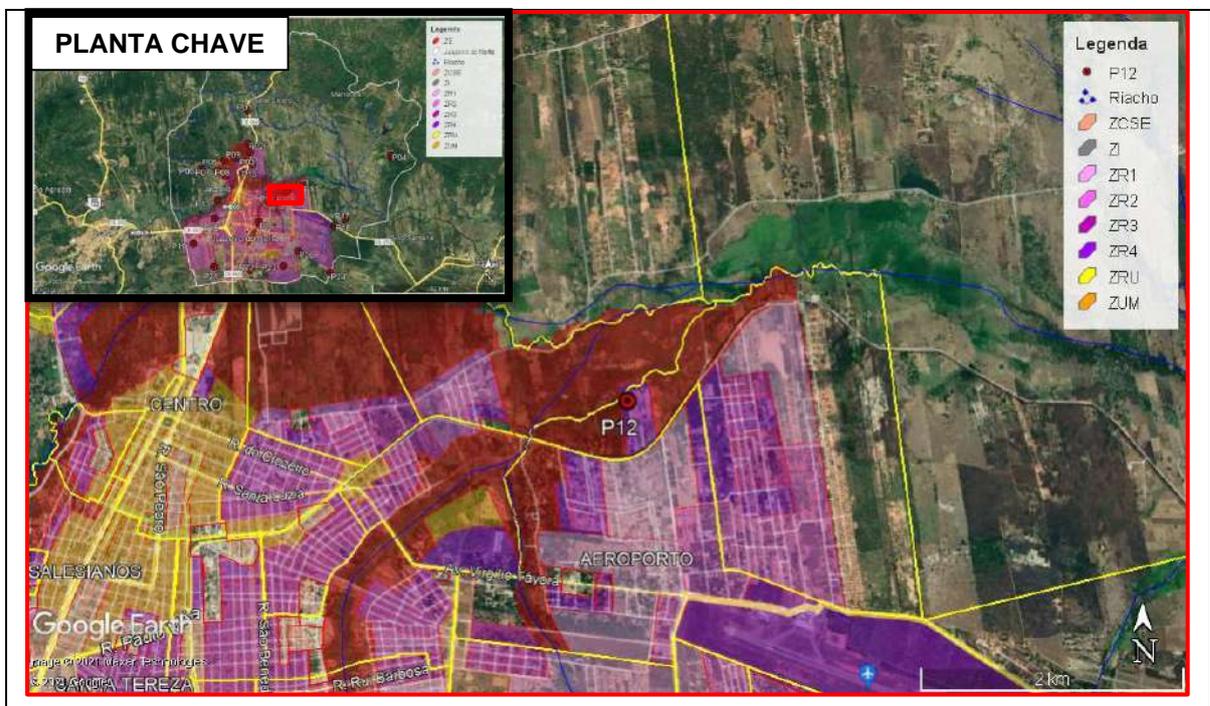
O ponto P12 (coordenadas geográficas $7^{\circ}12'0.65''S$ e $39^{\circ}17'4.56''O$), conforme Figura 69, localizado no bairro Pedrinhas, na Zona Residencial de Alta Densidade (500hab/ha), foi selecionado em área de **alta suscetibilidade** em relação ao mapa resumo.

Trata-se de um ponto identificado numa área de aterro para construção de lotes nas margens do Riacho dos Macacos, com a existência de aterro para extensão da área loteada apresentando marcas de erosão na margem do riacho, conforme apresentado na Figura 70. As características dos fatores, a classificação tátil visual realizada em campo, e suas respectivas suscetibilidades individuais estão apresentadas na Tabela 21.

O material do ponto P12 é uma areia siltosa, cuja erodibilidade é muito alta, segundo Llopis Trillo (1999), conforme Tabela 1. Comparando essa classificação com a do mapa resumo mostrado na Figura 45 (alta suscetibilidade).

Nesta área está ocorrendo a construção de um loteamento nas margens do Riacho dos Macacos, onde as características da geologia e da pedologia, que são altamente suscetíveis influenciaram na classificação final da suscetibilidade. Desta forma, convém que a ocupação seja realizada com a devida implantação de infraestrutura além de remover o aterro às margens do riacho.

Figura 69 – Localização do Ponto P12



Elaboração: Autora (2021).

Figura 70 – Registro da erosão e material identificados no Ponto P12



Elaboração: Autora (2021).

Tabela 21 – Características e suscetibilidades dos fatores do ponto P12

PARÂMETRO	CATEGORIA	SUSCETIBILIDADE
Uso e Ocupação do Solo	Formação Herbácea	Média
Relevo	Suave Ondulado	Baixa
Geologia	Depósitos Aluvionares	Muito Alta
Pedologia	Neossolo Flúvico	Muito Alta
Material	Areia siltosa	Muito Alta
Todos	AHP	ALTA

Elaboração: Autora (2021).

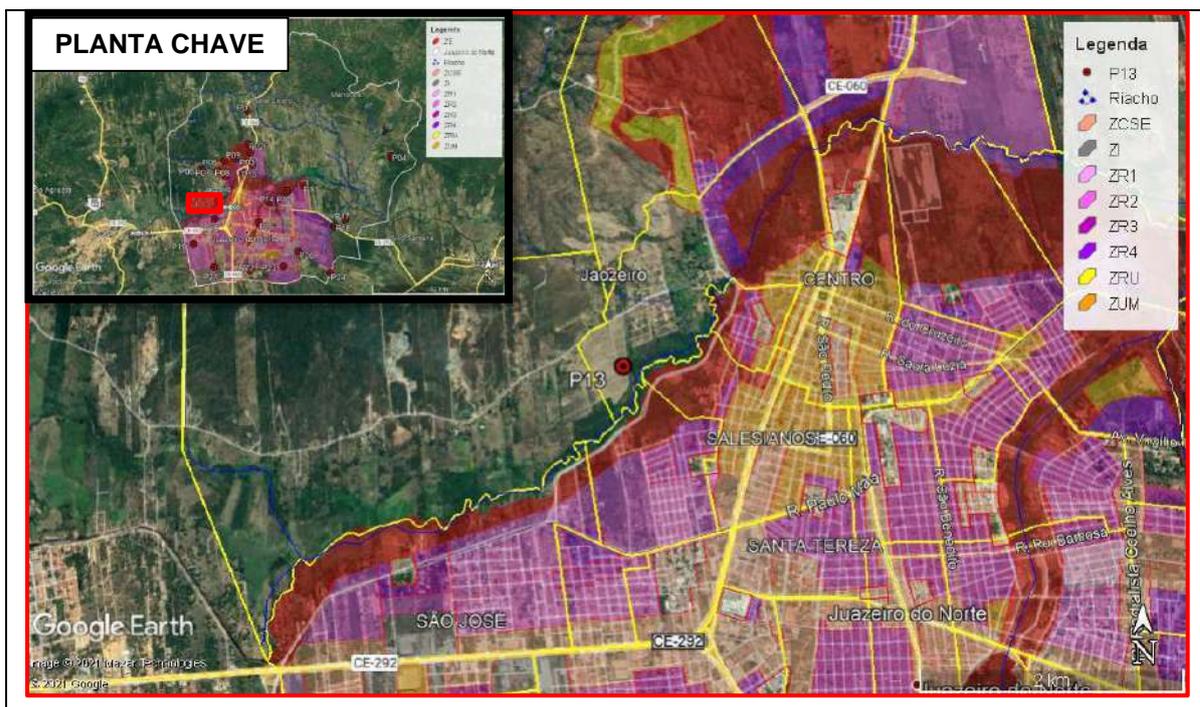
O ponto P13 (coordenadas geográficas 7°12'25.05"S e 39°19'56.62"O), conforme Figura 71, localizado na Vila Salgadinho, na área recentemente incluída na Zona Urbana, foi selecionado em área de **alta suscetibilidade** em relação ao mapa resumo.

Trata-se de um ponto identificado numa área de aterro para construção de lotes nas margens do Rio Salgadinho, com marcas de erosão ao longo do talude de aterro, conforme apresentado na Figura 72. As características dos fatores, a classificação tátil visual realizada em campo, e suas respectivas suscetibilidades individuais por fator estão apresentadas na Tabela 22.

O material do ponto P13 é uma areia siltosa, cuja erodibilidade é muito alta, segundo Llopis Trillo (1999), conforme Tabela 1. Comparando a erodibilidade pela análise tátil-visual com a do mapa resumo mostrado na Figura 45, as classificações são compatíveis.

O local em questão é uma área de elevada exploração para construção de loteamentos, o que devem ser observadas as condições das características do material, além das classificações geológica e pedológica, para a devida ocupação com intervenções de infraestrutura adequada.

Figura 71 – Localização do Ponto P13



Elaboração: Autora (2021).

Figura 72 – Registro da erosão e material identificados no Ponto P13



Elaboração: Autora (2021).

Tabela 22 – Características e suscetibilidades dos fatores do ponto P13

PARÂMETRO	CATEGORIA	SUSCETIBILIDADE
Uso e Ocupação do Solo	Casas, edifícios, arruamentos, solo exposto	Muito Alta
Relevo	Suave Ondulado	Baixa
Geologia	Depósitos Aluvionares	Muito Alta
Pedologia	Neossolo Flúvico	Muito Alta
Material	Areia siltosa	Muito Alta
Todos	AHP	ALTA

Elaboração: Autora (2021).

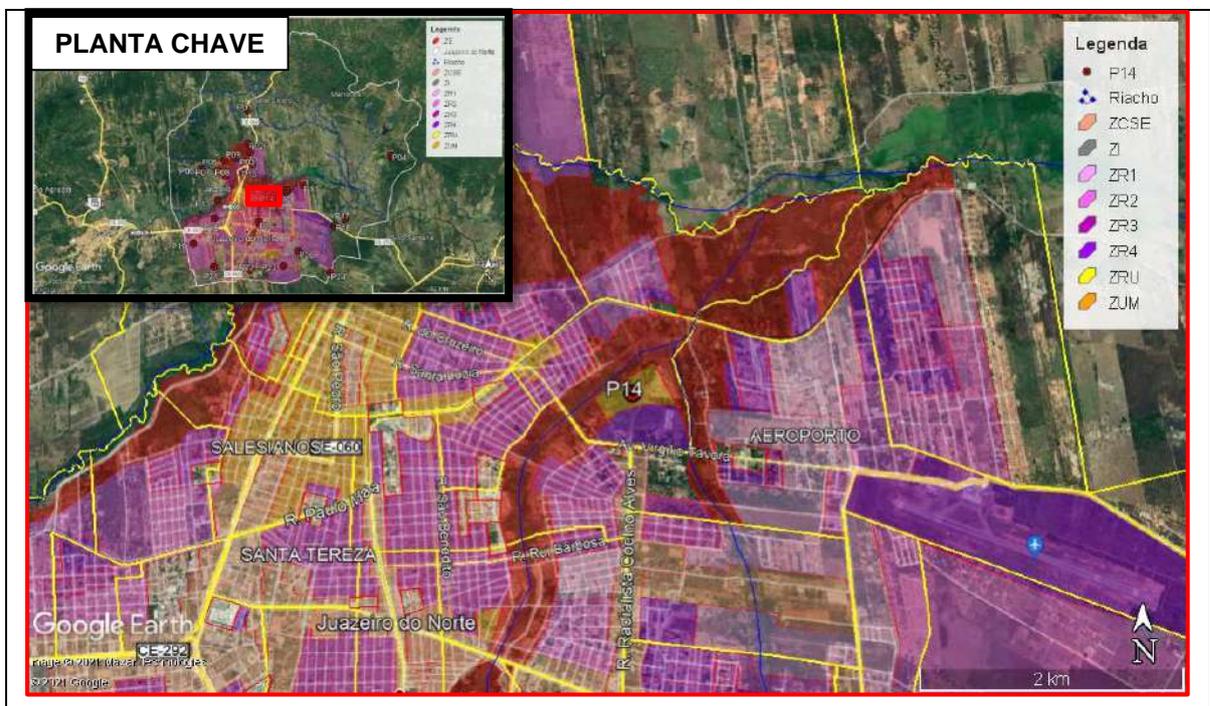
O ponto P14 (coordenadas geográficas 7°12'29.94"S e 39°17'46.87"O), conforme Figura 73, localizado no bairro de Fátima, na Zona de Uso Misto, foi selecionado em área de **alta suscetibilidade** em relação ao mapa resumo.

Trata-se de um ponto identificado numa área de aterro para construção de lotes nas margens do riacho dos Macacos, com a existência de aterro para extensão da área loteada, com fortes marcas de erosão numa espécie de capeamento laterítico, conforme apresentado na Figura 74. As características dos fatores, a classificação tátil visual realizada em campo, e suas respectivas suscetibilidades individuais estão apresentadas na Tabela 23.

O material do ponto P14 é uma areia argilosa, cuja erodibilidade é alta, segundo Llopis Trillo (1999), conforme Tabela 1. Comparando a erodibilidade pela análise tátil-visual (alta suscetibilidade) com a do mapa resumo mostrado na Figura 45 (alta suscetibilidade), as classificações são compatíveis.

Os fatores geológico e pedológico associado ao de uso e ocupação do solo foram determinantes na classificação final após o geoprocessamento. Desta forma, para ocorrer a ocupação de forma adequada, convém a implantação de obras de infraestrutura de drenagem além da compactação do solo dos lotes.

Figura 73 – Localização do Ponto P14



Elaboração: Autora (2021).

Figura 74 – Registro da erosão e material identificados no Ponto P14



Elaboração: Autora (2021).

Tabela 23 – Características e suscetibilidades dos fatores do ponto P14

PARÂMETRO	CATEGORIA	SUSCETIBILIDADE
Uso e Ocupação do Solo	Casas, edifícios, arruamentos, solo exposto	Muito Alta
Relevo	Suave Ondulado	Baixa
Geologia	Depósitos Aluvionares	Muito Alta
Pedologia	Neossolo Flúvico	Muito Alta
Material	Areia argilosa	Alta
Todos	AHP	ALTA

Elaboração: Autora (2021).

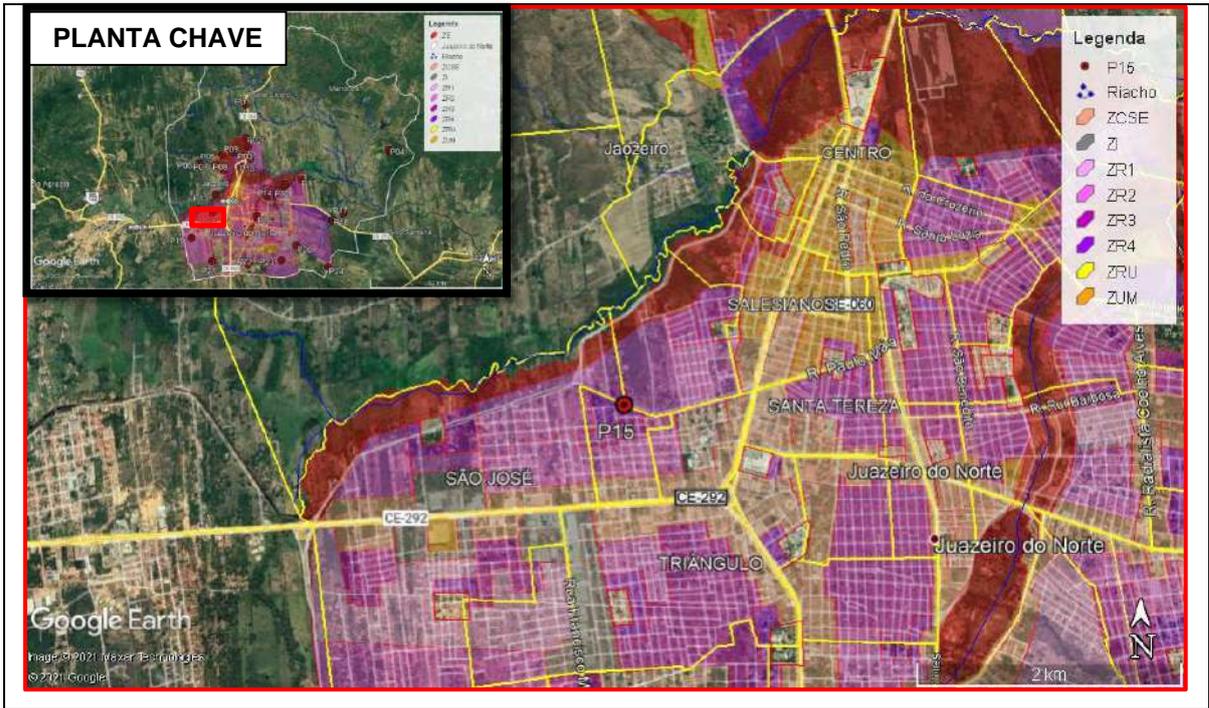
O ponto P15 (coordenadas geográficas 7°13'10.59"S e 39°20'2.67"O), conforme Figura 75, localizado no bairro Antônio Vieira, na Zona Residencial de Alta Densidade (500 hab/ha), foi selecionado em área de **média suscetibilidade** em relação ao mapa resumo.

Trata-se de um ponto identificado numa área recentemente revitalizada nas margens da linha férrea para uso do Veículo Leve sobre Trilho (VLT), que apresenta erosões no solo que provocou o descalçamento na calçada do entorno, conforme apresentado na Figura 76. As características dos fatores, a classificação tátil visual realizada em campo, e suas respectivas suscetibilidades individuais estão apresentadas na Tabela 24.

O material do ponto P15 é do tipo areia siltosa, cuja erodibilidade é muito alta, segundo Llopis Trillo (1999), conforme Tabela 1. Comparando a classe da suscetibilidade à erosão pelo potencial de erodibilidade da análise tátil-visual, as classificações podem ser consideradas compatíveis, mesmo que o resultado do mapa resumo tenha sido média suscetibilidade.

O local em questão é uma área de densidade populacional elevada e que requer intervenções de infraestrutura para drenagens, para evitar problemas com as erosões aceleradas na região.

Figura 75 – Localização do Ponto P15



Elaboração: Autora (2021).

Figura 76 – Registro da erosão e material identificados no Ponto P15



Elaboração: Autora (2021).

Tabela 24 – Características e suscetibilidades dos fatores do ponto P15

PARÂMETRO	CATEGORIA	SUSCETIBILIDADE
Uso e Ocupação do Solo	Casas, edifícios, arruamentos, solo exposto	Muito Alta
Relevo	Ondulado	Média
Geologia	Depósitos Aluvionares	Muito Alta
Pedologia	Neossolo Flúvico	Muito Alta
Material	Areia siltosa	Muito Alta
Todos	AHP	MÉDIA

Elaboração: Autora (2021).

O ponto P16 (coordenadas geográficas 7°13'18.97"S e 39°18'14.02"O), conforme

Figura 77, localizado no bairro Limoeiro, na Zona Especial 2 - Parque Ecológico das Timbaúbas, foi selecionado em área de **alta suscetibilidade** em relação ao mapa resumo.

Trata-se de um ponto identificado numa área escavada com profundas cicatrizes de erosão no talude, conforme apresentado na Figura 78.

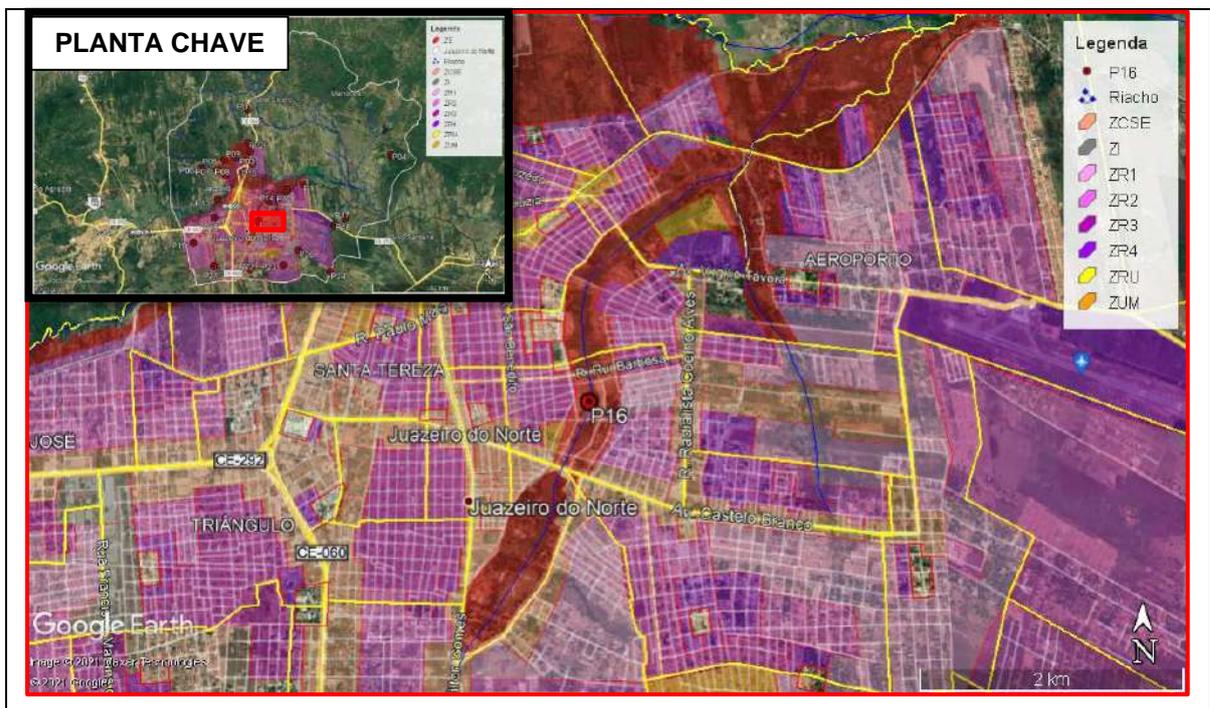
As características dos fatores, a classificação tátil visual realizada em campo, e as respectivas suscetibilidades individuais estão apresentadas na Tabela 25.

O material do ponto P16 trata-se de uma areia siltosa, cuja erodibilidade é muito alta, segundo Llopis Trillo (1999), conforme Tabela 1.

Comparando a erodibilidade pela análise tátil-visual (muito alta suscetibilidade) com a do mapa resumo mostrado na Figura 45 (alta suscetibilidade), as classificações são compatíveis.

Desta forma, convém adotar medidas de contenção do talude em processo erosivo bastante agravado, bem como observar as recomendações do PDDU por se tratar de uma Zona Especial, que possui restrições de ocupação.

Figura 77 – Localização do Ponto P16



Elaboração: Autora (2021).

Figura 78 – Registro da erosão e material identificados no Ponto P16



Elaboração: Autora (2021).

Tabela 25 – Características e suscetibilidades dos fatores do ponto P16

PARÂMETRO	CATEGORIA	SUSCETIBILIDADE
Uso e Ocupação do Solo	Formação Herbácea	Média
Relevo	Ondulado	Média
Geologia	Depósitos Aluvionares	Muito Alta
Pedologia	Área Urbana	N/A
Material	Areia siltosa	Muito Alta
Todos	AHP	ALTA

Elaboração: Autora (2021).

O ponto P17 (coordenadas geográficas 7°13'12.22"S e 39°14'40.44"O), conforme Figura 77, localizado no Brejo Seco, na Zona de Expansão Urbana, foi selecionado em área de **alta suscetibilidade** em relação ao mapa resumo.

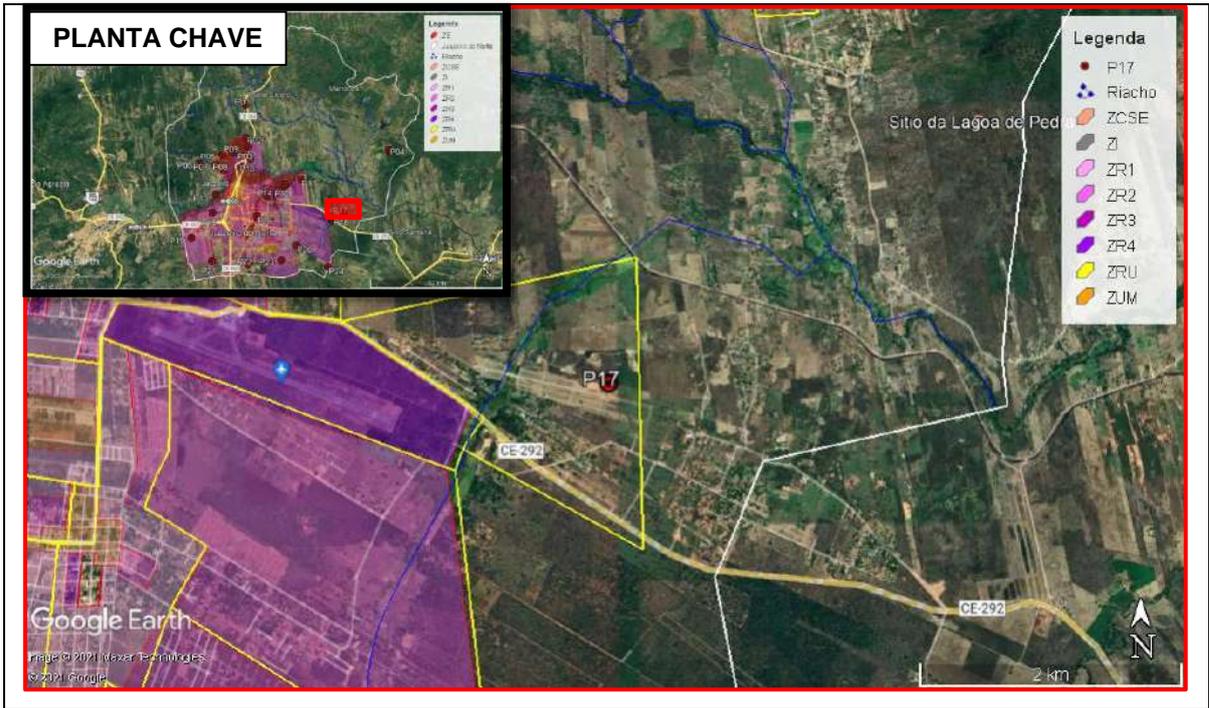
Trata-se de um ponto identificado numa área de vegetação suprimida e terreno conformado para implantação de um loteamento com profundas marcas de erosão na sua superfície, conforme apresentado na Figura 80.

As características dos fatores, a classificação tátil visual realizada em campo, e suas respectivas suscetibilidades individuais estão apresentadas na Tabela 26.

O material do ponto P17 é uma areia siltosa com pedregulho, cuja erodibilidade é muito alta, segundo Llopis Trillo (1999), conforme Tabela 1. Comparando a erodibilidade pela análise tátil-visual (muito alta suscetibilidade) com a do mapa resumo mostrado na Figura 45 (alta suscetibilidade), as classificações são compatíveis.

O ponto P17 é um exemplo do efeito de antropização que, associada aos padrões de relevo, geologia e pedologia, definiu a suscetibilidade final como alta, uma vez que as áreas imediatamente vizinhas são classificadas como formações predominantemente arbustiva, que influenciariam na diminuição do grau de suscetibilidade final.

Figura 79 – Localização do Ponto P17



Elaboração: Autora (2021).

Figura 80 – Registro da erosão e material identificados no Ponto P17



Elaboração: Autora (2021).

Tabela 26 – Características e suscetibilidades dos fatores do ponto P17

PARÂMETRO	CATEGORIA	SUSCETIBILIDADE
Uso e Ocupação do Solo	Casas, edifícios, arruamentos, solo exposto	Muito Alta
Relevo	Ondulado	Média
Geologia	Formação Barbalha	Média
Pedologia	Argissolo Vermelho	Média
Material	Areia siltosa com pedregulho	Muito Alta
Todos	AHP	ALTA

Elaboração: Autora (2021).

O ponto P18 (coordenadas geográficas 7°13'28.40"S e 39°15'6.67"O), conforme Figura 77, localizado no Brejo Seco, na Zona de Expansão Urbana, foi selecionado em área de **alta suscetibilidade** em relação ao mapa resumo.

Trata-se de um ponto identificado numa área escavada com profundas marcas de erosão no seu talude e voçorocas distribuídas no terreno, conforme apresentado na Figura 82.

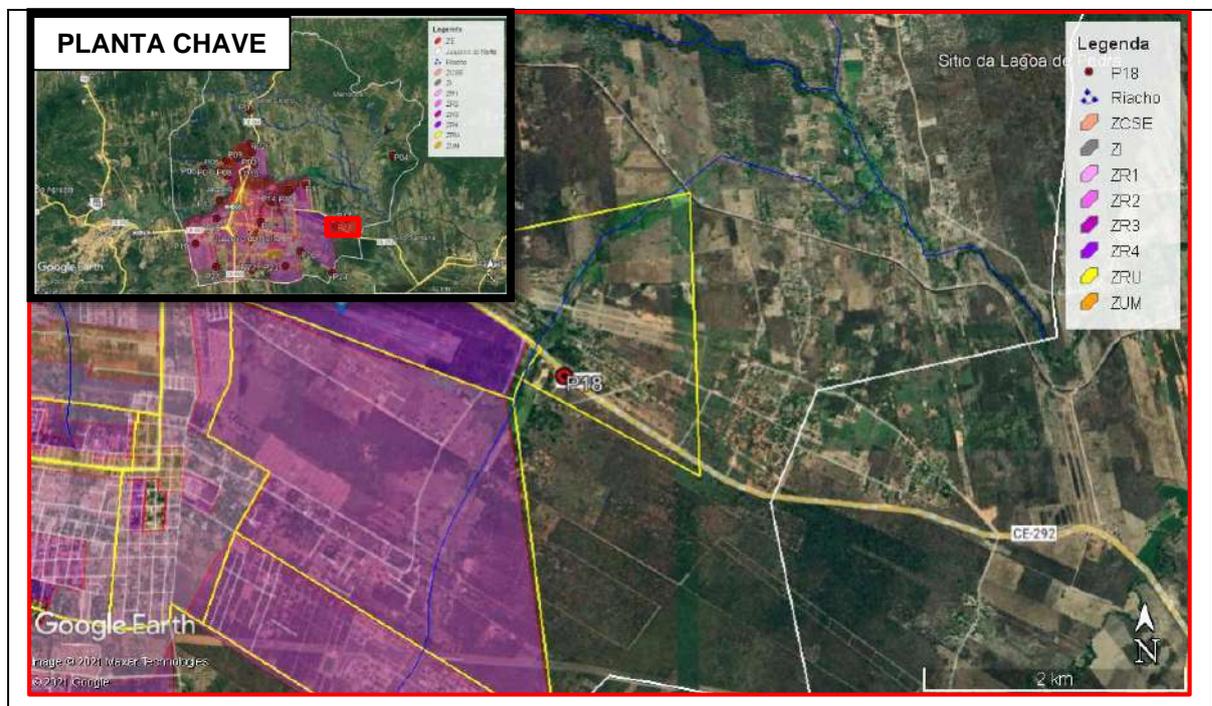
As características dos fatores, a classificação tátil visual realizada em campo, e suas respectivas suscetibilidades individuais estão apresentadas na Tabela 27.

O material do ponto P18 é uma silte arenoso, cuja erodibilidade é muito alta, segundo Llopis Trillo (1999), conforme Tabela 1.

Comparando a erodibilidade pela análise tátil-visual (muito alta suscetibilidade) com a do mapa resumo mostrado na Figura 45 (alta suscetibilidade), as classificações são compatíveis.

O ponto P18 é um exemplo do efeito de antropização que, associada aos padrões de geologia e pedologia, definiu a suscetibilidade final como alta, uma vez que as áreas imediatamente vizinhas são classificadas como formação predominantemente herbácea, que influenciaria diminuindo o grau de suscetibilidade.

Figura 81 – Localização do Ponto P18



Elaboração: Autora (2021).

Figura 82 – Registro da erosão e material identificados no Ponto P18



Elaboração: Autora (2021).

Tabela 27 – Características e suscetibilidades dos fatores do ponto P18

PARÂMETRO	CATEGORIA	SUSCETIBILIDADE
Uso e Ocupação do Solo	Casas, edifícios, arruamentos, solo exposto	Muito Alta
Relevo	Suave Ondulado	Baixa
Geologia	Formação Barbalha	Média
Pedologia	Neossolo Flúvico	Muito Alta
Material	Silte arenoso	Muito Alta
Todos	AHP	ALTA

Elaboração: Autora (2021).

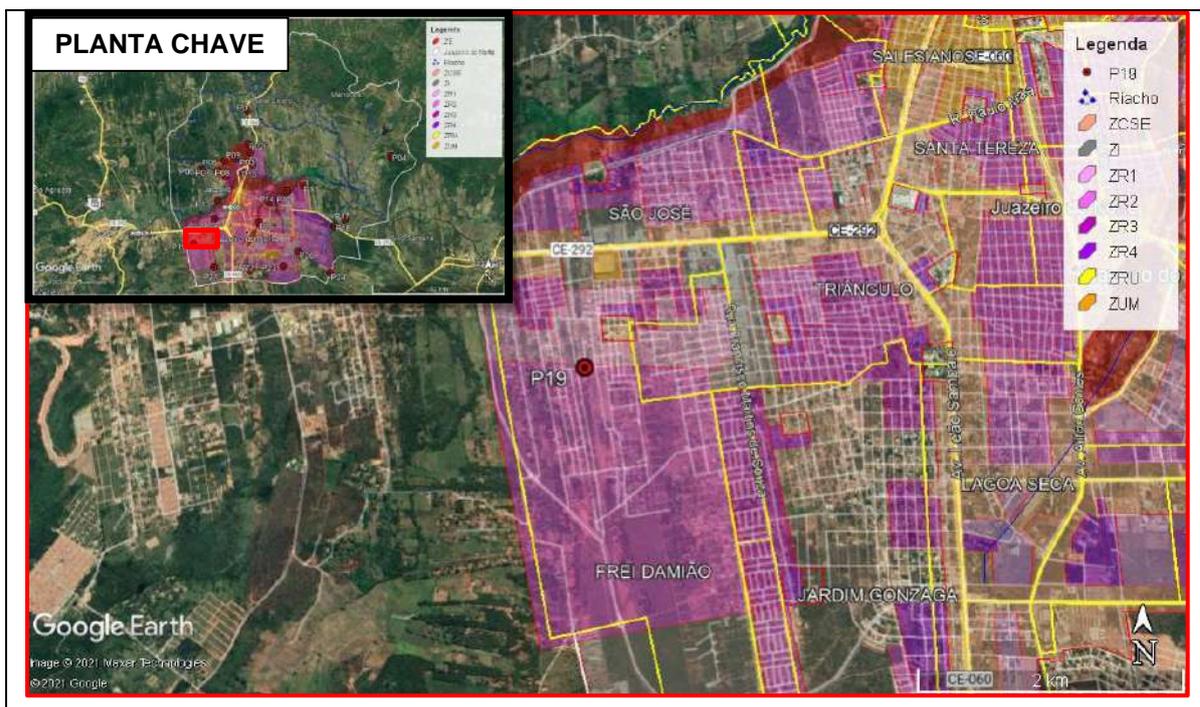
O ponto P19 (coordenadas geográficas 7°14'11.28" e 39°20'54.52"O), conforme Figura 83, localizado no bairro São José, na Zona Residencial de Baixa Densidade (100 hab/ha), foi selecionado em área de **alta suscetibilidade** em relação ao mapa resumo.

Trata-se de um ponto identificado numa área escavada com profundas marcas de erosão no seu talude e distribuídas no terreno, conforme apresentado na Figura 84. As características dos fatores, a classificação tátil visual realizada em campo, e suas respectivas suscetibilidades individuais estão apresentadas na Tabela 28.

O tipo de solo do ponto P19 trata-se de uma areia argilosa, cuja erodibilidade é alta, segundo Llopis Trillo (1999), conforme Tabela 1. Comparando o potencial de erodibilidade obtido pela análise tátil-visual (alta suscetibilidade) com a classe de suscetibilidade à erosão do mapa resumo mostrado na Figura 45 (alta suscetibilidade), as classificações são compatíveis.

Esta área é caracterizada por forte urbanização, com sérios problemas de erosões intensas, em decorrência da ausência de infraestrutura de drenagens adequadas. Os efeitos do relevo e da geologia associados ao uso e ocupação do solo foram determinantes na classificação final.

Figura 83 – Localização do Ponto P19



Elaboração: Autora (2021).

Figura 84 – Registro da erosão e material identificados no Ponto P19



Elaboração: Autora (2021).

Tabela 28 – Características e suscetibilidades dos fatores do ponto P19

PARÂMETRO	CATEGORIA	SUSCETIBILIDADE
Uso e Ocupação do Solo	Casas, edifícios, arruamentos, solo exposto	Muito Alta
Relevo	Ondulado	Média
Geologia	Formação Barbalha	Média
Pedologia	Área Urbana	N/A
Material	Areia argilosa	Alta
Todos	AHP	ALTA

Elaboração: Autora (2021).

O ponto P20 (coordenadas geográficas 7°14'30.04"S e 39°16'36.58"O), conforme Figura 85, localizado no bairro Campo Alegre, na Zona Residencial de Baixa Densidade (100 hab/ha), foi selecionado em área de **alta suscetibilidade** em relação ao mapa resumo.

Trata-se de um ponto identificado numa área escavada em rodovia vicinal sem revestimento e com profundas marcas de erosão, conforme apresentado na Figura 86.

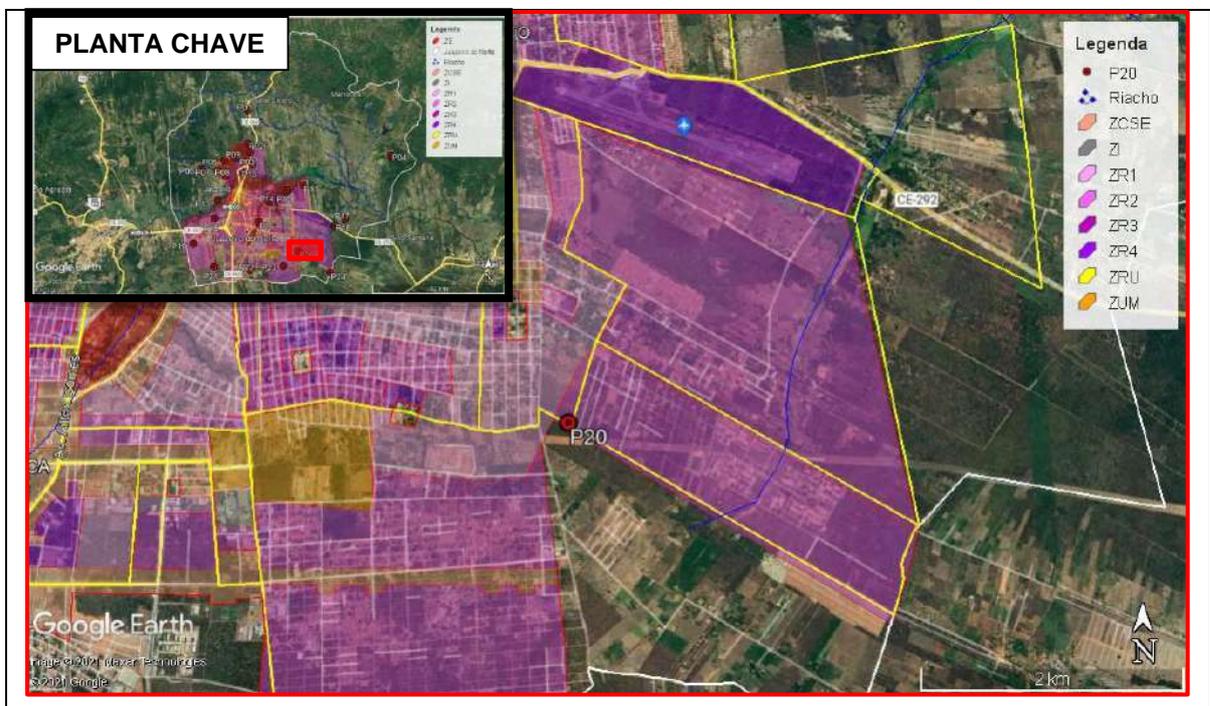
As características dos fatores, a classificação tátil visual realizada em campo, e suas respectivas suscetibilidades individuais estão apresentadas na Tabela 29.

O material do ponto P20 é uma areia fina argilosa, de erodibilidade muito alta, segundo Llopis Trillo (1999), conforme Tabela 1.

Comparando este potencial de erodibilidade com a classificação do mapa resumo mostrado na Figura 45 (alta suscetibilidade), verifica-se uma compatibilidade.

O ponto P20 é um exemplo do efeito de antropização que, associada ao relevo, à geologia e à pedologia, definiu a suscetibilidade final como alta, uma vez que as áreas imediatamente vizinhas são classificadas como formações arbórea, arbustiva e herbácea, que influenciariam na diminuição do grau de suscetibilidade, o que não ocorreu. Convém que a ocupação seja realizada com intervenções de infraestrutura de drenagem para evitar erosões.

Figura 85 – Localização do Ponto P20



Elaboração: Autora (2021).

Figura 86 – Registro da erosão e material identificados no Ponto P20



Elaboração: Autora (2021).

Tabela 29 – Características e suscetibilidades dos fatores do ponto P20

PARÂMETRO	CATEGORIA	SUSCETIBILIDADE
Uso e Ocupação do Solo	Casas, edifícios, arruamentos, solo exposto	Muito Alta
Relevo	Ondulado	Média
Geologia	Formação Barbalha	Média
Pedologia	Argissolo Vermelho	Média
Material	Areia fina argilosa	Muito Alta
Todos	AHP	ALTA

Elaboração: Autora (2021).

O ponto P21 (coordenadas geográficas 7°15'8.97"S e 39°20'4.18"O), conforme Figura 87, localizado no bairro Jardim Gonzaga, na Zona Residencial de Alta Densidade (500 hab/ha), foi selecionado em área de **alta suscetibilidade** em relação ao mapa resumo.

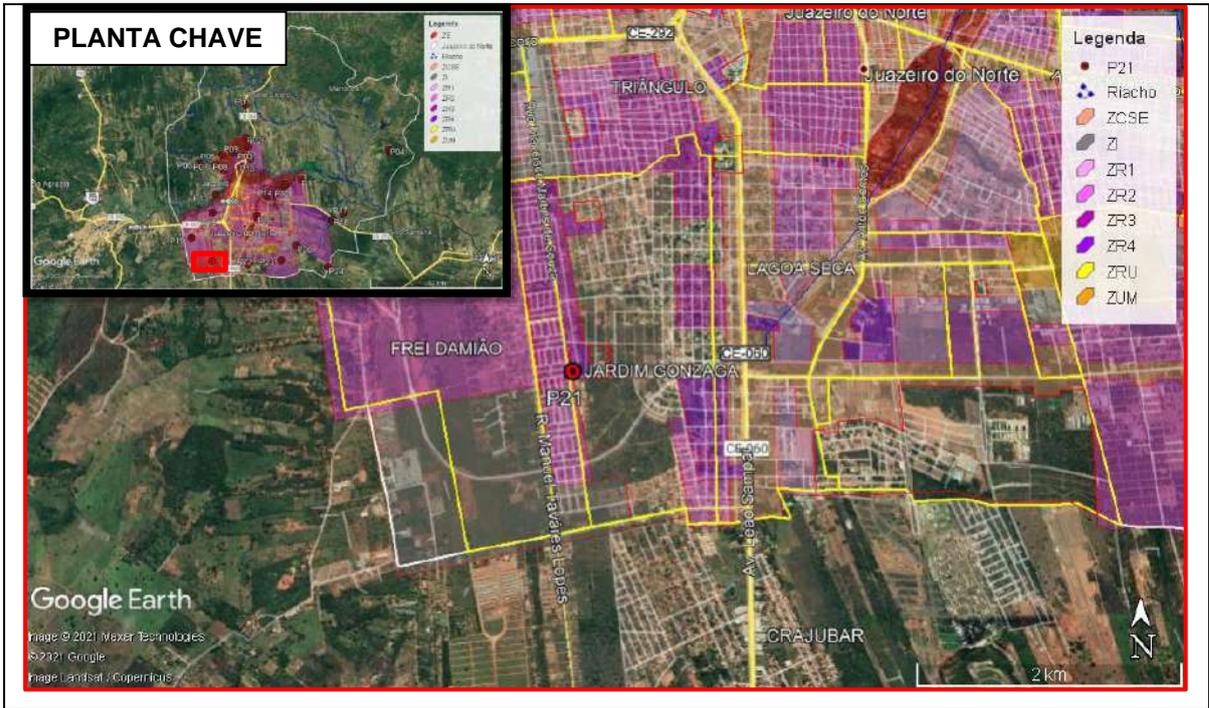
Trata-se de um ponto identificado numa área de implantação de uma rodovia local cujo revestimento foi removido em decorrência das fortes erosões no entorno, conforme apresentado na Figura 88.

As características dos fatores, a classificação tátil visual realizada em campo, e suas respectivas suscetibilidades individuais estão apresentadas na Tabela 29.

O material do ponto P21 é uma areia siltosa, cuja erodibilidade é muito alta, segundo Llopis Trillo (1999), conforme Tabela 1.

Comparando a erodibilidade pela análise tátil-visual com a do mapa resumo mostrado na Figura 45, as classificações são compatíveis. O local em questão é uma área de densidade populacional elevada e que requer intervenções de infraestrutura para drenagem e evitar problemas com as erosões que assolam a região.

Figura 87 – Localização do Ponto P21



Elaboração: Autora (2021).

Figura 88 – Registro da erosão e material identificados no Ponto P21



Elaboração: Autora (2021).

Tabela 30 – Características e suscetibilidades dos fatores do ponto P21

PARÂMETRO	CATEGORIA	SUSCETIBILIDADE
Uso e Ocupação do Solo	Casas, edifícios, arruamentos, solo exposto	Muito Alta
Relevo	Ondulado	Média
Geologia	Formação Barbalha	Média
Pedologia	Argissolo Vermelho	Média
Material	Areia silteosa	Muito Alta
Todos	AHP	ALTA

Elaboração: Autora (2021).

O ponto P22 (coordenadas geográficas 7°15'8.97"S e 39°20'4.18"O), conforme Figura 89, localizado no bairro Cidade Universitária, na Zona Residencial de Baixa Densidade (100 hab/ha), foi selecionado em área de **alta suscetibilidade** em relação ao mapa resumo.

Trata-se de um ponto identificado numa área escavada para implantação de um loteamento que, associado ao prévio desmatamento, o talude apresentou profundas marcas de erosão, conforme apresentado na Figura 90.

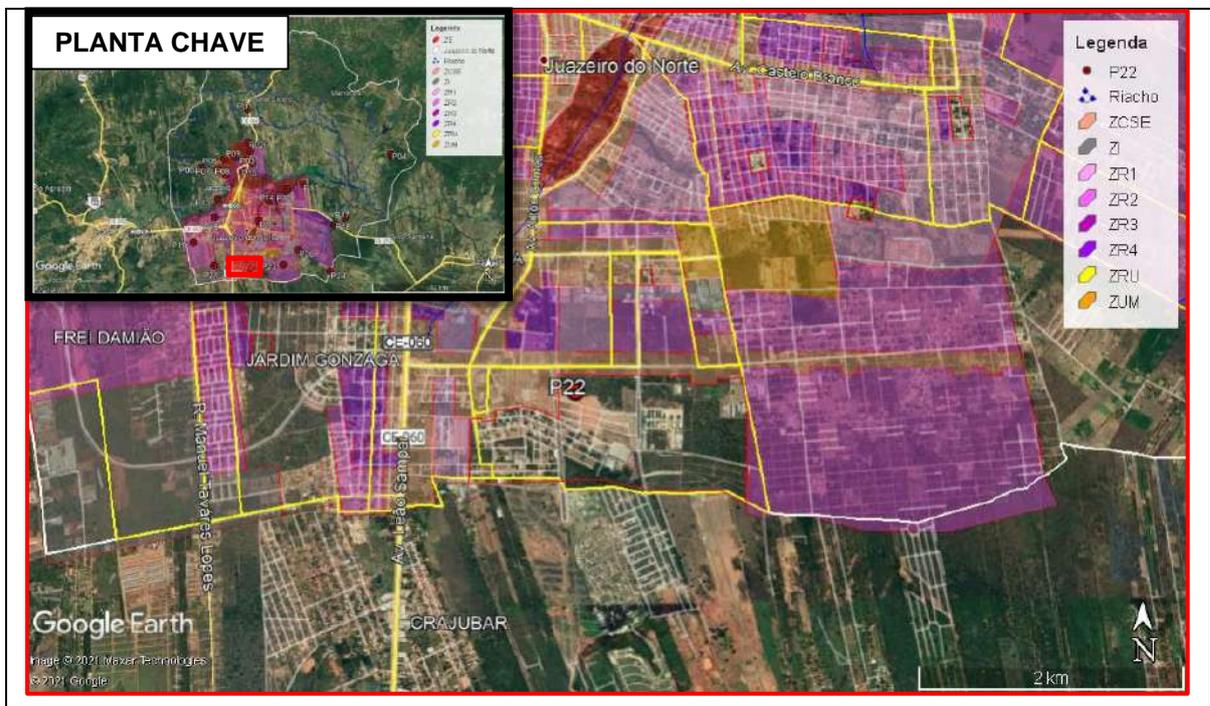
As características dos fatores, a classificação tátil visual realizada em campo, e suas respectivas suscetibilidades estão apresentadas na Tabela 31.

O material do ponto P22 é uma areia argilosa, cuja erodibilidade é alta, segundo Llopis Trillo (1999), conforme Tabela 1.

Comparando com o mapa resumo mostrado na Figura 45, pode-se considerar que as classificações são compatíveis.

O ponto P22 é um exemplo do efeito de antropização que, associada aos padrões de geologia e pedologia, definiu a suscetibilidade final como alta, uma vez que as áreas imediatamente vizinhas são classificadas predominantemente como formação herbácea, que influenciaria na diminuição do grau de suscetibilidade final, o que não ocorreu. É importante que as áreas que estão sendo urbanizadas nas proximidades recebam a infraestrutura adequada.

Figura 89 – Localização do Ponto P22



Elaboração: Autora (2021).

Figura 90 – Registro da erosão e material identificados no Ponto P22



Elaboração: Autora (2021).

Tabela 31 – Características e suscetibilidades dos fatores do ponto P22

PARÂMETRO	CATEGORIA	SUSCETIBILIDADE
Uso e Ocupação do Solo	Casas, edifícios, arruamentos, solo exposto	Muito Alta
Relevo	Suave Ondulado	Baixa
Geologia	Depósitos Colúvio-Eluviais	Muito Alta
Pedologia	Argissolo Vermelho	Média
Material	Areia argilosa	Alta
Todos	AHP	ALTA

Elaboração: Autora (2021).

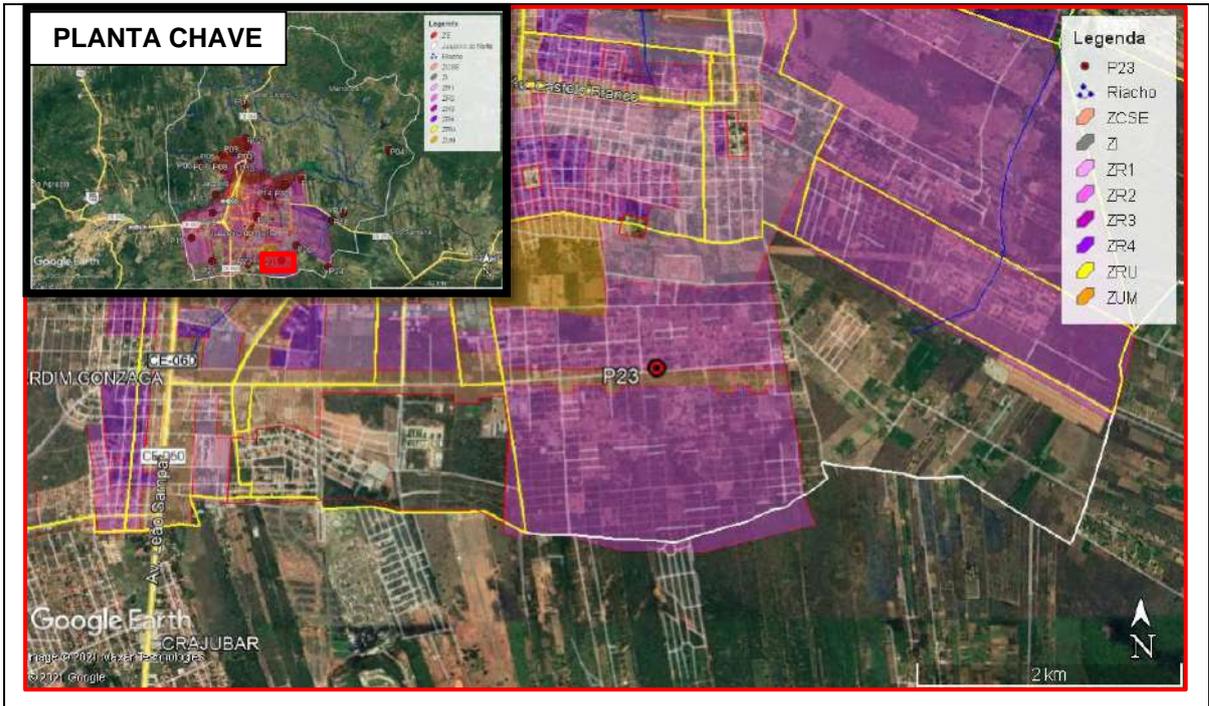
O ponto P23 (coordenadas geográficas 7°15'5.42"S e 39°17'12.76"O), conforme Figura 91, localizado no bairro Campo Alegre, na Zona Residencial de Baixa Densidade (100 hab/ha), foi selecionado em área de **alta suscetibilidade** em relação ao mapa resumo.

Trata-se de um ponto identificado numa área de terreno natural onde está disposta uma estrada local sem revestimento com marcas profundas de erosão, conforme apresentado na Figura 92. As características dos fatores, a classificação tátil visual realizada em campo, e suas respectivas suscetibilidades individuais estão apresentadas na Tabela 32.

O material do ponto P23 é uma areia fina argilosa, cuja erodibilidade é muito alta, segundo Llopis Trillo (1999), conforme Tabela 1. Comparando a erodibilidade pela análise tátil-visual (muito alta suscetibilidade) com a do mapa resumo mostrado na Figura 45 (alta suscetibilidade), as classificações são compatíveis.

A área do ponto P23 é localizada numa região muito populosa e carente de infraestrutura, sobretudo a de arruamentos e drenagem. Importante se faz pontuar que é necessária a intervenção para proteção dessa área por se tratar de um local altamente suscetível à erosão e com marcas em muitos pontos.

Figura 91 – Localização do Ponto P23



Elaboração: Autora (2021).

Figura 92 – Registro da erosão e material identificados no Ponto P23



Elaboração: Autora (2021).

Tabela 32 – Características e suscetibilidades dos fatores do ponto P23

PARÂMETRO	CATEGORIA	SUSCETIBILIDADE
Uso e Ocupação do Solo	Casas, edifícios, arruamentos, solo exposto	Muito Alta
Relevo	Ondulado	Média
Geologia	Formação Barbalha	Média
Pedologia	Área Urbana	N/A
Material	Areia fina argilosa	Muito Alta
Todos	AHP	ALTA

Elaboração: Autora (2021).

O ponto P24 (coordenadas geográficas 7°15'22.78"S e 39°15'17.96"O), conforme Figura 93, localizado no Mons. Fco. Murilo Sá Barreto, na Zona de Expansão Urbana, foi selecionado em área de **alta suscetibilidade**.

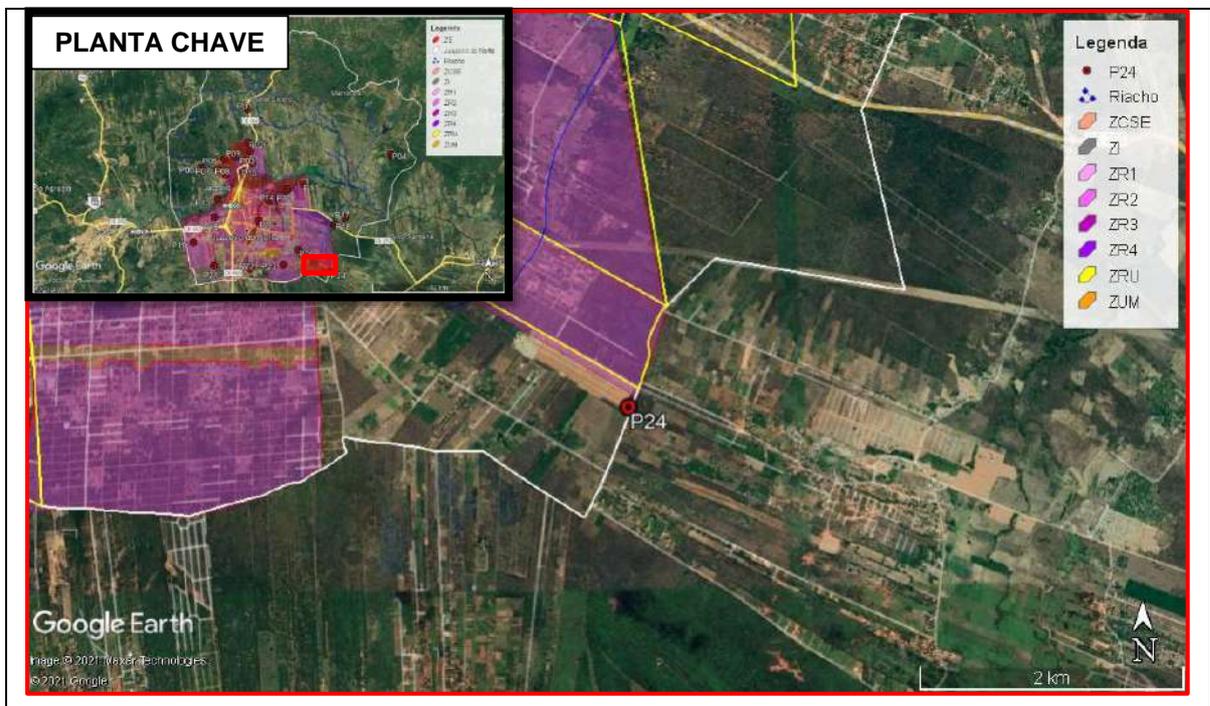
Trata-se de um ponto identificado numa área de terreno natural, nas proximidades do Condomínio Minha Casa Minha Vida, onde há uma estrada local sem revestimento com marcas profundas de erosão, conforme Figura 94.

As características dos fatores, a classificação tátil visual, e suas respectivas suscetibilidades estão apresentadas na Tabela 32.

O material do ponto P24 é uma areia fina argilosa (erodibilidade muito alta), segundo Llopis Trillo (1999), conforme Tabela 1.

Comparando com a do mapa resumo mostrado na Figura 45 (alta suscetibilidade), estas são compatíveis. O local é um exemplo do efeito de antropização que, associada a geologia e pedologia, definiu a suscetibilidade final, uma vez que as áreas vizinhas são predominantemente arbustivas, que influenciaria diminuindo o grau de suscetibilidade. No entanto, o fator de uso e ocupação do solo foi determinante na classificação final. É importante que a área receba a infraestrutura de arruamento e drenagem adequadas para não contribuir com o aumento das erosões no solo da região.

Figura 93 – Localização do Ponto P24



Elaboração: Autora (2021).

Figura 94 – Registro da erosão e material identificados no Ponto P24



Elaboração: Autora (2021).

Tabela 33 – Características e suscetibilidades dos fatores do ponto P24

PARÂMETRO	CATEGORIA	SUSCETIBILIDADE
Uso e Ocupação do Solo	Casas, edifícios, arruamentos, solo exposto	Muito Alta
Relevo	Suave Ondulado	Baixa
Geologia	Formação Barbalha	Média
Pedologia	Argissolo Vermelho	Média
Material	Areia fina argilosa	Muito Alta
Todos	AHP	ALTA

Elaboração: Autora (2021).

5.3. Mapa de Suscetibilidade à Erosão de Juazeiro do Norte/CE

Essa pesquisa foi desenvolvida com o objetivo primordial de contribuir com a ciência voltada para o desenvolvimento regional sustentável, buscando equilíbrio entre a sociedade, o meio ambiente e a economia local, auxiliando o município no desenvolvimento de políticas públicas que a favoreça o uso e ocupação do solo.

Como o Plano Diretor do município de Juazeiro do Norte/CE está sendo revisado para publicação em formato atualizado, os resultados desta pesquisa podem ser amplamente utilizados pelos técnicos municipais a fim de terem a devida atenção às formas de uso e ocupação do solo. Ressalta-se a importância do produto desta pesquisa para a elaboração de outras cartas geotécnicas em escalas de melhor visualização, como as cartas geotécnicas de aptidão urbana e o mapa de áreas de risco de deslizamento e erosões, entre outros instrumentos de planejamento e gestão territorial.

Desta forma, está apresentada no Apêndice C o Mapa de Suscetibilidade à Erosão do Município de Juazeiro do Norte/CE, com seus mapas de fatores (uso e ocupação do solo, relevo, geologia, pedologia e erosividade da chuva), os mapas de suscetibilidade individuais e o respectivo mapa final, com exemplos de locais que foram indicados com baixa, média e alta suscetibilidade à erosão.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A fim de contribuir com o planejamento do uso e ocupação do solo, sobretudo nas áreas em potencial expansão urbana, buscou-se, por meio deste trabalho, elaborar um mapa de suscetibilidade à erosão, através da metodologia SIG, usando como fatores de estudo, os temas de: uso e ocupação do solo, relevo, geologia, pedologia e erosividade da chuva.

A aplicação do método heurístico associada ao geoprocessamento de dados SIG se deu tanto pela simplicidade de aplicação, o que os demais métodos demandariam uma equipe multidisciplinar e aquisição de dados em melhor escala, quanto pela ausência de dados cadastrais para montar inventários, por exemplo, de natureza de ocorrência de erosões.

Após o geoprocessamento em ambiente SIG foi visto que, cerca de 93,5% do território de Juazeiro do Norte é formado por relevo plano a suave ondulado, com suscetibilidades baixa. Apenas algumas regiões, sobretudo a do Horto, somando-se 6,5% é fortemente ondulado (declividade entre 20 e 45%) a montanhoso (declividade entre 45 e 75%), variando entre suscetibilidades alta a muito alta, respectivamente.

Em relação ao fator de uso e ocupação do solo, com base nas imagens de satélite e com o geoprocessamento adotado neste trabalho, cerca de 70% do município é composto por área verde (formações arbóreas, arbustivas e herbáceas). No entanto, as áreas de vegetação herbácea, muitas vezes, apresentaram processos erosivos, algumas vezes associadas à retirada da vegetação local.

Durante a inspeção de campo, um fator que chamou atenção foi a ocupação urbana ao longo das margens dos riachos; a exemplo do riacho dos Macacos, que está sendo urbanizado de forma desenfreada, onde verificou-se o avanço das construções e o assoreamento da calha. No entanto, a infraestrutura urbana (casas, edificações, arruamentos e supressão vegetal com escavação para construção de loteamentos), cuja classe de suscetibilidade é muito alta, tem aumentado em todo território municipal nos últimos vinte anos, em que se registraram os valores de ocupação de 4% (no ano de 2000), de 13% (no ano de 2019) e de 16% (em 2021) do território. Além do aumento expressivo do percentual nesses dois últimos anos, vários problemas decorrentes dos processos erosivos são vistos num simples passeio pelas ruas da cidade.

Com relação aos pontos inspecionados em campo, para avaliação do potencial de erodibilidade do solo, verificou-se que todos confirmaram as classificações do mapa de suscetibilidade à erosão. Ressalta-se que as áreas com reservas de vegetação arbórea e arbustiva, apresentaram classificação de baixa suscetibilidade; no entanto, ao sofrer modificações com o

uso e ocupação inadequado do solo, podem apresentar graves problemas ambientais, como se tem observado na Zona Especial 2, especificamente no Parque Natural Municipal das Timbaúbas, onde os pontos de forte urbanização foram classificados com alta ou média suscetibilidade à erosão; e as áreas com vegetações arbórea e arbustiva foram classificadas de baixa suscetibilidade.

Ao longo de toda a análise, foi observado que o fator determinante para a classificação da suscetibilidade é o uso e ocupação do solo, que nesta categoria recebeu o maior peso para a classe de Infraestrutura Urbana. Esta é uma conclusão importante, onde o efeito da categoria de Infraestrutura Urbana, tem dentro do fator de uso e ocupação do solo, fomentando o surgimento de áreas altamente suscetíveis à erosão. O uso de *raster* como identificador de infraestrutura urbana incidiu diretamente na classificação das áreas de alta suscetibilidade. Também foi identificado que algumas áreas classificadas com baixa suscetibilidade possuem avançados processos erosivos, nitidamente provocados pela ausência ou precária infraestrutura de drenagens e proteção do solo na área.

De acordo com o mapa final elaborado, a distribuição das áreas suscetíveis à erosão do território urbano e de expansão urbana do município de Juazeiro do Norte/CE apresentou-se da seguinte forma: cerca de 22% da área total foi classificada como de alta suscetibilidade (5,7 mil ha); cerca de 37% da área total foi classificada como de média suscetibilidade (9,5 mil ha); cerca de 41% da área total foi classificada como de baixa suscetibilidade (10,5 mil ha); ou seja, mais da metade das áreas (59%, 15,2 mil ha) são classificadas como de média e alta suscetibilidade aos processos erosivos.

Diante do Mapa de Suscetibilidade à erosão apresentado no Apêndice C, considerando que ao longo dos anos o município tem se expandido num primeiro momento em direção ao Crato (p. ex. o crescimento do bairro São José) e de forma mais sutil em direção à Missão Velha, considera-se que esta segunda área de expansão seria a menos impactante, por apresentar áreas de baixa suscetibilidade. Além desta, as áreas mais na porção ao norte do Rio Salgadinho, também possui áreas de baixa suscetibilidade, podendo ser indicadas como áreas de expansão urbana. No entanto, é válido salientar a importância de uma implantação adequada de obras de infraestrutura de drenagens e de proteção do solo, por exemplos. Além disso, observou-se que a implantação de loteamentos vem sendo feita muito próxima das margens dos rios e riachos, o que pode contribuir com o assoreamento da rede de drenagem do município.

Como proposta para estudos futuros, sugere-se:

- ✓ Elaborar cartas geotécnicas de suscetibilidade à erosão dos demais municípios da RM-Cariri para avaliar o potencial erosivo em nível

metropolitano;

- ✓ Elaboração de carta geotécnica de suscetibilidade usando outras técnicas de sobreposição (como a fuzzy, por exemplo) e validar pelo método USLE;
- ✓ Elaboração de cartas de aptidão urbanística e de áreas de risco de erosão e deslizamentos;
- ✓ Retirada de amostras de solos para estudos de erodibilidade em laboratório;
- ✓ Unir dados para elaboração de cartas geotécnicas de suscetibilidade à erosão, movimentos de massa e inundações.

REFERÊNCIAS

ACOSTA, Alberto. **O Bem Viver: uma oportunidade para imaginar outros mundos**. Tradução de Tadeu Breda. São Paulo: Autonomia Literária/Elefante, 2016. 264 p.

ALHEIROS, Margareth Mascarenhas. **Riscos de escorregamentos na Região Metropolitana do Recife**. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 1998.

AMARAL JUNIOR, Alberto Ferreira do. **Mapeamento geotécnico aplicado a análise de processos de movimentos de massa gravitacionais: Costa Verde-RJ-escala 1:10.000**. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

AMARO, Rogério Roque. Desenvolvimento—um conceito ultrapassado ou em renovação? Da teoria à prática e da prática à teoria. **Cadernos de estudos africanos**, n. 4, p. 35-70, 2003.

AMORA, Zenilde Baima; COSTA, Maria Clélia Lustosa. Olhando o mar do sertão: a lógica das cidades médias no Ceará. **Cidades Médias: Espaços em Transição. São Paulo: Expressão Popular**, p. 343-378, 2007.

ASSINE, Mário Luís; PERINOTTO, José Alexandre de Jesus; CUSTÓDIO, Michele Andriolli; NEUMANN, Virgínio Henrique; VAREJÃO, Filipe Giovanini; MESCOLOTTI, Patricia Colombo. Sequências deposicionais do Andar Alagoas da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, v. 22, n. 1, p. 3-28, jan./jun. 2014.

ATLAS DO DESENVOLVIMENTO HUMANO DO BRASIL. **Juazeiro do Norte**. Disponível em: <http://www.atlasbrasil.org.br/perfil/municipio/230730>. Acesso em 28 jun. 2020.

AYUB, Ulisses; KOURY, Ana Paula. Mobilidade Urbana: Uma questão em aberto no novo Plano Diretor da cidade de São Paulo. **Revista Projetar-Projeto e Percepção do Ambiente**, v. 2, n. 1, p. 69-84, 2017.

BADALO. Entre loteamentos, casas e prédios: assim cresce Juazeiro do Norte. **Portal Badalo**. Disponível em: <https://www.badalo.com.br/cariri/entre-loteamentos-casas-e-predios-assim-cresce-juazeiro-do-norte/>. Acesso em 19 de set. 2021.

BANDEIRA, Ana Patrícia Nunes. **Mapa de risco de erosão e escorregamento das encostas com ocupações desordenadas no município de Camaragibe-PE**. XXIII, 209 folhas: il., tab., fig., fotos e símbolos. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.

BANDEIRA, Ana Patrícia Nunes; NUNES, Paula Hemília de Souza; LIMA, Maria Gorethe de Sousa. Gerenciamento de riscos ambientais em municípios da região metropolitana do Cariri (Ceará). **Ambiente & Sociedade**, v. 19, n. 4, p. 81-100, 2016.

BANDEIRA, Ana Patricia Nunes; MACEDO, Cicera Camila Alves; CLARINDO, Gerbeson Sampaio; LIMA, Maria Gorethe de Sousa; NETO, João Barbosa de Souza. *Assessment of potential surface degradation resulting from erosion processes in environmentally protected area*. **Soils and Rocks**, v. 44, 2021.

BARREDO, JoséI; BENAVIDES, Annetty; HERVÁS, Javier; WESTEN, Cees J. van. *Comparing heuristic landslide hazard assessment techniques using GIS in the Tirajana basin, Gran Canaria Island, Spain. International journal of applied earth observation and geoinformation*, v. 2, n. 1, p. 9-23, 2000.

BARROS, Antônio Soares; DE FARIAS, Lucas Menezes; MARINHO, Jefferson Luiz Alves. Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na Caracterização da Cobertura Vegetativa de Juazeiro Do Norte–CE. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 13, n. 6, p. 2885-2895, 2020.

BATISTA, Célio Augusto Alves. **As Histórias do Cariri: Fatos e Personagens**. Organizadores: Célio Augusto Alves Batista e Halley Guimarães Batista. Fortaleza: RDS Editora, 2020. 346p.

BITAR, Omar Yazbek. **Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações-1: 25.000: nota técnica explicativa**. IPT; CPRM, 2014.

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília: Senado Federal. 1988.

BRASIL. Lei Federal N° 10.257 de 10 de julho de 2001: **Estatuto da Cidade**. Brasília. 2001.

BRASIL. Lei Federal N° 11.977 de 07 de julho de 2009: **Programa Minha Casa, Minha Vida – PMCMV e a regularização fundiária de assentamentos localizados em áreas urbanas**. Brasília. 2009.

BRASIL. Lei Federal N° 12.608 de 10 de abril de 2012: **Política Nacional de Proteção e Defesa Civil**. Brasília. 2012.

BRITO NEVES, Benjamim Bley de; NETO, Mario da Costa Campos. A faixa de dobramentos do Rio Salgado, norte-noroeste da Zona Transversal-Província Borborema (PB-CE). *Geologia USP. Série Científica*, v. 16, n. 3, p. 3-17. 2016.

BUARQUE, Sérgio José Cavalcanti; LIMA, Ricardo. **Manual de Estratégia de Desenvolvimento para Aglomerações Urbanas**. Brasília, IPEA. 2005.

CEARÁ. Lei Complementar N° 78 de 26 de junho de 2009. **Diário Oficial do Estado do Ceará**. Série 3, a. 1, n. 121. 2009.

CEARÁ. Governo do estado do Ceará. **Geopark Araripe: histórias da Terra, do Meio Ambiente e da Cultura**. Projeto Cidades do Ceará, Crato-CE: 2012.

CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais). **Histórico da criação do CEMADEN**. Disponível em: <http://www.cemaden.gov.br/historico-da-criacao-do-cemaden/>. Acesso em 08 jul. 2020.

CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais). **Plano Diretor (2019-2022)**. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. 2019.

CIDADES (MINISTÉRIO DAS CIDADES). **Plano diretor participativo**. Disponível em: <http://planodiretor.mprs.mp.br/arquivos/planoparticipativo.pdf>. Acesso em 28/06/2020.

COSTA, Kassius Vinissius de Moraes. **Parâmetros hidrossedimentológicos da bacia hidrográfica do São José, no Cariri cearense**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2013.

COSTA SILVA, Josué da; SANTOS, Sheila Castro dos; SILVA, Adnilson de Almeida. Planejamento e Plano Diretor de Porto Velho. **Revista da ANPEGE**, v. 7, n. 08, p. 81-92, 2011.

DALMAS, Fabrício Bau; OLIVEIRA, Fábio Rodrigo de; SILVA, Isis Sacramento da; SANTOS, Alex Joci dos; PARANHOS FILHO, Antonio Conceição; MACEDO, Arlei Benedito. Development and assessment of an erosion and landslide predictive model for the coastal region of the State of São Paulo, Brazil. **Pesquisas em Geociências**, 42(2): 173-186. 2015.

DE SENDAI, ONU Marco. **Marco de Sendai para a Redução do Risco de Desastres 2015-2030**. 2015. 25 p.

DIÁRIO DO NORDESTE. Verticalização de Juazeiro do Norte cresce mais de 1.000% em 9 anos. **Diário do Nordeste**. Disponível em: <https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/negocios/verticalizacao-de-juazeiro-do-norte-crece-mais-de-1-000-em-9-anos-1.2190418>. Acesso em 19 de set. 2021.

DOS SANTOS, Deborah Macêdo. **Construções Residenciais no Município de Juazeiro do Norte/CE com Base no Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional Sustentável) – Universidade Federal do Cariri, Crato. 2013.

DOS SANTOS, Humberto Gonçalves; JACOMINE, Paulo Klinger Tito; ANJOS, Lúcia Helena Cunha dos; OLIVEIRA, Virlei Álvaro de; LUMBRERAS, Jose Francisco; COELHO, Mauricio Rizzato; ALMEIDA, Jaime Antonio de; ARAUJO FILHO, Jose Coelho de; OLIVEIRA, João Bertoldo de; CUNHA, Tony Jarbas Ferreira. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa. 2018.

FABRÍCIO, Edmar Pereira; BRUM, Nelci Denti; PINTO, Rodrigo Barcelos; KÖHLER, Felipe Ariel. Planejamento urbano sustentável. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 2, p. 1326-1338. 2019.

FECHINE SOBRINHO, Vicente. **Aplicação do método das isozonas na obtenção das equações IDF de chuvas intensas dos municípios de Juazeiro do Norte, Barbalha e Crato–CE**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Juazeiro do Norte. 2012.

FELL, Robin; COROMINAS, Jordi; BONNARD, Christophe; CASCINI, Leonardo; LEROI, Eric; SAVAGE, William Z. *Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning*. **Engineering Geology**, v. 102, p. 83-111. 2008.

FERNANDES, Nelson Ferreira; GUIMARÃES, Renato Fontes; GOMES, Roberto Arnaldo Trancoso; VIEIRA, Bianca Carvalho; MONTGOMERY, David R.; GREENBERG, Harvey.

Condicionantes geomorfológicos dos deslizamentos nas encostas: avaliação de metodologias e aplicação de modelo de previsão de áreas suscetíveis. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 2, n. 1, p. 51-71. 2001.

FOURNIER, Frederic. **Climatet erosion**. Paris: Press Universitaires de France, 1960. 201p.
SILVA, MJD; GIACHETI, Heraldo Luiz. Diagnóstico de Processos Erosivos no Município de Bauru/SP: O Caso da Vila Jussara. In: III Conferência Brasileira Sobre Estabilidade de Encostas (III COBRAE), Rio de Janeiro. 2001.

G1 CE. Barranco desaba e atinge casa durante fortes chuva no Crato, interior do Ceará, 2019. **G1 Ceará**. Disponível em: <https://g1.globo.com/ce/ceara/noticia/2019/04/04/barranco-desaba-e-atinge-casa-durante-fortes-chuva-no-crato-interior-do-ceara.ghtml>. Acesso em 19 de set. 2021.

G1 CE. Bairro São José, em Juazeiro, apresenta problemas com buraco em ruas, 2018. **G1 Ceará**. Disponível em: <https://globoplay.globo.com/v/6402075/>. Acesso em 19 de set. 2021.

G1 CE. Casas ficam alagadas durante chuva em Juazeiro do Norte, no Ceará. **G1 Ceará**. Disponível em: <https://g1.globo.com/ce/ceara/noticia/2021/01/04/casas-ficam-alagadas-durante-chuva-em-juazeiro-do-norte-no-ceara.ghtml>. Acesso em 19 de set. 2021.

G1 CE. Confira imagens marcantes da tragédia de 2011 na Região Serrana do RJ. **G1 Rio de Janeiro**. Disponível em: <https://g1.globo.com/rj/regiao-serrana/noticia/2021/01/11/confira-imagens-marcantes-da-tragedia-de-2011-na-regiao-serrana-do-rj.ghtml>. Acesso em 19 de set. 2021.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2017.

GONZALES, Suely Franco Netto; FRANCISCONI, José Guilherme; PAVIANI, Aldo. Planejamento e Urbanismo na atualidade Brasileira: objeto teoria prática. **Rio de Janeiro: Livre Expressão**, 2013.

GUERRA, Antonio José Teixeira; JORGE, Maria do Carmo Oliveira; FULLEN, Michael Augustine. **Erosão dos solos e movimentos de massa: abordagens geográficas**. 1a. ed. Curitiba: Editora CRV, 2016.

GUERRA, Antônio José Teixeira; FULLEN, Michael Augustine; JORGE, Maria do Carmo Oliveira; ALEXANDRE, Sílvia Teixeira. *Soil erosion and conservation in Brazil*. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 37, n. 1, p. 81-91, 2014.

GUERRA, Antônio José Teixeira; FULLEN, Michael Augustine; JORGE, Maria do Carmo Oliveira; BEZERRA, José Fernando Rodrigues; SHOKR, Mohamed S. Slope Processes, Mass Movements and Soil Erosion: A Review. **Pedosphere** 27(1): 27-41, 2017.

GUERRA, Antonio Jose Teixeira; FULLEN, Michael Augustine; BEZERRA, José Fernando Rodrigues; JORGE, Maria do Carmo Oliveira. *Gully erosion and land degradation in Brazil: A case study from São Luís municipality, Maranhão State*. In: **Ravine Lands: Greening for Livelihood and Environmental Security**. Springer, Singapore, 2018. p. 195-216.

GUZZETTI, Fausto; CARRARA, Alberto; CARDINALI, Mauro; REICHENBACH, Paola.

*Land slide hazard evaluation: a review of currentt chinese and their application in a multi-scalestudy, Central Italy. **Geomorphology**. v. 31. p. 181-216, 1999.*

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Brasil em Síntese – Ceará**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/>. Acesso em 28 jun. 2019.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **População urbana em Juazeiro do Norte 2010**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/juazeiro-do-norte/panorama>. Acesso em 15 jul. 2020.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **População Urbana no Brasil 2015**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/educacao/9127-pesquisa-nacional-por-amostra-de-domicilios.html?=&t=downloads>. Acesso em 15 jul. 2020.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Dicionário Cartográfico**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/metodos-e-outros-documentos-de-referencia/vocabulario-e-glossarios/16496-dicionario-cartografico.html?=&t=sobre>. Acesso em 24 ago. 2021.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Noções Cartográficas para Base Operacional de Geografia**. IBGE. Coleção Ibgeana. Rio de Janeiro, 1985.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Histórico Sobre Juazeiro do Norte/CE**. IBGE. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/juazeiro-do-norte/historico>. Acesso em 31 ago. 2021.

IBGE. (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 2010. **Limite Municipal de Juazeiro do Norte**. Escala 1:110.000. Disponível em: <https://portaldemapas.ibge.gov.br/portal.php#homepage>. Acesso em 15 out. 2021.

IPECE (Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará). **Perfil Municipal 2017 – Juazeiro do Norte**. Disponível em: https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Juazeiro_do_Norte_2017.pdf. Acesso em 28 jun. 2020.

ISHIMARU, Jorge Luís. **Planejamento urbano e planos diretores: uma crítica epistemológica em busca de novos caminhos**. 70 f., enc. ; 30cm. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional Sustentável). Universidade Federal do Cariri, Crato. 2015.

JESUS, Andrelisa Santos de. **Investigação Multidisciplinar de Processos Erosivos Lineares: Estudo de Caso da Cidade de Anápolis - GO**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 340 p. 2013.

JUAZEIRO DO NORTE. Lei Nº 2.570, de 08 de setembro de 2000. **Lei de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo**. Juazeiro do Norte/Ce, 2000b. 42 p.

JUAZEIRO DO NORTE. Lei Nº 2.572, de 08 de setembro de 2000. **Lei do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano do Município de Juazeiro do Norte – PDDU**. Juazeiro do Norte/Ce, 2000a. 42 p.

JUAZEIRO DO NORTE. **Prefeitura assina contrato para atualização do Plano Diretor de**

Desenvolvimento com UFCA. Disponível em: <https://www.juazeironorte.ce.gov.br/informa.php?id=23693>. Acesso em 23 ago. 2021.

LEÃO, Rodrigo Pires. **Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa de Nova Lima-MG**. 112 f.: il.: color; grafs; tabs; mapas. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 2016.

LIMA, Geislam Gomes de; RIBEIRO, Simone Cardoso. Geomorfologia e paisagem do município de Juazeiro do Norte/CE: relações entre a natureza semi-árida e os impactos antrópicos. **Revista Geonorte**, v. 3, n. 5, p. 520–530-520–530. 2012.

LLOPIS TRILLO, G. *Control de la erosión y obras de desagüe–Manual de estabilización y revegetación de taludes*. **Entorno Grafico SL, Madri**, 1999.

LYLE, John Tillman. *Regenerative design for sustainable development*. John Wiley & Sons, 1996.

MACÊDO, Cícera Camila Alves. **Diagnóstico da erodibilidade e da qualidade hídrica em uma unidade de conservação municipal**. 91 f.: il.; color.; enc.; 30 cm. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional Sustentável – Universidade Federal do Cariri, 2019).

MACÊDO, Joaryvar. Origens de Juazeiro do Norte. **Revista do Instituto do Ceará histórico, geográfico e antropológico, Fortaleza A**, v. 24, p. 239-250, 1978. Disponível em: <http://www.institutodoceara.org.br/revista/Rev-apresentacao/RevPorAno/1978/1978-OrigensdeJuazeiroNorte.pdf>. Acesso em 31 ago. 2021.

MACEDO, Joaryvar. Origens de Juazeiro do Norte. *Revista do instituto do Ceará histórico, geográfico e antropológico, Fortaleza A*, v. 24, p. 239-250, 1978.

MENEZES, Adriana Rejane Vitorino de. **Condições de salubridade ambiental em áreas não edificáveis em Juazeiro do Norte – CE**. 113 f.: il.; color.; enc. ; 30 cm. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional Sustentável) – Universidade Federal do Cariri, Crato, 2016.

MENEZES, Fátima; ALENCAR, Generosa. **Homens e Fatos na História do Juazeiro: Estudo Cronológico – 1827 – 1934**. Editora Universitária: UFPE, Recife, 1989.

MOCHIUTTI, Nair Fernanda; GUIMARÃES, Gilson Burigo; MOREIRA, Jasmine Cardozo; LIMA, Flavia Fernanda e FREITAS, Francisco Idalécio de. Os valores da geodiversidade: geossítios do Geopark Araripe/CE. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 35, n. 1, p. 173-189, Rio de Janeiro-RJ: 2012.

MOURA-FÉ, Marcelo Martins de. GeoPark Araripe e a geodiversidade do sul do Estado do Ceará, Brasil. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 2, n. 1, p. 28-37, 2016.

NASCIMENTO, Diego Coelho do; ROCHA, Gledson Alves; COSTA, Celme Torres Ferreira da; CHACON, Suely Salgueiro. Planejamento Estratégico e Desenvolvimento Regional Sustentável: Análise da Necessidade de Mecanismos de Gestão Na Região Metropolitana do Cariri – Ceará. **Revista NAU Social**, v. 3, n. 5, 2012.

NILSEN, Tor Helge; WRIGHT, Robert H.; VLASTIC, Thomas C.; SPANGLE, William. *Relative slope stability and land-use planning in the San Francisco Bay region*, California. US Government Printing Office, 1979.

NOGUEIRA, Fernando Rocha; CANIL, Kátia. St 8 Cartas Geotécnicas de Aptidão à Urbanização: Instrumento de Planejamento para Prevenção de Desastres e para a Gestão do Uso do Solo. *Anais ENANPUR*, v. 17, n. 1, 2017.

ODS (Objetivos do Desenvolvimento Sustentável). Disponível em: <https://odsbrasil.gov.br/>. Acesso em 20 jul. 2020.

OLIVEIRA, Cêurio de. **Dicionário cartográfico**. Ibge, 1983.

ONU (Organização das Nações Unidas). **17 Objetivos para Transformar Nosso Mundo**. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/>. Acesso em 28 mai. 2020.

PALÁCIO, Orjana Dias. **Análise da Suscetibilidade a Alagamento do Município de Juazeiro do Norte-CE**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional Sustentável) – Universidade Federal do Cariri, Crato. 2020.

PASTORELLI JUNIOR, José Henrique. **Estudo da sustentabilidade e resiliência urbana no contexto da redução de risco de desastres**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2018.

PEREIRA, Cláudio Smalley Soares; DE OLIVEIRA, João César Abreu. Espaço urbano e políticas públicas: uma abordagem geográfica sobre a cidade de Juazeiro do Norte/CE. *HOLOS*, v. 4, p. 182-197, 2010.

PINÉO, Tercyo Rinaldo Gonçalves; PALHETA, Edney Smith de Moraes; COSTA, Felipe Grandjean da VASCONCELOS, Antônio Maurílio; GOMES, Iaponira Paiva; GOMES, Francisco Edson M. Gomes; BESSA, Maria Dulcinea Madureira Rolim; LIMA, Alex Franca HOLANDA, Janolfta Leda R; FREIRE, Débora Pinho Cavalcante. **Mapa Geológico do Estado do Ceará**. Projeto Geologia e Recursos Minerais do Estado do Ceará. Escala 1:500.000. Fortaleza : CPRM , 2020, 1 mapa. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/20418> Acesso em 09 nov. 2021.

PFALTZGRAFF, Pedro Augusto dos Santos. **Mapa de suscetibilidade a deslizamentos da região metropolitana de Recife**. 120 folhas, il: figs., tabs. Tese. (Doutorado em Geociências) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

PLANO DIRETOR PARTICIPATIVO. **SEPLAD reúne membros do SINDUSCON para discutir PDDU**. Disponível em: <https://pdpjuazeiro.wordpress.com/2012/07/03/seplad-reune-membros-do-sinduscon-para-discutir-pddu/>. Acesso em: 20 jul. 2021.

PNAD, IBGE. **Pesquisa nacional por amostra de domicílios**. Rio de Janeiro: IBGE, 2015.

POHLMANN, Patricia; PICCININI, Livia S.; DA SILVA FILHO, Luiz Carlos P. Gerenciamento de Riscos: Qual é o Papel do Planejamento Urbano? In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, XV. Maceió, 2014. *Anais XV ENTAC*. Porto Alegre: ANTAC - Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, p. 1518-1527.

PROGRAMA CIDADES SUSTENTÁVEIS. Disponível em: <http://www.cidadessustentaveis.org.br/>. Acesso em: 20 jun. 2021.

QGIS.org QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.org>. 2021.

RIBEIRO, Simone Cardoso. **Susceptibilidade aos processos erosivos superficiais com base na dinâmica geomorfológica na microbacia do Rio Grangeiro, Crato/CE**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2004.

RIBEIRO, Simone Cardoso. Caracterização geoambiental da sub-bacia do rio Salgado na mesorregião Sul Cearense–Parte I–Clima e Arcabouço Geológico. **GEOCONEXÕES**, v. 1, p. 4-16, 2017.

ROLNIK, Raquel; PINHEIRO, Otilde Macedo. **Plano Diretor Participativo: guia para elaboração pelos municípios e cidadãos**. 2004.

ROLNIK, Raquel. Democracy on the edge: Limits and possibilities in the implementation of an urban reform agenda in Brazil. *International Journal of Urban and Regional Research*, v. 35, n. 2, p. 239-255, 2011.

ROMA, Júlio César. Os objetivos de desenvolvimento do milênio e sua transição para os objetivos de desenvolvimento sustentável. **Ciência e cultura**, v. 71, n. 1, p. 33-39, 2019.

SACCARO JUNIOR, Nilo Luiz; COELHO FILHO, Osmar. Cidades resilientes e o ambiente natural: ecologia urbana, adaptação e gestão de riscos. 2016.

SACHS, Ignacy. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: Garamond, 2002.

SALOMÃO, Fernando Ximenes; IWASA, Oswaldo Yujiro. Erosão e Ocupação Rural e Urbana. In: **Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente**. ABGB/IPT. São Paulo, 1995.

SANTOS, Antônia Gabrielly Araújo dos. **O direito à cidade e os espaços urbanos segregacionais: a transfiguração do bairro São José, município de Juazeiro do Norte, CE**. 90 f.: il.; color.; enc. ; 30 cm. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional Sustentável) – Universidade Federal do Cariri, Crato. 2018.

SANTOS, Marianne Silva; DE REZENDE NASCIMENTO, Paulo Sérgio. Análise da Suscetibilidade e Vulnerabilidade à Erosão Hídrica pelo Processo Analítico Hierárquico (AHP). **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, v. 9, n. 1, p. 1-19, 2021.

SEN, Amartya. **Desenvolvimento como liberdade**. Editora Companhia das Letras, 2018.

SILVA, Josier Ferreira da. **Estrutura de poder no semi-árido e a formação das cidades caririenses**. Universidade Regional do Cariri, 2009, mimeo.

SOBREIRA, Frederico Garcia; SOUZA, Leonardo Andrade de. Cartografia geotécnica aplicada ao planejamento urbano. **Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e**

Ambiental, v. 2, n. 1, p. 79-97, 2012.

SOBREIRA, Frederico Garcia; SOUZA, Leonardo Andrade de. **Guia para Elaboração de Cartas Geotécnicas de Aptidão à Urbanização Frente aos Desastres Naturais**. Brasília, DF, 2014. 68 f.

SOUZA, Maria Renata Bezerra; HOLANDA, Virgínia. Transformações Territoriais Das Cidades Médias De Sobral E Iguatu–Ce. **Revista Homem, Espaço e Tempo**, v. 4, n. 1, 2010.

TORRES, Fernanda Soares de Miranda; COUTINHO, Roberto Quental; DUARTE, Cristiana Coutinho; DE MENEZES, Jéssica Bezerra; fonsêca; Drielly Naamma; PFALTZGRAFF, Pedro Augusto dos Santos. Carta de Suscetibilidade à Movimentos de Massa e Erosão do Município de Ipojuca/PE. **Revista de Geotecnia**, p. 67-88, 2015.

TORRICO, José Jaime Taborga. **Práticas Hidrológicas**. Rio de Janeiro: Transcon, 1974. 119p.

TRAININI, Douglas Roberto; KREBS, Antônio Sílvio Jornada; ORLANDI FILHO, Vítório. Suscetibilidade à Erosão da Bacia do Rio Gravataí–RS. **Porto Alegre: CPRM/METROPLAN**, 1994.

UNISDR (*United Nations International Strategy For Disaster Reduction*). **Living with risk. A global review of disaster reduction initiatives**. Geneva: United Nations, 2004. Disponível em: <https://www.undrr.org/publication/living-risk-global-review-disaster-reduction-initiatives>. Acesso em 20 jun. 2021.

UNISDR (*United Nations International Strategy For Disaster Reduction*). Como Construir Cidades Mais Resilientes: Um Guia para Gestores Públicos Locais, 2012. Disponível em: https://www.unisdr.org/files/26462_guiagestorespublicosweb.pdf. Acesso em 22 nov. 2021.

UNISDR (*United Nations International Strategy For Disaster Reduction*). **Terminology for Disaster Risk Reduction**. Geneva, Switzerland, 2017. Disponível em: <https://www.undrr.org/terminology>. Acesso em 24 ago. 2021.

VEIGA, José Eli da. **Desenvolvimento Sustentável: O Desafio do Século XXI**. Rio de Janeiro: Garamond, 2010. 220 f.

VILLAÇA, Flávio. **As Ilusões do Plano Diretor**. 2005.

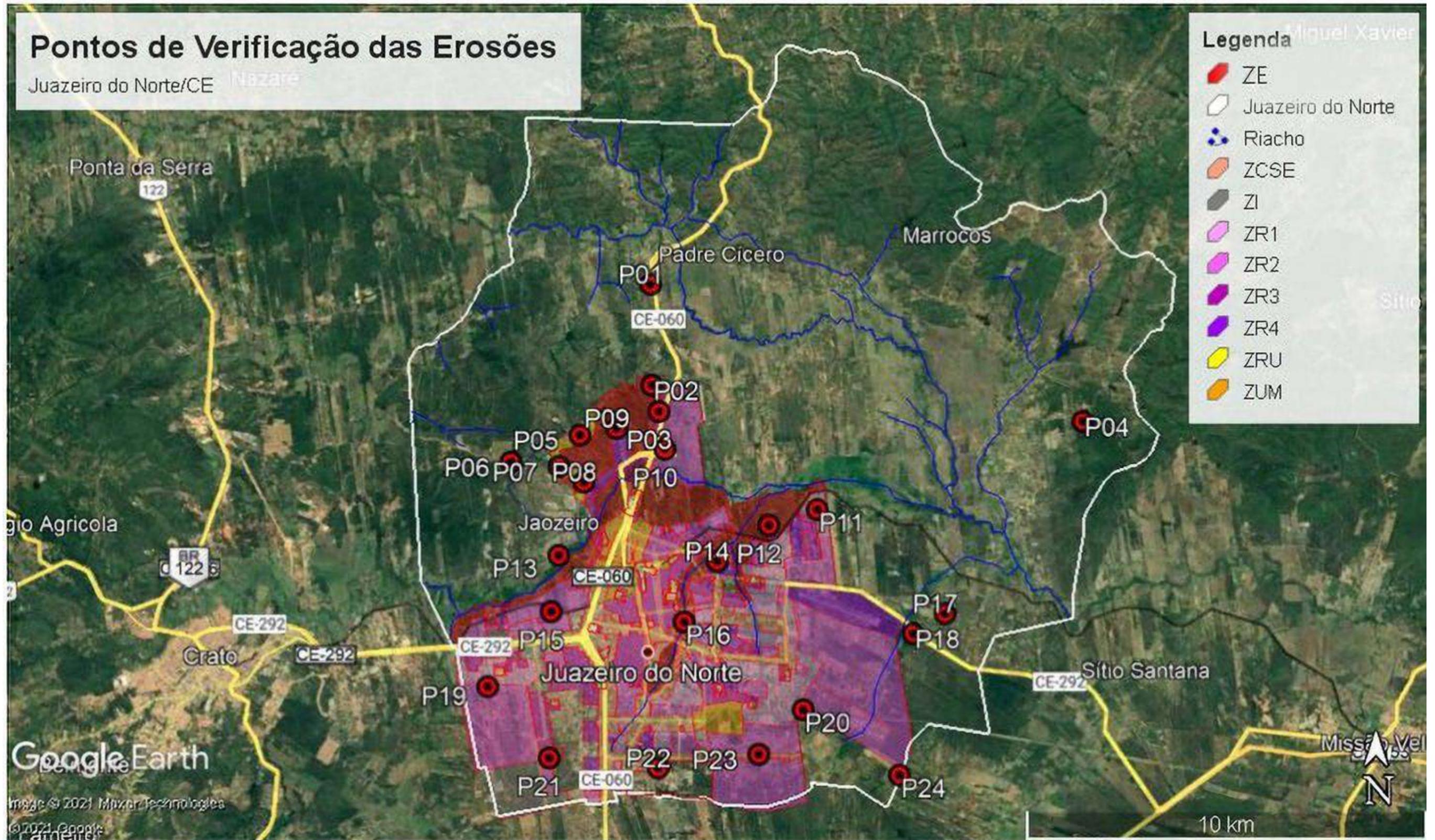
WEI, Yigang; HUANG, Cui; LAM, Patrick. T. L.; YUAN, Zhiyang. Sustainable urban development: a review of urban carrying capacity assessment. **Habitat Internacional**. Oxford, v.46, 2015.

WCED (*World Commission on Environment and Development*). **Our Common Future**. Oxford: Oxford University Press, 1987.

WISCHMEIER, Walter H.; SMITH, Dwight D. *Rainfall energy and its relationship to soil loss*. **Eos, Transactions American Geophysical Union**, v. 39, n. 2, p. 285-291, 1958.

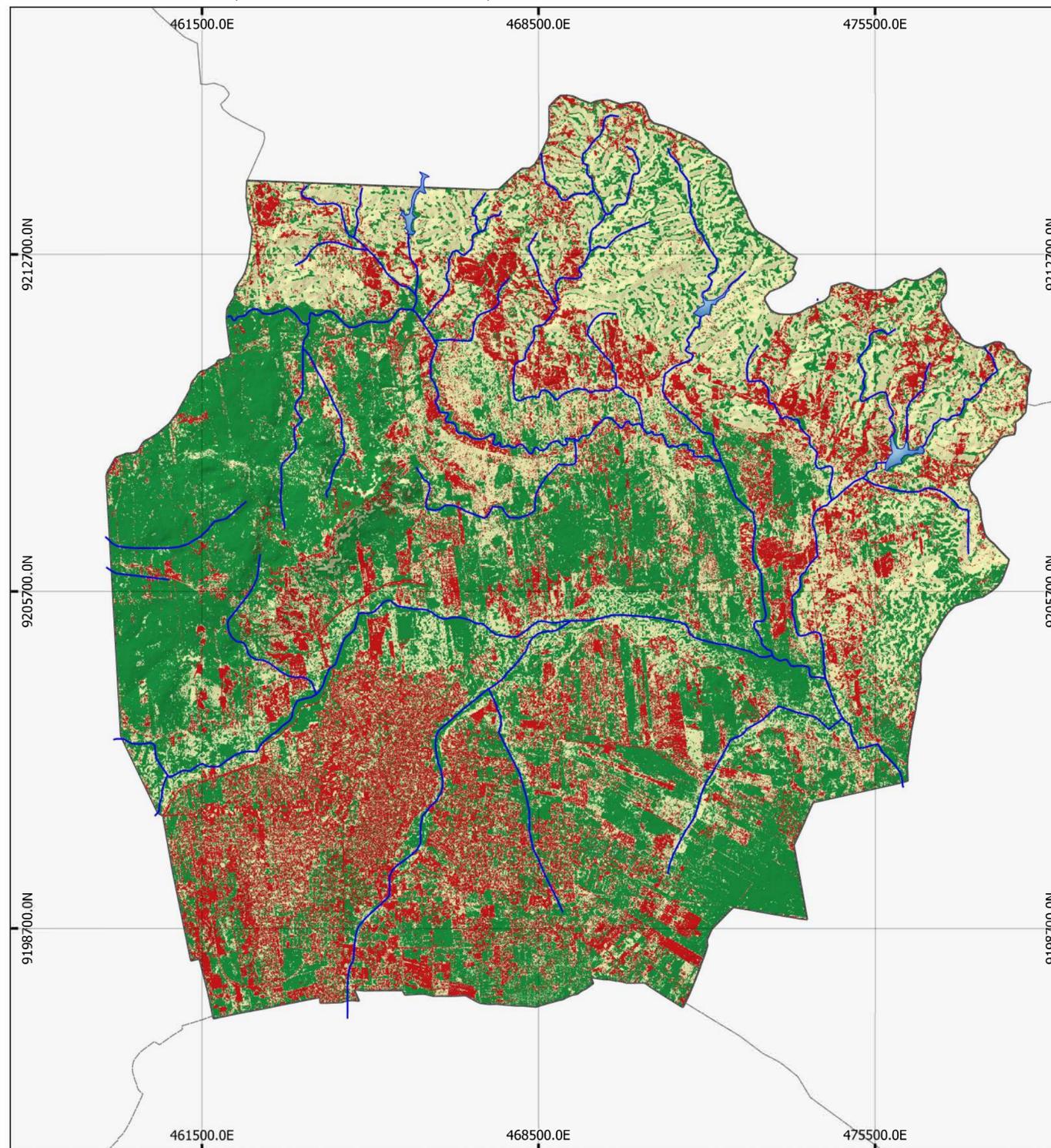
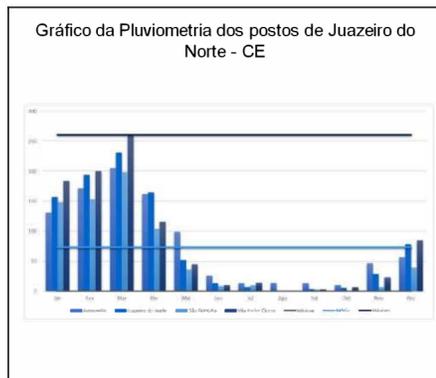
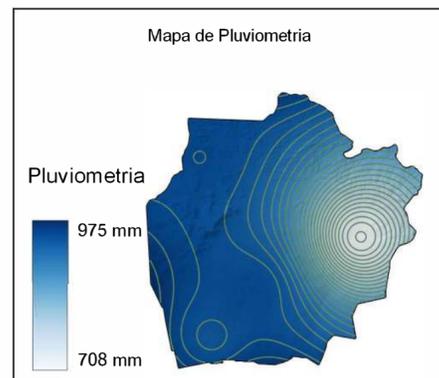
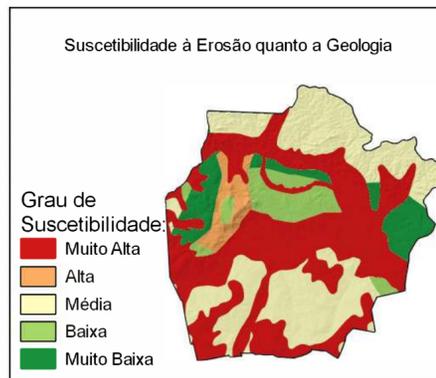
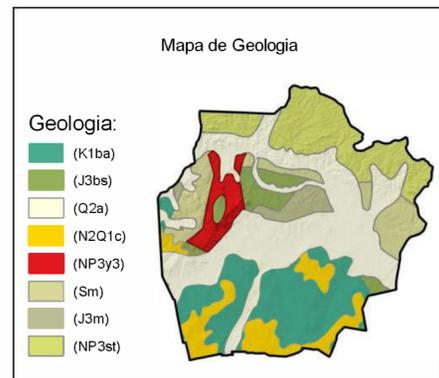
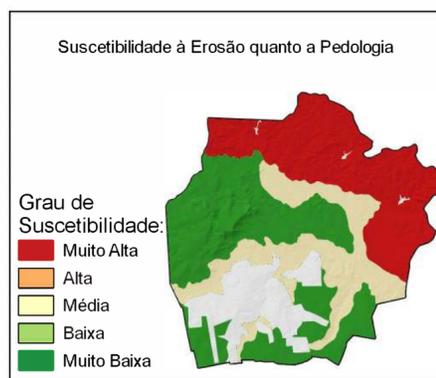
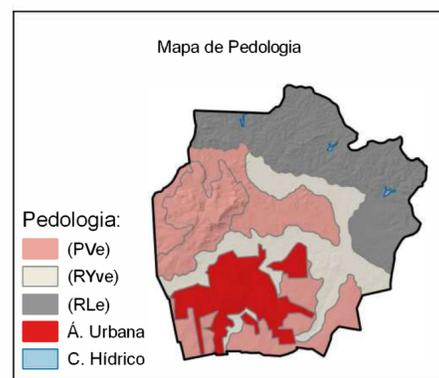
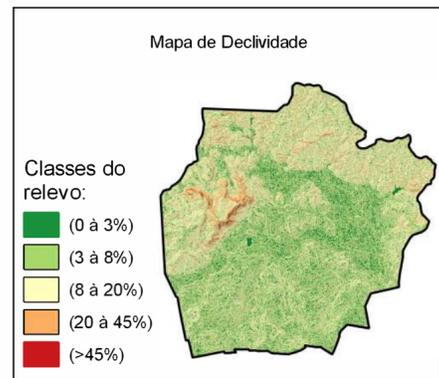
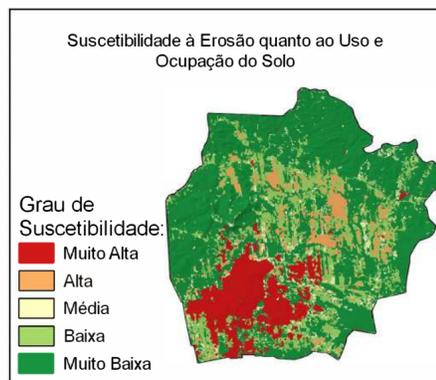
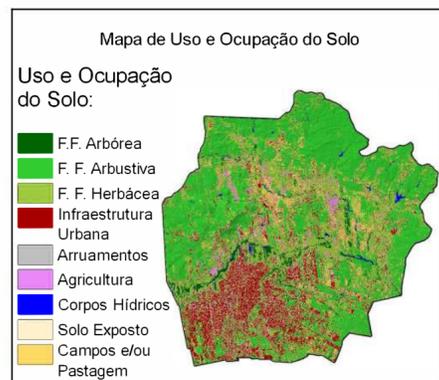
ZUQUETTE, Lázaro Valentin.; GANDOLFI, Nilson. **Cartografia geotécnica**. São Paulo:

Oficina de Textos, 2004.



APÊNDICE B - Planilha resumo dos pontos de suscetibilidade à erosão avaliados.

PONTO	ZONA (PDDU 2000)	BAIRRO (LEI 16.821/2019)	COORDENADAS		USO E OCUPAÇÃO		RELEVO		GEOLOGIA		PEDOLOGIA		TIPO DE SOLO (TÁTIL-VISUAL)		SUSCETIBILIDADE FINAL
			LATITUDE	LONGITUDE	CLASSIFICAÇÃO	SUSCETIBILIDADE	CLASSIFICAÇÃO	SUSCETIBILIDADE	CLASSIFICAÇÃO	SUSCETIBILIDADE	CLASSIFICAÇÃO	SUSCETIBILIDADE	CLASSIFICAÇÃO	SUSCETIBILIDADE	
1	Expansão Urbana	Padre Cícero	7° 8'45.36"S	39°18'41.40"O	Formação Herbácea	Média	Ondulado	Média	Formação Brejo Santo	Baixa	Argissolo Vermelho	Média	SW	Baixa	BAIXA
2	ZE5	Três Marias	7°10'7.11"S	39°18'40.22"O	Formação Arbustiva	Baixa	Fortemente Ondulado	Alta	Formação Brejo Santo	Baixa	Argissolo Vermelho	Média	GM	Baixa	BAIXA
3	ZR4	Três Marias	7°10'28.25"S	39°18'34.40"O	Casas, edifícios, arruamentos, solo exposto	Muito Alta	Ondulado	Média	Depósitos Alviares	Muito Alta	Argissolo Vermelho	Média	CL	Média	ALTA
4	Expansão Urbana	Sítio Marrocos	7°10'36.31"S	39°12'48.04"O	Casas, edifícios, arruamentos, solo exposto	Muito Alta	Fortemente Ondulado	Alta	Formação Mauriti	Muito Baixa	Neossolo Litólico	Muito Baixa	SC	Alta	ALTA
5	ZRU	Horto	7°10'47.31"S	39°19'38.74"O	Casas, edifícios, arruamentos, solo exposto	Muito Alta	Ondulado	Média	Granitóides Indiscriminados Brasileiros	Alta	Argissolo Vermelho	Média	SM	Muito Alta	MÉDIA
6	Expansão Urbana	Vila Planalto	7°11'9.09"S	39°20'35.15"O	Formação Herbácea	Média	Ondulado	Média	Formação Mauriti	Muito Baixa	Argissolo Vermelho	Média	SM	Muito Alta	ALTA
7	ZE5	Horto	7°11'12.79"S	39°19'55.85"O	Formação Herbácea	Média	Ondulado	Média	Granitóides Indiscriminados Brasileiros	Alta	Argissolo Vermelho	Média	Rocha	ND	ALTA
8	ZE5	Horto	7°11'25.54"S	39°19'35.87"O	Formação Herbácea	Média	Fortemente Ondulado	Alta	Depósitos Alviares	Muito Alta	Argissolo Vermelho	Média	Rocha	ND	MÉDIA
9	ZR4	Três Marias	7°10'40.48"S	39°19'9.56"O	Casas, edifícios, arruamentos, solo exposto	Muito Alta	Ondulado	Média	Granitóides Indiscriminados Brasileiros	Alta	Argissolo Vermelho	Média	GP	Muito Baixa	ALTA
10	ZR2	Romeiro Aureliano Pereira	7°10'58.86"S	39°18'29.66"O	Casas, edifícios, arruamentos, solo exposto	Muito Alta	Suave Ondulado	Baixa	Depósitos Alviares	Muito Alta	Argissolo Vermelho	Média	SM	Muito Alta	ALTA
11	ZR1	Pedrinhas	7°11'47.87"S	39°16'25.04"O	Casas, edifícios, arruamentos, solo exposto	Muito Alta	Suave Ondulado	Baixa	Depósitos Alviares	Muito Alta	Área Urbana	ND	SM	Muito Alta	ALTA
12	ZR4	Pedrinhas	7°12'0.65"S	39°17'4.56"O	Formação Herbácea	Média	Suave Ondulado	Baixa	Depósitos Alviares	Muito Alta	Neossolo Flúvico	Muito Alta	SM	Muito Alta	ALTA
13	Zona Urbana recente	Salgadinho	7°12'25.05"S	39°19'56.62"O	Casas, edifícios, arruamentos, solo exposto	Muito Alta	Suave Ondulado	Baixa	Depósitos Alviares	Muito Alta	Neossolo Flúvico	Muito Alta	SM	Muito Alta	ALTA
14	ZUM	Fátima	7°12'29.94"S	39°17'46.87"O	Casas, edifícios, arruamentos, solo exposto	Muito Alta	Suave Ondulado	Baixa	Depósitos Alviares	Muito Alta	Neossolo Flúvico	Muito Alta	SC	Alta	ALTA
15	ZR4	Antônio Vieira	7°13'10.59"S	39°20'2.67"O	Casas, edifícios, arruamentos, solo exposto	Muito Alta	Ondulado	Média	Depósitos Alviares	Muito Alta	Neossolo Flúvico	Muito Alta	SM	Muito Alta	MÉDIA
16	ZE2	Limoeiro	7°13'18.97"S	39°18'14.02"O	Formação Herbácea	Média	Ondulado	Média	Depósitos Alviares	Muito Alta	Área Urbana	ND	SM	Muito Alta	ALTA
17	Expansão Urbana	Brejo Seco	7°13'12.22"S	39°14'40.44"O	Casas, edifícios, arruamentos, solo exposto	Muito Alta	Ondulado	Média	Formação Barbalha	Média	Argissolo Vermelho	Média	SM	Muito Alta	ALTA
18	Expansão Urbana	Brejo Seco	7°13'28.40"S	39°15'6.67"O	Casas, edifícios, arruamentos, solo exposto	Muito Alta	Suave Ondulado	Baixa	Formação Barbalha	Média	Neossolo Flúvico	Muito Alta	MH	Alta	ALTA
19	ZR2	São José	7°14'11.28"S	39°20'54.52"O	Casas, edifícios, arruamentos, solo exposto	Muito Alta	Ondulado	Média	Formação Barbalha	Média	Área Urbana	ND	SC	Alta	ALTA
20	ZR2	Campo Alegre	7°14'30.04"S	39°16'36.58"O	Casas, edifícios, arruamentos, solo exposto	Muito Alta	Ondulado	Média	Formação Barbalha	Média	Argissolo Vermelho	Média	ML	Muito Alta	ALTA
21	ZR4	Jardim Gonzaga	7°15'8.97"S	39°20'4.18"O	Casas, edifícios, arruamentos, solo exposto	Muito Alta	Ondulado	Média	Formação Barbalha	Média	Argissolo Vermelho	Média	SM	Muito Alta	ALTA
22	ZR2	Cidade Universitária	7°15'28.57"S	39°18'29.81"O	Casas, edifícios, arruamentos, solo exposto	Muito Alta	Suave Ondulado	Baixa	Depósitos Colúvio-Eluviais	Muito Alta	Argissolo Vermelho	Média	SC	Alta	ALTA
23	ZR2	Campo Alegre	7°15'5.42"S	39°17'12.76"O	Casas, edifícios, arruamentos, solo exposto	Muito Alta	Ondulado	Média	Formação Barbalha	Média	Área Urbana	ND	ML	Muito Alta	ALTA
24	Expansão Urbana	Mons. Fco. Murilo Sá Barreto	7°15'22.78"S	39°15'17.96"O	Casas, edifícios, arruamentos, solo exposto	Muito Alta	Suave Ondulado	Baixa	Formação Barbalha	Média	Argissolo Vermelho	Média	ML	Muito Alta	ALTA



MAPA DE SUSCETIBILIDADE À EROSÃO - JUAZEIRO DO NORTE-CE

Autora: SANMIA LIMA PINTO

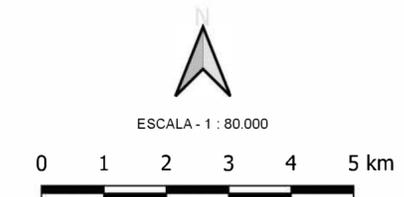
Agosto de 2021

Dissertação apresentada como requisito ao título de mestre do Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Desenvolvimento Regional Sustentável da Universidade Federal do Ceará – UFCA.

Orientadora: Profª Drª Ana Patrícia Nunes Bandeira.



INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS



PRO JEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR R
O rigem da quilometragem U T M: Equador e Meridiano Central -39° W. Gr
acrescidas as constantes 10000 k m e 500 k m, respectivamente.
Datum horiz ontal: SIR GAS2000

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Drenagem Hidrográfica
- Corpos Hídricos
- Juazeiro do Norte
- Ceará
- Limites Municipais

Relevo sombreado extraído do Modelo Digital de Elevação com resolução espacial de 12,5 metros/pixel proveniente do Projeto ALOS PALSAR (JAXA, 2008). Iluminação artificial: az imute 315° e inclinação 45°.

QUADRO LEGENDA – SUSCETIBILIDADE À EROSÃO

CLASSE	FOTO ILUSTRATIVA	INFORMAÇÕES	ÁREAS DE OCUPAÇÃO	
ALTA		- Relevo: Suave Ondulado a Ondulado; - Declividades: Entre 3 e 20%; - Uso e Ocupação do Solo: Formação Florestal Herbácia; - Geologia: Depósitos aluvionares; - Pedologia: Argissolo Vermelho; - Solo: Areia Siltosa.	5.657,229 hectares	21,97 %
MÉDIA		- Relevo: Suave Ondulado; - Declividades: Entre 3 e 8%; - Uso e Ocupação do Solo: Infraestrutura Urbana; - Geologia: Depósitos aluvionares e Formação Barbalha; - Pedologia: Neossolo Flúvico; - Solo: Areia Siltosa.	9.449,126 hectares	36,69 %
BAIXA		- Relevo: Ondulado; - Declividades: Entre 8 e 20%; - Uso e Ocupação do Solo: Formação Florestal herbácia - Geologia: Formação Barbalha; - Pedologia: Argissolo Vermelho; - Solo: Areia Pedregulhosa com Poucos Finos.	10.647,544 hectares	41,34 %

- FONTES:**
- Uso e Ocupação do Solo: Classificação semiautomática de pixel, imagem Sentinel-2 (Earth Explore, 2021)
 - Declividade: Agência de Exploração Aeroespacial Japonesa (JAXA, 2008)
 - Pedologia: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021) Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2018).
 - Geologia: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021), Mapa Geológico do Ceará (Pinéo et al., 2020);
 - Pluviometria: Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME, 2021) Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021)