



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO - UEMA  
CENTRO DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS - CECEN  
PROGRAMA DE PÓS- GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA, NATUREZA E DINÂMICA  
DO ESPAÇO - PPGeo

JEFFERSON DOMINGOS VIANA

**ESTUDO DOS FATORES CONTROLADORES DOS PROCESSOS EROSIVOS EM  
ÁREA URBANA: caso da voçoroca na cidade de Bom Jesus das Selvas/MA**

DINÂMICA DA NATUREZA E CONSERVAÇÃO

**São Luís**

**2019**



JEFFERSON DOMINGOS VIANA

**ESTUDO DOS FATORES CONTROLADORES DOS PROCESSOS EROSIVOS EM  
ÁREA URBANA: caso da voçoroca na cidade de Bom Jesus das Selvas/MA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, Natureza e Conservação do Espaço da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Linha de Pesquisa: Dinâmica da Natureza e Conservação

Orientador: Prof. Dr. José Fernando Rodrigues Bezerra

**São Luís**

**2019**

Viana, Jefferson Domingos.

Estudo dos fatores controladores dos processos erosivos em área urbana: caso da voçoroca na cidade de Bom Jesus das Selvas/MA / Jefferson Domingos Viana. – São Luís, 2020.

138 f. Il.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço, Universidade Estadual do Maranhão, 2020.

Orientador: Prof. Dr. José Fernando Rodrigues Bezerra.

1. Processos erosivos. 2. Erosão. 3. Análise do solo. 4. Bom Jesus das Selvas – Maranhão. I. Título.

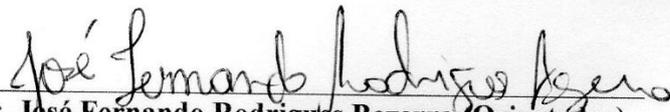
CDD 631.45

JEFFERSON DOMINGOS VIANA

**ESTUDO DOS FATORES CONTROLADORES DOS PROCESSOS EROSIVOS EM  
ÁREA URBANA: caso da voçoroca na cidade de Bom Jesus das Selvas/MA**

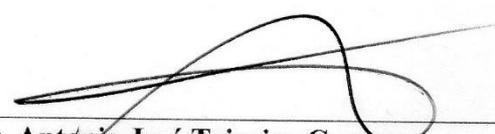
**APROVADO EM: 05 / 08 / 2019**

**BANCA EXAMINADORA**



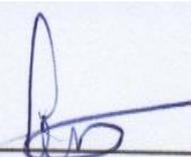
---

**Prof. Dr. José Fernando Rodrigues Bezerra (Orientador)**  
Universidade Estadual do Maranhão- UEMA



---

**Prof. Dr. Antônio José Teixeira Guerra**  
Universidade Federal do Rio de Janeiro- UFRJ



---

**Prof. Dr. Luiz Carlos Araújo dos Santos (UEMA)**

Examinador Interno

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por me propiciar a dádiva da vida.

A minha avó Raimunda Nonata e minha mãe Dirce Maria por todos os conselhos, carinho, bem como considerações construtivas para meu crescimento e amadurecimento.

A minhas irmãs Lígia e Lívia, pelos momentos de alegria, diversão e compartilhamento de experiências e conhecimentos. Bem como meus parentes e amigos, pelo apoio, incentivo e compreensão. Assim como minha namorada, Layane Muniz por sempre confiar, apoiar e manter sua compreensão e carinho durante todo o tempo.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Tecnológico (CNPq) por todo incentivo e apoio junto à pesquisa.

A Universidade Estadual do Maranhão (UEMA) por confiar na capacidade que seus docentes e discentes possuem. E ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), por acreditar no potencial de seus discentes.

Ao Laboratório de Geociências (LabGeo) da UEMA por proporcionar a realização das análises do solo e conseqüentemente novos conhecimentos, assim como o empenho e dedicação dos técnicos Ricardo Santana e Ivan Lima que auxiliaram nas técnicas e análises realizadas.

Ao Prof. Dr. José Fernando Rodrigues Bezerra pela dedicação e orientação.

Aos amigos do grupo de pesquisa pelo acolhimento e desfrute de um ambiente de bom convívio e que obtive o prazer de aprender a cada momento. Em especial Danyella França, Marly Moraes, pela ajuda direta e indireta em todas as fases desta pesquisa.

A Pedro Wallace (*in memoriam*) pelo significativo apoio, intensa dedicação em estar sempre ajudando, e onde foi meu principal auxílio quanto a obtenção dos dados de índices pluviométricos.

Ao Augusto Campos e Elison Pinheiro, pelo apoio em campo, junto às atividades de coletas de amostras de solo e demais técnicas realizadas.

Aos amigos graduação, em especial Rosyelle Patrícia, José Rafael, Jefferson Pontes, Victor Miranda, Natália Lima, Thiago Pereira, Crystiã Leão, Rejane Moraes, Katiuse Mendes.

Aos amigos, em especial Paulo Victor, Wallex Randly, Flávia Anceles, a minha pastora Cida Andrade, por todo apoio, compreensão e ótimos momentos de descontração e orientação.

A todos, meu muito obrigado.

## RESUMO

Essa pesquisa teve como finalidade apresentar os resultados obtidos sobre o estudo dos fatores controladores dos processos erosivos na área urbana da cidade de Bom Jesus das Selvas/MA. A análise desses fatores contribui significativamente para o conhecimento sobre a erosão em estudo, relacionando-os com os agentes deflagradores que convergem para avanço da erosão denominada de voçoroca sete de setembro, onde na mesma houve a realização de coletas de amostras de solo, ensaios de teste de infiltração e atividades como registro fotográfico da área de estudo, aplicação de questionários com os moradores, entre outros. Para realização deste trabalho, foram utilizados os seguintes ambientes: 1 - Atividade em Gabinete, para levantamento bibliográfico e cartográfico, com a busca por arcabouço teórico, assim como dados e arquivos para elaboração de mapas; 2 - Atividades em campo (cuja finalidade foi a realização de testes de infiltração, coleta de amostras de solo, sendo coletadas 8 amostras indeformadas e 38 deformadas para realização da descrição morfológica do solo, bem como análise da densidade do solo, de partículas e granulometria; e 3 - Análise em laboratório das amostras coletadas. Os resultados alcançados indicaram que a voçoroca sete de setembro sofre influência dos fatores controladores naturais e o humano, onde evidenciou-se principalmente as características das vertentes, a declividade, o uso e cobertura do solo, a hipsometria e tipologia dos solos. Mediante as análises do solo, constatou-se que a fração granulométrica predominante na voçoroca é franco argilo arenosa, não sendo um solo altamente suscetível a erosão, o que indica que outros fatores são mais significativos em atuação sob a erosão. Em relação à densidade do solo, os dados demonstraram uma compactação média, refletindo também uma mediana porosidade. Quanto à densidade de partícula, os dados indicaram que as partículas do solo não apresentam resistência aos agentes exógenos, sendo água o principal agente natural influenciador, assim como o homem como agente antrópico. Quanto a morfologia do solo, os resultados indicam que o mesmo é caracterizado como de textura média/arenosa, estrutura em forma granular e tamanhos pequenos; sua consistência seca, úmida, e em relação a plasticidade e pegajosidade indicaram pouca variação, compreendendo aspectos referentes a um solo de textura média a argilosa. O mapa de suscetibilidade indicou as áreas com maior probabilidade a ocorrência de erosões, sendo elas confirmadas em campo, com presença de vários processos erosivos. Os questionários aplicados indicaram que a população entende como agente causador do avanço da erosão, a falta de ações do poder público, não refletindo em grande parte a sua participação como também agente influenciador neste avanço, apesar disso, afirmam que esta erosão possui uma solução e bloqueio do seu impacto. Este trabalho culminou em uma soma de esforços em busca de dados e informações escassos em maior detalhamento da área de estudo, mas que apesar da dificuldade, obteve resultados satisfatórios, que corroboram para a necessidade de contínuo estudo e aprofundamento em relação a este trabalho final, para melhor detalhamento do tema tratado.

**Palavras - chave:** Erosão; Suscetibilidade; Bom Jesus das Selvas/MA.

## ABSTRACT

This research had as objective to present the results obtained in the study of the controlling factors of the erosive processes in the urban area of Bom Jesus das Selvas / MA. The analysis of these factors contributes significantly to the knowledge about erosion in the study, relating them to the triggering agents that converge to advance the erosion denominated voçoroca on September 7, where there was the collection of soil samples, infiltration test and activities as registration photographic study area, application of questionnaires with residents, among others. For the accomplishment of this work, the following environments were used: 1 - Activity in the Cabinet, for bibliographical and cartographic survey, with the search of theoretical reference, as well as data and files for elaboration of maps; 2 - Field activities (which had as objective to carry out infiltration tests, soil sample collection, 8 undeformed and 38 deformed were collected for the soil morphological description, soil density, grain size and soil granulometric analysis; The results obtained indicated that the September 7 gully is influenced by the natural and human control factors, in which the characteristics of the slopes, declivity, land use and cover, hypsometry and soil typology were evidenced. By means of the soil analysis, it was verified that the predominant granulometric fraction in the gully is frank sandy clay, not being a highly susceptible soil to erosion, which indicates that other factors are more significant in action under erosion. In relation to soil density, the data showed a mean compaction, also reflecting a medium porosity. As for particle density, the data indicated that soil particles do not show resistance to exogenous agents, water being the main natural influencing agent, as well as man as an anthropic agent. Regarding soil morphology, the results indicate that it is characterized as medium / sandy texture, small size and granular structure; its dry and wet consistency and in relation to the plasticity and viscosity indicated little variation, comprising aspects referring to a soil of medium to clay texture. The susceptibility map indicated the areas with the highest probability of occurrence of erosions, being confirmed in the field, with the presence of several erosive processes. The applied questionnaires indicated that the population understands as the causal agent of the erosion advance, the lack of actions of the public power, not reflecting to a large extent its participation as well as influencing the agent in this advance, nevertheless, affirm that this erosion has a solution and blocking its impact. This work culminated in a sum of efforts in search of data and information scarce in greater detail of the area of study, but despite the difficulty, obtained satisfactory results, which corroborates the need of study and continuous deepening in relation to this final work, for the subject.

**Key - words:** Erosion; Susceptibility; Bom Jesus das Selvas/MA.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de Localização da cidade de Bom Jesus das Selvas/MA	16
Figura 2 - Voçoroca estudada na cidade de Bom Jesus das Selvas/MA	17
Figura 3 - Classes das formas de vertentes	45
Figura 4 - Mapa de Geomorfologia da cidade de Bom Jesus das Selvas/MA	62
Figura 5 - Mapa de solos da cidade de Bom Jesus das Selvas/MA	65
Figura 6 - Lixão da cidade de Bom Jesus das Selvas/MA	71
Figura 7 - Mapa de uso e cobertura do solo da cidade de Bom Jesus das Selvas/MA	75
Figura 8 - Voçoroca sete de setembro	76
Figura 9 - Equipamentos e ferramentas utilizadas em campo: A – GPS; B – Infiltrômetro; C – Trado volumétrico; D – Anel volumétrico; E – Martelete; e F – Saco hermético	77
Figura 10 - Amostras de solo deformadas	78
Figura 11 - Amostras de solo indeformadas	79
Figura 12 - Ensaio do teste de infiltração	80
Figura 13 - Demonstrativo da espacialização dos pontos de coleta de amostras de solo e ensaios de teste de infiltração	81
Figura 14 - A – Análise da cor da amostra de solo (matiz, valor e croma); e B - Análise do tamanho de torrão da amostra de solo	83
Figura 15 - A – Homogeneização da amostra; B – Formando cilindro	84
Figura 16 - A – Análise consistência do solo seca; B – Análise consistência do solo úmida; C – Plasticidade; e D - Pegajosidade	86
Figura 17 - Etapas da análise da densidade do solo: A – Latas para armazenamento de amostras; e B – Amostras encaminhadas ao estufa	87
Figura 18 - Etapas da análise da densidade de partícula: A – Pesagem de TSFE; B – Armazenamento da amostra pesada; C e D – Álcool utilizado e adicionado para o método; E – Agitação manual dos balões; e F – Repouso e completo o volume do balão	88
Figura 19 - Procedimentos para análise granulométrica: A – Destorroamento das amostras; B – “Ataque” das amostras; C – Adição de solução de NaOH 1N as amostras; D – Amostras agitadas com o <i>stirrer</i> ; E – Peneiramento com jatos d’água; F – Repouso das amostras anteriormente agitadas; G – Coleta do material em suspensão na proveta; e H – Armazenamento das alíquotas na estufa	92
Figura 20 - Triângulo adotado pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo para classificação das classes texturais do solo	96
Figura 21 - Elevação representativa em 3d da hipsometria da área de estudo	108
Figura 22 - Mapa de Hipsometria da cidade de Bom Jesus das Selvas/MA	110
Figura 23 - Mapa de declividade da cidade de Bom Jesus das Selvas/MA	111
Figura 24 - Mapa de curvatura da cidade de Bom Jesus das Selvas/MA	112
Figura 25 - Croqui representativo do avanço da erosão em estudo	114

Figura 26 - A – Despejo de resíduos sólidos; e B – Queimada da vegetação	116
Figura 27 - Registro da presença de caminhão e pessoal extraindo material da voçoroca	116
Figura 28 - Mapa de Suscetibilidade à erosão da cidade de Bom Jesus das Selvas/MA	123

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição morfológica do solo	100
Tabela 2 - Densidade do solo, densidade de partículas e porosidade total	103
Tabela 3 - Frações granulométricas da voçoroca sete de setembro	104

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Fatores de suscetibilidade à erosão	53
Quadro 2 - Categorias das classes do mapa de uso e cobertura	95
Quadro 3 - Classificação dos pesos e notas dos fatores controladores para o mapa de suscetibilidade	95
Quadro 4 - Descrição das áreas das classes de suscetibilidade à erosão	122

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Teste de infiltração – Ponto 1	98
Gráfico 2 - Teste de infiltração – Ponto 2	98
Gráfico 3 - Teste de infiltração – Ponto 3	99
Gráfico 4 - Teste de infiltração – Ponto 4	99
Gráfico 5 - Cores amostras de solo	101
Gráfico 6 - Porcentagem de classe textural das 38 amostras de solo	107
Gráfico 7 - Tempo de residência na cidade/anos	113
Gráfico 8 - Agentes causadores do avanço da erosão segundo a percepção dos moradores	115
Gráfico 9 - Percepção do grau de suscetibilidade ao avanço da erosão	117
Gráfico 10 - Solução para o problema	118

## LISTA DE SIGLAS

AMZ-L	Amazônia Legal
CAEMA	Companhia de Águas e Esgoto do Maranhão
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DHG	Departamento de História e Geografia
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
GEOMAP	Grupo de pesquisa Geomorfologia e Mapeamento
GPS	<i>Global Positioning System</i>
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
IMESC	Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
LABMET	Laboratório de meteorologia da Universidade Estadual do Maranhão
MA	Maranhão
MDE	Modelo Digital de Elevação
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
SAAE	Serviço Autônomo de Água e Esgoto
SIG	Sistema de Informação Geográfica
UEMA	Universidade Estadual do Maranhão
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
ZEE	Zoneamento Ecológico-Econômico

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	13
2 A DINÂMICA AMBIENTAL NA GEOGRAFIA .....	20
2.1 Trajetos da Geografia à paisagem.....	20
2.2 A construção da identidade geomorfológica e sua caracterização .....	23
2.3 Morfodinâmica: os processos exógenos .....	28
2.3.1 Processos erosivos.....	29
2.3.2 Mecanismos erosivos .....	35
2.4 Fatores controladores .....	39
2.5 Estudo de suscetibilidade à erosão.....	51
3 CARACTERIZAÇÃO HISTÓRICA E GEOAMBIENTAL DA ÁREA DE ESTUDO .....	57
3.1 Características Naturais.....	57
3.1.1 Geologia.....	57
3.1.2 Geomorfologia .....	59
3.1.3 Pedologia.....	63
3.1.4 Hidrografia .....	66
3.1.5 Clima.....	67
3.2 Historicidade, contemporaneidade do uso e ocupação da cidade Bom Jesus das Selvas/MA .....	68
4 PROCEDIMENTOS TÉCNICO-OPERACIONAIS.....	74
4.1 Atividade em Gabinete.....	74
4.2 Atividade em Campo .....	75
4.3 Análise em Laboratório.....	82
4.3.1 Laboratório de Geoprocessamento.....	94
5 A MORFODINÂMICA DA PAISAGEM DO MUNICÍPIO DE BOM JESUS DAS SELVAS/MA.....	97
5.1 O Processo Erosivo e os Fatores Controladores Atuentes .....	98
5.2 Suscetibilidade à Erosão .....	114
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>123</b>
REFERÊNCIAS .....	125
APÊNDICE A – Questionário aplicado aos moradores circunvizinhos à voçoroca em estudo.	

## 1 INTRODUÇÃO

O relevo terrestre é parte importante do palco, onde o homem, como ser social, pratica o teatro da vida. Esse palco compreende uma estreita faixa, onde é possível viver biologicamente. Essa estreita camada da Terra é movida por duas grandes fontes energéticas, responsáveis pela existência tanto dos seres vivos animais e vegetais, como pela dinâmica que rege o meio físico ou abiótico (ROSS, 2014).

De acordo com o autor supramencionado (2014) a superfície terrestre é extremamente diferenciada, sendo tal diferenciação tanto de origem natural como antrópica. No âmbito dos aspectos naturais, que como as antrópicas não são estáticas, duas fontes energéticas de atuação opostas são responsáveis pelas diferenças fisionômicas e na dinâmica, sendo uma externa, comandada não somente por um agente, mas por componentes que influenciam de forma externa e outra interna, determinada principalmente pelo calor e pressão do núcleo e manto terrestre.

Neste contexto, a dinâmica que existe na Terra reflete intrinsecamente na paisagem que é um grande sistema composto de uma série de variáveis que encontram um equilíbrio dinâmico. Assim, é possível intervir na paisagem proporcionando-lhe um movimento contínuo, que permite que a dinâmica existente ocorra em constante interação e estreitamente relacionado a outras dinâmicas e à experiência humana, entendidas como um todo. O reconhecimento da adequação funcional e das relações espaciais entre as dinâmicas é uma condição fundamental para que se desenvolvam plenamente (TRADIN, 2018).

Quando uma delas sofre qualquer modificação, as demais são afetadas e o conjunto a um novo ponto de equilíbrio. A ação humana cada vez mais acentuada sobre a natureza, expressa nas modificações do uso da terra, por exemplo, é uma demonstração da magnitude dessas intervenções, as quais, não raro, têm resultados catastróficos (PINHEIRO, 2009) ou de magnitudes significativas, que não influenciam apenas agentes diretos, como a flora, fauna ou comunidade circunvizinha, mas também agentes indiretos, como a economia de uma localidade, os interesses sociais, entre outros.

Atualmente pensando na problemática, homem e ambiente, a Geomorfologia oferece diversas possibilidades na busca de novos parâmetros para o reconhecimento da relação sociedade e natureza. A Geomorfologia tem como seu objetivo principal o estudo das formas de relevo do planeta Terra, estes estudos permitem entender as relações entre a dinâmica interna e externa existentes no mesmo (DANTAS *et al.* 2015). Partindo do princípio de que

tanto os fatores endógenos (internos), como os exógenos (externos), são “forças vivas”, cujas evidências demonstram grandes transformações ao longo do tempo geológico, se faz necessário entender que a superfície terrestre não foi sempre a mesma e que continuará evoluindo, portanto, a análise geomorfológica de uma determinada área implica obrigatoriamente o conhecimento da evolução que o relevo apresenta, resultantes dos diferentes processos morfogenéticos a que foi submetido (CASSETI, 2005).

A ciência geomorfológica está cada vez mais presente nos debates e discussões acerca da gestão dos recursos naturais, devido, principalmente as variáveis de estudo que estão relacionadas ao relevo. Elas são importantes elementos de um geossistema, sendo elas: a morfologia, dividida em morfometria (estudo quantitativo das formas de relevo) e morfografia (estudo qualitativo); morfogênese (condiz a origem do relevo); morfocronologia (corresponde a idade do relevo); e morfodinâmica (processos ativos e atuantes nas formas de relevo); (FLORENZANO, 2008).

Nesse contexto, apresentado como uma das formas de maior distribuição e influência na superfície terrestre, a erosão dos solos ganha destaque nos estudos geomorfológicos (BEZERRA, 2011). As feições erosivas têm sido estudadas por essa ciência como as principais responsáveis pela esculturação da superfície terrestre.

A erosão dos solos é um dos processos geomorfológicos de maior distribuição geográfica no planeta Terra. Apesar da existência de outras formas de erosão, destaca-se aquelas provocadas pelo escoamento superficial e subsuperficial nas encostas, sendo essa forma a de maior distribuição territorial, no Brasil e no mundo (GUERRA *et al.* 2014).

Como principal tema desse trabalho, faz-se necessário a conceituação de erosão que é um fenômeno frequente que pode ser causado por complexas interações entres diversos fatores naturais e antrópicos, que podem provocar a intensificação do processo erosivo (ARAÚJO *et al.* 2019).

A erosão é um fenômeno natural. Entretanto, pode ser acelerada e se transformar em um problema, como consequência dos impactos negativos de ação antrópica inadequada sobre os recursos naturais. A forma como o solo é tratado durante um período histórico gera consequências em longo prazo, que vai interferir na dinâmica ambiental no decorrer dos anos. Em um contexto maior, a degradação ambiental constitui perda ou diminuição de seus recursos. O conhecimento dos elementos envolvidos na degradação ambiental pode ser empregado para evitar e eventualmente remediar o problema. A erosão do solo é um problema considerado de nível global e representa um grande problema também no Brasil (RABELO; ARAÚJO, 2019).

O perigo afeta áreas urbanas e rurais dentro do extenso território nacional, por sua vez, esses problemas têm sérios impactos ambientais e geram também problemas socioeconômicos. É importante que os solos sejam conservados, para as gerações presentes e futuras, e que haja a possibilidade que os impactos dos processos erosivos sejam minimizados.

Os processos erosivos, em específico no estado do Maranhão demonstram-se cada vez mais intensos, tendo como principais causas, o desmatamento frequente em áreas de crescimento urbano significativo (MENDONÇA *et al.* 2001; BEZERRA, *et al.* 2005; SATHLER *et al.* 2005; FURTADO *et al.* 2006; BEZERRA; BEZERRA *et al.* 2009).

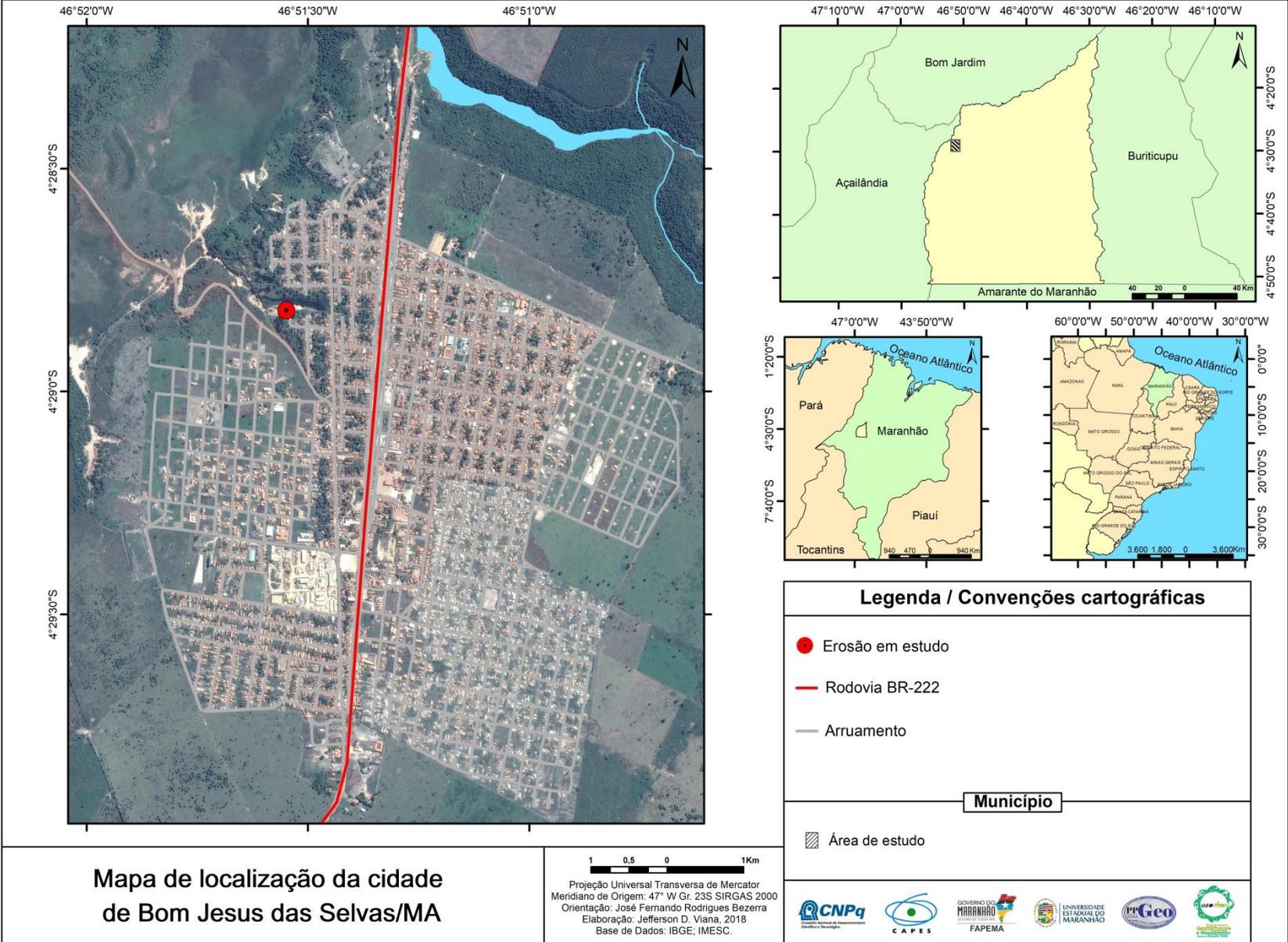
Neste contexto estadual, percebeu-se a necessidade de estudos relacionados a esta temática no município de Bom Jesus das Selvas, mais precisamente, na sede municipal, onde está inserido na Mesorregião Oeste maranhense, dentro da Microrregião Pindaré, compreendendo uma área de 2.679 km<sup>2</sup>. O município possui uma população estimada em 33.479 habitantes (IBGE, 2019). Limita-se ao Norte com o município de Bom Jardim; ao Sul, com o município de Amarante do Maranhão; a Leste, com o município de Buriticupu; e a Oeste, com o município de Açailândia (Figura 1).

Determinadas áreas da cidade de Bom Jesus das Selvas são refletidas de forma representativa na Figura 2 que apresenta a erosão em estudo, apesar disso, na cidade não existe apenas esta erosão, mas outras voçorocas e ravinas ameaçam a integridade física da cidade, sendo que nela não existem muitas pesquisas que abordem essa questão, nesse seguimento o poder público não dispõe de informações técnicas e nem atua na área no sentido de combater ou minimizar efetivamente o problema (SOARES *et al.* 2012).

Em Bom Jesus das Selvas, é perceptível não somente para pesquisadores ou cientistas a gravidade de processos erosivos em dimensões significativas, sendo dos processos encontrados destaca-se uma voçoroca, denominada de sete de setembro que foi a erosão estudada nesta pesquisa.

A área em estudo apresenta algumas características que corroboram para a ocorrência de erosões, tendo relação direta com a elevada declividade, com a contribuição e influência dos tipos de vertentes e com as formas de uso e ocupação, sendo o uso principalmente relacionado à ação antrópica muitas vezes não planejada que ocorrem na região. A princípio a retirada de vegetação é considerada o primeiro passo para o surgimento de erosão (SOARES *et al.* 2012), ação essa influenciada principalmente pelo escoamento superficial.

Figura 1: Mapa de localização da cidade de Bom Jesus das Selvas/MA



Mapa de localização da cidade de Bom Jesus das Selvas/MA

1 0,5 0 1Km  
Projeção Universal Transversa de Mercator  
Meridiano de Origem: 47° W Gr. 23S SIRGAS 2000  
Orientação: José Fernando Rodrigues Bezerra  
Elaboração: Jefferson D. Viana, 2018  
Base de Dados: IBGE, IMESC.



Figura 2 - Voçoroca estudada na cidade de Bom Jesus das Selvas/MA



Fonte: Viana, 2018.

Como mencionado, além da influência dos fatores naturais, faz-se também necessário, apresentar o fator humano como cooperador a gravidade gerada com o avanço das erosões na cidade, nesse segmento, a ação antrópica é levantada como uma das formas mais relevantes na questão da aceleração do desenvolvimento de processos erosivos.

Apesar da significativa importância do meio natural, a evolução de erosões na área de estudo é somada a ação humana, agente esse que interfere e é drasticamente prejudicado pelo avanço dos processos erosivos, o que acarreta na importância de identificar as áreas com maior suscetibilidade à erosão, visando uma adequação política/administrativa de espacialização da comunidade, com a tentativa de minimização dos impactos a nível tanto ambiental, como social.

Neste sentido, o mapeamento de suscetibilidade à erosão associado a fatores que pode ser voltado para o planejamento e melhor forma de uso e ocupação do solo está em avanço, e métodos associados ao uso de multicritérios com a utilização do Sistema de Informação Geográfica (SIG) tem gerado resultados satisfatórios, e por esse motivo empregado neste trabalho.

Uma das principais e das mais atraentes características das metodologias de análise de multicritério é a capacidade de reconhecer a subjetividade como fator inerente aos

problemas e utilizar julgamento de valor como forma de tratá-la cientificamente (COSTA; YIU, 2018). Essa análise tem a possibilidade de um aprofundamento em temáticas relacionadas ao mapeamento de áreas suscetíveis a erosão, visto que acarreta a soma de outros parâmetros que influenciam no meio e na ocorrência de processos erosivos. Sendo assim, faz-se necessário, como forma de almejar contribuir para a finalidade deste trabalho, o levantamento e análise das características ambientais.

Notável em trabalhos relacionados aos processos erosivos a necessidade de levantamento de informações correspondentes à importância do estudo do solo, como fator controlador e desencadeador de processos erosivos, visto que o tipo de erosão apresentada neste trabalho ocorre em solo, então, foi necessário um estudo aprofundado principalmente das características do solo, em seus aspectos físicos, referentes a densidade do solo, densidade de partículas, porosidade e descrição morfológica, as informações obtidas por esses aspectos culminou em resultados satisfatórios, que serão posteriormente somadas as análises das propriedades químicas do solo, que corroboram para melhor esclarecimento do fator solo, como agente controlador de erosões.

**Nesse sentido, o objetivo central deste trabalho será analisar os fatores controladores dos processos erosivos em área urbana, com ênfase no estudo de caso de voçoroca na cidade de Bom Jesus das Selvas/MA.**

Este trabalho se torna um empenho inovador e de elevada significância para a abordagem desta temática, visto que são irrisórios os estudos desenvolvidos na área em questão, o que aumenta as possibilidades de posteriormente o trabalho servir como subsídio para o levantamento de novas informações acerca do local em relação a erosões, apesar disso, destaca-se a importância e influência dos trabalhos já produzidos a nível estadual, nacional e internacional, sendo eles norteadores em métodos, técnicas, procedimentos e conceituação sobre o tema. A análise dos resultados será mediante uma abordagem direcionada ao conhecimento da influência dos agentes denominados neste trabalho de fatores controladores em sua significativa importância como elementos desencadeadores na origem, formação e desenvolvimento de erosões.

Neste sentido, os objetivos específicos deste trabalho são:

- Investigar e caracterizar os fatores controladores e causas determinísticas no processo de evolução da erosão;
- Analisar a dinâmica hidrológica relacionando a infiltração de água no solo, a descrição morfológica e as características físicas do solo;

- Avaliar a susceptibilidade à processos erosivos, através de mapas geoambientais e de susceptibilidade à erosão.

O presente trabalho organiza-se dividido em quatro partes fundamentais:

- Correspondendo a primeira etapa (capítulo 1) onde aborda-se a fundamentação teórica deste trabalho, apresentando os seguimentos preponderantes e necessários em contextualizar a temática ao seu histórico e conceitos, através de revisão bibliográfica.

- A segunda parte (capítulo 2) apresentará os procedimentos metodológicos empregada neste trabalho, assim como a apresentação e motivação da escolha da área de estudo, os procedimentos que acometem a realização do alcance dos objetivos propostos, e as etapas que culminaram nos resultados previstos a serem alcançados, como atividades de campo, de Geoprocessamento e análises em laboratório.

- Por conseguinte no capítulo 3, que apresenta a terceira parte deste trabalho, discorrem-se os resultados alcançados como resposta aos objetivos deste trabalho e discussões sobre a temática tratada.

- A última parte do trabalho, compreendendo o capítulo 4, apresenta as conclusões pertinentes ao referido estudo de erosões na cidade de Bom Jesus das Selvas.

## 2 A DINÂMICA AMBIENTAL NA GEOGRAFIA

Como uma das etapas fundamentais deste trabalho, as concepções relacionadas as teorias e conceituações perpassam por anseios necessários para melhor compreensão da temática tratada. Por este motivo, é detalhado neste capítulo o arcabouço relacionado a trabalhos já desenvolvidos sobre o tema de erosões, ultrapassando barreiras limítrofes a universidade, e indo ao alcance de livros, monografias, dissertações, teses, artigos, periódicos, que abordem o assunto tratado com alcance direto ou adaptação em relação a área de estudo.

### 2.1 Trajetos da Geografia à paisagem

Pensar a Geografia requer uma revisão minuciosa e detalhada dos conceitos que lhe dão forma. Dentre estes conceitos destaca-se neste trabalho a escolha da Paisagem como categoria que melhor se adapta ao referido estudo.

Dentre os autores percursores na Geografia, tem-se Humboldt que era naturalista e Ritter que era filósofo e historiador, em seus estudos lançaram as bases que nortearam a sistematização da ciência geográfica, tendo como objetivo primordial a compreensão dos diferentes lugares através da relação dos homens com a natureza, sendo que para isso, era necessário o conhecimento dos aspectos físico-naturais das paisagens, assim como dos aspectos humanos e sociais (DANTAS; MEDEIROS, 2008).

O conceito de paisagem foi associado originalmente ao positivismo, na escola alemã, sendo caracterizado como uma forma mais estática, onde focou-se os fatores geográficos em unidades espaciais, com ênfase em sua interpretação superficial (SCHIER, 2003).

Devido à complexidade quanto à trajetória de seu conceito, aborda-se neste trabalho a importância dos estudos voltados à temática da paisagem desenvolvida na Alemanha, França, assim como as contribuições da Ex – República Soviética, e seu desenvolvimento no Brasil.

O primeiro termo para designar paisagem foi a palavra alemã *landschaft*. Este termo existe desde a Idade Média, constituída por ser uma região de dimensões médias, em cujo território desenvolviam-se pequenas unidades de ocupação humana (MAXIMIANO, 2004).

Na Alemanha, surgem as primeiras ideias acerca de paisagem sob um ponto de vista científico. Alexandre Von Humboldt é considerado o pioneiro nas concepções paisagísticas no século XIX. Humboldt foi um viajante que estudou a paisagem em relação à vegetação, considerada por ele como o dado mais significativo para caracterizar um aspecto espacial. As

diferenciações paisagísticas que ele observava deveriam permitir entender as leis que regem a fisionomia do conjunto da natureza, pela aplicação de um método às vezes explicativo e comparativo. Outro importante estudioso foi Ratzel que desenvolveu seus trabalhos, no final do século XIX, na linha do racionalismo e do positivismo ambiental, considerando as relações de causa que interagem na natureza. Na virada do século, essa corrente resultou na *Landshaftskunde*, uma Ciência da Paisagem vista sob a ótica territorial (MOURA; SIMÕES, 2010).

Na França, a Geografia possuía um caráter processual mais significativa, destacando-se o funcionamento da paisagem. Apesar disso, ambas (alemã e francesa) estudaram a paisagem como uma face material do mundo (SCHIER, 2003).

Sendo assim, na França, a partir da Renascença, falou-se de paisagem com um sentido próximo do original *landschaft*, que considera os arredores, com uma conotação espacial delimitada e delimitante. Na mesma época, metade do século XVI, também surgiu a associação do termo paisagem à estética, aliando aspectos naturais e representação artística da paisagem. Os jardins franceses da Idade Média expressavam uma nova concepção de ordem, com marcas de unidade e grandeza, simetria e uma organização em torno de um eixo principal. Do centro para o exterior, ficavam as naturezas civilizada, rústica e selvagem. Assim eram os jardins “à francesa” (ROUGERIE; BEROUTCHATCHVILI, 1991).

De acordo com Guerra e Guerra (2006), a base nas orientações teórico-metodológicas das escolas de Geografia (com destaque a germânica e francesa), o desenvolvimento e a aplicação do conceito de paisagem foram construídos de maneira diferenciada. No século XIX, o estudo da paisagem trabalhou a abordagem descritiva e morfológica que abordava a natureza do ponto de vista de sua fisionomia e funcionalidade. Conforme Christofletti (1999), essa abordagem descritiva mostra que, em sua função estético-descritiva, a palavra paisagem teve seu desenvolvimento inicial relacionado com o paisagismo e com a arte dos jardins. A partir de então, a mesma começa a ganhar várias conotações nos diversos países europeus e abrange outros significados.

Durante o início do século XX, houve a tendência para descrição dos elementos físicos das paisagens (destacando-se as formas topográficas) em relação aos aspectos das atividades socioeconômicas. Dessa maneira, Sauer (1998) define a paisagem como sendo, uma área composta por associação distinta de formas, ao mesmo tempo físicas e culturais, onde sua estrutura e função são determinadas por formas integrantes e dependentes, ou seja, a paisagem corresponde a um organismo complexo, feito pela associação específica de formas e apreendido pela análise morfológica, ressaltando que se trata de uma interdependência entre

esses diversos constituintes, e não de uma simples adição, e que se torna conveniente considerar o papel do tempo.

A evolução dos estudos sobre paisagem tem na ex-União Soviética um passo significativo, que teve início no final do século XX, com o nome de Geografia Física Complexa. Sua origem assemelha-se à da Escola Alemã. As escolas moscovitas, apresentam uma abordagem da paisagem mais próxima da Física e da Matemática. Grigoriev, Solncev e Isachenko, teóricos, mostram grande interesse nesses estudos, já que eles poderiam levar ao estudo dinâmico da paisagem. Foi de fundamental importância à Ciência da Paisagem, os estudos da Geografia soviética, uma vez que daí surgiram estruturas institucionais dedicadas a várias especializações, sendo ainda mais importantes as contribuições de ordem epistemológica, que ajudaram a difundir os trabalhos de Sotchava para além da antiga União Soviética e dos países do leste europeu (MOURA; SIMÕES, 2010).

Já no Brasil, a construção do conceito de paisagem foi influenciada pela escola francesa, inspirada principalmente nos trabalhos de Tricart e Bertrand. Em relação à compreensão de paisagem norteadora para limitação e fragmentação de ambientes, durante muitos anos foi utilizada uma compartimentação do relevo brasileiro, elaborada pelo geógrafo e professor Aroldo de Azevedo, em 1940. Após, com Ab'Saber, em 1969, propôs os Domínios Morfoclimáticos Brasileiros, considerando a “relação cobertura vegetal, tipo de clima e modelado predominante do relevo” (MAXIMIANO, 2004).

De acordo com o autor supramencionado (2004), Ross, geógrafo, em 1985, propõe uma nova classificação do relevo brasileiro, dividida em Unidades de Planaltos, de Planícies e Depressões, formando no total, vinte e oito macros unidades geomorfológicas, consideradas quanto à estrutura e morfoescultura. Como geomorfólogo, Ross naturalmente enfatiza o uso de sua especialidade na classificação e estudo de paisagens. Entretanto, a presença humana não é excluída de seu conceito, mas considerada como ações antrópicas, identificadas pelo uso do solo e frequentemente responsáveis pela fragilização de ambientes.

Percebe-se com os estudos desenvolvidos quanto a paisagem, que está temática como categoria de entendimento do ambiente, foi utilizada como ferramenta de caracterização e aspectos semelhantes de determinado meio, que composto com demais detalhamento em seus estudos pode resultar em informações que até hoje são utilizados nos estudos quanto as características do país.

De acordo com vários estudos pode-se dizer que a origem do termo paisagem é muito mais antiga do que se pode imaginar, sendo que o mesmo é empregado há mais de mil

anos por meio da palavra alemã *landschaft* (paisagem) e desde então vem tendo uma evolução linguística muito significativa (TROLL, 1982).

Besse (2014) destaca uma informação importante quanto à paisagem, de acordo com o mesmo é necessário lembrar que a paisagem não é natureza, mas o mundo humano tal como ficou inscrito na natureza ao transformá-la.

Mediante a importância dos estudos desenvolvidos sobre a categoria paisagem, evidencia-se neste trabalho, relacionado à erosão que é um fenômeno natural através do qual a superfície terrestre é desgastada e modelada por processos físicos, químicos e biológicos de remoção de partículas do solo, que modelam de forma direta e indireta a paisagem. Além disso, a intensificação da ação indiscriminada do homem faz com que seja um dos principais agentes modificadores da paisagem (CORRÊA, 2006).

Através dos processos desenvolvidos em erosões, suas ações geram fenômenos naturais contínuos de dinâmica externa, que modelam a paisagem da superfície terrestre (GUERRA; CUNHA, 2001). Sendo em destaque, a exemplo, a influência que as voçorocas causam na paisagem, prejudicando a dinâmica natural do meio, assim como a social, e até outras áreas.

De acordo com a literatura pesquisada adota-se neste trabalho o conceito de Paisagem de Maximiano (2004) que afirma que a paisagem pode ser entendida como o produto das interações entre elementos de origem natural e humana, em um determinado espaço. Estes elementos de paisagem organizam-se de maneira dinâmica, ao longo do tempo e do espaço. Resultam daí feições e condições também dinâmicas, diferenciadas ou repetidas, o que permite uma classificação, ao agrupar-se os arranjos similares, separando-os dos diferentes.

Com base nisto entende-se que a paisagem é considerada um elemento pré-existente antes mesmo do ser humano, onde sua dinâmica e equilíbrio eram menos afetados, entretanto, é notório que com o surgimento do homem, a paisagem acarretou e até o momento sofre drasticamente com mudanças, principalmente causadas pela ação antrópica, que em determinados locais provoca extremas modificações que alteram o equilíbrio natural.

## **2.2 A construção da identidade geomorfológica e sua caracterização**

A Geomorfologia aparece como campo distinto no estudo das formas da superfície da Terra, surge na intercepção entre as áreas do saber mais abrangentes que se identifica como Geologia e Geografia. O estudo histórico da posição da Geomorfologia na partilha acadêmica

pode ser visto sob duas perspectivas distintas: uma que aborda a história do seu desenvolvimento, cruzando-a com um olhar epistemológico em cada fase de desenvolvimento; outra que procura contextualizar essa história com os processos de partilha disciplinar na organização dos estudos em países com diferentes tradições acadêmicas. Uma e outra via contribuem para aclarar a razão do surgimento de temas de estudo específicos, da elaboração de linguagens e da adoção de métodos (GAMA; DIMUCCIO, 2013).

É fato incontestável, que a Geomorfologia como ciência que estuda as formas do relevo principalmente quanto à sua geometria, gênese, idade, e dinamismo inclui-se no contexto das ciências da Terra, destacando-se neste âmbito como fator principal, o relevo, que não pode ser deixado de lado nos estudos ambientais (ROSS, 2014).

As novas gerações de geógrafos e geomorfologistas conheceram os primórdios da Geomorfologia na Espanha, com estudos descritivos, nascidos de uma base geográfica, geológica e naturalista, sob a proteção das escolas científicas alemãs e francesas. Nos últimos cinquenta anos, as questões genéticas vêm ganhando terreno e interesse meramente descritivo, embora com foco em um caráter quaternário. a Geomorfologia tem facilitado a proliferação de novas equipes, orientadas para problemas de erosão, desertificação, riscos naturais e mudanças globais. Essas investigações, de grande importância e impacto (VIDAL; BARROSO, 1999).

Geomorfologia, baseada no estudo do relevo, analisa a superfície topográfica terrestre tentando desmascarar a origem e os processos envolvidos na geração dos diferentes segmentos que estão integrados nele. De forma recíproca, juntando sequencialmente os diferentes segmentos, de diferentes idades e características genéticas, a Geomorfologia busca as chaves para poder interpretar a evolução do relevo através do tempo e as sucessivas transformações que deram origem aos relevos que contemplamos hoje. Portanto, pode-se pensar que esta ciência não precisa obrigatoriamente da componente pedra para suas investigações, mas que pode ser apoiada no estudo dos processos Geodinâmicos e sua expressão geomorfológica para entender a sucessão das diferentes modificações que vem acontecendo ao longo do tempo. No entanto, o conhecimento dos materiais subjacentes e/ou integrados aos formulários é uma ferramenta de uso obrigatório se quisermos fazer uma interpretação correta em uma chave genética dos relevos analisados, seja do ponto de vista climático, tectônico ou misto (VIDAL; BARROSO, 1999, p. 5).

A Geomorfologia, de acordo com Derbyshire *et al.* (1979) é a ciência que estuda as formas do relevo e sua respectiva evolução. Etimologicamente o termo significa o estudo das formas da Terra. Entretanto, faz-se necessário um completo entendimento dos processos geomorfológicos para a compreensão dessas formas. A Geomorfologia engloba um conjunto de técnicas de investigações sobre o modelado terrestre, capaz de estipular a evolução natural do relevo e prever suas transformações futuras.

O significado do termo Geomorfologia está parcialmente inserido na própria palavra: *geo* significa “Terra”; *morfo* significa “forma” e *logia* significa “estudo”: portanto, Estudo da forma da terra. A Geomorfologia não trata de estudar a forma do nosso planeta, que é uma temática da Astronomia, da Geofísica ou da Cartografia. A Geomorfologia trata das formas do relevo na superfície da Terra, estudando suas propriedades geométricas, ou seja, a morfologia do relevo (AFONSO *et al.* 2014).

A Geomorfologia é, portanto, “Um discurso sobre as formas da Terra”. O termo foi utilizado em algum momento das décadas de 1870 e 1880 para descrever a morfologia da superfície da Terra, foi originalmente definido como “O estudo genético das formas topográficas”, e foi usado na linguagem popular em 1896. Hoje, a Geomorfologia é o estudo das características da superfície terrestre, sua forma de terra – rios, colinas, planícies, praias, areia dunas e muitos outros (HUGGETT, 2011).

Por muito pouco tentado que seja pela especulação filosófica, o cientista que queira escrever a história da sua disciplina não pode ignorar esta questão: quando começa a ciência? Por exemplo quando pomos esta questão no que se refere à Geomorfologia não podemos deixar de nos lembrar daquilo que diz Gohau (1987) para a Geologia: “a Geologia só surge como disciplina científica de pleno direito e dotada de instituições no fim do século XVIII”. Mas no que se refere à Geomorfologia a dificuldade aumenta, já que podemos falar de mais de um começo (GAMA; DIMUCCIO, 2013).

Ora, se desde tempos pré-históricos, o homem toma conhecimento do meio que o rodeia, em virtude de ter de arrancar da Terra os seus recursos e as suas ferramentas e forja-los, ao mesmo tempo, os mitos acerca da criação do mundo. Assim, o objetivo da Geologia pode ser definido por uma dupla preocupação: por um lado, conhecer a parte da Terra acessível à observação, conhecimento esse, em boa medida, partilhado com a Geomorfologia, e, por outro, construir a história dessa mesma Terra. Nesta medida, o homem de há muito que faz Geologia, ou mesmo Geomorfologia, mesmo quando estas palavras ainda não existiam. Por conseguinte, embora a preocupação com o estudo das formas do relevo remonte a tempos antigos, foi, sobretudo, a partir dos séculos XVI e XVII, que se assistiu a uma renovação da curiosidade apoiada em novos modos de ver a natureza, assim como na elaboração de novos caminhos metodológicos (GAMA; DIMUCCIO, 2013, p. 780).

A Geomorfologia edificou-se com nítida vinculação aos campos de interesse da Geologia, bem como também da Geografia, assumindo assim um importante papel ao ser abordada no contexto geográfico, considerando sua contribuição principalmente no processo de ordenamento territorial (CRISTOFOLLETI, 1980) e no quadro ambiental por completo, sendo neste sentido ambas as ciências imprescindíveis nos estudos que emergem a utilização dos recursos naturais ou proteção da natureza (ROSS, 2014).

Nesse âmbito geomorfológico é possível constatar que a mesma se encontra de forma especial nos estudos relacionados a temática ambiental, incluindo tanto a ação humana com suas tecnologias capazes de impactar, mas também de recuperar o meio, bem como a própria natureza que de acordo com Ross (2014, p. 16) possui “seus mecanismos de defesa ou pelo menos de autorregeneração; e que as degradações ambientais nem sempre chegam ao nível do catastrófico”. Apesar disso, vale destacar que o impacto pode ser maior do que a capacidade da natureza em se defender e ou se regenerar, é neste momento que em muitos casos o homem é um dos principais influenciadores, bem como também o mais atingido.

A Geomorfologia é a ciência que estuda as formas de relevo. As formas representam a expressão espacial de uma superfície, compondo diferentes configurações da paisagem morfológica. É o seu aspecto visível, a sua configuração, que caracteriza o modelado topográfico de uma área (CRISTOFOLLETTI, 1980, p. 1).

De acordo com o autor supramencionado (1980), as formas de relevo constituem o objeto da Geomorfologia. Mas se as formas existem, é porque elas foram esculpidas pela ação de determinado processo ou grupo de processos. Podendo ser definido processo como sendo uma sequência de ações regulares ou irregulares contínuos que se desenvolvem de maneira relativamente bem especificada e levando a um resultado determinado. As formas, os processos e as suas relações constituem o sistema geomorfológico, que é um sistema aberto, pois recebe influências e atua sobre outros sistemas componentes de seu universo.

Os estudos em Geomorfologia abrangem quatro aspectos fundamentais, sendo eles: a morfologia que trata da geometria das formas de relevo, medindo extensão, largura, altura, comprimento, desnivelamento e declividade das formas de relevo; a morfogênese que abrange a origem e evolução das formas de relevo, situando-as no tempo a partir das sucessivas modificações provocadas por agentes internos e externos do relevo; a morfocronologia que refere-se à idade absoluta e relativa das formas de relevo e dos processos, e registros estratigráficos a elas relacionados; e a morfodinâmica trata dos processos e da dinâmica atual das formas de relevo (AFONSO *et al.* 2014). Destaca-se destes segmentos para este trabalho a importância dos estudos voltados para morfodinâmica, por ser o fator de maior destaque quanto ao estudo desenvolvido nesta pesquisa, em específico aos processos erosivos, que transformam e modelam as formas de relevo pré-existentes na superfície terrestre atualmente.

Neste sentido Afonso *et al.* (2014) destaca que a perspectiva morfodinâmica refere-se à análise dos processos geomorfológicos responsáveis pelo retrabalhamento das formas de relevo a partir da ação dos agentes externos. Esta abordagem busca entender as interações existentes entre as formas de relevo, os processos de desagregação das rochas (intemperismo)

e dos agentes transportadores (gravidade, rio, gelo, vento e oceanos), bem como os processos de erosão, transporte e deposição de materiais.

Desse modo, as formas do relevo terrestre que em última instância representam geometricamente a silhueta da superfície da crosta são fruto das forças de oposição externas e internas da Terra. A gênese é comandada pelas fontes energéticas exógenas (agentes externos) – representada pela energia solar – e endógena (agentes internos) – configurada pelas forças que o manto e o núcleo da Terra exercem sob a litosfera (ROSS, 2014).

De acordo com o exposto e devido a sua importância quanto aos estudos voltados para o ambiente e o homem, a Geomorfologia tem tido, cada vez mais aplicações em diversos campos de conhecimento, como pode-se citar no Planejamento Ambiental. Enquanto alguns cientistas procuram entender o planeta Terra, os geógrafos estão preocupados com as interações de uma grande variedade de fatores que controlam a dinâmica da superfície terrestre, incluindo o papel das atividades antropogênicas, de caráter rural ou urbano, que são dinâmicas, do ponto de vista geomorfológico, apresentam problemas específicos, e devem também ser analisados. Na grande maioria das vezes, esses problemas ocorrem devido à falta de planejamento ambiental, e políticas públicas.

Temos que nos preocupar, não apenas com as políticas atuais, mas também as necessidades futuras, a partir da aplicação de determinadas políticas, em relação ao meio ambiente. A Geomorfologia se preocupa com os processos atuantes na superfície terrestre. Dessa forma, qualquer atividade que modifique as formas de relevo, induzem movimentação de materiais, ou alteram a quantidade e qualidade de água e a rede de drenagem, onde estão situadas. Muitas atividades podem afetar, indiretamente, as propriedades da superfície terrestre, através de interações com a cobertura vegetal (GUERRA, 2018, p. 271).

Associado a temática de planejamento ambiental, voltado especificamente para ação antrópica, tem-se em destaque nas literaturas de Christofletti (1980), Ross (2014), Guerra (2018) o homem como sendo considerado um dos principais agentes geomorfológicos, onde em ambientes urbanos, as ações e consequências dessa influência são mais visíveis e afeta o homem com mais intensidade.

Pensando na crescente problemática vivenciada entre o homem e o ambiente, mais precisamente em meio urbano, a Geomorfologia oferece diversas possibilidades na busca por novos parâmetros para o reconhecimento da relação sociedade e natureza, devido a essa questão surge como uma nova subdivisão de ciência geomorfológica a Geomorfologia Urbana, que destaca em seus estudos as ações dos processos sobre um ambiente artificial, a importância desses estudo visa principalmente à preocupação com as diversas mudanças que o homem tem provocado no meio, já que a maior parte dos problemas enfrentados pela sociedade refere-se a problemas visíveis nas cidades (GUERRA, 2011).

Mediante isso, Guerra (2011) afirma que qualquer obra que o homem realize sobre uma encosta poderá afetar as formas de relevo, sendo isso bem comum em áreas urbanas, onde essa intervenção interfere na transformação da superfície terrestre.

Mesmo que se aceite que as encostas possuem características próprias independentemente do local onde estejam situadas, aquelas localizadas em áreas urbanas, sofrem tantas transformações ao longo do tempo, que passam a ter características bem distintas daquelas que se encontram, por exemplo, nas áreas rurais (GUERRA, 2011, p. 18).

Devido ao processo de urbanização causado pelo crescimento urbano das cidades, os recursos naturais foram significativamente comprometidos e degradados devido à rápida e intensa urbanização, isto é, aumentando a população urbana, a expansão urbana e ampliando as redes de transporte e a industrialização (PERVEEN *et al.* 2017).

De acordo com Guerra (2011) as encostas urbanas são talvez as mais afetadas, devido ao uso mais intensivo, se compararmos às encostas das áreas rurais. As transformações que o homem impõe às encostas situadas nas cidades às tornam cada vez mais suscetíveis de danos, de toda natureza, uma vez que, na maioria das vezes, não há um estudo prévio da sua suscetibilidade à ocorrência de erosão.

Mediante o exposto, pode-se destacar que qualquer ação do homem sobre a superfície da Terra pode gerar danos, que perpassam em alguns casos as expectativas de impactos sobre a mesma, ou seja, em especial neste trabalho, nos ambientes urbanos as várias formas de relevo existentes, podem ser afetadas, desde encostas, topos de tabuleiros, fundo de vales, entre outros, devido à ação do homem sem um planejamento específico de cada local.

Neste sentido, é indispensável lembrar que os objetos de estudos da Geomorfologia, o relevo e seus processos geradores, têm, na explicação de suas existências e evoluções, a necessidade de conhecimentos relativos à contribuição de fatores como a Geologia, o Clima, a Topografia, o Solo, a Hidrografia, a Biologia e o Homem (ROSS, 2014).

### **2.3 Morfodinâmica: os processos exógenos**

Compreendido como um dos aspectos fundamentais nos estudos geomorfológicos, principalmente voltados para a temática de erosões, a seguir apresenta-se alguns conceitos e compreensões necessárias para melhor entendimento sobre de que forma e como se desenvolve os processos e ações, principalmente externas sobre o relevo terrestre, que ocasiona a modelação do mesmo.

### 2.3.1 Processos erosivos

Existem atualmente diversos trabalhos relacionados a processos erosivos em todo o mundo, visando uma amplitude que abrange não somente ambientes específicos, mas sobre toda a superfície terrestre, incluindo características detalhadas de cada local, pois em estudos em relação a esta temática, não deve-se generalizar todas etapas do processo, ou seja, cada ambiente, possui uma característica peculiar que pode diferenciar de outro, o que inviabiliza declarar que determinado fator é o mais importante em toda a superfície da Terra, pois, o mesmo pode em outra localidade não conferir o mesmo aspecto.

A erosão é um dos principais problemas ambientais decorrentes no Brasil, causando danos como a perda de terras agricultáveis, destruição de construções e induzindo até mesmo a desertificação; por isso seu controle torna-se fundamental frente à conservação dos recursos naturais e a prevenção de danos ao homem (SILVA, *et al.* 2012).

Os processos erosivos, apesar de naturais, tem seu equilíbrio dinâmico rompido a partir das formas impróprias de ocupação do relevo pelo uso da terra com ausência de técnicas conservacionistas e planejamento urbano adequado, o que tem provocado alterações na paisagem (FRANCISCO; NUNES, 2015).

Neste sentido, a fim de aprofundar sobre o processo de erosão, entende-se que o mesmo se divide basicamente em três etapas distintas, que podem ou não ocorrerem de forma simultânea, sendo elas: a desagregação, transporte e deposição de partículas oriundas do solo, destaca-se que a intensidade dessas etapas varia de acordo com cada ambiente e com os diversos fatores atuantes.

A desagregação das partículas do solo ocorre devido ao papel do efeito *splash* que corresponde ao impacto que a gota de água causa ao tocar o solo, e mediante sua energia cinética, que corresponde a sua erosividade – habilidade da chuva em causar erosão – sendo o estágio inicial do processo erosivo, que corrobora para o desencadeamento dos demais processos, que corresponde ao transporte das partículas desagregadas.

O transporte dessas partículas é aumentado com a intensificação do escoamento, principalmente o superficial, onde começa a haver uma concentração do fluxo de água. A medida que o fluxo se torna concentrado em canais bem pequenos, a profundidade do fluxo aumenta e a velocidade diminui, devido as partículas que são transportadas por esses pequenos canais que começam a se formar em estágio inicial de sulcos, e intensificados para ravinas (GUERRA *et al.* 2012).

A erosão por ravinamento deve-se à concentração de grandes quantidades de água num dado local, que acabam por desenvolver uma ravina. A ravina é um estágio muito avançado da erosão por sulcos, ocasionada por grandes concentrações de escoamento, que passam no mesmo sulco, ampliando-o em profundidade e extensão (OLIVEIRA, 2012).

Atualmente, as principais feições erosivas são as ravinas e as voçorocas, que são umas das principais formas de erosões na superfície da Terra, sendo que a diferença entre elas se dá basicamente em relação a suas respectivas dimensões.

As voçorocas são processos inter-relacionados, quando diversos fatores se conjugam associado aos desequilíbrios ambientais ou provocado pelas ações antrópicas. Ou seja, quando há aumento da concentração de fluxos de águas, desmatamento, uso intensivo do solo e aumento da declividade. Os locais onde há ocorrência de maior concentração de erosões lineares são os primeiros pontos a serem considerados, tais áreas consistem em zonas de confluências por existir um elevado grau de concentração de erosões lineares, pois as mesmas consistem em zonas de convergência dos fluxos superficial e subterrâneo principalmente nas cabeceiras dos cursos d'água. Existindo assim uma interação sinérgica que desencadeia os processos causadores de incisões sobre as vertentes (AIMON *et al.* 2018).

Neste sentido, as voçorocas apresentam ameaças à estabilidade do solo e riscos à população que vive próxima a elas, devido a sua dinâmica catastrófica e muitas vezes imprevisível (FRANCISCO, 2011).

Dentre as diversas formas de erosões, as voçorocas são as que causam os maiores danos, pois carregam nutrientes até a parte baixa e corpos d'água causando o empobrecimento das terras de forma acelerada, promovem o assoreamento dos rios e posterior inundação de casas próximas às margens, além de diminuir a área utilizável para agricultura e pecuária de ambientes rurais, assim como danos a áreas urbanas (RODRIGUES *et al.* 2016).

Erosões do tipo voçorocas podem chegar a vários metros de comprimento e de profundidade, devido ao fluxo de água em seu interior, causando uma grande movimentação de partículas. Algumas voçorocas podem chegar até mesmo ao nível do lençol freático do local onde ocorrem. As voçorocas são consideradas um dos piores problemas ambientais em áreas de rochas cristalinas nas regiões tropicais de montanha onde são frequentes e podem alcançar grandes dimensões (FERREIRA *et al.* 2016).

Em termos de erosão, a voçoroca é a manifestação de um grande poder destrutivo, visto as dimensões que podem atingir (dezenas de metros de largura e de profundidade e centenas de metros de comprimento com ramificações igualmente monumentais) e a rapidez

no avanço do seu poder destrutivo, atingindo edificações, estradas, pastagens, etc. (SANT'ANNA NETO; ZAVATINI, 2000).

As voçorocas são classificadas pela sua profundidade. Elas são profundas quando têm mais de 5m de profundidade; médias, quando têm de 1 a 5m; e pequenas, com menos de 1m. Pela área da bacia, elas são consideradas pequenas quando a área de drenagem é menor do que 2 hectares; médias, quando de 2 a 20 hectares, e grandes, quando têm mais de 20 hectares (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010).

Devido à complexidade quanto aos estudos que envolvem os processos erosivos e conceitos empregados principalmente a voçoroca que é a forma erosiva em estudo neste trabalho. Sendo assim, de acordo com a variedade de pesquisas e autores que envolve esta temática, neste trabalho adota-se o conceito de voçoroca considerando sua incisão, ou seja, levou-se em conta corte com profundidade e larguras acima de 50 cm.

Mediante estudos aplicados a dinâmica de formação, desenvolvimento e evolução de determinado processo erosivo, foi definido que as voçorocas podem ter variações além de espaciais e temporais, com influência da característica hidrológica, remeteu ao desenvolvimento de uma classificação das incisões erosivas, denominadas de: 1 – Voçorocas conectadas a rede de drenagem, 2 – Voçorocas desconectadas a rede de drenagem e 3- Voçorocas de integração do tipo 1 e 2. As voçorocas classificadas como conectadas a rede de drenagem estão associadas ao escoamento subterrâneo nas partes mais baixas; as voçorocas desconectadas a rede de drenagem são localizadas na parte superior da encosta, ligada ao escoamento por superfície; no terceiro tipo existe a unificação dos dois outros tipos (conectadas e desconectadas) formando assim um processo erosivo definido (GUERRA *et al.* 2012).

Existe além do estudo dos processos erosivos em específico, como tais as voçorocas, a presença em alguns casos de subprocessos, que podem ser encontradas por toda área erosiva, essas subfeições surgem por conta da ação dos mecanismos causadores da formação e evolução de ravinas e voçorocas, podemos citar como mecanismos os deslocamentos de partículas causados pela ação das gotas de chuva (*splash*), o transporte dessas partículas do solo por escoamento (difuso ou concentrado) (GUERRA *et al.* 2012).

Esses subprocessos variam entre dimensões e características, podemos assim citar as alcovas de regressão, que são feições erosivas que podem ser observadas sob diferentes condições litológicas e climáticas, podendo ser esculpidas tanto pelo escoamento superficial na forma de filetes subverticais quanto pelo afloramento do lençol freático, ou pela combinação desses dois fatores (OLIVEIRA, 2012).

De acordo com o autor supracitado (2012) outro tipo de subfeição erosiva encontrada em uma erosão são as escamas, que constituem feições formadas pelo acúmulo de material fino (areia fina ou muito fina) sobre superfície mais resistente. O transporte dessas partículas ocorre em forma de pequenos fluxos laminares verticais a subverticais. Esse tipo de subprocesso é encontrado em duas de três voçorocas encontradas na área de estudo.

Existem também os filetes subverticais, que também são subfeições erosivas, eles são encontrados, preferencialmente, em paredes de voçorocas esculpidas em materiais pouco coesivos em contato com materiais de maior coesão (CORRÊA, 2006).

As alcovas de regressão são feições erosivas que podem ser esculpidas tanto pelo escoamento superficial na forma de filetes subverticais, quanto pelo afloramento do freático, ou ainda pela combinação desses dois mecanismos (OLIVEIRA, 2012).

As formas existentes de feições erosivas se assemelham em suas funções pautadas principalmente na deposição dos sedimentos que foram desagregados do solo e transportados pelo escoamento superficial, sendo assim, tanto as ravinas como as voçorocas, são exemplos de fluxos que transportam as partículas e depositam geralmente em fundo de vales, sendo este fator um dos principais causadores do assoreamento de rios.

Nesse sentido, as voçorocas são processos inter-relacionados quando diversos fatores se conjugam associado aos desequilíbrios ambientais ou provocado pelas ações antrópicas. Ou seja, quando há aumento da concentração de fluxos de águas, desmatamento, uso intensivo do solo e aumento da declividade. Os locais onde a ocorrência de maior concentração de erosões lineares são o primeiro ponto a ser considerado, tais áreas consistem em zonas de confluências por existir um elevado grau de concentração de erosões lineares, pois as mesmas consistem em zonas de convergência dos fluxos superficial e subterrâneo principalmente nas cabeceiras dos cursos d'água. Existindo assim uma interação sinérgica que desencadeia os processos causadores de incisões sobre as vertentes (AIMON, 2018).

Como apresentado, a erosão do solo é considerada um problema a nível global e representam questões importantes em muitos países, inclusive no Brasil, pois apesar de naturais, tem afetado drasticamente ao homem. Os riscos afetam as áreas urbanas e rurais dentro do extenso território nacional. Sendo assim, esse problema tem sérios impactos ambientais e socioeconômicos (GUERRA *et al.* 2014).

A maioria das terras agrícolas e em alguns locais em áreas urbanas mundiais apresentam taxas de erosão significativamente altas. As áreas afetadas por erosão acelerada pela influência humana chegam a 12% na América do Norte, 18% na América do Sul, 19% na Oceania, 26% na Europa, 27% na África e 31% na Ásia (HERNANI *et al.* 2016).

A erosão do solo é uma séria ameaça à manutenção da vida no planeta. Estudo realizado pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) revelou que 33% dos solos de todo o mundo estão degradados em decorrência de diversos fatores, entre eles, o processo erosivo. Estudos recentes no Brasil mostram que mudanças no uso da terra vêm aumentando a degradação do solo, consequência do processo erosivo (WANG *et al.* 2016).

Outro aspecto, como já abordado neste trabalho como principal ênfase em seu estudo de processos erosivos, mas específico em sua forma natural, diz respeito a erosão pluvial, neste sentido, de acordo com Guerra (2012) o processo erosivo causado pela água das chuvas tem abrangência em quase toda a superfície terrestre, em especial nas áreas com clima tropical, onde os totais pluviométricos são bem mais elevados do que em outras regiões. Dentre os principais tipos de erosões destaca-se as causadas pela água (hídrica), principalmente por intermédio das chuvas (pluvial). No Brasil a erosão hídrica é a mais importante, devido principalmente sua localização geográfica e aspectos climáticos, e sua forma em erosão pluvial é a analisada neste trabalho.

No Brasil, a erosão causada pela água da chuva é a forma mais significativa de degradação do solo, com perdas que variam de 0,1 t ha<sup>-1</sup> até 136,0 t ha<sup>-1</sup> conforme o uso e cobertura do solo (ANACHE *et al.* 2017). Causando sérios problemas, tanto nos locais onde ocorrem os processos no local (*on site*) como fora do local (*off site*) (GUERRA, 2014).

No Brasil, a ocupação urbana em alguns momentos desordenada em terrenos com características impróprias, tais como planícies de inundação, encostas com declividade acentuada e terrenos com suscetibilidade a processos erosivos e colapso de solo, ocorre tanto em grandes regiões metropolitanas como em cidades de pequeno e médio porte, o que ocasiona um grande número de situações de risco a moradias e infraestrutura (AMORIM *et al.* 2017).

Antes mesmo do aparecimento do homem, os processos erosivos já ocorriam caracterizando um fato natural da dinâmica do planeta, ocorrendo a centenas de anos, impactando diretamente na formação e no modelado da superfície terrestre, das rochas e dos solos. Nesse sentido os processos erosivos contribuíram e contribuem diretamente para a esculturação do relevo, sendo de grande importância para a evolução das formas encontradas no ambiente terrestre. Entretanto, a erosão dos solos tanto em áreas rurais ou urbanas vem causando enormes prejuízos não só econômico, mas, sobretudo ambiental especialmente nessas áreas, devido à retirada da vegetação e uso muitas vezes inadequado do solo (AIMON, 2018).

Há estudos voltados para quantificação e distribuição de erosões sobre o território brasileiro, onde os municípios que apresentam presença de erosões declararam que condições geológicas e morfológicas (47,8%) bem como ocupações intensas e desordenadas do solo (46,4%) foram os principais fatores agravantes da erosão urbana (IBGE, 2008).

Destaca-se em relação aos estudos de erosão, que a principal causa da degradação do solo em ambientes tropicais e subtropicais úmidos como já mencionado é a erosão hídrica e as atividades que contribuem para o aumento das perdas de solo. A erosão hídrica é um processo natural que acontece em escala de tempo geológica. As atividades humanas tendem a acelerar esse processo a ponto de tornar visíveis os seus efeitos. Naturalmente, sob condições climáticas adversas, como seca ou excesso de chuvas, os resultados são dramáticos e chamam a atenção (HERNANI *et al.* 2016).

De acordo com a Lei no. 1.806 de 06 de janeiro de 1953 dentro dos limites do contexto da Amazônia Legal (AMZ-L), os Estados que compõe são: Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins e parte do Maranhão (Oeste do meridiano de 44°). Nos limites da AMZ-L o Maranhão se encontra na Amazônia Oriental.

E mediante a essa localização no contexto da Amazônia Legal o crescente processo de ocupação rural e urbana, tem desencadeado impactos ambientais de difícil solução. A expansão do desmatamento é um problema que cresce a cada ano nessa região e vem potencializando características naturais do local na ocorrência de processos erosivos de grande porte (GUERRA *et al.* 2014), sendo este fenômeno bastante presente no Maranhão, inclusive na área de estudo, que de acordo com a legislação encontra-se dentro dos limites da AMZ-L.

No Estado do Maranhão, esse processo demonstra-se cada vez mais intenso, tendo como uma das principais causas, o desmatamento frequente em áreas de rápido crescimento urbano. Esses fenômenos estão sendo registrados com maior intensidade nas áreas de expansão demográfica recente, onde são identificadas zonas de risco ambiental potencial implicando perdas de patrimônio e risco de vida (MENDONÇA *et al.* 2001; BEZERRA, *et al.* 2005; SATHLER *et al.* 2005; FURTADO *et al.* 2006; BEZERRA; GUERRA, 2007; BEZERRA *et al.* 2009).

Neste sentido, na região próxima a área de estudo pode-se destacar os municípios de Açailândia e Buriticupu (límitrofes ao município de Bom Jesus das Selvas) que possuem em seus históricos e atuais situações, uma visibilidade significativa quanto a temática de erosões, visto que pesquisadores e trabalhos desenvolvidos como os de: Guerra, Coelho, Marçal (1998), Castro *et al.* (2004 e 2006) e órgãos como Companhia de Pesquisa de Recursos

Minerais (CPRM, 2013) reafirmam em seus trabalhos com aproximadamente 20 anos que as erosões acompanharam o crescimento desses locais.

Vale ressaltar, que o município de Bom Jesus das Selvas teve sua emancipação em 1994, ou seja, possui 26 anos, e as erosões presentes na cidade e em parte do município, acompanham o desenvolvimento do mesmo desde sua emancipação e tem-se agravado até os dias atuais.

Mediante o exposto, tem-se que a erosão é um processo natural e ocorre mesmo em ecossistemas em equilíbrio. A intervenção humana eleva a taxa de incidência desse processo gerando a “erosão acelerada”. Esta constitui um fenômeno de grande importância em razão da rapidez de seu desencadeamento e por acarretar grandes prejuízos não só para a exploração agropecuária, mas também para diversas outras atividades econômicas e ao meio ambiente. A magnitude da erosão acelerada se relaciona às características do solo, às condições climáticas e ao uso e manejo dos recursos naturais (HERNANI *et al.* 2016).

### 2.3.2 Mecanismos erosivos

Neste trabalho o tipo de erosão estudada corresponde a desenvolvida pela ação das chuvas (pluvial), e em específico a erosão do tipo linear, e seu mais elevado estágio, o de ocorrência de voçorocas. Apesar disto, não se nega a concepção e existência de outras formas e tipos de erosões, como as erosões fluviais (rios), marinha (mar), eólica (vento), entre outros.

Neste sentido, a erosão por voçorocas é causada por vários mecanismos que atuam em diferentes escalas temporais e espaciais. Todos derivam de rotas tomadas pelos fluxos de água, que podem ocorrer tanto na superfície como em subsuperfície (OLIVEIRA, 2012). Sendo discernido neste trabalho os mecanismos a seguir:

#### (a) Impacto de gotas de chuva (*splash*)

Conhecido como *splash*, o deslocamento de partículas por impacto de gotas de chuva acarreta compactação da superfície do terreno, através da remobilização de silte e argila nos espaços intergranulares, e erosão, através de projeção de partículas para fora da zona de impacto (OLIVEIRA, 2012).

Algumas propriedades dos solos, como: teor de matéria orgânica, textura, densidade, porosidade e estrutura, bem como características das encostas, da cobertura vegetal, da erosividade da chuva e do uso da terra, interferem direta ou indiretamente na quebra dos agregados. A tendência é que essas partículas preencham os poros do solo, causando a

selagem e a redução da porosidade, eventos que reduzem as taxas de infiltração (FUSHIMI, 2012).

No que tange a temática da influência da água da chuva sobre o solo, destaca-se a erosividade, que é caracterizada como energia cinética, sendo ela a habilidade da chuva em causar erosão. A determinação do potencial erosivo depende principalmente dos parâmetros de erosividade e também das características das gotas de chuva, que variam no tempo e no espaço (GUERRA *et al.* 2012).

Considerando os efeitos da chuva sobre o solo, a característica de maior influência no fenômeno erosivo é a intensidade, seguida da duração, que é o seu complemento e determina a chuva total. De acordo com Pruski (2006), no processo de ocorrência de erosão hídrica, mais importante que os totais anuais precipitados, sobressaem-se a distribuição do tamanho, a velocidade e a energia cinética das gotas e a intensidade, duração e frequência da chuva, sendo o conjunto destes fatores conhecido como a erosividade da chuva (BACK; POLETO, 2017).

#### (b) Transporte de partículas

O transporte das partículas que foram desagregadas do solo, ocorrendo de forma superficial, onde o material é carregado principalmente pela intensidade das chuvas e pela topografia do terreno, ou até mesmo de forma subsuperficial por meio da formação de dutos, onde o material que se encontra acima desses dutos pode sofrer o colapso do teto, sendo uma das formas que dão origem a voçorocas (GUERRA, 2011).

O transporte dos sedimentos erodidos pode ocorrer por: carga sólida de arraste, carga sólida saltante e carga sólida em suspensão. A carga sólida de arraste são as partículas de sedimentos que rolam e escorregam sobre o leito dos cursos d'água. A carga sólida saltante são as partículas que pulam devido à colisão umas nas outras e sob o efeito da corrente de água. A carga sólida em suspensão são as partículas de sedimentos capazes de se manter em suspensão pelo fluxo turbulento devido ao seu peso reduzido (SCAPIN, 2005).

De acordo Guerra (2011) a água que escoar em superfície, a partir da saturação dos solos e/ou da formação de crostas. Forma, antes de escoar, poças que rompem os obstáculos, que dão origem ao escoamento do tipo superficial.

O escoamento superficial, sua função e atuação, faz parte e é resultado da dinâmica da bacia hidrográfica a qual atua, entendendo que bacias hidrográficas correspondem a um conjunto de terras que são drenadas por rios e seus afluentes, limitadas por divisores de água

que irão determinar o fluxo da água da chuva que infiltram no solo, formando nascentes e abastecendo o lençol freático, ou escoam pela superfície da encosta para as áreas mais baixas do terreno (COSTA; RODRIGUES, 2015).

No contexto da ação do escoamento superficial que é a principal forma de início de processos erosivos, o mesmo pode ser dividido em três tipos, denominados de: escoamento difuso, escoamento em lençol e escoamento concentrado.

Em relação ao escoamento difuso, o mesmo tem início quando a quantidade de água precipitada é maior que a velocidade de infiltração, e pode transportar partículas de solo, provocar, de início, sulcos poucos profundos com possibilidade de evoluir para ravinas e voçorocas (FILIZOLA *et al.* 2011).

Existe também o escoamento do tipo concentrado, nele também é possível identificar um sentido preferencial do movimento e, claramente, um caminho preferencial para o deslocamento; o escoamento ocorre em pequenos canais que vão aumentando de largura e profundidade na medida em que seguem sua trajetória, é nesse tipo de escoamento que existe a maior possibilidade de formação de processos erosivos (ROCHA, 2009).

O escoamento em lençol caracteriza-se pelo desgaste e arraste uniforme e suave em toda a extensão sujeita ao agente. A matéria orgânica e as partículas de argila são as primeiras porções do solo a se desprenderem, sendo as partes mais ricas e com maiores quantidades de nutrientes para as plantas. Apesar de ser de difícil observação ela pode ser constatada pelo decréscimo de produção das culturas, pelo aparecimento de raízes ou mesmo marcas no caule das plantas, onde o solo tenha sido arrastado (MALGALHÃES, 2001).

Bastos *et al.* (2000) mencionam que as duas propriedades que permitem prever o comportamento dos solos, principalmente os tropicais frente à erosão hídrica são a infiltrabilidade e a erodibilidade. A infiltrabilidade, propriedade hidráulica de solos não saturados representa a facilidade com que a água infiltra no solo através de sua superfície e é quantificada pelo coeficiente de sorção<sup>1</sup>. A erodibilidade específica é representada pela perda de massa por imersão<sup>2</sup>.

Como já mencionado, o processo erosivo inicia-se com o impacto das gotas da chuva sobre o solo, desagregando suas partículas, porém, essa etapa influencia de forma significativa outro processo que é o de infiltração, pois a desagregação das partículas pode facilitar a infiltração da água, mas outro fator também é considerado essencial que é a composição do

---

<sup>1</sup> É comumente utilizado para referir os diversos mecanismos de retenção de íons e moléculas pela fase sólida.

<sup>2</sup> Fator que permite distinguir os solos tropicais de comportamento laterítico e não laterítico.

solo, que mesmo tendo suas partículas desagregadas pode ser caracterizado como de permeabilidade baixa e dificultar a infiltração (SANT'ANNA NETO; ZAVATINI, 2000).

A infiltração da água no solo é um dos processos que permite a circulação da água pela Terra, tem seu significado definido como o processo pelo qual a água atravessa a superfície do solo. O entendimento desse processo é muito importante, pois a taxa de infiltração de água no solo é um dos fatores que influencia mais o escoamento superficial, sendo responsável por processos como a erosão (ALVES *et al.* 2007).

O processo de infiltração ocorre porque a água da chuva ou da irrigação, na superfície do solo tem potencial total aproximadamente nulo e a água do solo tem potencial negativo, potencial este tanto mais negativo quanto mais seco estiver o solo. É estabelecida então um gradiente de potencial total, que é a soma dos potenciais gravitacional e matricial. No início da infiltração, quando o solo está relativamente seco, o potencial matricial é relativamente grande em relação ao potencial gravitacional. Ao longo do tempo de infiltração, com o umedecimento do solo e redução do potencial matricial, o gradiente de potencial total passa a ser igual ao potencial gravitacional (FAGUNDES *et al.* 2012).

De acordo com os autores supramencionados *et al.* (2012) os principais fatores que interferem na infiltração, sendo eles ligados ao: solo, que incluem a textura do solo, massa específica, teor de matéria orgânica, porosidade e tipo de argila e químicas; além da umidade; capacidade de retenção e a condutividade hidráulica.

O solo possui características diferentes que influencia no processo de infiltração. A textura e a estrutura influenciam diretamente na infiltração, porque determinam a forma, quantidade e continuidade dos poros do solo. Os solos que possuem predominantemente a areia grossa em sua formação, terão uma maior continuidade hídrica e uma infiltração melhor e mais rápida do que aqueles que têm uma predominância de partículas finas como o silte e a argila (ALVES *et al.* 2007).

Outro fator relacionado ao processo de infiltração corresponde à ausência da cobertura vegetal no solo que pode acelerar a formação de crostas através do processo de compactação em função do *splash*, reduzindo, conseqüentemente, a infiltração (BEZERRA, 2012).

O constante desmatamento e a queima da vegetação da área expõem o solo ao impacto direto das gotas da chuva, causando o processo de encrustamento, tendo como consequência baixas taxas de infiltração e o aumento do escoamento superficial favorecendo a evolução da erosão (BEZERRA, 2012, pg. 201).

No contexto da infiltração, a forma como o solo é utilizado também contribui para que a infiltração seja maior ou menor, pois, locais onde há criação de gado ou um intenso

trabalho de máquinas agrícolas sofrem uma grande compactação, o que sela os poros do solo e diminui a passagem da água (ALVES *et al.* 2007).

Devido ao escoamento ocorrer em solo, para que seja melhor compreendido o comportamento do solo, faz-se necessário o conhecimento a cerca de uma das principais características que compete ao mesmo, que corresponde a erodibilidade, ou seja, de acordo com Grandó *et al.* (2009) a erodibilidade do solo é um dos principais fatores condicionantes da erosão e a identificação das propriedades dos solos condiciona a infiltração e a resistência à erosão.

Desta forma, obtém-se a erodibilidade a capacidade e/ou habilidade que o solo possui em erodir, ou seja, se o mesmo possui maior resistência ou favorecimento ao surgimento e desenvolvimento de processos erosivos, refletindo assim a maior ou menor suscetibilidade à erosão.

A erodibilidade do solo é um fator tão significativo, que compete ao mesmo ser responsável pela susceptibilidade do solo à erosão hídrica, sendo condicionada, basicamente, por atributos mineralógicos, químicos, morfológicos, físicos e biológicos do solo (MARTINS, *et al.* 2011).

Neste sentido, as propriedades do solo que influenciam sua erodibilidade são aquelas que afetam a velocidade de infiltração, permeabilidade e capacidade total de armazenamento de água, e que promovem a resistência às forças de dispersão, salpico, abrasão e transporte pela chuva e escoamento (DEMARCHI; ZIMBACK, 2014).

## **2.4 Fatores controladores**

Os processos erosivos podem ser estudados com a utilização de diferentes abordagens. Em geral, podem-se distinguir abordagens que buscam a quantificação das perdas de solo por erosão, e abordagens que buscam a avaliação qualitativa do comportamento erosivo dos terrenos (GUERRA *et al.* 2012). Por outro lado, devem-se tratar diferentemente os processos erosivos, bem como adaptar o estudo as possibilidades de cada área, pelo fato de se desenvolverem com fatores controladores diversos, que variam de um local para outro.

Por este motivo, neste trabalho aborda-se os principais fatores denominados como controladores, em sua influência direta ou indireta na ocorrência de erosão na área de estudo, visando suas ações como componentes colaboradores na suscetibilidade a processos erosivos.

Neste sentido, de acordo com Guerra e Jorge (2014) os processos erosivos, em função da ocupação do solo, são comandados por diversos fatores relacionados as condições

naturais do local, destacando-se: a cobertura vegetal, a clima, a topografia e os tipos de solos, sendo estes os fatores naturais em evidência neste trabalho, apesar de que se compreende a influência de outros fatores. Além dos condicionantes naturais, outro fator é compreendido como de significativa importância nos estudos sobre processos erosivos, sendo ele a ação antrópica.

Mediante o exposto, o desenvolvimento de fenômenos erosivos decorre da ação de um conjunto de processos dependentes das condições naturais existentes num determinado território. No entanto, a progressiva apropriação do meio por parte do homem, tem contribuído para uma maior influência antrópica naqueles processos, acentuando-os frequentemente (SANCHES *et al.* 2017).

Mediante o exposto, a seguir discorre-se sobre os fatores controladores em estudo nesta pesquisa:

(a) Cobertura vegetal

A cobertura vegetal desempenha importante função na proteção da superfície dos solos contra a ação dos processos erosivos. A densidade da cobertura vegetal é fator importante na remoção de sedimentos, no escoamento superficial e na perda de solo (GUERRA; CUNHA, 2001). Tendo em vista a importância da cobertura vegetal na proteção do solo, na redução do impacto das gotas da chuva ou de outros agentes que dificultem e até mesmo inviabilizam a formação de processos erosivos.

Com a retirada da cobertura vegetal, o solo fica exposto a diversas intempéries, como o sol, a chuva, os ventos. Isso culmina na redução de sua permeabilidade. Essa diminuição da permeabilidade aumenta a compactação do solo, desencadeando sérios problemas, como processos erosivos, principalmente do tipo laminar, que além de o degradarem também o empobrecem (GUERRA *et al.* 2012).

A presença da cobertura vegetal representa a redução do escoamento superficial da água por atuarem como dissipadores de energia desse tipo de escoamento, pois ao manterem contato direto com o solo fornecem obstáculo ao escoamento, reduzindo a velocidade do escoamento superficial, eliminando a ação erosiva deste; reduzem a erosividade da chuva, uma vez que o impacto das gotas de chuva (*splash*) é responsável, em alguns casos, por até 98% dos processos de mobilização de sedimentos; evitam o carreamento de vegetação em margens de canais durante inundações, garantindo que a vegetação permaneça fixada ao solo (COUTO *et al.* 2010).

Sobre a influência da cobertura vegetal nos processos de erosão Silva e Santos (2009), reafirmam que ela pode atuar de duas maneiras: reduzindo o volume de água que chega ao solo, através da interceptação, e alterando a distribuição do tamanho das gotas de chuva, afetando, com isso, a energia cinética da chuva.

De Almeida Filho (2018) ressalta que o fator cobertura vegetal é o mais importante de defesa natural do solo que funciona como uma manta protetora, evitando a desagregação das partículas de solo que é a primeira fase da erosão. Entre os principais efeitos da cobertura vegetal destacam-se a proteção contra o impacto direto das gotas de chuva, a dispersão e quebra da energia das águas de escoamento superficial, o aumento da infiltração pela produção de poros no solo por ação das raízes e o aumento da capacidade de retenção de água pela estruturação do solo por efeito da produção e incorporação de matéria orgânica.

Um dos fatores que mais podem interferir e ter influência na degradação do solo é a perda de sua matéria orgânica, a redução de matéria orgânica nos solos pode ter efeitos danosos, tanto em termos de aceleração de processos erosivos como em relação à fertilidade natural, agravando, conseqüentemente, a sua degradação (GUERRA e CUNHA, 2001).

A ação antrópica sobre a cobertura vegetal, é uma das principais causas que tendem a degradação dos solos, o desmatamento pode ser considerado o começo desse processo, onde a vegetação natural dá lugar à pastagem bastante rasa, ao cultivo agrícola ou a construção de obras de engenharia, contudo, as tecnologias empregadas, intensidade de exploração e nível social da comunidade, o processo de degradação ambiental do local poderá ser lento ou acelerado (De MEDEIROS; Da LUZ, 2017).

Neste sentido, de acordo com De Almeida Filho (2018), a forma como se usa o solo tem grande influência no processo erosivo, iniciada pelo desmatamento e seguida pelo cultivo das terras, implantação de estradas, criação e expansão das vilas e cidades, sobretudo quando efetuada de modo inadequado, constitui o fator decisivo da aceleração dos processos erosivos. Dentre os fatores formadores de erosão, o principal detonante e que agrava, sobremaneira tais processos é a atividade humana. As principais agressões causadas pela ação antrópica decorrentes são:

- Retirada da cobertura vegetal, seguida pela queimada;
- Agricultura praticada sem conservação do solo, tais como plantio morro abaixo, sem rotação de cultura etc.;
- Formação de pastos com alta densidade de animais, proporcionando um excessivo pisoteio em determinadas direções, formando trilhas e sulcos;
- Divisa de propriedades, de culturas perpendiculares às curvas de nível;

- Aberturas de estradas e carreadores sem o devido cuidado na execução de obras de drenagem para coletar e transportar águas pluviais;
- Execução de loteamentos sem implantação da infraestrutura.

As principais formas de agressão ao solo apresentadas anteriormente, reafirmam a importância e influência que a ação antrópica tem sobre o solo, principalmente, sendo um dos agentes controladores de maior atuação na aceleração dos processos erosivos, que perdem seu equilíbrio dinâmico, e culminam em respostas devastadoras, como desmoronamento, inundações, alagamento, as próprias erosões, entre outros resultados negativos que convertem para a ação antrópica de forma indiscriminada, que prejudica drasticamente o solo que vive.

#### (b) Clima

Outro fator significativo é o clima que deve ser posto como um dos mais evidentes, pois um material derivado de uma mesma rocha poderá formar solos completamente diversos se decomposto em condições climáticas diferentes (LEPSCH, 2010).

De acordo com o autor supramencionado (2010) a ênfase em relação às características climáticas é importante para execução da pesquisa em erosão dos solos, os elementos principais do clima – temperatura e umidade – regulam a velocidade e o tipo de intemperismo das rochas e também o crescimento dos organismos.

As condições climáticas interferem no processo erosivo, além de ser um dos principais componentes do ciclo ambiental, pois é responsável pelo fornecimento de água que abastece os lençóis freáticos, cursos d'água, rios, seus afluentes e, por fim, o oceano. Durante e após a precipitação, a água não infiltrada escoar pela vertente, sendo que o seu volume dependerá do total de precipitação, da intensidade da chuva e de sua energia cinética associada a características físicas do solo, como saturação do solo, porosidade, textura e profundidade (COSTA; RODRIGUES, 2015).

As mudanças climáticas podem interferir nesse processo ao alterar o padrão das chuvas. De acordo com o estudo, com o aumento da temperatura média, aumenta também a capacidade da atmosfera de reter vapor d'água – cerca de 7% mais para cada grau Celsius. A modificação do nível de vapor d'água tem influência sobre a circulação atmosférica, com consequências sobre a intensidade e frequência de chuvas intensas (ALMAGRO *et al.* 2017).

De acordo com os autores supramencionados (2017), a erosão do solo gerou danos ambientais, sociais e econômicos em todo o mundo. Estudos recentes indicam que a produção mundial de alimentos precisa aumentar em 60% a 110% para atender ao crescimento da

demanda global, e que a erosão do solo aumentará no século 21 devido às mudanças climáticas. Portanto, um dos maiores desafios deste século é promover a segurança hídrica e alimentar por meio de uma produtividade agrícola eficiente e redução da erosão do solo.

Levando em consideração o fator clima, mais precisamente as precipitações em forma de chuva, destaca-se que um processo erosivo ocorre em etapas descritas como a evolução da ação do *splash*, a formação de poças, causando posteriormente a formação de sulcos, ravinas uma vez que a água começa a escoar na superfície e com sua intensificação desse escoamento, possibilidade de chegar ao seu estágio mais avançado, as voçorocas.

A precipitação pluviométrica constitui um dos elementos desencadeadores dos processos erosivos, ou seja, é o agente externo que mais influência na formação e desenvolvimento de ravinamento e voçorocamento.

Mediante o exposto, um fator de muita importância na avaliação da suscetibilidade erosiva dos solos é a erosividade, ou seja, a capacidade dos eventos pluviais em causar erosão. Os dados de erosividade estão estreitamente relacionados aos dados de precipitação, o que já era esperado, já que o cálculo de erosividade é baseado em médias pluviométricas mensais e anuais. Assim, os maiores índices de erosividade são encontrados no período chuvoso, enquanto os menores índices de erosividade se concentram no período de estiagem, quando domina a seca (FERREIRA *et al.* 2016).

A erosão provocada pelas chuvas pode aumentar em 109% no período 2007-2040 nas regiões Nordeste e Sul do Brasil, ao mesmo tempo em que reduzirá em até 71% nas regiões Sudeste, Centro e Noroeste (ALMAGRO *et al.* 2017).

As características das precipitações que mais interferem no processo de erosão do solo são a intensidade, a duração e a frequência da precipitação e a sua erosividade. Sendo o solo um recurso de renovação lenta e podendo ser rapidamente degradado pela ação da erosão, torna-se fundamental o conhecimento da forma como a precipitação atua no ambiente no qual esteja inserido (SANTOS *et al.* 2010).

De acordo com os autores supramencionados (2010), a degradação do solo se dá principalmente pelo desprendimento, e arraste das partículas menores e mais ricas em nutrientes, culminando com decréscimo da fertilidade e, conseqüentemente, pela redução das produções ou pelas crescentes necessidades da reposição de fertilizantes e corretivos. Na maioria dos casos, as perdas de solo causadas pela erosão hídrica reduzem a espessura do solo, diminuindo a capacidade de retenção e redistribuição da água no perfil gerando, como consequência, maiores escoamentos superficiais e, por vezes, maiores taxas de erosão do solo.

Mediante exposto, pode-se perceber que o fator clima, deve, no caso do Brasil e em específico no Estado do Maranhão, com seu regime de chuvas intensas em determinado período do ano, ser posto como fator de significativa importância, mediante o arcabouço apresentado, que contempla constatar que o clima, principalmente, relacionando-o com as precipitações em chuva, é de caráter fundamental em sua influência sobre o solo, e conseqüentemente, sobre os processos erosivos, onde desencadeia os processos advindos da chuva, e decorre nos estágios de surgimento e desenvolvimento de erosões.

(c) Topografia do terreno

A topografia do terreno é considerada outro fator significativo para ocorrência de erosões, de forma clara a topografia é marcada por linhas imaginárias que unem pontos de igual elevação, chamadas de curvas de nível. Esse parâmetro é de fundamental importância para compreender como está organizado o relevo na área de estudo, pois uma declividade acentuada e íngreme favorece a ocorrência de degradação e conseqüente erosão do solo, que associado aos demais fatores erosivos, facilitam o desenvolvimento de processos que geram erosões, como as analisadas em estudo.

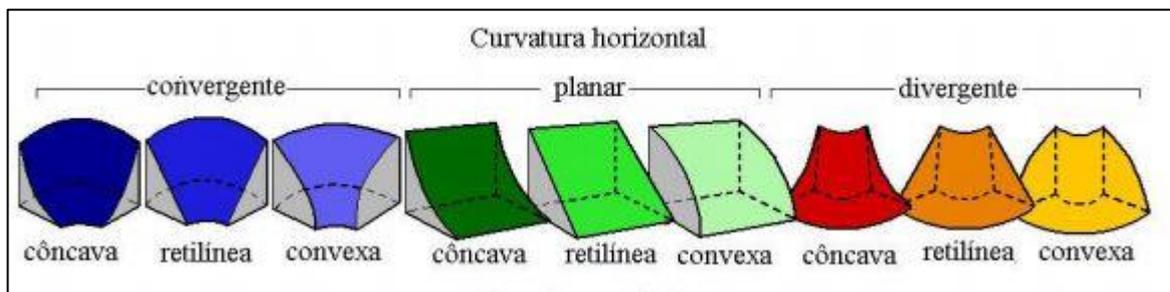
Os processos erosivos são estudados levando-se em consideração o local onde estão localizados, geralmente esses processos ocorrem em vertentes. Mediante isso, como um elemento da superfície terrestre inclinado em relação à horizontal, as vertentes apresentam um gradiente e uma orientação no espaço, e dessa forma podem ser classificadas de acordo com sua curvatura que é dada pela proporção em que varia a inclinação da tangente sobre dois pontos de um determinado arco (ANJOS, 2008).

As vertentes estão em constante processo de transformação e a erosão faz parte de sua evolução. Os movimentos de massa causados pelos processos erosivos deslocam rochas e detritos pelas encostas. Podem ser do tipo rastejo movimento lento e contínuo do solo em uma vertente; pode ser do tipo deslizamento, movimento rápido, com um considerável volume de detritos; do tipo movimento de blocos rochosos e do tipo corridas de lama, que possuem altos teores de água e solo (FERREIRA, 2008).

Para Christofolletti (1999) as vertentes em seu sentido amplo significam superfície inclinada, não apresentando qualquer conotação genética ou locacional podendo resultar da influência de qualquer processo (morfogenético/endogenético). Assim, as formas diferenciadas de relevo decorrem da ação simultânea e desigual do clima e da estrutura que se modificam continuamente no tempo e no espaço.

Em áreas de encostas, as formas do relevo nas vertentes podem ser agrupadas em três tipos distintos: côncava, convexas e retilíneas. As vertentes côncavas apresentam a linha de perfil com curvas de nível mais afastadas na base, aproximando-se à medida que chegam ao topo. Ao contrário são as vertentes de perfil convexo, que apresentam um perfil com curvas de nível mais afastadas no topo e mais próximas na base, e as vertentes de perfil retilíneo constituem-se por um perfil onde as curvas apresentam um valor equidistante entre si (GUERRA, 2011). Mediante o exposto, apresenta-se na Figura 3, um esquema das formas das vertentes.

Figura 3: Classes das formas de vertentes



Fonte: Valeriano, 2003.

As vertentes que apresentam configuração côncava ou que possuem segmentos côncavos em sua seção (*hollows*) por serem zonas de convergência de fluxo de água e por possuírem material disponível para a mobilização são as mais favoráveis à ocorrência de deslizamentos (FERNANDES; AMARAL, 1996). Sob clima úmido, as rochas cristalinas (especialmente granito e gnaisses) geram morros de vertentes predominantemente convexas. Locais onde se encontram formas mais verticalizadas, como espigões e serras, apresentam-se escarpadas, com elevadas altitudes, vertentes longas e altas declividades. A intensa pluviosidade nestas áreas faz com que estes tipos de terreno sejam bastante propícios a deslizamentos.

Mediante o apresentado, Cherobin (2012) afirma que essas formas refletem as interações existentes, onde a maioria das paisagens é erosiva, pois logo que um terreno se eleva acima do nível do mar, a gravidade e as águas correntes iniciam novamente seu desgaste, cavando uma rede de vales que por sua vez, quando são erodidos, produzem duas novas encostas laterais. Assim, as infinitas variedades de declives paisagísticos são produzidas pela interação de processos erosivos e deformações tectônicas que continuamente modificam o modelado terrestre.

A influência da topografia do terreno na intensidade erosiva verifica-se principalmente pela declividade e comprimento de rampa (comprimento da encosta). Esses fatores influenciam diretamente na velocidade das enxurradas (GUERRA *et al.* 2012).

O comprimento e a declividade das vertentes são características do relevo local, e sua influência está relacionada à energia potencial associada ao escoamento e ao ângulo de incidência das chuvas. Assim, vertentes mais íngremes favorecem a erosão do solo, à medida que proporcionam aumento da velocidade do escoamento superficial (EMBRAPA, 2012).

Neste sentido, quanto ao escoamento superficial que é a fase do ciclo hidrológico que trata da água oriunda das precipitações que, por efeito da gravidade, se desloca sobre a superfície terrestre. Engloba, portanto, o volume de água precipitada sobre o solo saturado ou uma superfície impermeável que escoar superficialmente, mediante isso, o papel da declividade, se torna fundamental, pois o escoamento permeia as linhas de maior declive, na direção de um curso de água mais próximo indo, posteriormente se desembocar nos oceanos. Sua duração está associada praticamente à duração da precipitação (TUCCI, 2000).

Apesar da importância da declividade no estudo sobre erosão, necessita-se de uma abordagem maior sobre o efeito da declividade na superfície do solo em relação à erosão, pois sendo comum, por exemplo, relacionar a taxa de erosão em área de erosão como função do quadro da intensidade de precipitação.

#### (d) Solos

O fator solo, também é destacado neste trabalho, levando-se em consideração principalmente as suas características físicas e morfológicas, tais como: textura, estrutura, permeabilidade, dentre outros, de forma resumida correspondente a erodibilidade, pois de acordo com o mesmo autor a erodibilidade refere-se às propriedades inerentes ao solo, como as já supramencionadas e reflete a sua suscetibilidade à erosão. Já erosividade é a influência da chuva sobre as perdas de solo, desde que todas as outras variáveis permaneçam constantes, ou seja, a erosividade é a capacidade potencial da chuva em causar erosão ao solo (CASSETI, 2005).

Quanto à característica referente à morfologia dos solos, a mesma fornece indicativos sobre suas principais características físicas, químicas e mineralógicas e sobre o seu ambiente de ocorrência. Através dessa análise obtemos dados relacionados à cor, textura, consistência, permeabilidade entre outras características do solo (FERREIRA, 2008).

Em estudos relacionados à descrição morfológica do solo alguns parâmetros são destacados como de maior importância durante a mesma. Sendo os parâmetros abordados relacionados à cor, forma, consistência (plasticidade e pegajosidade) e textura.

A cor é uma das principais características morfológicas que mais chama atenção, pois a cor que o solo pode ter reflete as variações dos conteúdos de matéria orgânica, sílica e compostos de ferro. Sendo que ela possui três componentes: croma, matiz e valor; o croma refere-se à pureza, intensidade ou saturação de uma cor; o matiz relaciona-se a combinação dos pigmentos vermelho e amarelo; já o valor indica a claridade, ou seja, a proporção do preto e do branco (SILVA, 2012).

Em se tratando de estudo da coloração do solo o sistema Munsell (*MUNSELL SOIL COLOR COMPANY*, 2000) é o mais indicado e adotado para as análises, sendo definido pelos atributos matiz, valor (brilho) e croma (saturação). A determinação das cores nesse sistema normalmente é feita por comparação visual com uma série de padrões contidos na carta de Munsell (CAMPOS *et al.* 2003).

Esse sistema classifica as cores em três componentes: Matiz, Valor e Croma, onde o matiz é a cor espectral dominante, o valor é a tonalidade da cor e o croma é a pureza da cor. A Carta de Cores Munsell para Solos reúne uma série de padrões de cor encontradas nos solos, abaixo de cada padrão de cor há uma abertura onde são posicionadas as amostras de solo para se fazer a comparação visual. A notação Munsell referente a cada padrão de cor é feita da seguinte forma: matiz valor/croma. A determinação da cor dos solos pela carta de Munsell vem sendo mundialmente utilizada devido à sua fácil e rápida aplicação em campo (GUIMARÃES, 2016).

Além dos dados relacionados à cor do solo, outro parâmetro importante a ser estudado corresponde ao tamanho e forma do solo (estrutura), sendo que foi seguido o proposto por Oliveira (2011).

É através da consistência do solo seco que obtemos o parâmetro relacionado à dureza do solo, ela varia de solta até extremamente dura. Sendo que um solo extremamente duro é difícil à penetração das raízes das plantas, o preparo do solo para o cultivo, ou a escavação de poços ou fundações de casas, dificultando até mesmo a infiltração da água no solo. O estado de consistência úmida é conhecido como friabilidade pode variar de solta a extremamente firme. Normalmente os produtores rurais preferem utilizar o solo neste estado de consistência, pois o solo oferece menor resistência, tendo em vista que as forças de coesão e adesão são menores. A consistência do solo molhado é caracterizada pela plasticidade e pegajosidade, e determinada em amostras de solo molhadas. A plasticidade varia de não plástica até muito plástica, já pegajosidade varia de não pegajosa (não gruda nos dedos) até muito pegajosa (IBGE, 2015, p. 100).

Quanto à textura do solo ela é representada pela distribuição quantitativa das partículas sólidas do solo, quanto ao tamanho (areia, silte e argila). A fração areia é solta, com grãos simples (não forma agregados), não plástica, não pode ser deformada, não pegajosa, não higroscópica, predominam poros grandes na massa, não coesa, pequena superfície específica, capacidade de troca de cátions praticamente ausente. A fração silte é sedosa ao tato, apresenta ligeira coesão quando seco poros de tamanho intermediário, ligeira ou baixa higroscopicidade<sup>3</sup>, superfície específica com valor intermediário, capacidade de troca iônica baixa. Já a fração argila é plástica e pegajosa quando úmida dura e muito coesa quando seca, alta higroscopicidade, elevada superfície específica, poros muito pequenos, contração e expansão, forma agregados com outras partículas. Os solos de textura média correspondem às características de solos barrentos ou francos (OLIVEIRA, 2011).

Destaca-se neste contexto que o conhecimento sobre a dinâmica superficial e subsuperficial da água no solo constitui uma importante ferramenta no processo de identificação, análise e recuperação de áreas degradadas por erosão. A dinâmica interna da água no solo revela uma relação de diversos fatores que controlam o componente hídrico, como o clima, propriedades físicas do solo, tensão, sistema radicular da vegetação, macro e micro fauna e uso do solo (BEZERRA, *et al.* 2012). Por esta razão, neste trabalho desenvolveu-se a análise de infiltração de água no solo.

O solo tem influência direta de como ocorre seu uso, mediante isso tem-se como notório a importância de se destacar a respeito do solo urbano, aspecto esse condizente com a temática, devido a área de estudo está situada em área urbana. Pois como afirma Guerra *et al.* (2012) as áreas urbanas apresentam ecossistemas que possuem condições climáticas, vegetação, fauna, solos e hidrologia muito específicas e associados diretamente as intervenções realizadas pelo homem.

O avanço das intervenções antrópicas tem gerado forte pressão sobre os recursos naturais. Tais atividades têm como principal consequência a degradação da cobertura vegetal, o que acarreta em alterações muitas vezes irremediáveis na dinâmica do solo. Como consequência, há, também, alterações dos corpos hídricos (BARBOSA, 2016).

Os processos de urbanização e industrialização têm tido um papel fundamental nos danos ambientais ocorridos nas cidades. O rápido crescimento causa uma pressão significativa sobre o meio físico urbano, tendo as consequências mais variadas, tais como: poluição

---

<sup>3</sup> É a capacidade que certos materiais possuem de absorver água (OLIVEIRA *et al.*, 2014).

atmosférica, do solo e das águas, deslizamentos, enchentes etc. (GUERRA e MARÇAL, 2014).

A atividade humana impacta diretamente os solos, onde o processo de urbanização altera os processos gênicos e também suas capacidades funcionais. Como consequência, há modificações no perfil natural, que propiciam o surgimento de camadas com materiais distintos, bem como as características tais como espessuras variadas, composição diversas e dissemelhanças até mesmo na distribuição geográfica são alteradas (LADEIRA, 2012).

O comportamento do solo diante do processo erosivo é comumente referido na literatura como fator de erodibilidade do solo, que representa o efeito dos processos que regulam a infiltração da água no solo, a desagregação pelo impacto das gotas de chuva e a resistência ao transporte pelo escoamento superficial, os quais são responsáveis pelo comportamento do solo diante dos processos erosivos (AMORIM, 2000).

Cada tipo de solo apresenta propriedades que os diferenciam de outros e que são responsáveis pela maior ou menor facilidade desse solo em ser erodido, ou seja, ser mais suscetível à erosão (FERREIRA *et al.* 2016).

Segundo Freire (2006), a relação entre a natureza do solo e a urbanização, o estabelecimento de distritos industriais é, também, bem conhecida, porque a natureza do solo se reflete na salubridade das áreas urbanas, na poluição dos cursos d'água e na degradação estética do ambiente. Uma forma de manifestação desta degradação estética do ambiente são os processos erosivos, que se manifestam principalmente na forma de ravinas e voçorocas, que além de contribuir prejudicialmente para a estética do meio ambiente afetam o recurso natural solo, desagregando-o e tornando-o menos fértil.

De acordo com Pires e Souza (2006) com a erosão, além do empobrecimento do solo pela perda de nutrientes e matéria orgânica, e do próprio solo, ocorre também à contaminação dos recursos hídricos, pois a água que não infiltra arrasta consigo além desses elementos, diversos produtos químicos como corretivos, fertilizantes, condicionadores e agrotóxicos.

O processo erosivo ocorre de forma diferenciada em áreas rurais e urbanas. Enquanto que em áreas rurais o principal agravante para tal problema, fica a cargo do manejo inadequado dos solos, como por exemplo, plantio em declive sem a utilização de curvas de nível, desmatamento, plantio de monoculturas, pisoteio de gado, dentre outras. Em áreas urbanas o principal agravante é o planejamento inadequado na execução de obras, principalmente de drenagem (ZANATA; PERUSI, 2010).

Segundo ALMEIDA (2018) a forma como se usa o solo tem grande influência no processo erosivo, iniciada pelo desmatamento e seguida pelo cultivo das terras, implantação

de estradas, criação e expansão das vilas e cidades, sobretudo quando efetuada de modo inadequado, constitui o fator decisivo da aceleração dos processos erosivos. Dentre os fatores formadores de erosão, o principal detonante e que agrava, sobremaneira tais processos é a atividade humana. As principais agressões causadas pela ação antrópica decorrentes são:

- Retirada da cobertura vegetal, seguida pela queimada;
- Agricultura praticada sem conservação do solo, tais como plantio morro abaixo, sem rotação de cultura etc.;
- Formação de pastos com alta densidade de animais, proporcionando um excessivo pisoteio em determinadas direções, formando trilhas e sulcos;
- Divisa de propriedades, de culturas perpendiculares às curvas de nível;
- Aberturas de estradas e carreadores sem o devido cuidado na execução de obras de drenagem para coletar e transportar águas pluviais;
- Execução de loteamentos sem implantação da infraestrutura.

O solo é um recurso de grande importância, pois este elemento natural é responsável pela sustentação alimentar da população mundial. Embora seja um recurso vital, assim como a água, o solo é explorado até a sua exaustão em algumas regiões pelo mundo. Cientistas apontam que se persistirem as atuais taxas de erosão, em longo prazo países subdesenvolvidos que já apresentam riscos de segurança alimentar tenderão a tornar este problema ainda mais crônico (LISBOA, *et al.* 2017).

Por esse motivo, a complexidade formada por espaço urbano e cidade não pode dispensar um planejamento urbano bem definido, estruturado e abrangente que de forma multi-setorial leve em conta o homem e o meio ambiente nos aspectos econômicos, sociais, físico-territoriais, ecológicos e administrativos (BISPO; LEVINO, 2011).

Neste sentido, destaca-se que a ocupação desordenada de terras, assim como a exploração indevida dos recursos naturais tem acontecido há muito tempo, e se intensificado nas últimas décadas. Isso acaba gerando desmatamento da vegetação nativa, o que aumenta a suscetibilidade ao processo erosivo. É por esta e outras razões que se torna necessário conhecer os fatores condicionantes que levam a formação desses, pois muitos danos poderiam ser evitados (BRITO, 2012). Por este motivo que neste trabalho, entende-se a necessidade do conhecimento dos fatores que mais influenciaram no surgimento da erosão em estudo.

## 2.5 Estudo de suscetibilidade à erosão

Atualmente, intensificada pela disponibilidade de meios e técnicas aprimoradas de pesquisas com dados e com a significativa demanda de discussões sobre a natureza e homem, tem-se uma pré-disposição a trabalhos que contemplem a obtenção de informações sobre suscetibilidade ambiental, onde permeia não somente a temática relacionada a processos erosivos, como também questões sociais.

Mediante isso, os problemas advindos do uso do solo, seja ele urbano ou rural, têm despertado cada vez mais o interesse de estudiosos e pesquisadores do mundo inteiro. O aumento da população mundial e a crescente demanda por alimentos têm levado cientistas a buscar soluções para um uso mais eficiente do solo, equacionando uma maior produção com menores perdas por erosão (SILVA, 2012).

Em específico neste trabalho, pretende-se aprofundar acerca da suscetibilidade ambiental, em um viés relacionado a erosões.

Desta forma, entende-se como suscetibilidade, principalmente no âmbito das Geociências, como a predisposição ou propensão dos terrenos ao desenvolvimento de um fenômeno ou processo do meio físico, podendo ser expressa segundo classes de probabilidade de ocorrência (CPRM, 2014).

Esse foi o principal motivo norteador que vinculou este trabalho ao estudo da suscetibilidade de ocorrência de processos erosivos, ou seja, nesta pesquisa um dos objetivos propostos buscou explicar qual a predisposição da área de estudo em acarretar o surgimento e desenvolvimento de erosões no ambiente, onde a avaliação da frequência desta ação não foi analisada.

Nos estudos relacionados a suscetibilidade Crepani *et al.* (2001) utiliza componentes do meio físico como relevo, clima, Geologia, Pedologia e vegetação para fazer inferências quanto às relações entre morfogênese e pedogênese. Cada elemento possui uma relevante importância na estabilidade da paisagem, a Geologia é utilizada para entender a história da evolução geológica do ambiente onde a paisagem se encontra, e as informações relativas ao grau de coesão das rochas que a compõem. A Geomorfologia oferece, para a caracterização da estabilidade da paisagem natural, as informações relativas à Morfometria, que influenciam de maneira marcante os processos ecodinâmicos ocorrem nas vertentes. A Pedologia fornece informações quanto ao grau de evolução dos solos. A vegetação ‘representa a defesa da

paisagem contra os efeitos dos processos modificadores das formas de relevo (erosão)”. Os dados climatológicos representam informações principalmente sobre a quantidade de chuvas ao longo do ano.

Neste sentido, segundo Silva e Araújo (1994) a susceptibilidade ambiental é a tendência ou probabilidade de uma localidade ser atingida por algo sob condições ou cenários pré-estabelecidos por meio de simulações. Quando há a necessidade de reavaliação desses cenários ou da região, é importante elaborar os mapas de susceptibilidade.

A suscetibilidade ambiental, relacionada aos solos e em específico à erosão, é uma função da interação entre as condições de clima, modelado do terreno e tipo de solo. Da análise da interação destes fatores e a partir de estimativas experimentais de perdas de solo, foi possível estabelecer cinco classes de suscetibilidade à erosão das terras do país. No Nordeste do Brasil, 33% das terras apresentam susceptibilidade muito baixa e baixa, 34%, média, e 33%, têm classes de susceptibilidade alta e muito alta (LACERDA; LACERDA, 2004).

O uso e a ocupação de terras em áreas consideradas vulneráveis têm aumentado o processo de perda de solo que ocorre naturalmente, em decorrência da associação do clima com os tipos de litologia, relevo, solo e cobertura vegetal. Neste sentido, a utilização do SIG facilita a manipulação e o cruzamento de dados espacializados do meio físico e socioeconômico, e favorece o diagnóstico e a caracterização de territórios de interesse, como análise para melhor forma de uso e ocupação do mesmo. Assim, modelos gerados que refletem a realidade ambiental, como os estudos de suscetibilidade à erosão dos solos, fornecem apoio a decisões de planejamento e adequação do uso das terras (AQUINO; VALLADARES, 2013).

A determinação da suscetibilidade à erosão de uma determinada área pode ser feita utilizando-se métodos qualitativos ou quantitativos. Os métodos qualitativos pressupõem a atribuição de pesos aos fatores ambientais envolvidos (curvatura, declividade, uso e cobertura do solo, hipsometria e tipo de solo). Já os métodos quantitativos baseiam-se na aplicação de modelos matemáticos e necessitam, geralmente, de um grande volume de dados de entrada, tendo, portanto, um menor grau de subjetividade do que os métodos qualitativos. A escolha do método a ser utilizado depende de diversos fatores como a dimensão da área de interesse, a disponibilidade de informações sobre a mesma e, principalmente, a utilização que se pretende dar ao resultado final obtido (BENDA *et al.* 2006).

Dentre as diversas metodologias de análise da suscetibilidade erosiva, destacam-se as análises multicritérios, que possibilitam integrar diversos fatores controladores dos processos erosivos, inclusive em escalas municipais, como por exemplo, litologia, tipos de solos, uso da terra e parâmetros morfológicos (LISTO; XAVIER, 2017). Sendo este tipo de análise utilizada neste trabalho com a finalidade de gerar um mapeamento de suscetibilidade a erosão da área de estudo.

Mediante o exposto, alguns fatores em relação a suscetibilidade à erosão são colocados como preponderantes para o desenvolvimento de processos erosivos, sendo eles apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 - Fatores de suscetibilidade à erosão

Fatores de Suscetibilidade	Geológicos	- Litologia - Textura - Pré-Adensamento	Hidrológicos	- Densidade da rede de drenagem - Concentração das linhas d'água - Altura do nível freático
	Morfológicos	- Altura da encosta - Forma da encosta (perfil) - Extensão da encosta - Declividade da encosta - Sinuosidade da encosta	Antrópicos	- Densidade populacional - Frequência de cortes e aterros - Taxa de solo exposto - Foco de lançamento de águas servidas - Número de fossas nas encostas - Focos de lançamento de lixo
	Climáticos	- Chuva acumulada - Chuva concentrada - Umidade - Temperatura		

Fonte: Modificado de Alheiros *et al.* (2004).

De acordo com os fatores apresentado, e ponderando o custo elevado de obras de recuperação de processos erosivos, principalmente quando esses alcançam o estágio evolutivo de voçorocas, a melhor alternativa de mitigações aos impactos provocados por esses processos ainda é o subsídio de prevenção fornecido por mapeamentos de suscetibilidade e potencialidade erosiva. Esses mapeamentos indicam e descrevem o grau de probabilidade de determinadas regiões em sofrerem processos erosivos e auxiliam na formulação de diretrizes para a aplicação de técnicas de manejo e de conservação do solo (NASCIMENTO *et al.* 2016).

A suscetibilidade à erosão dos terrenos pode ser cartograficamente determinada com base na análise dos fatores naturais influentes no desenvolvimento dos processos erosivos (erosividade, erodibilidade, declividade e comprimento das encostas). Uma vez que a erosão se desenvolve fundamentalmente pela forma de uso e ocupação das terras, a influência relativa desses fatores deve ser ponderada a partir de critérios fixados para a definição de

classes de capacidade de uso das terras, normatizadas com a finalidade de utilização no planejamento de práticas de conservação do solo, tendo em vista o controle da erosão (BENDA *et al.* 2006).

Este trabalho tem como um dos principais objetivos apresentar as áreas de suscetibilidade à erosão na cidade de Bom Jesus das Selvas-MA, apesar disso, observou-se a necessidade da conceituação de temas que estão direta e indiretamente relacionados a esse objetivo e sobre a temática de erosões no ambiente, que são de fundamental importância, sendo eles: vulnerabilidade, fragilidade, risco e perigo. Então, apresenta-se a conceituação adotada neste trabalho sobre esses temas.

### I. Fragilidade e Vulnerabilidade

As condições de estabilidade/equilíbrio do sistema podem ser rompidas através de alterações realizadas em qualquer um dos componentes da natureza, gerando instabilidade. Qualquer intervenção realizada, não respeitando as vulnerabilidades do sistema, pode acarretar alterações na sensibilidade da paisagem em função do rompimento de seus limiares, resultando então na fragilização deste sistema (SPORL, 2007).

Fragilidade ambiental é uma medida da sensibilidade intrínseca dos ecossistemas às pressões ambientais, associadas também a quaisquer ameaças que sejam capazes de perturbar o equilíbrio de um sistema (VALLE, *et al.* 2016).

Os sistemas ambientais podem responder de diferentes maneiras às intervenções humanas nos componentes da paisagem, como relevo, solo, clima, recursos hídricos e cobertura vegetal. Trabalhos relacionados à fragilidade ambiental permitem definir áreas mais frágeis e que merecem maior atenção, pois sua má utilização pode resultar no comprometimento de todo sistema. O grau de um impacto sobre o equilíbrio de um sistema, dependendo do tipo de intervenção, pode ser maior ou menor em função das características intrínsecas do ambiente, ou seja, de sua fragilidade ambiental (FRANCO *et al.* 2013).

Fragilidade ambiental consiste em organizar em diferentes níveis hierárquicos o zoneamento de um determinado território, com o objetivo de representar os graus de fragilidade do ambiente. Essa organização permite definir quais as áreas são mais susceptíveis e que apresentam maior potencial para degradação ambiental. Então, por fragilidade ambiental entende-se a potencialidade da desestabilização do equilíbrio dinâmico existente no

ambiente. A fragilidade ambiental pode ser ocasionada por processos naturais, causados pelos fatores endogenéticos e exogenéticos, ou a partir dos processos antrópicos, ocasionados pela ação do homem a partir dos modelos de uso da terra (BRAGA *et al.* 2017).

Desse modo, o conceito de fragilidade ambiental pode ser compreendido como a susceptibilidade do ambiente em sofrer qualquer tipo de dano ambiental, tanto relacionados a fatores naturais, quanto às ações (intervenções) do homem no meio ambiente, como barramentos de veios de água e uso indevido do solo (CABRAL *et al.* 2011).

Os critérios de definição da vulnerabilidade definem quais as pessoas e os grupos que estão em risco e, conseqüentemente, quem pode ficar traumatizado. A vulnerabilidade inscreve os limites entre a normalidade (como segurança) e a normalização da insegurança (o que não é aceitável socialmente como risco à luz das lógicas locais, ou de referentes mais abstratos como os direitos humanos). Definir a vulnerabilidade de alguém, de um grupo ou de uma comunidade torna-se um ato político (MENDES, 2018). Além disso, o impacto sofrido não se atém somente a agente homem, pois o ambiente também sofre com influências que geram a ele uma vulnerabilidade compreendida como ambiental.

A vulnerabilidade ambiental, de acordo com o Ministério do Meio Ambiente (2007), pode ser definida como grau de susceptibilidade em que um componente do meio, de um conjunto de componentes ou de uma paisagem apresentam em resposta a uma ação, atividade ou fenômeno.

Nesse sentido, Tagliani (2003) indica que a vulnerabilidade ambiental significa a maior ou menor susceptibilidade de um ambiente a um impacto potencial provocado por um uso antrópico qualquer.

O potencial de um solo à erosão hídrica pode ser um indicador adequado da vulnerabilidade ambiental em um dado local. A erosão do solo é um processo que consiste na separação das partículas individuais a partir da massa do solo e seu transporte por agentes erosivos, como escoamento superficial e vento (FRANCO *et al.* 2013).

Neste sentido, afirma-se vulnerabilidade em ser o grau de perda para um dado elemento ou grupo dentro de uma área passível de ser afetada por um determinado processo (CPRM, 2015).

O conceito de vulnerabilidade aproxima a susceptibilidade aos dados referentes à exposição, à capacidade de enfrentamento e aos sistemas físicos e sociais. Sendo muitas vezes visualizada como uma característica intrínseca de um sistema ou de um elemento, estando

constantemente ampliado e abrangente a capacidade de adaptação do ambiente às mudanças antrópicas ocorridas. Para a estimativa da vulnerabilidade à erosão podem ser utilizados através de um conjunto de observações considerando parâmetros qualitativos e quantitativos (MENEZES, *et al.* 2018).

## II. Risco e Perigo

O termo risco indica a probabilidade de ocorrência de um processo destrutivo e as consequências sociais e/ou econômicas a serem registradas, caso ocorra um determinado processo destrutivo; não há risco sem alguma probabilidade de acidente nem acidente sem qualquer consequência de perda ou de dano; quanto maior a vulnerabilidade, maior o risco; podemos atuar sobre um problema diminuindo o risco através de um melhor gerenciamento; o risco diminui à medida que aumenta o gerenciamento (NASCIMENTO, 2016).

De acordo com o autor mencionado acima (2016) quanto à área de risco, entende-se por ser uma área passível de ser atingida por fenômenos ou processos naturais e/ou induzidos que causem efeito adverso.

Em termos conceituais, a condição de risco une dois elementos: a suscetibilidade e a vulnerabilidade, potencializados pela probabilidade dos eventos climáticos (CPRM, 2015).

Risco é definido por toda e qualquer possibilidade de que algum elemento ou circunstância existente num dado processo ou ambiente possa causar dano à saúde, seja por meio de acidentes, doenças, ou ainda por poluição ambiental (SILVA, *et al.*, 2012).

A diferença entre perigo (conjunto de características e propriedades intrínsecas capazes de causar dano ou prejuízo) e risco (a probabilidade real de ocorrência desse dano ou prejuízo) é muito importante no mundo da ciência agrônoma. Alguns críticos reclamam a proibição de produtos fitofarmacêuticos com base apenas nas suas propriedades de perigo, quando, na sua utilização real, a exposição ao risco é muito baixa e por vezes não existe. É por isso que a indústria fitofarmacêutica defende uma regulamentação baseada na avaliação do risco e não do perigo (MAYNARD, 2015).

O perigo é entendido como a fonte ou situação com potencial para causar dano, em termos de lesões ou ferimentos para o corpo humano ou de danos para a saúde, para o patrimônio, ou para o ambiente, ou seja, perigo é como a propriedade ou capacidade intrínseca de um componente material potencialmente causador de danos; trata-se do

elemento ou conjunto de elementos que, estando presentes nas condições atuantes, podem desencadear lesões ou danos (LOUSA, 2014).

### **3 CARACTERIZAÇÃO HISTÓRICA E GEOAMBIETAL DA ÁREA DE ESTUDO**

Neste capítulo, são apresentadas as características geoambientais da área de estudo, bem como à Geologia, Geomorfologia, solos, hidrografia, clima, e uso e ocupação do solo, assim como também apresentar aspectos referentes a historicidade da cidade de Bom Jesus das Selvas, no Estado do Maranhão. Com base em alguns destes aspectos geoambientais, foi possível elaborar um mapa para avaliação das áreas suscetíveis a erosões, e sendo assim realizado a investigação e caracterização das inter-relações que esses aspectos têm sobre o meio, e sobre a origem e desenvolvimento de processos erosivos.

#### **3.1 Características Naturais**

##### **3.1.1 Geologia**

Mediante estudos no campo ambiental, principalmente relacionado ao relevo, faz-se extremamente necessário a busca e compreensão das questões relacionadas ao arcabouço geológico da área de estudo, fator esse essencial na temática relacionada ao solo, bem como quanto às erosões.

O Estado do Maranhão é predominantemente composto por rochas sedimentares e sedimentos, sendo que, na porção noroeste, possui rochas de origem ígnea e metamórfica. Rochas sedimentares são formadas por fragmentos e grãos de rochas preexistentes (como as rochas ígneas e metamórficas e as próprias rochas sedimentares). As rochas sedimentares ocupam aproximadamente 98% do estado do Maranhão, englobando os domínios tectônicos das bacias sedimentares (Parnaíba, Sanfranciscana e São Luís) e as Coberturas Superficiais Cenozoicas (CPRM, 2013).

A região Ocidental do Estado do Maranhão, onde se encontra a área de estudo, possui como uma das suas principais características a transição, de leste para oeste, de uma cobertura vegetal de florestas de babaçu para floresta amazônica, acompanhada pela respectiva mudança climática e pedológica. Há elevado contingente de áreas indígenas, como também de áreas pertencentes ao Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC). Sobre um divisor de águas, que reflete a existência de alto estrutural geológico, localizam-se as cabeceiras dos rios Mearim, Grajaú, Pindaré e Alpercatas, que correm para norte, Balsas e uma série de afluentes do Tocantins, com direção NE-SW. Predomina a regular aptidão agrícola dos solos, mas existem grandes manchas com boa aptidão, inclusive terras-roxas. Contudo, as práticas agrícolas não são extensivas, em decorrência do modelado

geomorfológico dos terrenos. As maiores vulnerabilidades ambientais provêm das características geotécnicas dos solos arenosos ou derivados de litótipos de grande variação físico-química, os quais são propícios ao desenvolvimento de erosão (CPRM, 2013, p. 246).

Mediante a fragmentação do supercontinente Pangeia, surgiu um grande evento tectonomagmático, que resultou na separação da África e América do Sul, sendo também responsável pela configuração atual dos continentes. Tal evento provocou magmatismo e deposição de outra sequência de rochas na Bacia Sedimentar do Parnaíba (CPRM, 2013).

A Bacia do Parnaíba tem seu arcabouço influenciado por feições estruturais do embasamento cristalino. Limita-se a leste, nordeste e sudoeste com rochas de idade pré-cambriana; ao norte é separada das bacias marginais de São Luís e Barreirinhas pelos arcos Ferrer-Rosário-Bacaba e Urbano Santos; a oeste separa-se do Cráton Amazônico pela Faixa Tocantins-Araguaia; e, ao sul separa-se da Bacia do São Francisco pelo arco homônimo. A coluna sedimentar da bacia apresenta uma espessura da ordem de 3.400m e pode ser dividida em cinco sequências deposicionais, denominadas de sequências siluro-ordoviciano (I), devoniana (II), carbonífero-triássica (III), jurássica (IV) e cretácica (V), separadas por discordâncias regionais e correlacionáveis a eventos tectônicos de natureza global (CPRM, 2001).

Como apresentado, o município de Bom Jesus das Selvas está inserido nos domínios da Bacia Sedimentar do Parnaíba, que, se encontra sobre os riftes cambroordovicianos de Jaibaras, Jaguarapi, Cococi/Rio Jucá, São Julião e São Raimundo Nonato (CORREIA FILHO *et al.* 2011).

Mediante uma base de dados disponível por Correia Filho *et al.* (2011), constata-se que na Bacia do Parnaíba, mais precisamente na cidade de Bom Jesus das Selvas, apresenta-se quatro unidades estratigráficas, sendo elas: Formação Itapecuru, Formação Ipixuna, Cobertura de Depósito de Detrito-Laterítico e Aluviões Holocênicos, influenciado principalmente pelo rio Pindaré.

A Formação Itapecuru, Cretáceo, Albiano-Cenomaniano, apresenta sucessão sedimentar com espessura de aproximadamente 750 m, e é caracterizada por arenitos muito finos a finos intercalados a lamitos e esparsos níveis de calcários, depositados em paleoambiente fluvial e estuarino (MENEZES *et al.* 2015).

É constituída, essencialmente, por arenitos de diversas cores, onde predominam o cinza, o róseo e o vermelho, de granulometria fina, argilosos, com estratificação cruzada. Ocorrem ainda arenitos intercalados por leitos de siltitos e folhetos de coloração cinza e avermelhada (LIMA; OLIVEIRA, 2000).

A Formação Ipixuna é caracterizada por sedimentos de ambiente fluvial meandrante, superpostos gradativamente por depósitos de natureza estuarina e planícies. A idade desta formação é considerada entre o Neocretáceo e Paleógeno com base nas relações estratigráficas discordantes das formações Pirabas e Barreiras (SOARES *et al.* 2012).

Os Depósitos Detrito-Lateríticas, litologicamente, são sedimentos semiconsolidados ou incoerentes, mal classificados, de matriz areno-argilosa, com seixos de quartzo, caulim e limonita dispersos. A coloração é amarelada ou avermelhada, em decorrência da infiltração de óxidos de ferro. No contato com as rochas sotopostas, o material é mais grosseiro, às vezes conglomerático, com maior concentração de seixos de quartzo. As coberturas têm espessura variada, podendo atingir até 30 metros e, morfologicamente, apresentam-se como capeamentos de platô, encontradas nos mais diferentes níveis topográficos (SOARES *et al.* 2012).

Aluviões Holocênicos são depósitos que acompanham os cursos d'água que fazem parte da Planície Amazônica. Estes depósitos registram a evolução da rede de drenagem instalada na região. Os Aluviões Holocênicos podem ser separados em atuais e antigos. Os aluviões antigos têm uma distribuição descontínua (diferente das atuais) e representam marcas dos diferentes comportamentos dos agentes deposicionais. Estas marcas denotam os movimentos dos meandros e a presença de diques aluviais. As atuais planícies fluviais são geralmente amplas e os cursos de água têm padrão predominantemente sinuoso ou meândrico (PY-DANIEL, 2007).

### 3.1.2 Geomorfologia

Os conhecimentos sobre a dinâmica geomorfológica levam à compreensão da dinâmica dos elementos da natureza, o que é essencial em situações de risco, como enxurradas, enchentes, erosões, entre outros. A observação e análise dos processos geomorfológicos possibilitam a prevenção de riscos de desastres naturais, contribuindo para evitar desastres com perdas humanas e prejuízos materiais. Tais conhecimentos também estimulam a possibilidade de ação social mais consciente, fortalecendo posturas mais críticas em relação ao processo de expansão e ocupação urbana. Deste modo, fica claro que a Geomorfologia tem relação direta com a aplicação de conhecimentos científicos em sua vida cotidiana (AFONSO *et al.* 2014).

A região oeste maranhense abriga as áreas de planalto, com altitudes entre 200 e 300 metros, e as de planícies, com altitudes menores de 200 metros. A Faixa de Dobramentos Pré-

Cambriana ocorre no médio e baixo rio Gurupi. O relevo nessas faixas corresponde às colinas e cristas dispostas, preferencialmente, na direção NW-SE, talhadas em rochas do embasamento cristalino do Complexo Maracaçumé e nos metassedimentos do Grupo Gurupi, caracterizado por colinas e lombas e planos rampeados em direção aos rios principais. A ação erosiva sobre as coberturas detrito-lateríticas, que recobrem os sedimentos da formação Itapecuru, originou um planalto dissecado do rio Gurupi ao rio Grajaú, com a drenagem principal orientada na direção SW-NE e N-S (CORREIA FILHO *et al.* 2011).

O município de Bom Jesus das Selvas tem seu território localizado em sua quase totalidade inserido no domínio geomorfológico do Planalto Dissecado Gurupi-Grajaú, pois o mesmo ocupa o setor centro-ocidental do estado do Maranhão e está representado por um conjunto de superfícies tabulares elevadas por epirogênese e bruscamente delimitadas em rebordos erosivos, por onde se encaixam vales incisos e aprofundados apresentando desnivelamentos locais, por vezes, superiores a 100 m. Esses planaltos estão alçados, irregularmente, em cotas altimétricas diferenciadas, sendo crescentes de leste a oeste, variando entre 200 e 450 m (CPRM, 2013).

Essa superfície é sustentada, indistintamente, por espessos perfis lateríticos maduros, alumino ferruginosos. Essas couraças ferruginosas formam duras cornijas que retardam o processo de desmantelamento e destruição dos planaltos pela ação erosiva. Sotopostos aos espessos perfis lateríticos, jazem os arenitos cretácicos das formações Itapecuru e Ipixuna. Analisando esse domínio de forma mais detalhada, ressalta-se um relevo movimentado, caracterizado por franca dissecação de extensas superfícies planálticas alçadas em cotas relativamente modestas (CORREIA FILHO *et al.* 2011).

Nesse cenário, destacam-se quatro padrões morfológicos (CPRM, 2013): (i) topos planos dos baixos platôs, recobertos por solos espessos e bem drenados, como Latossolos, sendo os mais elevados posicionados em cotas entre 250 e 400 m de altitude, tais como a serra de Tiracambu e o planalto onde estão assentadas as localidades de Buriticupu e Bom Jesus das Selvas; (ii) patamares estruturais, posicionados em cotas intermediárias, resultantes da dissecação diferencial do planalto sedimentar; (iii) vertentes circunjacentes fortemente entalhadas, que, devido ao recuo progressivo dos declivosos rebordos erosivos, vêm destruindo as baixas superfícies planálticas; esse relevo, localmente acidentado, caracteriza-se por colinas e morros dissecados com vertentes declivosas, esculpidas por vales incisos com alta densidade de drenagem e padrão subdendrítico a treliça, o que denota expressivo controle estrutural no processo de esculturação do relevo regional; (iv) superfícies onduladas, aplainadas ou reafeiçoadas em formas colinosas, que se espriam pelos fundos de vales.

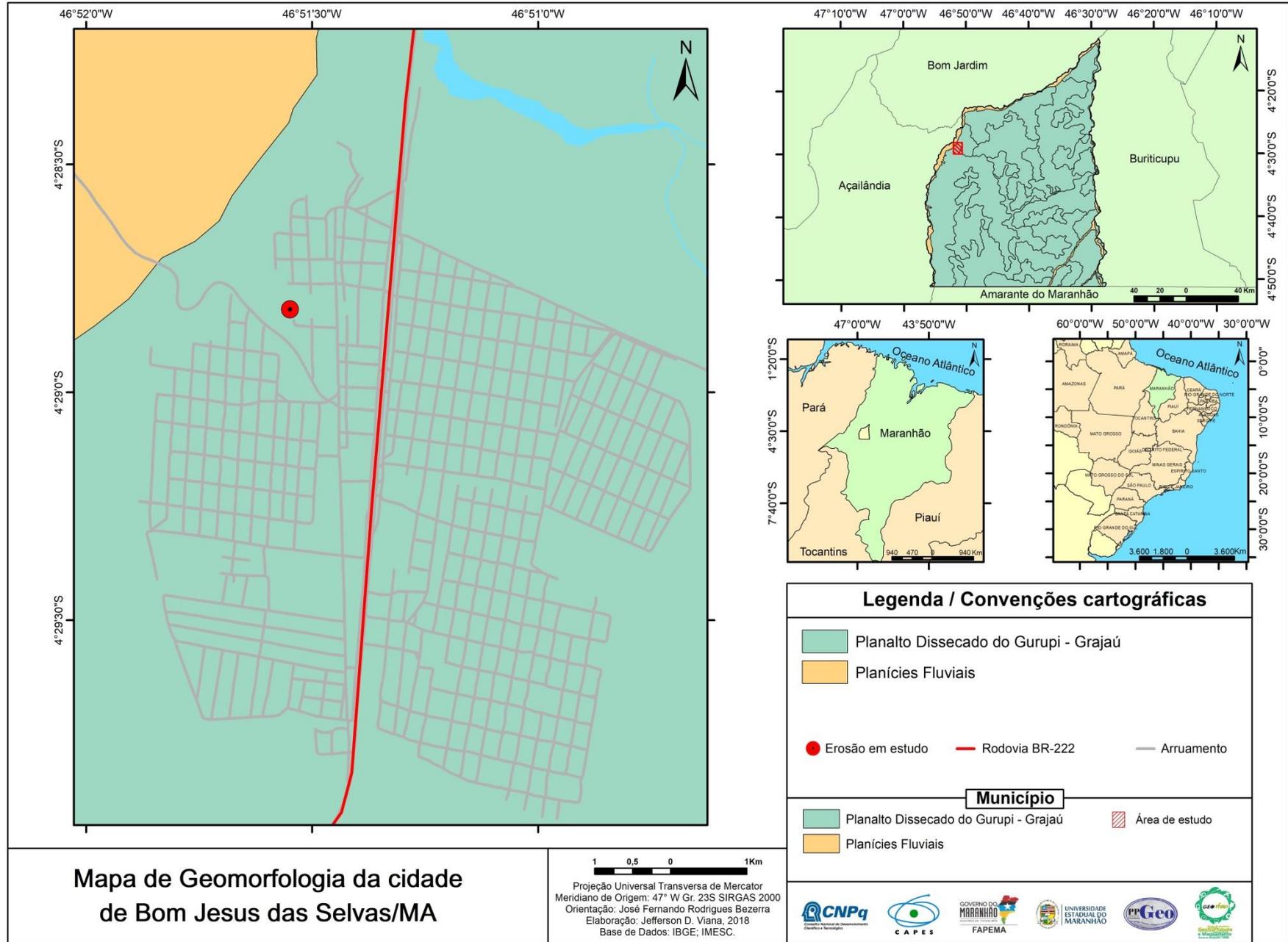
De acordo com Marçal e Guerra (2006), na região foram identificados alguns aspectos, que se parecem com a área de estudo, com características de relevo topográfico distinto e inclinado em direção ao vale do rio principal, representado na área de estudo pelo rio Pindaré; além disso, foi identificada também uma superfície de aplainamento que se encontra mais elevada e mais preservada na área. Considerou-se que existe uma faixa entre as fácies de dissecção que são mais suscetíveis à ação erosiva, devido à transição morfológica do relevo.

Neste sentido, em relação ao Planalto Dissecado Gurupi-Grajaú, os interflúvios localizados na porção oeste desse domínio, por sua vez, abrangem os vales dos rios Zutua, Buriticupu, Pindaré, Açailândia e Gurupi e são modelados em cotas mais elevadas, apresentando predomínio de planaltos mais elevados, profundamente sulcados em íngremes vales encaixados, entalhados também por densa rede de drenagem padrão subdendrítico a treliça. Nesse caso, apenas os fundos de vales dos rios Pindaré e Buriticupu apresentam amplas planícies fluviais (CPRM, 2013).

Prosseguindo com os aspectos geomorfológicos presentes na área de estudo, tem-se as Planícies Fluviais caracterizadas como as várzeas e terraços fluviais, dispostos ao longo dos rios principais, estando sujeitas às inundações durante as enchentes que extrapolam o nível dos canais, e ocorrendo nos principais rios do estado (CORREIA FILHO *et al.* 2011).

A presença dessa unidade geomorfológica se reafirma de acordo com Feitosa (1983) que classifica o relevo maranhense em duas grandes unidades: planícies e planaltos. As planícies ocupam cerca de 60% da superfície do território e os planaltos 40%. São consideradas planícies as superfícies com cotas inferiores a 200 metros. Já os planaltos são superfícies com cotas acima de 200 metros, restritos às áreas do centro-sul do estado. Sendo a área de estudo, sob essas duas unidades, como demonstra a Figura 4.

Figura 4: Mapa de Geomorfologia da cidade de Bom Jesus das Selvas/MA



### 3.1.3 Pedologia

Compreender as características do solo como recurso natural é de fundamental importância para a manutenção da vida e da sociedade humana, uma vez que essa compreensão, possibilita que o mesmo seja utilizado não somente para a produção de alimentos e pecuária, assim como regula a distribuição, armazenamento, escoamento e infiltração da água da chuva e de irrigação; armazena e é responsável pela ciclagem de nutrientes para as plantas; tem como ação filtrante e protetora da qualidade da água (SOUZA *et al.* 2013).

As principais ordens de solos identificadas, no Estado do Maranhão, são: Argissolo (antigos Podzólicos), Cambissolos, Gleissolos, Latossolos, Neossolos Flúvicos (antigos aluviais), Neossolos Litólicos (antigos Litossolos), Neossolos Quartzarênicos (antigas areais Quartzozas, Nitossolos (antigas terras roxas e Podzólicos por cerosidade), Planossolos, Plintossolos, Vertissolos (EMBRAPA, 2018).

Na unidade compreendida como Planalto Dissecado do Gurupi-Grajaú, que caracteriza-se por topos planos, onde encontra-se a área de estudo, com vertentes dissecadas em coberturas detríticas, com níveis lateríticos, de idade pleistocênica. Os topos planos em altitudes de 100 a 300 m, acham-se limitados por escarpas e correspondem a restos de chapadas que foram isolados pela dissecação e mantidos pelos níveis lateríticos. Nessas áreas há uma dominância dos Latossolos Amarelos, assim como presença de Gleissolos, localizados nas planícies fluviais (CPRM, 2013).

De acordo com Carvalho Filho (2006), os Latossolos Amarelos são os solos de maior relevância, por representarem cerca de 33,87% de todo território maranhense, ocupando cerca de 112.404,48 km<sup>2</sup> de extensão. Destaca-se a ocorrência desse tipo de solo no cerrado maranhense, principalmente na região centro-sul.

Compreende solos profundos, bem acentuadamente drenados, com horizontes de coloração amarelada, de textura média e argilosa, sendo predominantemente distróficos, ocorrendo também álicos. Os Latossolos Amarelos são solos com teores de nutrientes muito baixos e, usualmente, com alta saturação de alumínio. Distribuem-se em áreas de topos de chapadas, planaltos, ora baixas e dissecadas, ora altas e de extensões consideráveis, apresentando relevo plano com pequenas e suaves ondulações, tendo como material de origem mais comum as coberturas areno-argilosas e argilosas derivadas ou assentes sobre materiais de várias formações geológicas, estas sobretudo sedimentares (EMBRAPA, 2018).

Como já mencionado neste trabalho, a área de estudo encontra-se dentro dos limites da AMZ-L, nesse sentido, nessas áreas são identificados em larga escala, dois eventos de laterização (como já citado nos aspectos geológicos): um, mais antigo, caracterizado por crostas lateríticas maduras, com desenvolvimento de horizonte aluminoso (bauxítico), de horizonte ferruginoso e concrecionário, e, no topo, por Latossolo Amarelo argiloso de cobertura, resultante do intemperismo moderno; outro, mais recente, caracterizado por crostas lateríticas imaturas, com desenvolvimento similar às maduras, porém incompleto, sem elaboração de horizonte aluminoso (CPRM, 2013).

Sobre a área de estudo, esse tipo de solo desenvolve-se como muito profundo, bem drenado e de baixa fertilidade natural, predominando, nas planuras dos topos, Latossolos Amarelos distróficos (CPRM, 2013).

Devido principalmente à intensa atividade humana na área de estudo, foi possível constatar através do Manual Técnico Pedológico (IBGE, 2015) o horizonte denominado de Latossolo Amarelo Distrófico antrópico, considerado como um horizonte formado ou modificado pelo uso contínuo do solo pelo homem, como lugar de residência ou cultivo, por períodos prolongados, com adições de material orgânico em mistura ou não com material mineral e contendo fragmentos de cerâmicas e/ou artefatos líticos, e/ou restos de ossos e/ou conchas.

Quanto aos Gleissolos, são solos hidromórficos, constituídos por material mineral, que apresentam horizonte glei dentro de 150 cm da superfície do solo, imediatamente abaixo de horizontes A ou E (com ou sem gleização), ou de horizonte hístico; não apresentam textura exclusivamente areia ou areia franca em todos os horizontes dentro dos primeiros 150 cm da superfície do solo ou até um contato lítico, tampouco horizonte vértico, ou horizonte B textural com mudança textural abrupta acima ou coincidente com horizonte glei ou qualquer outro tipo de horizonte B diagnóstico acima do horizonte glei. Horizonte plúntico, se presente, deve estar a profundidade superior a 200 cm da superfície do solo (EMBRAPA, 2018).

Figura 5: Mapa de solos da cidade de Bom Jesus das Selvas/MA



Mapa de solos da cidade de Bom Jesus das Selvas/MA

1 0,5 0 1Km  
Projeção Universal Transversa de Mercator  
Meridiano de Origem: 47° W Gr. 23S SIRGAS 2000  
Orientação: José Fernando Rodrigues Bezerra  
Elaboração: Jefferson D. Viana, 2018  
Base de Dados: IBGE; IMESC.



### 3.1.4 Hidrografia

Os recursos hídricos são constituídos pelas águas que se encontram em circulação nos continentes, as águas superficiais (rios, lagos, lagoas e barragens) e as águas subterrâneas (nascentes naturais e lençóis de águas existentes no subsolo). Suas disponibilidades dependem essencialmente das precipitações e de sua distribuição ao longo do ano. O Estado do Maranhão é detentor de um grande potencial hídrico, o que lhe atribui destaque a nível nacional e internacional (LEITE, 2011).

O Maranhão é o único estado do Nordeste que menos se identifica com as características hidrológicas da região, pois não há estiagem e nem escassez de recursos hídricos, tanto superficiais como subterrâneos, em seu território. É detentor de uma rede de drenagem com, pelo menos, dez bacias hidrográficas perenes. Podem ser citadas, as: Bacia do rio Mearim, Bacia do rio Gurupi, Bacia do rio Itapecuru, Bacia do rio Grajaú, Bacia do rio Turiaçu, Bacia do rio Munim, Bacia do rio Pindaré, além de outras bacias. Suas principais vertentes hidrográficas são: a Chapada das Mangabeiras, a Chapada do Azeitão, a Serra das Cruzeiras, a Serra do Gurupi e a Serra do Tiracambu (CPRM, 2013).

O município de Bom Jesus das Selvas é drenado pela bacia hidrográfica do rio Pindaré. Juntamente com os rios Munim, Itapecuru e Mearim, constitui um conjunto de bacias hidrográficas que deságua no Golfão Maranhense, drena uma área de aproximadamente 44.250 km<sup>2</sup> (IBGE, 1997) e situa-se inteiramente no estado do Maranhão. Suas nascentes estão localizadas na serra do Gurupi, em cotas acima de 300 m de altitude. A partir das nascentes, o rio Pindaré corre com poucos meandros no sentido Sul-Norte, até próximo à sede do município de Bom Jesus das Selvas, quando assume a direção Sudoeste-Nordeste (CPRM, 2013).

Esse rio tem como principais afluentes os rios Buriticupu, Negro, Paragominas, Zutua, Timbira, Água Preta e Santa Rita. Além do rio Pindaré, drenam a área do município os rios do Sonho, Serozal, Taruparu, Buriticupu e os riachos Água Limpa, dentre outros. A área da bacia é ocupada predominantemente por fazendas e as zonas urbanas de algumas sedes municipais, como a de Bom Jesus das Selvas, a bacia possui também outras áreas de reservas indígenas (SEMA, 2011).

### 3.1.5 Clima

O conhecimento sobre o aspecto climático de uma localidade é um importante subsídio para o planejamento de diversas atividades humanas.

Desta forma, foram identificados quatro tipos climáticos no Estado, os quais variam desde o clima sub-úmido seco, que predomina no Sudeste, até o úmido, que predomina no extremo Noroeste (SEMA, 2011).

Os tipos climáticos predominantes no Maranhão são (SEMA, 2011):

- Clima úmido tipo (B2), com pequena ou nenhuma deficiência de água (R), megatérmico (A'), ou seja, temperatura média mensal sempre superior a 18°C, sendo que a soma da evapotranspiração potencial nos três meses mais quentes do ano é inferior a 48% em relação à evapotranspiração potencial anual (a');
- Clima úmido tipo (B1), com moderada deficiência de água no inverno, entre os meses de junho a setembro, megatérmico (A'), ou seja, temperatura média mensal sempre superior a 18° C, sendo que a soma da evapotranspiração potencial nos três meses mais quentes do ano é inferior a 48% em relação à evapotranspiração potencial anual (a');
- Clima sub-úmido do tipo (C2), com moderada deficiência de água no inverno, entre os meses de junho a setembro, megatérmico (A'), ou seja, temperatura média mensal sempre superior a 18° C, sendo que a soma da evapotranspiração potencial nos três meses mais quentes do ano é inferior a 48% em relação à evapotranspiração potencial anual (a');
- Clima sub-úmido seco do tipo (C1), com pouco ou nenhum excesso de água, megatérmico (A'), ou seja, temperatura média mensal sempre superior a 18° C, sendo que a soma da evapotranspiração potencial nos três meses mais quentes do ano é inferior a 48% em relação à evapotranspiração potencial anual (a').

A grande extensão territorial do Maranhão e sua localização geográfica como área de transição entre as regiões amazônica (úmida) e nordeste (semi-árida) favorece grandes contrastes pluviométricos anuais (SEMA, 2011).

As condições climáticas no Maranhão são características de uma área de transição no sentido sudeste (SE) para noroeste (NW). Os movimentos de avanço e recuo das massas de ar predominantes no estado têm maior penetração pelas partes mais baixas e pelas bacias hidrográficas perpendiculares ao litoral, a mesma direção de penetração das chuvas duradouras do regime marítimo definido pela Massa Equatorial Atlântica Norte (mEn), proveniente do hemisfério Norte em janeiro e com retorno a partir de meados de março. A

penetração das massas do regime marítimo é facilitada pela configuração do relevo (CORREIA FILHO, 2011).

Em relação as precipitações em chuvas, afirma-se que as mesmas acompanhadas de trovoadas anteriores às precipitações duradouras, são provocadas pelas massas de ar de origem continental, cuja influência é a partir do Oeste (W) em direção ao Sul (S), e cujo comportamento é uma prévia das condições de precipitação nos períodos seguintes, ou seja, quando há chuvas intensas no período continental, o sistema é ativado, e, no período de chuvas duradouras, há precipitações mais intensas também. Caso não ocorram chuvas intensas no período continental, provavelmente ocorrerão secas. A região mais úmida no período de fevereiro a abril é a que apresenta maiores valores em termos de totais acumulados. A distribuição da precipitação anual média evolui de SE para NWn (CORREIA FILHO, 2011).

A cidade de Bom Jesus das Selvas está localizada na Região Oeste Maranhense, Microrregião do Pindaré, nas margens da BR-222, próximo ao rio Pindaré. O clima é tropical úmido com temperatura média anual variando entre em 25°C e 26°C. O clima da região da cidade e do município, segundo a classificação de Köppen, é tropical (AW') com dois períodos bem definidos: um chuvoso, de janeiro a junho, com médias mensais superiores 203,8 mm e outro seco, correspondente aos meses de julho a dezembro, nesse período de estiagem a precipitação pluviométrica varia de 18,4 a 147,3 mm, com precipitação total anual em torno de 1.605,2 mm (CPRM, 2013).

O clima como citado neste trabalho demonstra-se um fator controlador dos processos erosivos devido sua influência direta principalmente em relação ao tipo de erosão estudada neste trabalho, o que compreende os altos índices pluviométricos, principalmente em determinado período do ano, como um dos fatores que mais intervém na formação de processos erosivos, desenvolvidos principalmente pela ação do efeito *splash* e pelo escoamento superficial e subsuperficial.

### **3.2 Historicidade, contemporaneidade do uso e ocupação da cidade Bom Jesus das Selvas/MA**

O município de Bom Jesus das Selvas, é unidade territorial com autonomia política, legislativa, administrativa e financeira, integrando a divisão político administrativa do Estado do Maranhão, tendo como sede a cidade de Bom Jesus das Selvas, sendo esta localidade, escolhida para desenvolvimento deste trabalho (BOM JESUS DAS SELVAS, 1997).

As informações a seguir baseiam-se nas informações presentes no site da Prefeitura e no Relatório Diagnóstico do município de Bom Jesus das Selvas (CORREIA FILHO, 2011).

Município surgiu na década de 1970, período em que as terras do Maranhão eram exploradas principalmente por forasteiros emigrantes de outras localidades do Brasil.

Nos anos 70, esta região no estado do Maranhão havia muitas terras devolutas; por não existir estradas, a região era de difícil acesso, tornando difícil a sobrevivência nessa região, porém a ganância pela terra trazia famílias das mais diversas regiões do país, causando desentendimento e até brigas. Os primeiros moradores chegaram em 1970, vindo da região de Imperatriz, sendo que a família já era emigrante de Caxias; aqui chegou o Senhor Neco e toda sua família.

Em 1973, chegaram à segunda família, para trabalhar nas terras do Sr. Neco, ambos da região de Imperatriz – MA. Alguns meses depois, chegou o Pastor Arnaldo, o farmacêutico Senhor Abdias, trazendo o primeiro sinal do comércio regional. Nesse período foi constituído a primeira habitação do Sr. Edno, barraco que deu origem a Avenida 7 de Setembro e fazendeiros da região não queriam que os moradores construíssem a fim de evitar a povoação, então inicia-se o primeiro conflito da região.

O município foi aos poucos recebendo benefícios oriundos de áreas como energia elétrica, comunicação, educação, entre outros. Mas foi a partir dos anos 90 que o município teve início seu maior salto de crescimento, impulsionado principalmente pela emancipação do mesmo no ano de 1994.

Bom Jesus das Selvas foi emancipado em 19 de junho de 1994, no entanto foi elevada à categoria de cidade pela Lei Estadual nº 6.166, somente em 10 de novembro de 1994, ficando subordinada a Comarca de Santa Luzia. Desde então, o município teve um crescimento lento, mas rumo ao progresso.

A sede municipal tem as seguintes coordenadas geográficas: -4°25'12" de Latitude Sul do Equador e -46°45'36" de Longitude Oeste de Greenwich. O acesso a partir de São Luís, capital do Estado, num percurso total aproximado de 441 km, se faz através da seguinte rota: 249 km pelas rodovias BR's-135/222 até a cidade de Santa Inês; 192 km pela BR-222 até a cidade de Bom Jesus das Selvas (*GOOGLE EARTH MAPS*, 2011).

Segundo o IBGE (2010) o município possui uma população de aproximadamente 28.459 habitantes, com densidade demográfica de 10,62 hab/km². Limita-se ao Norte com o município de Bom Jardim; ao Sul, com o município de Amarante do Maranhão; a Leste, com o município de Buriticupu e; a Oeste, com o município de Açailândia (*GOOGLE EARTH MAPS*, 2018).

Segundo o IBGE (2010), cerca de 47,19% da população reside na zona urbana, ou seja, a maior parte da população do município encontra-se na zona rural, sendo que a incidência de pobreza em Bom Jesus das Selvas e o percentual dos que estão abaixo desse nível é de 57,01% e 44,77% respectivamente.

No campo da educação destacam-se os seguintes níveis escolares: Educação Infantil (11,35%); Educação de Jovens e Adultos (9,55%); Educação Especial (0,58%); Ensino Fundamental do 1º ao 9º ano (70,69%); Ensino Médio do 1º ao 3º ano (7,82%). O analfabetismo atinge mais de 34% da população da faixa etária acima de sete anos (CORREIRA FILHO, 2011).

No campo da saúde, a cidade conta com oito estabelecimentos públicos de atendimento e um privado. No censo de 2000, o estado do Maranhão teve o pior Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) do Brasil e Bom Jesus das Selvas obteve baixo desempenho, com IDH de 0,58.

Quanto ao Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), Bom Jesus das Selvas obteve 0,558, em 2010, o que situa esse município na faixa de Desenvolvimento Humano Baixo (IDHM entre 0,500 e 0,599).

A água consumida na cidade de Bom Jesus das Selvas é distribuída pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto – SAAE, autarquia municipal, que atende aproximadamente 12.115 pessoas com 2.392 ligações através de uma central de abastecimento de água (IBGE, 2010). O município possui um sistema de escoamento superficial dos efluentes domésticos e pluviais que são lançados em lagoas e em cursos d'água permanentes. E a disposição final do lixo urbano não é feita adequadamente em um aterro sanitário (CORREIA FILHO *et al.* 2011).

De acordo com Correia Filho (2011), apenas 23,57% dos domicílios têm seus lixos coletados, enquanto 68,76% lançam seus dejetos diretamente no solo ou os queimam e 7,67% jogam o lixo em lagos ou outros destinos. Dessa forma, a disposição final do lixo urbano e do esgotamento sanitário não atendem as recomendações técnicas necessárias, pois não há tratamento do chorume, dos gases produzidos no lixão, nem dos efluentes domésticos e pluviais, como forma de reduzir a contaminação dos solos, a poluição dos recursos naturais e a proliferação de vetores de doenças de veiculação hídrica. Além disso, não é efetuada a coleta diferenciada para o lixo dos estabelecimentos de saúde, sendo seu acondicionamento feito de forma inadequada, com elevado risco de poluição dos recursos hídricos subterrâneos.

A questão apresentada anteriormente é notável na cidade, principalmente em virtude de um lixão impróprio, indicando contradição contra a Lei nº 12.305/2010, onde o art. 54 do

Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) estabelece que “*a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, deverá ser implantada em até 4 (quatro) anos após a data de publicação desta Lei*”, ou seja, significa afirmar a decretação do fim dos lixões no Brasil até o ano de 2014 e sua substituição por aterros sanitários em todos os municípios brasileiros. Porém, como na maioria das cidades do Brasil, na cidade de Bom Jesus das Selvas, esse decreto não foi implementado, sendo que próximo à erosão em estudo se encontra o lixão da cidade (Figura 6).

Figura 6 - Lixão da cidade de Bom Jesus das Selvas/MA



Fonte: Viana, 2018.

No Maranhão a vegetação reflete, em particular, a influência das condições de transição climática entre o clima amazônico e o semiárido nordestino. Na região oeste do estado, mas região do Planalto do Pindaré/Grajaú, onde se encontra o município de Bom Jesus das Selvas, a cobertura vegetal dominante é a Floresta Ombrófila, destacando-se também, em alguns trechos, a vegetação secundária e a Savana Arbórea Aberta (CORREIA FILHO *et al.* 2011).

De acordo com dados espaciais do IMESC e IBGE, na área de estudo, mediante histórico se fundamenta que parte da vegetação presente onde hoje é a cidade de Bom Jesus das Selvas foi desmatada com a chegada das primeiras famílias, e por conseguinte a necessidade de plantio e criação de animais cooperou para que a área obtenha áreas de

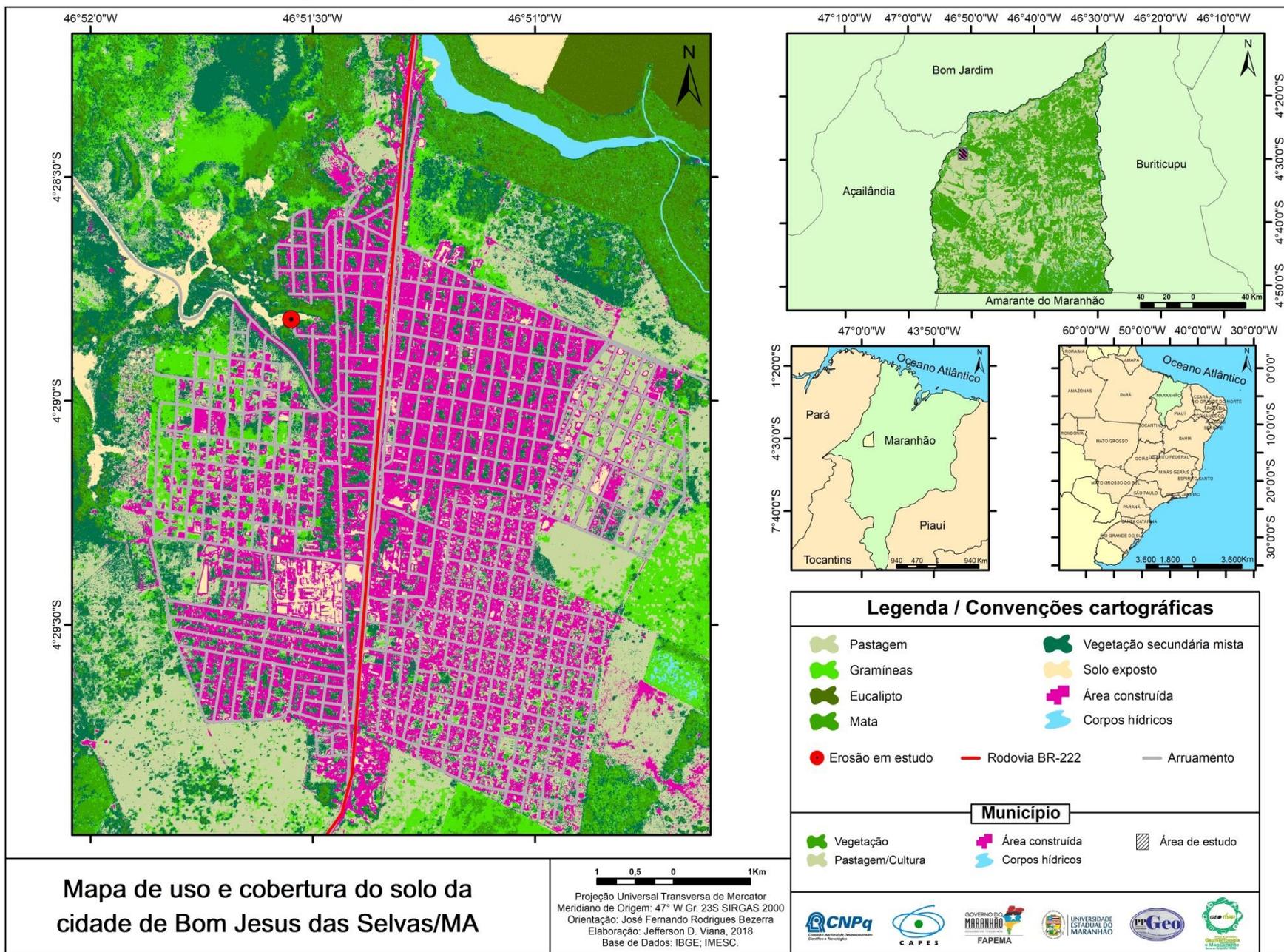
pastagem, no entorno da cidade. Bem como algumas áreas de vegetação secundária mista, e em alguns pontos a mata desmatada para construção da cidade, começa a ser regenerada. Outras formas de vegetação encontradas são as gramíneas

Outro aspecto presente, não somente na área de estudo, mas em significativa porção do Estado, corresponde a presença das florestas de Eucalipto, que cooperam inicialmente também pelo desmatamento da área e bem como a exposição do solo, que se torna sujeito aos intemperes de agentes externos, como pode-se principalmente a chuva.

A cidade de Bom Jesus das Selvas possui uma população acima de 20.000 habitantes (IBGE, 2010), essa população utiliza a mesma, como principalmente residências, e comércios, possuindo também praças, e órgãos públicos.

Na Figura 7 é apresentado um demonstrativo do uso e ocupação da cidade de Bom Jesus das Selvas/MA.

Figura 7: Mapa de uso e cobertura da cidade de Bom Jesus das Selvas/MA



Mapa de uso e cobertura do solo da cidade de Bom Jesus das Selvas/MA

## 4 PROCEDIMENTOS TÉCNICO-OPERACIONAIS

Esta pesquisa quanto a sua abordagem é caracterizada como qualitativa/quantitativa, pois a pesquisa qualitativa de acordo Oliveira (2011) tem o ambiente natural como fonte direta de dados, nela supõe o contato direto e prolongado do pesquisador com o ambiente e a situação que está sendo investigada via de regra, por meio do trabalho de campo, apesar disso, este tipo de pesquisa não aborda uma preocupação com representatividade numérica, o que para este trabalho se faz necessário, justamente por isso também se utiliza a abordagem quantitativa.

A pesquisa quantitativa centra na objetividade. Influenciada pelo positivismo, considera que a realidade só pode ser compreendida com base na análise de dados brutos, recolhidos com o auxílio de instrumentos padronizados e neutros. A pesquisa quantitativa recorre à linguagem matemática para descrever as causas de um fenômeno, as relações entre variáveis, etc. (GERHARDT; SILVEIRA, 2009). Com base no que foi apresentado pode-se afirmar que a utilização conjunta tanto da pesquisa qualitativa como quantitativa permite agrupar mais informações e dados pertinentes a pesquisa.

Quanto aos seus objetivos é descrita como explicativa, que visa o alcance da identificação dos fatores que contribuem para ocorrência de um fenômeno (GIL, 2008), neste trabalho o fenômeno é a erosão.

Para que houvesse êxito no alcance dos objetivos da pesquisa, adotaram-se três etapas fundamentais: gabinete, trabalho de campo e laboratório. Em gabinete, foram feitos o levantamento bibliográfico, assim como cartográfico para fundamentar e elaborar os mapas com a utilização do *software* Arcgis 10.2 (licença EFL999703439). Os trabalhos de campo contemplaram: coleta das amostras de solo; registro fotográfico de imagens dos locais; a execução de testes de taxa de infiltração. Em laboratório em relação aos solos, ocorreram as análises das amostras coletadas para realização da caracterização das propriedades físicas e descrição morfológica do solo, assim como também realizado o processamento de banco de dados virtuais, no âmbito de Geoprocessamento para elaboração dos mapas apresentados neste trabalho.

### 4.1 Atividade em Gabinete

A bibliográfica foi levantada através do acervo da biblioteca central da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), também utilizou-se o acervo do Grupo de Pesquisa de

Geomorfologia e Mapeamento (GEOMAP), do Departamento de História e Geografia (DHG) da UEMA. Foram utilizados ainda recursos digitais disponíveis em arquivos inscritos ao portal de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e páginas de revistas (nacionais e internacionais), que abarcam a temática desse projeto.

Foram sendo levantados e analisados esses recursos de acordo com a temática do trabalho, para que houvesse coesão entre a teoria e prática para melhor compreensão do tema abordado, com conteúdos relacionados à Geomorfologia, erosões, uso e cobertura da terra, erodibilidade e erosividade, suscetibilidade à processo erosivos, entre outros, pautados em diferentes fontes como livros, artigos, monografias, dissertações, teses, entre outros.

Quanto ao levantamento cartográfico, os mapas apresentados nesse trabalho englobam a cidade de Bom Jesus das Selvas, no Estado do Maranhão. O mapeamento da área de estudo abarcou mapas temáticos geoambientais, sendo eles: Geomorfologia, Geologia, Solos. Além deles, foram produzidos outros mapas para melhor entendimento do tema tratado, sendo eles: Declividade, Hipsometria, Curvatura, uso e cobertura, e sendo um dos objetivos deste trabalho, o mapa da suscetibilidade a processos erosivos da área de estudo. Destaca-se em relação a isso, que apesar de mencionado como um dos fatores que mais colaboram para o desenvolvimento de processos erosivos, os dados referentes aos índices pluviométricos não são apresentados neste trabalho através de mapa, devido primeiramente a escala espacial da área de estudo, onde sua possível representação acarretaria em pouca variação de índices pluviométricos se comparado a cidade de Bom Jesus das Selvas, além disso, outro fator que influenciou, foi a falta de dados contínuos que abarcassem com maior exatidão a área estudada.

## **4.2 Atividade em Campo**

Os estudos realizados em campo são de importância fundamental no entendimento da formação e desenvolvimento, em específico de erosões. Assim como nos estudos de laboratório, existe uma série de técnicas que podem ser utilizadas, dependendo da escala, do tempo e recursos disponíveis e dos objetivos do estudo. Essas técnicas podem ser adaptadas e/ou modificadas, em função das condições ambientais e dos recursos disponíveis para o projeto (GUERRA *et al.* 2012).

Foram realizados nesta pesquisa, três trabalhos de campo, sendo um considerado uma visita técnica para melhor compreensão do problema que pauta está pesquisa, realizado

no mês de novembro de 2017. O segundo campo executado no mês de março de 2018, com objetivo de realizar atividades de coleta de amostras de solo, registro fotográfico e realização do ensaio do teste da taxa de infiltração, sendo este período compreendido como chuvoso na área de estudo. O terceiro, realizado no mês de junho de 2019, período esse onde as precipitações em chuva se tornam escassas, nesse campo foram realizados novos testes de infiltração e captura de imagens e vídeos através do uso de drone.

Durante a atividade de campo, foi possível constatar que a área de estudo possuiu áreas intensas com ocorrência de processos erosivos, com presença de ravinas e voçorocas em significativo estágio de evolução. Das erosões na cidade, o presente trabalho visa o estudo em específico de uma voçoroca, localizada no Centro da cidade, a escolha desta erosão ocorreu devido sua maior dimensão dentre as demais, onde seu comprimento perpassa aproximadamente 600 m e com alturas acima de 25 m, sendo a voçoroca denominada de 7 de setembro, pois este é o nome da rua que durante a construção da cidade, era utilizada como principal via de acesso ao centro da mesma e que hoje encontra-se “cortada” pela erosão (Figura 8).



Figura 8 - Voçoroca sete de setembro

Fonte: Viana, 2018.

Na atividade de campo realizada em junho de 2019, foi realizado a aplicação de questionários a população, com 4 perguntas estruturadas de múltipla escolha, no total foram respondidos 25 questionários.

Durante os trabalhos de campo, foram utilizados alguns materiais para apoio na pesquisa e em técnicas adotadas, dentre elas: câmera fotográfica; Drone de modelo *Phantom 4 Pro*, *Global Positioning System* (GPS de navegação) *Garmin*; infiltrômetro de Hills (para realização do ensaio do teste de infiltração); galões de água (necessário para execução do ensaio do teste de infiltração); trado volumétrico (para coleta de amostras de solo indeformadas); anéis volumétricos de 10 cm<sup>3</sup> (para armazenamento das amostras coletadas com o trado volumétrico); martetele (para fixação do infiltrômetro e do trado volumétrico no solo); trado holandês (utilizado para coleta de amostras de solos deformadas); e sacos herméticos (para armazenamento das amostras de solo), sendo algumas ferramentas e equipamentos demonstrados na Figura 9, dentre outros acessórios utilizados com finalidade de apoio a utilização dos equipamentos citados ou em técnicas realizadas.

Figura 9 - Equipamentos e ferramentas utilizadas em campo: A – GPS; B – Infiltrômetro;

C – Trado volumétrico; D – Anel volumétrico; E – Martetele; e F – Saco hermético



Fonte: O autor, 2018.

a) Coleta de amostras de solo

Durante a realização da atividade de campo (em março de 2018, compreendido como período chuvoso no local), foram coletadas amostras de solo para posterior análise no laboratório de Geociências da UEMA. Das amostras coletadas, 38 (trinta e oito) foram amostras de solo deformadas (com trado Holandês) em 10 pontos e 8 (oito) amostras indeformadas de solo (com trado volumétrico) em 4 pontos para análise da granulometria, densidade do solo, densidade de partícula, porosidade e descrição morfológica, totalizando assim 46 amostras coletadas. As amostras de solo foram armazenadas em sacos herméticos, com as seguintes descrições: ponto; profundidade; local; nome do pesquisador; e tipo de amostra (deformada ou indeformada).

Para coleta das 38 amostras de solo deformadas (Figura 10), ou seja, aquelas que não preservam as características dos horizontes do solo foram utilizadas o trado holandês, as amostras coletadas foram retiradas de profundidades que variam de 10 cm a 80 cm, em 10 (dez) pontos distintos no entorno da voçoroca. Este tipo de amostra é utilizada em análises que não necessitam da preservação de sua estrutura, como descrição morfológica.

Figura 10 - Amostras de solo deformadas



Fonte: Viana, 2018.

Quanto as 8 (oito) amostras de solo indeformadas, que preservam as características do solo, foram removidas a profundidades consideradas superficiais, entre 10 cm e 20 cm, esta coleta foi obtida através do trado volumétrico e realizada em 4 pontos distintos na cabeceira da voçoroca (Figura 11). Neste tipo de amostra o cuidado tem-se por manter o peso específico aparente e a umidade do solo, essas amostras foram utilizadas para obtenção, por exemplo, dos dados referentes à densidade.

Figura 11 - Amostras de solo indeformadas



Fonte: Viana, 2018.

Destaca-se nesta etapa, a importância da coleta de amostras de solo para melhor compreensão das características presentes deste aspecto físico, entretanto, ressalta-se que a profundidade das amostras coletadas foi influenciada devido ao risco de desmoronamento de blocos das cabeceiras e paredes da voçoroca em estudo, pois a mesma está ativa, e constantemente às cabeceiras e blocos das paredes desmoronam no local, gerando assim um risco e por esse motivo as amostras coletadas variaram de acordo com as profundidades já mencionadas.

#### b) Teste de infiltração

Outro procedimento realizado em campo foi o ensaio de infiltração nas imediações da cabeceira da voçoroca estudada. O objetivo desse ensaio se deve a necessidade de conhecimento da taxa de infiltração da água no solo. E a partir da obtenção desse fator que se pode caracterizar de forma mais precisa os processos erosivos da área, pois um solo com pouca capacidade de infiltração tem maior probabilidade de erosão, pois resulta em uma maior ocorrência de escoamento superficial, que é o tipo que precede a degradação e consequentemente erosão do solo.

Para essa finalidade utilizou-se a técnica proposta por Hills (1970) adaptado por Guerra e Cunha (2001), que explica os procedimentos de execução, a princípio da criação de um infiltrômetro, que pode ser produzido a partir de diversos materiais, no caso dessa pesquisa o material utilizado para criação do infiltrômetro foi o ferro, que segue as dimensões propostas pelo autor, ou seja, o mesmo possui 15 cm de altura, 10 cm de largura ( $r=5$ ).

Essa técnica exige duração de 30 minutos, na qual foi cumprida e correspondeu a instalação de um cilindro de 15 cm de altura (sendo 5cm no solo e 10 exposto na superfície) foi realizada a recarga de água nesse recipiente e cronometrado assim como verificação da altura da água no infiltrômetro que variou de 30 segundos a 1 minuto (Figura 12).

Figura 12 - Ensaio do teste de infiltração



Fonte: Viana, 2018.

Para execução dessa técnica foi utilizado os seguintes materiais: garrafas pet de 2 l (com água), uma régua, um prendedor de roupa, um infiltrômetro de Hills, cronômetro e bloco para anotação dos valores. As garrafas pet com água foram utilizadas para preenchimento do infiltrômetro, a régua foi utilizada para medição da altura da água no infiltrômetro, o prendedor como auxílio para prender a régua, para que a mesma estivesse imóvel, o cronômetro para marcação do tempo do teste e o bloco de anotações para efeito de preenchimento com os valores obtidos na técnica de infiltração.

Foram realizados ao total 8 (oito) ensaios de teste da taxa de infiltração de água no solo, sendo executados nos meses de março de 2018 e junho de 2019, considerado o período chuvoso e de estiagem respectivamente da área de estudo.

Sendo assim, o teste se deu da seguinte forma: 1 – Foi escolhido um local na borda das voçorocas para colocação do infiltrômetro, de preferência limpo sem nenhum aparente bloqueio que dificultasse o experimento; 2 – Com o auxílio de um martelo foi fixado a 5 cm de profundidade o infiltrômetro no solo; 3 – Prendeu-se a régua ao interior do infiltrômetro com o auxílio do prendedor, no nível de 10 cm; 4 – Foi preenchido o interior do infiltrômetro com água até que alcança-se 10 cm; e 5 – Foi cronometrado e seguiu em anotação, segundo proposto de Guerra e Cunha (2001), no tempo de 30 s, 60 s, 1:30 min., 2 min., 3 min., e assim respectivamente até 30 min. (tempo máximo do experimento).

Neste sentido é apresentada na Figura 13 uma ilustração que demonstra a espacialização dos pontos correspondentes à coleta de amostras de solo deformadas e indeformadas, bem como os locais onde foram realizados os ensaios de teste de infiltração.

Figura 13 - Demonstrativo da espacialização dos pontos de coleta de amostras de solo (deformadas e indeformadas) e ensaios de teste de infiltração



Fonte: Viana, 2018.

### 4.3 Análise em Laboratório

As amostras de solo foram analisadas no Laboratório de Geociências da UEMA, levando em consideração parâmetros relacionados a granulometria, densidade do solo, densidade de partícula e porosidade, assim como também realizado a descrição morfológica,

sendo a obtenção desses dados essenciais para caracterização das propriedades físicas do solo, sendo assim fundamentais para a pesquisa, contribuindo para a análise da erosão em estudo e melhor compreensão da influência das características do solo como agente intensificador ou não da erosão. Os métodos e técnicas adotadas para a análise desenvolvidas em laboratório foram baseadas na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2017); e nas técnicas apresentadas por Oliveira (2012).

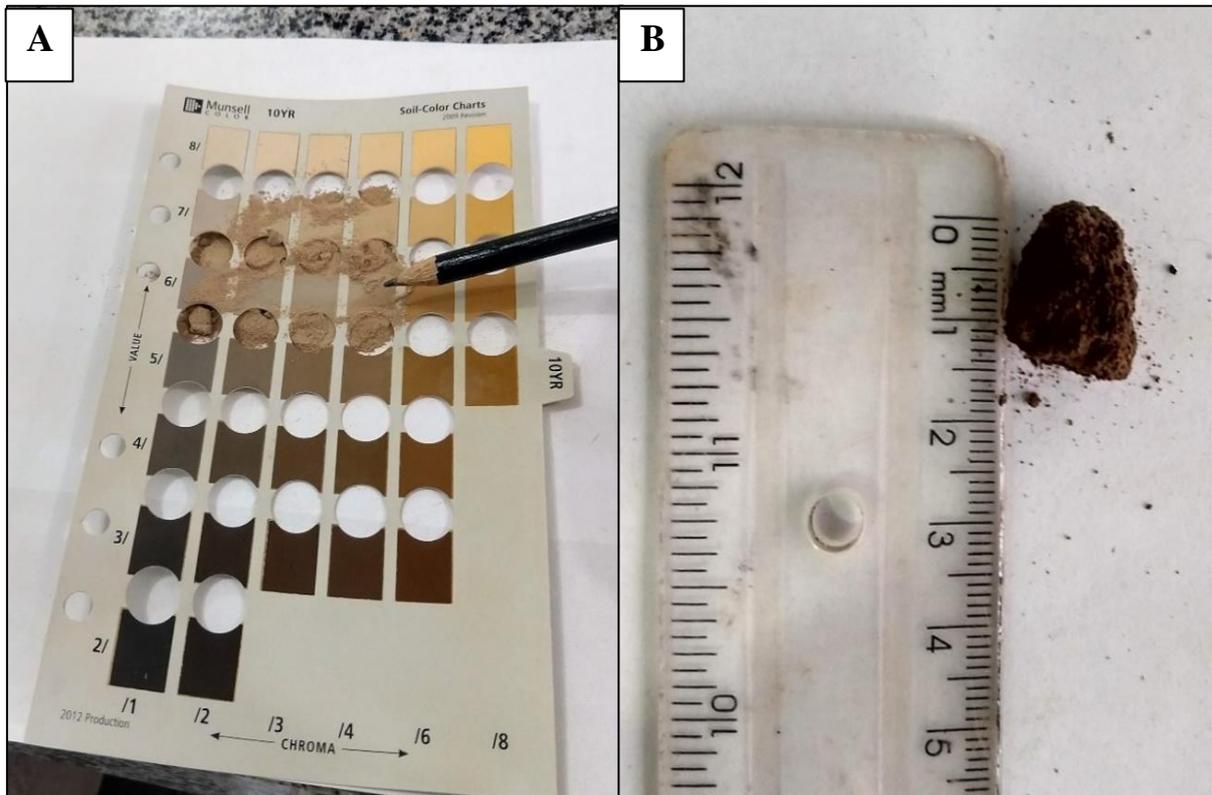
#### a) Descrição morfológica dos solos

A análise da descrição morfológica do solo foi composta pela coleta e sucessível análise de 38 amostras de solo do tipo deformada da voçoroca, com dimensões que variaram de 10 cm a 80 cm de profundidade na qual foi realizada a análise de sua respectiva coloração mediante utilização da carta de cores de Munsell (2000), essa análise da coloração é uma das etapas utilizadas para caracterização e descrição morfológica das erosões estudadas. Além da análise da coloração, foram analisados parâmetros relacionados ao seu tamanho, forma, consistência seca, consistência úmida e consistência molhada (plasticidade e pegajosidade), e sua textura (OLIVEIRA, 2011).

Uma das primeiras características a ser analisada, correspondeu a cor do solo, ou seja, foi retirada da amostra uma porção para que com o auxílio da carta de cores de Munsell (2000) fosse possível a obtenção da coloração do solo, quanto aos aspectos relacionados a Matiz, Valor e Cromo (Figura 14-A).

O parâmetro relacionado ao tamanho corresponde a estrutura, sendo que ela varia entre as classes: muito pequena, pequena, média, grande e muito grande, dependendo do tipo de agregado. Quanto à forma é analisada segundo os agregados que podem ser classificados em: arredondados, angulosos e laminares (Figura 14-B).

Figura 14 - A – Análise da cor da amostra de solo (matiz, valor e croma); e B - Análise do tamanho de torrão da amostra de solo



Fonte: Viana, 2018.

Consequente foi realizada a análise da textura da amostra do solo, segundo Oliveira (2011), onde o mesmo afirma que o solo apresenta três frações granulométricas das partículas: sendo elas: areia (2,0 a 0,05 mm), silte (0,05 a 0,002 mm), e argila (menor que 0,002 mm). Neste sentido, para que fosse possível a obtenção do tipo de textura do solo (realizado com as amostras deformadas), foi realizado os seguintes procedimentos:

- ✓ Foi necessário molhar as amostras até homogeneizá-las (Figura 15-A);
- ✓ Em seguida, a tentativa de formação de um cilindro de aproximadamente 6 a 7 cm de comprimento (neste passo, caso não fosse possível fazer o cilindro, a textura seria considerada arenosa);
- ✓ Por conseguinte, percebeu-se que foi possível formar o cilindro, e se ele se desfizesse a amostra seria considerada média (Figura 15-B);
- ✓ Ao continuar moldando um cilindro com 15 a 16 cm de comprimento, se ele rachar ao formar um círculo, a textura pode ser considerada argilosa, e se não rachar, muito argilosa.

Figura 15: A – Homogeneização da amostra; B – Formando cilindro



Fonte: Viana, 2018.

Outra característica dessa análise morfológica corresponde à consistência do solo, subdividida em três estados, sendo eles: seca, úmida e molhada (OLIVEIRA, 2011). Quanto à consistência seca, pegou-se um torrão de solo, e tentou-se quebrá-lo com os dedos (polegar e o indicador), para a verificação da natureza do material, variando de sola a extremamente dura, de acordo com os tipos de consistência do solo seco (Figura 16-A):

- ✓ Solta: material não coerente entre o polegar e o indicador;
- ✓ Macia: fracamente coerente e frágil;
- ✓ Ligeiramente dura: fracamente resistente à pressão, quebra facilmente;
- ✓ Dura: moderadamente resistente e dificilmente quebrável entre o polegar e o indicador;
- ✓ Muito dura: muito resistente e quebrável nas mãos com dificuldade;
- ✓ Extremamente dura: extremamente resistente e não pode ser quebrado com as mãos.

Para que fosse possível obter o dado quanto à friabilidade, ou seja, a consistência úmida, utilizou-se também um torrão de solo, porém, o mesmo foi ligeiramente umedecido (não molhado), e tentou-se romper o torrão úmido com os dedos, para verificara resistência à pressão (Figura 16-B), que é dividida nos seguintes tipos:

- ✓ Solta: material não coerente entre o polegar e o indicador;
- ✓ Muito friável: desfaz-se com pressão leve;
- ✓ Friável: desfaz-se sob pressão fraca e moderada;
- ✓ Firme: desfaz-se sob forte pressão, dificilmente entre o polegar e o indicador;
- ✓ Extremamente firme: desfaz-se sob pressão muito forte e é fragmentado, pedaço por pedaço.

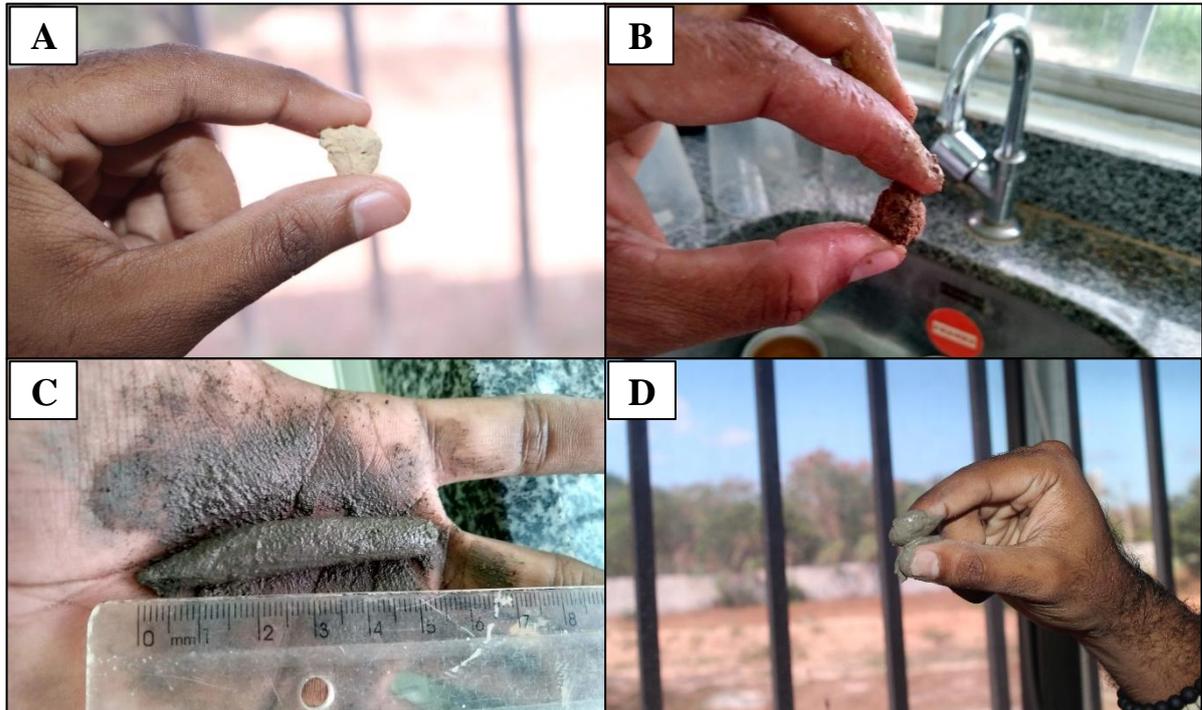
A plasticidade do solo, outra característica analisada para descrição morfológica, varia de não plástica a ligeiramente plástica e é determinada formando-se um cilindro próximo de 3 a 4 mm de diâmetro e 6 cm de comprimento, e representa a capacidade dos solos serem moldados (OLIVEIRA, 2011) (Figura 16-C). As variações seguem os seguintes parâmetros:

- ✓ Não plástica: se chegar a formar um fio, este é facilmente deformável;
- ✓ Ligeiramente plástica: forma-se um fio facilmente deformável;
- ✓ Plástica: forma-se um fio que necessita de moderada pressão para que se deforme;
- ✓ Muito plástica: forma-se um fio que necessita de muita pressão para ser deformado.

Outra característica analisada, corresponde a pegajosidade, que consiste em ser a propriedade que pode apresentar a massa do solo de aderir a outros objetos (LEPSH, 2010). Sendo determinada ao momento que seja molhada e homogeneizada, e comprimida entre o indicador e o polegar, e a aderência é então observada (Figura 16-D). Os graus de pegajosidade são:

- ✓ Não pegajosa: praticamente não se verifica nenhuma aderência da massa ao polegar e indicador;
- ✓ Ligeiramente pegajosa: após a compressão, o material adere a ambos os dedos, mas desprende-se de um deles perfeitamente;
- ✓ Pegajosa: o material adere a ambos os dedos, e quando eles estão afastados tende a alongar-se um pouco e romper-se, em vez de desprender-se de qualquer um dos dedos;
- ✓ Muito pegajosa: o material adere fortemente a ambos os dedos e alonga-se perceptivelmente quando eles são afastados.

Figura 16: A – Análise consistência do solo seca; B – Análise consistência do solo úmida; C – Plasticidade; e D - Pegajosidade



Fonte: Viana, 2018.

#### b) Densidade do solo, Densidade de partícula, e Porosidade

Mediante técnicas e cálculos baseados no Manual de Métodos de Análise de Solo (EMBRAPA, 2017) foi realizada para esta pesquisa, com a finalidade de compreender melhor as características do fator solo, a análise da densidade do solo, de partícula, e da porosidade total, sendo esta análise descrita a seguir:

##### I. Densidade do solo

A análise da densidade do solo é a densidade ou massa específica que depende da composição mineral do solo e do grau de compactação, para realização da mesma, utilizou as amostras do tipo indeformada. Para a obtenção dessa característica, os procedimentos adotados foram:

- ✓ As amostras coletadas foram retiradas dos respectivos anéis volumétricos (com 100 cm<sup>3</sup>), e colocadas em latas de alumínio (de valor de massa previamente conhecido e com numeração representativa) (Figura 17-A);
- ✓ Após, as amostras, estando em latas, foram pesadas e os valores anotados;
- ✓ Encaminhou-se as amostras a estufa, e as mesmas estiveram durante 24 horas, a uma temperatura de 105°C (Figura 17-B);

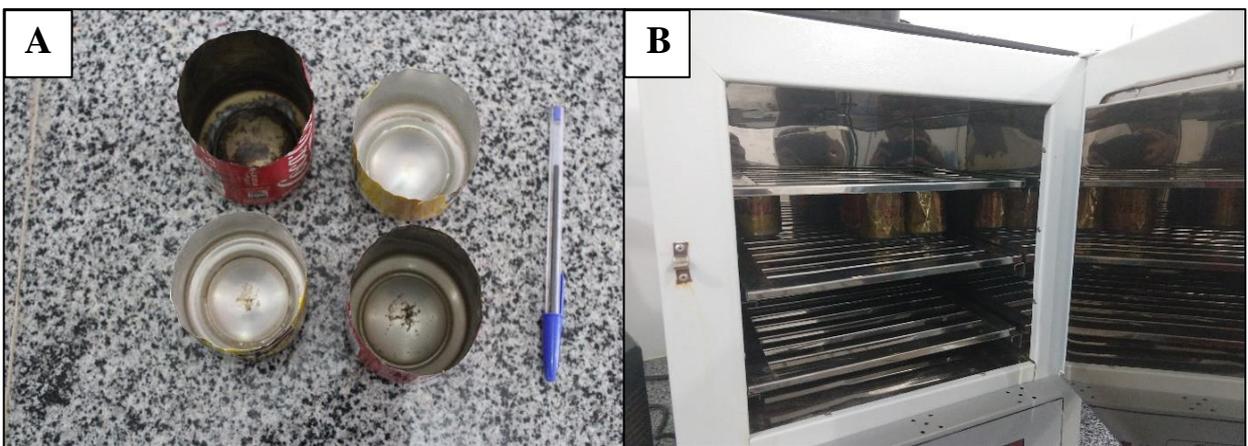
- ✓ Após a secagem da amostra, dividiu-se o valor do peso a 105°C pelo volume do anel do coletor (100 cm<sup>3</sup>), assim obteve-se o valor da densidade do solo(g/cm<sup>3</sup>), conforme a Equação (1):

$$D_s = a/b \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad (1)$$

Onde:

- a - Peso da amostra seca a 105° C;
- b - Volume do anel (100 cm<sup>3</sup>).

Figura 17 - Etapas da análise da densidade do solo: A – Latas para armazenamento de amostras; e B – Amostras encaminhadas a estufa



Fonte: Viana, 2018.

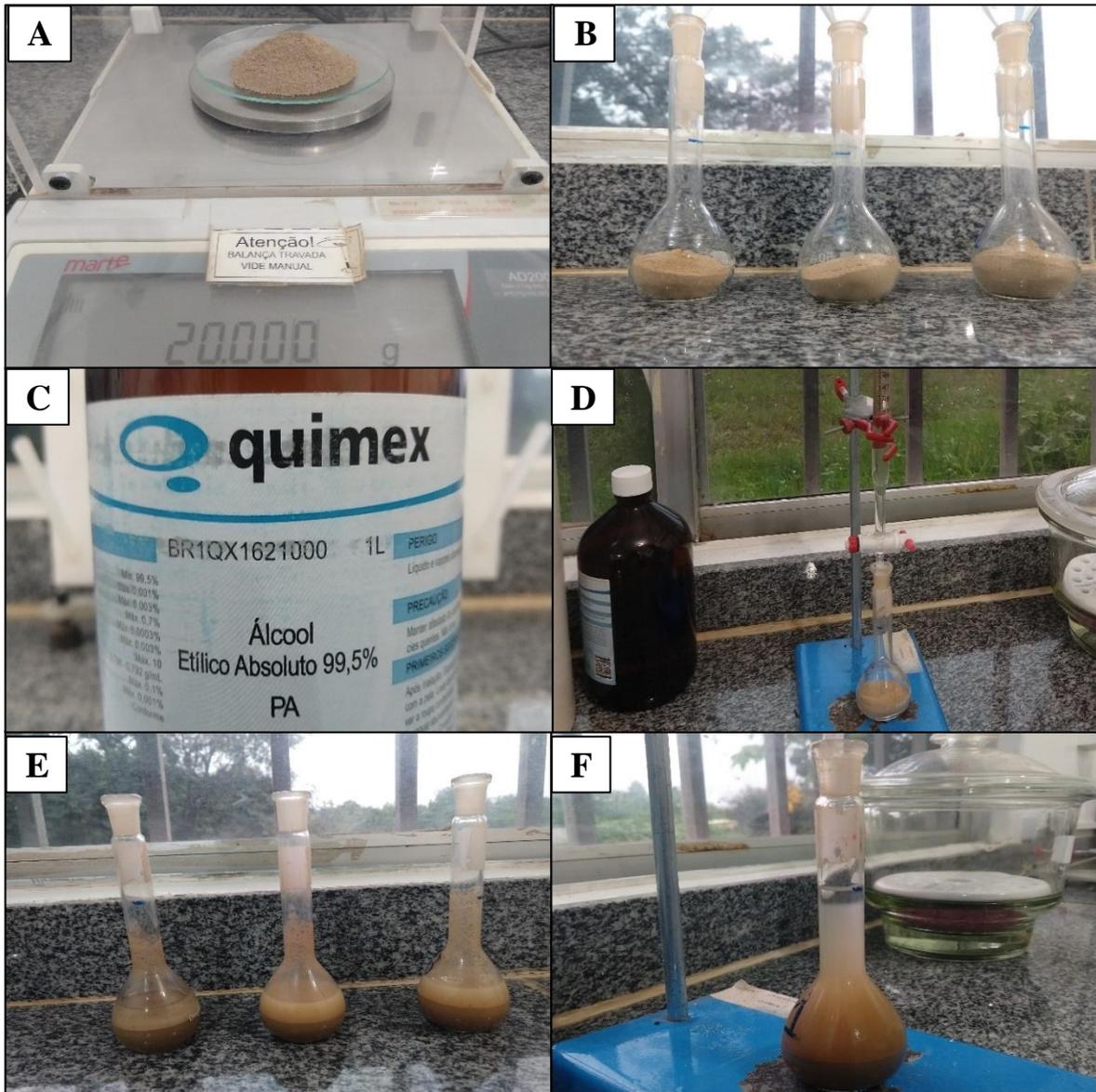
## II. Densidade de partículas

O método utilizado neste trabalho para obtenção dos dados referente a densidade de partículas de solo das amostras coletas foi do balão volumétrico. Esse método é similar ao descrito por Kiehl (1979) e EMBRAPA (2017) que consistiu nos seguintes procedimentos:

- ✓ Pesagem de 20 g aproximadamente de TFSE (Terra Fina Seca em Estufa) (Figura 18-A);
- ✓ Posteriormente foi transferido a amostra para o balão volumétrico aferido de 50 ml (Figura 18-B);
- ✓ Adicionou-se álcool etílico (99,5°) até a marcação do zero (Figura 18-C);
- ✓ Também foi adicionado ao balão com a amostra, 25 ml de álcool (Figura 18-D);
- ✓ Seguidamente, houve a agitação manual do balão, para eliminação de ar por 1 minuto e assim facilitar a penetração do álcool nos capilares do solo (Figura 18-E);
- ✓ Foi deixado em repouso por 15 minutos e completado o volume do balão com álcool etílico (Figura 18-F);
- ✓ Por conseguinte, foi realizada a leitura do nível de álcool na bureta (L);

- ✓ E por fim, concluí-se a etapa, com o cálculo da densidade de partículas através de fórmula, conforme a Equação (2).

Figura 18: Etapas da análise da densidade de partícula: A – Pesagem de TSFE; B – Armazenamento da amostra pesada; C e D – Álcool utilizado e adicionado para o método; E – Agitação manual dos balões; e F – Repouso e completo o volume do balão



Fonte: Viana, 2018.

$$D_p = 20/V \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad (2)$$

Onde:

$D_p$  - Densidade de partícula,

$V$  - Volume = 50 - L

### III. Porosidade

A análise da porosidade foi realizada posteriormente as de densidade de partícula e densidade do solo, pois através dos valores obtidos por elas foi possível adquirir o dados referentes a porosidade total do solo, sendo está caracterísitca de suma importância na pesquisa como complemento para melhor caracterização do solo. O valor da porosidade total foi adquirido mediante a Equação (3).

$$PT(\%) = [(a-b)/a] \times 100 \quad (3)$$

Onde:

- PT - Porosidade total;
- a - Densidade de partículas;
- b - Densidade do solo.

### IV. Análise Granulométrica

O método utilizado para descrição granulométrica do solo foi o de pipetagem, para está referida caracterização do solo, as amostras utilizadas foram as deformadas, sendo assim, foram analisadas 38. Os procedimentos adotados para esta análise, seguiram o seguinte caminho:

- ✓ As amostras de solo foram deixadas ao ar livre, para que fossem secas completamente;
- ✓ Após as amostras estarem totalmente secas, foram destorroadas<sup>4</sup> (Figura 19-A);
- ✓ Posteriormente, foi realizado o procedimento de “ataque”, que correspondeu a princípio a pesagem de 20g de cada amostra, e colocadas em um copo plástico (Figura 19-B);
- ✓ Em seguida foi adicionado 10 ml de solução de NaOH 1N (hidróxido de sódio) e após, adicionado 100 ml de água destilada nas amostras, que foram agitadas com um bastão de vidro e deixadas em repouso cobertas com um vidro de relógio por uma noite (Figura 19-C);
- ✓ Após o período noturno que as amostras estiveram em repouso, foi necessário e é indicado pelo método, que seja fundamental o conhecimento quanto ao tempo que as amostras ficariam sedimentando (processo de separação em que um líquido ou sólido

---

<sup>4</sup> Quebra de material em pedaços menores, nesta pesquisa, utilizou-se as ferramentas: almofariz e pistilo.

são deixados em repouso), para isso, colocou-se um termômetro em meio copo de água, deixando no mesmo, por 15 minutos e posteriormente foi feita a leitura, com base na tabela de tempo de sedimentação pré-existente;

- ✓ Com o tempo previamente conhecido para sedimentação, as amostras foram agitadas durante 5 (cinco) minutos no *stirrer* (Figura 19-D);
- ✓ As amostras foram colocadas na peneira de malha da *American Society for Testing and Materials* (ASTM) 270, e colocadas sobre um funil, sendo embaixo colocado uma proveta de 1000 ml para receber o líquido (Figura 19-E); e com jatos d'água foi realizado o peneiramento;
- ✓ Posteriormente foi agitado todo líquido presente nas provetas durante 20 segundos, e deixadas em repouso pelo tempo estabelecido na tabela de temperatura para sedimentação (Figura 19-F);
- ✓ Os sedimentos retidos na peneira, considerados como frações de areia, foram armazenados em latas (com pesos previamente registrados) e pesadas;
- ✓ Após o período de sedimentação, o próximo procedimento correspondeu a retirada das alíquotas, ou seja, com a utilização de uma pipeta de 50 ml, a mesma foi aprofundada na proveta a 5 cm e foi coletado o material que se encontrava em suspensão, e colocadas em cápsulas (de peso registrado) enumeradas de acordo com a respectiva amostra (Figura 19-G);
- ✓ Posteriormente as alíquotas foram colocadas na estufa e armazenadas durante 24 horas, a 100° de temperatura (Figura 19-H);
- ✓ Paralelo aos procedimentos de conhecimento dos valores de argila, com as frações de areia presentes nas latas, as mesmas, foram levadas a estufa a 100° de temperatura por um intervalo de 3 a 5 horas, até que a água retida evaporasse completamente;
- ✓ Após o período citado, as amostras foram retiradas da estufa, colocadas no dessecador para esfriarem e ao final foram pesadas e seus valores corresponderam ao de areia total (areia grossa + areia fina);
- ✓ Em seguida, as amostras que foram pesadas foram colocadas na peneira de malha ASTM 70, e as frações que passaram, corresponderam aos valores de areia fina, conseguinte, através da subtração do valor de areia fina da areia total se obteve os valores referentes à areia grossa.

Para que houvesse a compreensão dos valores referentes à areia, silte e argila, foi realizado alguns cálculos, seguindo as seguintes equações (4), (5) e (6):

$$\begin{array}{l} \text{Argila} \\ [(A+T) - T] \times 100 = -2 \end{array} \quad (4)$$

$$\begin{array}{l} \text{Silte} \\ 100 - (AT + A) = \text{Silte} \end{array} \quad (5)$$

$$\begin{array}{l} \text{Areia} \\ AT - AF = AG \end{array} \quad (6)$$

Onde:

A – Argila;

AT – Areia Total;

AF – Areia Fina;

AG – Areia Grossa;

T – Tara<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup> Função que permite pesar um recipiente, e após ativação, anula seu peso, validando apenas o peso da amostra ou quaisquer produtos sob o recipiente.

Figura 19: Procedimentos para análise granulométrica: A – Destorroamento das amostras; B – “Ataque” das amostras; C – Adição de solução de NaOH 1N as amostras; D – Amostras agitadas com o *stirrer*; E – Peneiramento com jatos d’água; F – Repouso das amostras anteriormente agitadas; G – Coleta do material em suspensão na proveta; e H – Armazenamento das alíquotas na estufa



#### 4.3.1 Laboratório de Geoprocessamento

Outro procedimento adotado neste trabalho compreendeu as análises e produções de mapas no âmbito do Geoprocessamento, onde os mapas apresentados neste trabalho englobam a cidade de Bom Jesus das Selvas-MA, localizado na região Centro-Oeste do Estado do Maranhão. O mapeamento da localização da área de estudo, bem como os mapas para caracterização Geoambiental foram elaborados com o *software* ArcGis 10.2 (licença EFL999703439), sendo produzidos no Grupo de Pesquisa de Geomorfologia e Mapeamento (GEOMAP).

Os mapas elaborados e apresentados neste trabalho são os seguintes: Localização; Geomorfologia; Geologia; Solos; Uso e cobertura do solo; Índices pluviométricos; Hipsometria; Declividade; e Curvatura. Para elaboração dos mapas e seus respectivos *layouts* foram utilizadas bases de *shapefile*<sup>6</sup> do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE); do Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos (IMESC); e do Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Maranhão (ZEE-MA), sendo essas bases adotadas em todos os mapas.

O mapa de Localização foi elaborado com base em imagem de satélite disponibilizada pelo Catálogo de Imagens de Satélite administrado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). O satélite utilizado foi SPOT 5, com bandas 1/2/3.

O mapa de Geomorfologia, de Geologia, e de solos, foram elaborados mediante a base de dados do IMESC e do ZEE-MA, onde houve uma adaptação para área de estudo afim da melhor compreensão do mesmo.

O mapeamento referente a hipsometria da área de estudo foi elaborado através da extração de curvas de nível da imagem de satélite anteriormente mencionada, por intermédio do seguinte caminho no ArcGis: *Spatial Analyst Tools* → *Surface* → *Contour*. Posteriormente, nesta ferramenta foi adicionada a imagem em formato raster<sup>2</sup> e seguindo assim os procedimentos da aba desta função, foi possível extrair as curvas de nível, em intervalos de 5 metros, no formato *shapefile line*. Devido a algumas curvas estarem distorcidas, além do processamento para extração das mesmas, foi realizada uma atualização e correção das curvas inconstantes através da edição do *shapefile* criado.

Através das curvas de níveis extraídas, foi possível a criação do TIN através do seguinte caminho: *3D Analyst Tools* → *Data Management* → *TIN* → *Create TIN*. Através

---

<sup>6</sup> Formato de arquivo contendo dados geoespaciais em forma de vetor usado por Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

desta ferramenta foi possível criar no formato TIN, uma das melhores formas de interpretação da modelagem da superfície, em especial, a área de estudo. Após a criação do mesmo, foi feita a adaptação para melhor compreensão do aspecto visual em relação as cores, os tons de vermelho correspondem as áreas mais altas e as tonalidades mais frias (gradações de verde) caracterizam as porções de menor altitude.

Para elaboração do mapa referente as características da declividade da área de estudo, o mesmo foi obtido através das seguintes ferramentas: *3D Analyst Tools* → *Raster Surface* → *Slope*. O resultado do procedimento nesta ferramenta possibilitou a geração de um arquivo que apresenta os níveis de declividade da área de estudo, sendo que o mesmo foi adaptado e teve suas cores corrigidas de acordo com a EMBRAPA (2018).

O mapa de uso e cobertura do solo foi elaborado através da imagem de satélite já mencionada. Com a imagem aberta no *software*, foi realizada a seleção dos *pixels* para representação de alguns pontos de classificação, sendo eles: cobertura vegetal (vegetação secundária mista, gramíneas, pastagem, eucalipto e mata), área construída, e solo exposto. A classificação supervisionada foi realizada com o método estatístico da grade de ferramentas do ArcToolbox, *maximum likelihood*.

Nesse mapa foi utilizada a classificação supervisionada, sendo os classificadores "pixel a pixel": que usam de forma individual a informação espectral de cada pixel na busca por regiões homogêneas, ou seja, foi criado *shapefile* do formato polígono, no qual foram identificadas regiões de mesma coloração utilizando os *pixels* que estavam a compor determinado parâmetro que foi considerado como uso e cobertura do solo. A interpretação do arquivo conforme composição visual dos pixels, foi identificada através de polígonos, sendo traçados e divididos em categorias, como mostra o Quadro 2.

Após a organização dos arquivos vetoriais, foram selecionados os resultados referentes à declividade, curvatura, uso e cobertura do solo, hipsometria e solo (sendo eles as variáveis utilizadas para o mapa de suscetibilidade), os mesmos foram transformados em matriciais, ou seja, para cada arquivo criado em formato *shapefile* (vetorial) foram transformados em arquivo raster (matricial) através da ferramenta *Conversion tools*, após essa transformação, foi atribuído para cada arquivo criado pesos de 0 a 100% (MOURA, 2007). Cada fator controlador em estudo (declividade, curvatura, uso e cobertura, hipsometria, solos) recebeu uma porcentagem de influência como agente colaborador para ocorrência e desenvolvimento de erosões, sendo que a maior porcentagem refere-se a variável que mediante estudo possui maior influência no processo. Dentre esses fatores, cada classe contida em seus dados recebeu notas que variam entre 0 e 10, de maneira que quanto maior a

nota, maior a suscetibilidade erosiva, essa etapa foi realizada através da ferramenta *Reclassify* (Quadro 3).

Quadro 2 - Categorias das classes do mapa de uso e cobertura

<b>Categoria / Aspecto visual</b>			
<b>Drenagem</b> 	<b>Pastagem</b> 	<b>Gramíneas</b> 	<b>Área construída</b> 
<b>Eucalipto</b> 	<b>Mata em regen.</b> 	<b>Veg. Sec. Mista</b> 	<b>Solo exposto</b> 

Organização: Viana, 2018.

Quadro 3 - Classificação dos pesos e notas para o mapa de susceptibilidade

<b>Variáveis e Pesos</b>	
<b>Variáveis (5)</b>	<b>Pesos (100%)</b>
Declividade	30%
Curvatura	25%
Uso e cobertura	20%
Hipsometria	10%
Solos	15%

Organização: Viana, 2018.

Para que fosse possível combinar as variáveis e criar o mapa de suscetibilidade a erosão, a ferramenta utilizada foi o *Raster Calculator*. Após essa etapa foi gerado um arquivo final, onde na ferramenta *Classified* foi reagrupado a quantidade de classes e as cores, sendo esse mapa dividido em classes que apresentaram baixa, média a alta suscetibilidade erosiva, em cores variando do verde, amarelo e vermelho respectivamente.

Apesar da importância dos dados e informações pertinentes ao clima, mais precisamente aos índices pluviométricos, não foi possível realizar a elaboração do mesmo, devido dificuldades quanto as estações meteorológicas na região, assim como falhas quanto a obtenção dos dados.

## **5 A MORFODINÂMICA DA PAISAGEM DO MUNICÍPIO DE BOM JESUS DAS SELVAS/MA**

Nesse capítulo são apresentados os resultados dos teste e técnicas elaborados nesta pesquisa para a melhor compreensão e resposta quanto aos objetivos propostos neste trabalho. Os resultados baseiam-se através da conceituação teórica e dos procedimentos executados e apresentados nos capítulos anteriores.

Um processo erosivo acelerado, em específico, uma voçoroca, pode ser definida levando em consideração alguns fatores essenciais de cada ambiente, os mesmos são denominados de controladores, tem a influência de dar origem, desenvolvimento e até mesmo encerrar o processo erosivo, sendo assim, se torna de significativa importância apresentar neste item, quais os fatores de maior influência quanto à ação sobre o processo erosivo em estudo na cidade de Bom Jesus das Selvas/MA.

Dada à importância do estudo aprofundado de alguns fatores, destacou-se neste trabalho com base no referencial teórico pertinente e que apresenta os fatores de maior relevância, um detalhamento em específico correspondente ao: solo (pedologia) e suas características; Topografia do terreno (curvatura, hipsometria e declividade); e Uso e cobertura do solo (norteado pela ação antrópica na área de estudo), sendo eles usados como base para elaboração do mapeamento de suscetibilidade a processos erosivos.

Seguindo a ordem cronológica das etapas e procedimentos realizados nesta pesquisa, apresenta-se a seguir o resultado dos trabalhos desenvolvidos em campo, na área de estudo, as análises de técnicas realizadas em laboratório, assim como dos trabalhos desenvolvidos em gabinete que apresentam as representações visuais em formato de mapas, para melhor

compreensão do tema tratado e aprofundamento dos fatores já mencionados como de influência preponderante no surgimento e desenvolvimento da voçoroca estudada.

## **5.1 O Processo Erosivo e os Fatores Controladores Atuantes**

A caracterização destes fatores se dá pela complexidade necessária em estudos sobre esta temática, onde apesar de específicos, esses fatores indicam uma singularidade que atuando em determinados ambientes, em específico na área de estudo, se sobressaem a demais fatores.

### **I. Mensuração do ensaio do teste de infiltração**

O processo de infiltração de água no solo é bastante complexo e varia quantitativa e qualitativamente de acordo com as propriedades naturais do solo e da vegetação e/ou por causa das atividades humanas, pois o manejo do solo afeta a capacidade de infiltração à medida que interfere nas propriedades do solo e nas condições de superfície e nos fatores naturais (PINHEIRO, 2009).

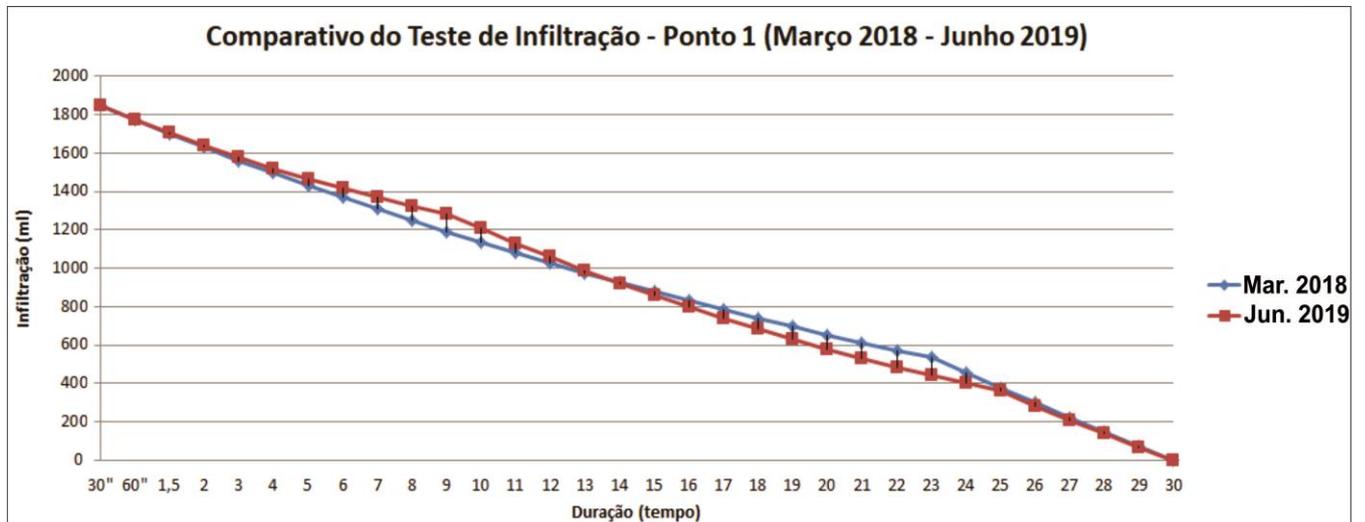
Como etapa dos objetivos propostos neste trabalho, foi realizada a mensuração da infiltração do solo na erosão em estudo, sendo realizado através dos procedimentos proposto por Hills (1970). O teste foi executado no mês de março de 2018, e foi realizado em 4 (quatro) pontos na borda da cabeceira da voçoroca, esse teste resultou na elaboração de gráficos para melhor compreensão do quantitativo de água infiltrada.

De acordo com os dados comparativos do teste de infiltração realizado no ponto 1 (Gráfico 1) foi possível constatar que a infiltração ocorreu de forma mais lenta no período de março, compreendido como chuvoso, quanto ao mês de junho a infiltração, de forma mais acelerada acarretou a necessidade de recarga de água ao infiltrômetro em dois no momento, quanto que em março de 2018, houve a necessidade de apenas de uma recarga, isso quase no final do tempo do ensaio de 30 min.

Quanto ao teste 2, demonstrado no Gráfico 2, neste ponto, em comparativo entre os dois meses (mar. e jun.), o teste em março, a infiltração do solo ocorreu mais lenta que em junho, neste sentido, foi possível confirmar que o solo no primeiro campo, poderia já está saturado de água, por ser no período chuvoso, quanto ao mês de junho, essa infiltração ocorreu mais rápida, devido a escassez de chuva e como o solo propício a infiltrar água, além

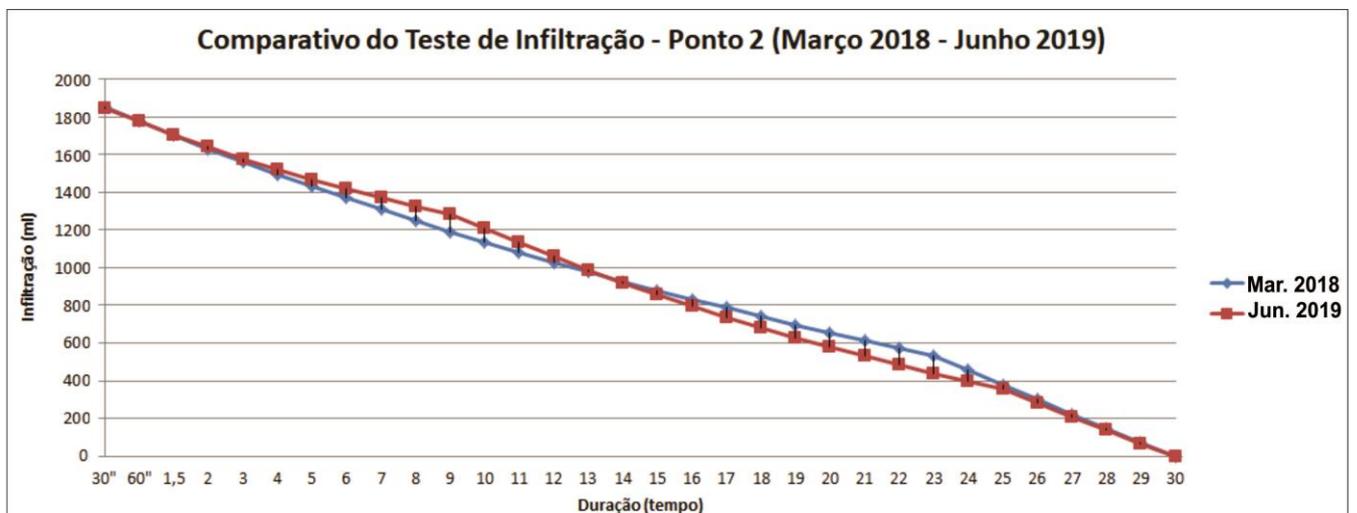
disso, a presença de maior vegetação contribuiu para que em junho a infiltração tenha sido maior.

Gráfico 1 - Teste de infiltração – Ponto 1



Fonte: Viana, 2018.

Gráfico 2 - Teste de infiltração – Ponto 2



Fonte: Viana, 2018.

Quanto ao teste 3, correspondendo assim ao terceiro ponto de análise da infiltração (Gráfico 3), foi possível compreender em comparação aos dois meses, que esse ponto obteve uma das maiores diferenças em relação a março de 2018 e junho de 2019, pois, houve em março a necessidade de duas recargas, quanto em junho foram necessárias quatro recargas. Esse fator pode-se ser explicado primeiramente pela ausência intensa de chuva, e pelo

bloqueio do acesso de pessoas próximo onde se encontra o ponto analisado, onde a vegetação começou a ter mais espaço e o solo não se encontrava significativamente compactado.

Finalizando a etapa de testes de infiltração, o Gráfico 4, demonstra o quarto e último ponto analisado que dentre os testes realizado, neste ponto houve a maior diferença em relação aos dois períodos comparativos, pois, enquanto que no primeiro teste não houve a necessidade de recarga em nenhum momento, durante os 30 min. de exigência do teste, já no segundo momento, foram necessárias 5 (cinco) recargas, através desse fator, percebeu-se que o ponto 4, assim como o ponto 3 (anteriormente citado) sofreu influência da presença da cobertura vegetal e da pouca movimentação de impactos causados principalmente pelo pisoteio de pessoas e/ou animais.

Gráfico 3 - Teste de infiltração – Ponto 3

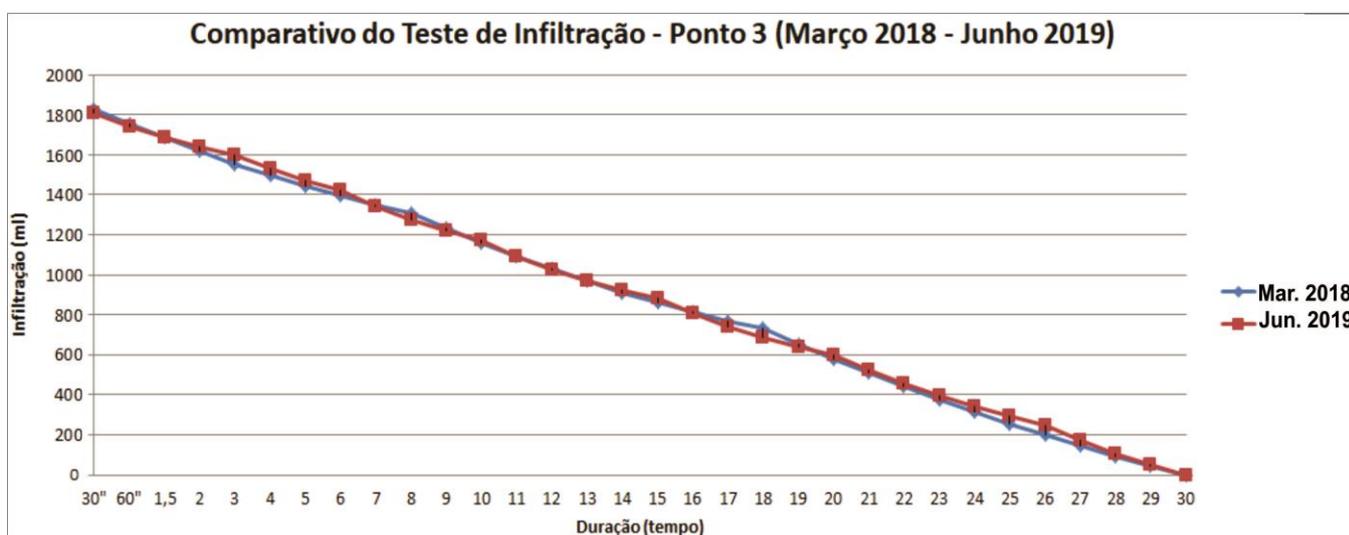
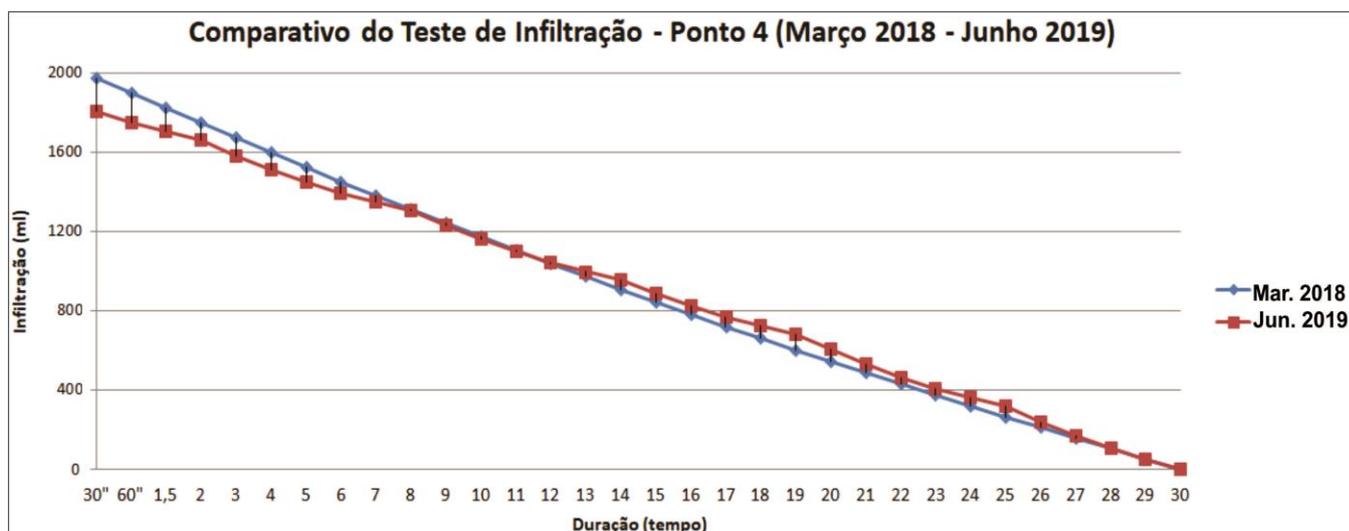


Gráfico 4 - Teste de infiltração – Ponto 4



Mediante os dados apresentados, foi possível constatar que o no período chuvoso, a infiltração ocorre de forma lenta, se comparado ao período seco, além disso, também observou-se que a presença da cobertura vegetal facilita a infiltração da água no solo, fator esse pouco presente durante o campo realizado em março, devido a anterior período seco, onde a vegetação, por falta de chuva não havia brotado de forma significativa. Já em junho, mês posterior ao período chuvoso a vegetação já se encontrava mais densa, facilitando assim a infiltração do solo.

Outro fator importante, compreende-se que a movimentação de pessoas e/ou animais acarreta de forma intensa a compactação do solo, e devido em alguns pontos estarem próximos a locais como esse, no mês de março de 2018, a compactação do solo era mais intensa, já em junho de 2019, a presença de pessoas era significativamente menor, evitando assim o pisoteio e influência sobre a compactação do solo.

## II. Características morfológicas e físicas do solo

A coleta das amostras de solo envolveu um estudo prévio das informações necessárias que desejava-se serem obtidas para melhor esclarecimento das características do solo, sendo justamente nele, o “palco” principal onde se desenvolve o processo erosivo em estudo.

Sendo assim, após a coleta das amostras em campo, as mesmas foram levadas e analisadas no laboratório de Geociências da UEMA, onde obtive os seguintes resultados.

### I. Descrição morfológica do solo

Em laboratório, os solos coletados foram analisados com o objetivo neste ponto de descrever a morfologia do mesmo, visando informações quanto a sua estrutura (tamanho e forma), consistência (seca e úmida), bem como sua plasticidade e pegajosidade.

Na voçoroca em estudo foram coletadas 38 amostras deformadas, sendo elas utilizadas nesta descrição a profundidade de 10 a 80 cm, onde foi possível obter as seguintes informações, demonstradas na Tabela 1 e Gráfico 5, representações essas resumidas devido a semelhança dentre os dados.

Tabela 1 - Descrição morfológica do solo

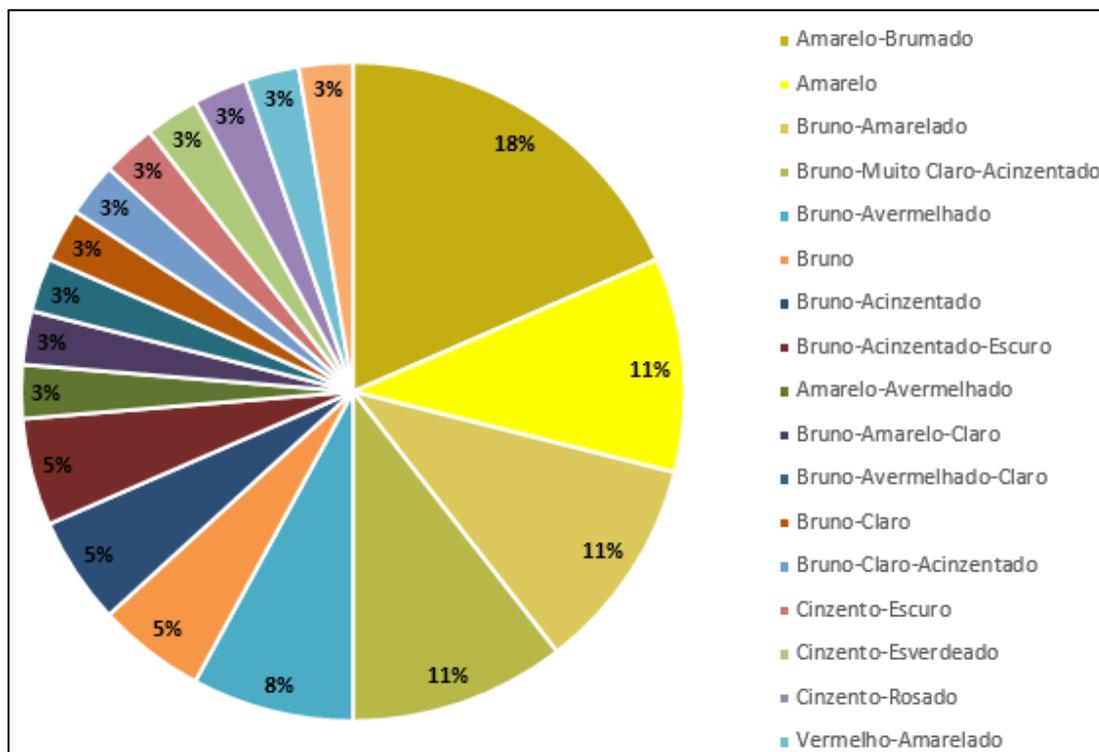
Feição erosiva	Voçoroca sete de setembro
Classificação Brasileira de Solo (SBCS)	Sociedade de Ciência do Solo Latossolo Amarelo Distrófico
Localização	Município de Bom Jesus das Selvas - MA -4°25'12" de Latitude Sul do Equador e -46°45'36" de Longitude Oeste de Greenwich
Relevo	Tabular
Material de origem	Formação Itapecuru (Cretácio)
Vegetação original	Pré-Amazônica
Cobertura atual	Vegetação secundária mista e área construída

Descrição morfológica: 10 – 80 cm

Textura	Tamanho	Forma	Consistência seca	Consistência úmida	Plasticidade	Pegajosidade
Argilosa/Média	Pequeno	Granular	Dura/Muito dura	Firme/Muito firme	Plástica	Pegajosa

Org.: Viana, 2019.

Gráfico 5 - Cores amostras de solo



Org.: Viana, 2019.

Após análise das amostras, observaram-se algumas peculiaridades acerca de semelhanças existentes nas amostras coletadas, onde pode-se perceber que sua textura, variou somente entre argilosa e média, sendo esse um aspecto notado visualmente em campo, e que corrobora em caracterizar o solo com aspecto mais argiloso, sendo esse fator, preponderante quanto ao tamanho e forma, considerados pequeno e granular, que somam a textura, uma característica mais argilosa a média, compreendendo assim um fator que dificulta a infiltração, porém, facilita o escoamento superficial e subsuperficial.

Em relação à consistência seca das amostras coletadas, também houve semelhança quanto aos resultados, independente do ponto ou profundidade, os dados referentes a consistência seca, variaram somente entre dura e muito dura. Assim como na consistência úmida, que variaram entre firme e muito firme. Essas informações reafirmam as características de um solo de textura média e/ou argilosa.

O parâmetro relacionado a plasticidade e pegajosidade, correspondendo a etapa de análise de amostras molhadas, resultou em solo descrito como plástico e pegajoso, sendo também aspectos pertinentes a textura já apresentada.

Quanto as cores das amostras de solo coletadas, foram encontradas uma maior variação, fator esse potencializado pela quantidade teor de ferro e alumínio presentes naturalmente em sua composição.

## II. Densidade do solo, de partícula e porosidade total

Os dados referentes a densidade do solo/aparente, de partículas e porosidade total estão caracterizados como informações que se encontram correlacionadas, referindo-se ao grau de compactação do solo e assim como ao espaço compreendido como poros do solo, onde a água circula. Sendo esses dados analisados com base nas amostras coletadas a profundidade de 10 cm.

A densidade do solo –  $D_s$ , expressa a relação entre a quantidade de massa de solo seco por unidade de volume do solo. No volume do solo é incluído o volume de sólidos e o de poros do solo. Entretanto, havendo modificação do espaço poroso haverá alteração da  $D_s$ . O uso principal da densidade do solo e como indicador da compactação, assim como medir alterações da estrutura e porosidade do solo. As densidades dos solos são expressas em gramas por centímetros cúbicos ou quilogramas por metro cúbico e as amplitudes de variação situam-se dentro dos seguintes limites: solos argilosos, de 0,90 a 1,25 g/cm<sup>3</sup>; e solos arenosos, de 1,26 a 1,60 g/cm<sup>3</sup>, entre outros tipos de solos (EMBRAPA, 2017).

A densidade de partículas –  $D_p$  está relacionada a análise a densidade do solo em seu aspecto seco. Os valores para  $D_p$  variam em torno de  $2,65 \text{ g/cm}^3$  e indicam se o solo apresenta resistência ou não aos processos erosivos (GUERRA; CUNHA, 2001). A  $D_p$  visa medir a densidade média das partículas minerais e orgânicas na amostra de solo, refletindo sua composição média. Essa densidade está relacionada ao volume efetivamente ocupado por matéria sólida, desconsiderando a porosidade (EMBRAPA, 2017).

O espaço do solo não ocupado por sólidos e ocupado pela água e ar compõem o espaço poroso, definido como sendo a proporção entre o volume de poros e o volume total de um solo. É inversamente proporcional à  $D_s$  e de grande importância direta para o crescimento de raízes e movimento de ar, água e solutos no solo. A textura e a estrutura dos solos explicam em grande parte o tipo, tamanho, quantidade e continuidade dos poros (REINERT; REICHERT, 2006).

Mediante o exposto e indicado na Tabela 2, em relação à densidade do solo, notou-se que na amostra 2, no Ponto 1 e as amostras 7 e 8 do Ponto 4, apresentam características de solo considerado como argiloso, as demais, demonstram características arenosas quanto aos seus valores. Além disso, a densidade dos solos em 5, de um total de 8 amostras demonstraram uma alta compactação o que reflete em uma baixa porosidade, que facilita assim o acúmulo de água nas porções superficiais, favorecido em evento chuvoso o escoamento superficial, que transporta as partículas do solo, e podem desenvolver a origem de uma erosão.

Quanto ao aspecto relacionado a densidade de partícula, também demonstrado na Tabela 2, pode-se perceber que duas amostras, 5 e 8 apresentam densidade de partícula dentro do padrão sugerido por Guerra e Cunha (2001). Quanto as demais em específico as amostras 2 e 7, que possuem o maior distanciamento quanto ao valor médio da densidade em questão, infere-se destacar que as mesmas, possuem partículas que não apresentam resistência a agente exógenos, como a água por exemplo.

Pertinente ainda aos aspectos correlacionados, a porosidade total indicada na Tabela 2 apresenta apenas duas amostras na média considerada necessária para um solo (50%) (GUERRA, 1996). As demais amostras apresentaram diminuição e aumento quanto a presença dos poros em sua característica, onde a amostra 8 apresenta o maior nível porosidade, e a amostra 5 apresentando o menor nível de poros em sua estrutura, o que facilita o escoamento superficial devido à dificuldade e pouco espaço poroso presente nesse ponto para infiltração da água.

Tabela 2 - Densidade do solo, densidade de partículas e porosidade total

Pontos	Amostras	Densidade do solo (g/cm <sup>3</sup> )	Densidade de partícula (g/cm <sup>3</sup> )	Porosidade Total (%)
1	1	1,31	2,70	51,48
	2	1,25	2,77	52,59
2	3	1,34	2,59	46,40
	4	1,37	2,56	45,20
3	5	1,55	2,64	40,38
	6	1,31	2,59	47,60
4	7	1,22	2,50	51,20
	8	1,16	2,65	55,38

Fonte: Viana, 2018.

A análise das densidades (solo e partículas), bem como quanto a porosidade do solo, que possibilita reafirmar, principalmente a tipologia do solo, e assim, sua característica, que com aspectos de densidade mais favorável ao transporte de sedimentos, e somados a alguns pontos onde a porosidade se torna baixa, dificultando a infiltração, favorecendo o escoamento superficial, o que possibilita destacar neste parâmetro, mais um fator que contribuiu para o surgimento e contínuo desenvolvimento da erosão em estudo.

### III. Granulometria

A análise granulométrica visa à quantificação da distribuição por tamanho das partículas individuais de minerais do solo.

Mediante isso, na Tabela 3 e Figura 20, têm-se os dados relativos a análise granulométrica da área de estudo em termos fracionais.

Tabela 3 - Frações granulométricas da voçoroca sete de setembro

Pontos	Nº	Profundidade	Areia Total	Silte	Argila	Total	Classe Textural
1	1	10 cm	57,07	13,63	29,3	100	Franco Argilo Arenosa
	2	30 cm	52,5	14,1	33,4	100	Franco Argilo Arenosa
	3	50 cm	45,9	13,3	40,8	100	Argilo-arenosa
	4	80 cm	45,3	25,3	29,4	100	Franco Argilo Arenosa
2	5	10 cm	64,9	4,1	31	100	Argilo-arenosa
	6	30 cm	63,5	13,2	23,3	100	Franco Argilo Arenosa
	7	50 cm	67,8	11,7	20,5	100	Franco Argilo Arenosa

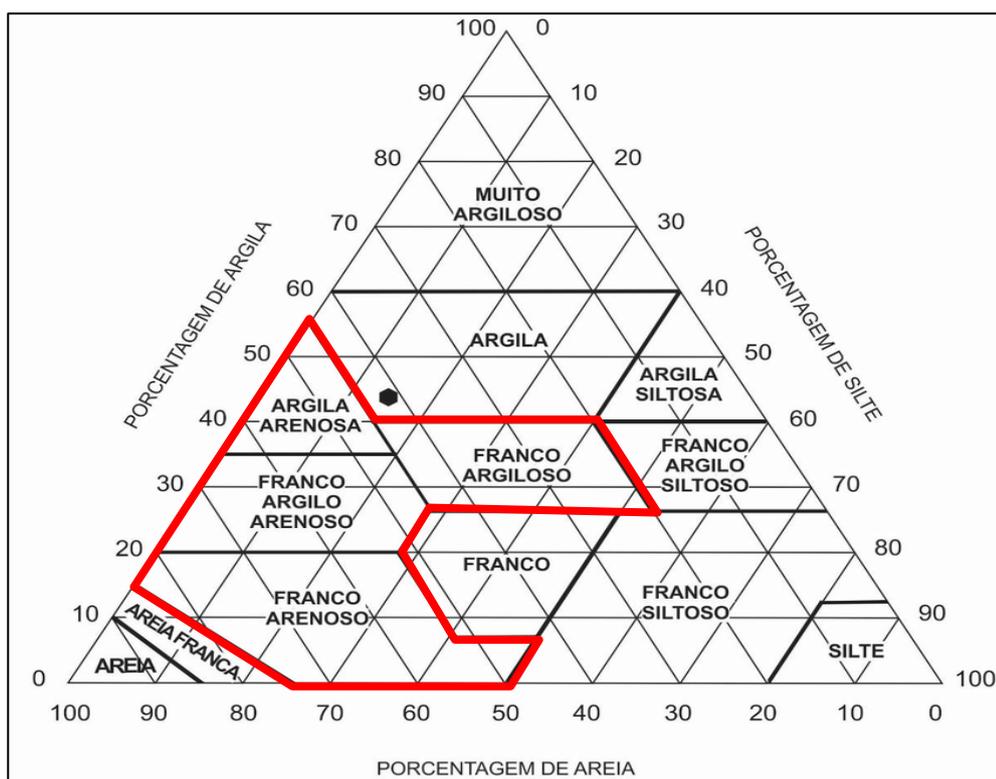
	8	80 cm	67,7	10,7	21,6	100	Franco Argilo Arenosa
<b>3</b>	9	10 cm	66,5	7,7	25,8	100	Franco Argilo Arenosa
	10	30 cm	51,2	6,5	42,3	100	Argilo-arenosa
	11	50 cm	47,6	5	47,4	100	Argilo-arenosa
	12	80 cm	50,4	7,2	42,4	100	Argilo-arenosa
<b>4</b>	13	10 cm	53,1	10,8	36,1	100	Argilo-arenosa
	14	30 cm	46,2	13	40,8	100	Argilo-arenosa
	15	50 cm	60,8	9,1	30,1	100	Franco Argilo Arenosa
	16	80 cm	62,3	5,7	32	100	Franco Argilo Arenosa
<b>5</b>	17	10 cm	61,8	8,1	30,1	100	Franco Argilo Arenosa
	18	30 cm	55,6	9,1	35,3	100	Argilo-arenosa
	19	50 cm	48,8	5,6	45,6	100	Argilo-arenosa
	20	80 cm	50,6	4,1	45,3	100	Argilo-arenosa
<b>6</b>	21	10 cm	53,6	17,8	28,6	100	Franco Argilo Arenosa
	22	30 cm	57,8	7,7	34,5	100	Franco Argilo Arenosa
	23	50 cm	58	4	38	100	Argilo-arenosa
	24	80 cm	56,4	21,3	22,3	100	Franco Argilo Arenosa
<b>7</b>	25	10 cm	69,6	9,6	20,8	100	Franco Argilo Arenosa
	26	30 cm	62,5	18,9	18,6	100	Franco Argilo Arenosa
	27	50 cm	72,7	4,7	22,6	100	Franco Argilo Arenosa
	28	80 cm	77,5	2	20,5	100	Franco Argilo Arenosa
<b>8</b>	29	10 cm	55,1	10,6	34,3	100	Franco Argilo Arenosa
	30	30 cm	54,5	11,9	33,6	100	Franco Argilo Arenosa
	31	50 cm	59,1	7,3	33,6	100	Franco Argilo Arenosa
	32	80 cm	46,5	17,1	36,4	100	Argilo-arenosa
<b>9</b>	33	10 cm	44,4	22,9	32,7	100	Franco Argilosa
	34	30 cm	47,5	16	36,5	100	Argilo-arenosa
	35	50 cm	39,3	24,9	35,8	100	Franco Argilosa
	36	80 cm	47,6	26,1	26,3	100	Franco Argilo Arenosa
<b>10</b>	37	10 cm	56,5	6,1	37,4	100	Argilo-arenosa
	38	30 cm	51,9	11,1	37	100	Argilo-arenosa

Fonte: Viana, 2018.

A classe textural de um solo é uma característica importante de um solo porque varia muito pouco ao longo do tempo. Influenciada principalmente pelas características presentes a sua granulometria como demonstrado nos dados anteriores.

A análise granulométrica apresenta em sua maior distribuição quanto a classe textural franco, em suas subdivisões, onde uma maneira ideal de definirmos o mesmo seria uma mistura com propriedades quase que em proporções iguais de partículas de areia, silte e argila. Esta definição não significa que as três frações estão presentes em quantidades iguais, apenas possui uma distribuição significativa das três frações. Esta anormalidade existe porque uma pequena percentagem relativa de argila é suficiente para atribuir ao solo propriedades referentes a esta fração, com relação a uma pequena quantidade de areia e silte que possuem menor influência sobre o comportamento do solo (REINERT; REICHERT, 2006).

Figura 20 - Triângulo adotado pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo para classificação das classes texturais do solo

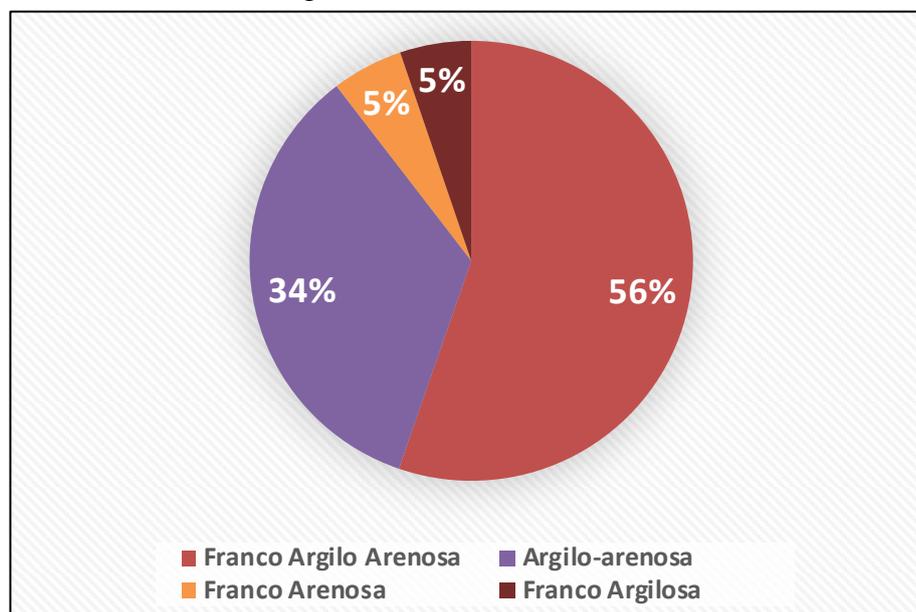


Fonte: EMBRAPA, 2017. Org.: Viana, 2018.

Desse modo, como demonstra o Gráfico 6, em 56% das amostras analisadas, apresenta-se a fração corresponde a franco argilo arenosa, 34% argilo arenosa, 5% franco arenosa, 5% franco argilosa, ou seja, destaca-se novamente nesta análise, o aspecto solo, com características pertinentes a uma abrangência quanto à argila, que intrinsecamente, apesar de

não causar diretamente o surgimento de erosões , pode, com a ação de outros fatores controladores culminar na origem de processos erosivos.

Gráfico 6 - Porcentagem de classe textural das 38 amostras de solo



Fonte: Viana, 2018.

#### IV. Componentes da topografia do terreno como fatores controladores a ocorrência de processos erosivos

Durante a pesquisa, pode-se perceber através do embasamento teórico de referências próprias quanto à temática tratada, assim como o trabalho realizado em campo na área de estudo, e em gabinete a possibilidade de elaboração de mapeamento, que nortearam a compreensão e indicaram quais os fatores controladores, são considerados como mais incisivos na influência a ocorrência de processos erosivos.

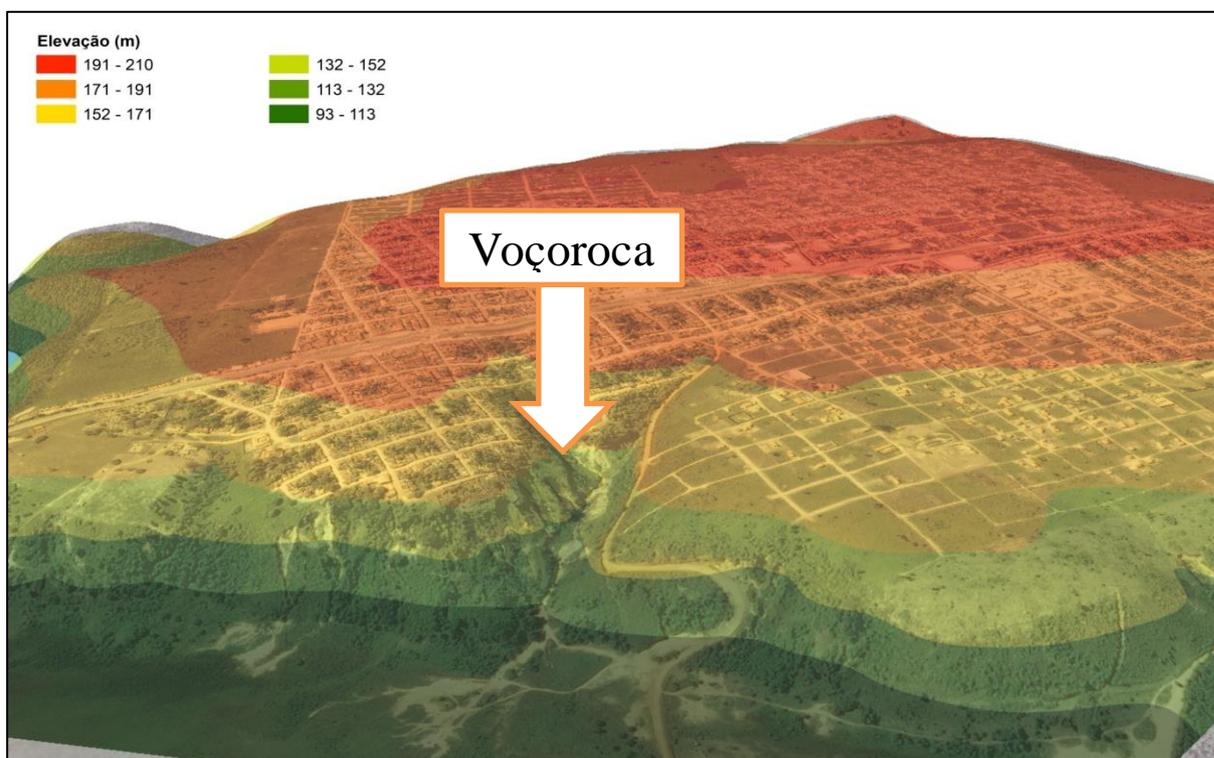
Com base nisto, e mediante a caracterização ambiental já apresentada neste trabalho, elencou-se as características da topografia do terreno referentes à hipsometria, declividade e curvatura das vertentes, como fatores fundamentais do componente relacionado principalmente a morfodinâmica, com suas influências atuais e dinâmicas na modelação da paisagem local, sendo assim esses três aspectos, são considerados para este trabalho, em virtude da área de estudo uma significativa influência, que possibilitou corroborar para um novo entendimento quanto a esta temática, como a necessidade de complementar com outros fatores, que durante a pesquisa obtiveram uma importância significativa, e que estão sendo adequados para integrar o estudo de suscetibilidade.

A erosão em estudo encontra-se em cotas que variam até 170 m, em seu ponto mais alto, e em direção a sua foz, a altura diminui e demonstra neste quesito um significativo perigo para a população, pois a voçoroca possui profundidades significativas (Figura 21).

Na Figura 22, apresentam-se as características do terreno referentes à elevação (hipsometria), demonstra como já citado que na área de estudo as alturas perpassam os 90 m, chegando a superar a 200 m de altura do terreno, sendo que a porção de menor altura, corresponde a área de planície, compreendida pela presença do rio Pindaré, já a porção mais elevada, corresponde as áreas planas do planalto onde a cidade encontra-se situada.

Na Figura 23, demonstra um fator considerado por alguns autores como de maior relevância em estudos sobre processos erosivos, apesar disso, vale destacar que esse a declividade como fator na área de estudo, se torna um agente determinístico, porém, isso não possibilita afirmar que em toda a superfície terrestre esse fator é tão significativo quanto, pois se faz necessário um estudo detalhado se esse o mesmo contribui ou não para ocorrência de processos erosivos em determinada localidade, podendo haver erosões onde a declividade não se torna tão acentuada e outros fatores corroboram com maior influência que o mesmo.

Figura 21 - Elevação representativa em 3d da hipsometria da área de estudo



Fonte: Viana, 2019.

Como pode-se perceber e com base nos aspectos principalmente relacionados a Geomorfologia, o terreno apresenta-se em sua porção Sudeste as maiores altitudes, que

diminuem em direção a Norte e Noroeste no sentido à planície, onde a declividade se torna mais acentuada, chegando a níveis de 0 a valores acima de 30% de declive, o que possibilita comprovar, até mesmo onde encontra-se a erosão em estudo, que esse fator, contribuiu para que a mesma se desenvolva-se em aspectos significativos e mediante análise, percebeu-se que o surgimento e crescimento de processos erosivos, encontram-se principalmente nessa porção com maior declividade, o que possibilita afirmar que na área em estudo é considerado como fator controlador da ocorrência de erosões.

Quanto à curvatura, afirma-se que esse aspecto em perfil é decisivo na aceleração ou desaceleração do fluxo da água sobre o terreno e, portanto, influencia a erosão do solo. Sob o ponto de vista da curvatura em perfil, um terreno pode ser côncavo quando apresenta valor de curvatura positivo, convexo quando o valor é negativo ou retilíneo quando o valor de curvatura é nulo (ANJOS, 2008).

Na Figura 24, que demonstra os aspectos referentes às formas da curvatura das encostas, pode-se perceber que a erosão em estudo, encontra-se em específico sob três formas preponderantes, sendo elas convergente côncava, convergente convexa, convergente retilínea e a planar côncava, de acordo com autores como Guerra (2011) e Torres (2014) essas formas possibilitam um aumento de fluxo do escoamento hídrico para um direcionamento específico, o que favorece ao desgaste do solo, devido sua concentração que influencia o surgimento de erosões do tipo linear, como a estudada neste trabalho.

Figura 22 - Mapa de Hipsométrico da cidade de Bom Jesus das Selvas/MA

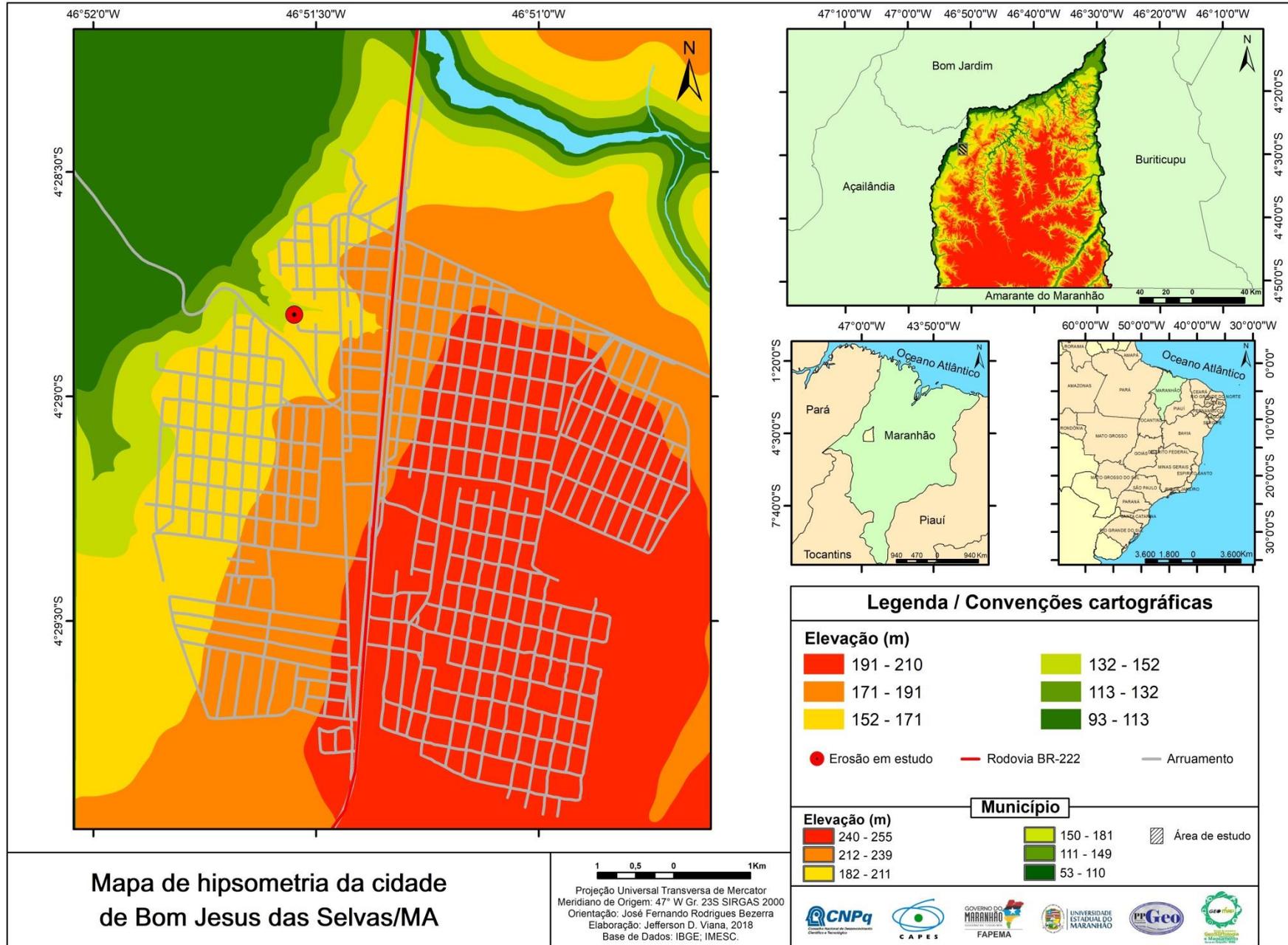


Figura 23 - Mapa de declividade da cidade de Bom Jesus das

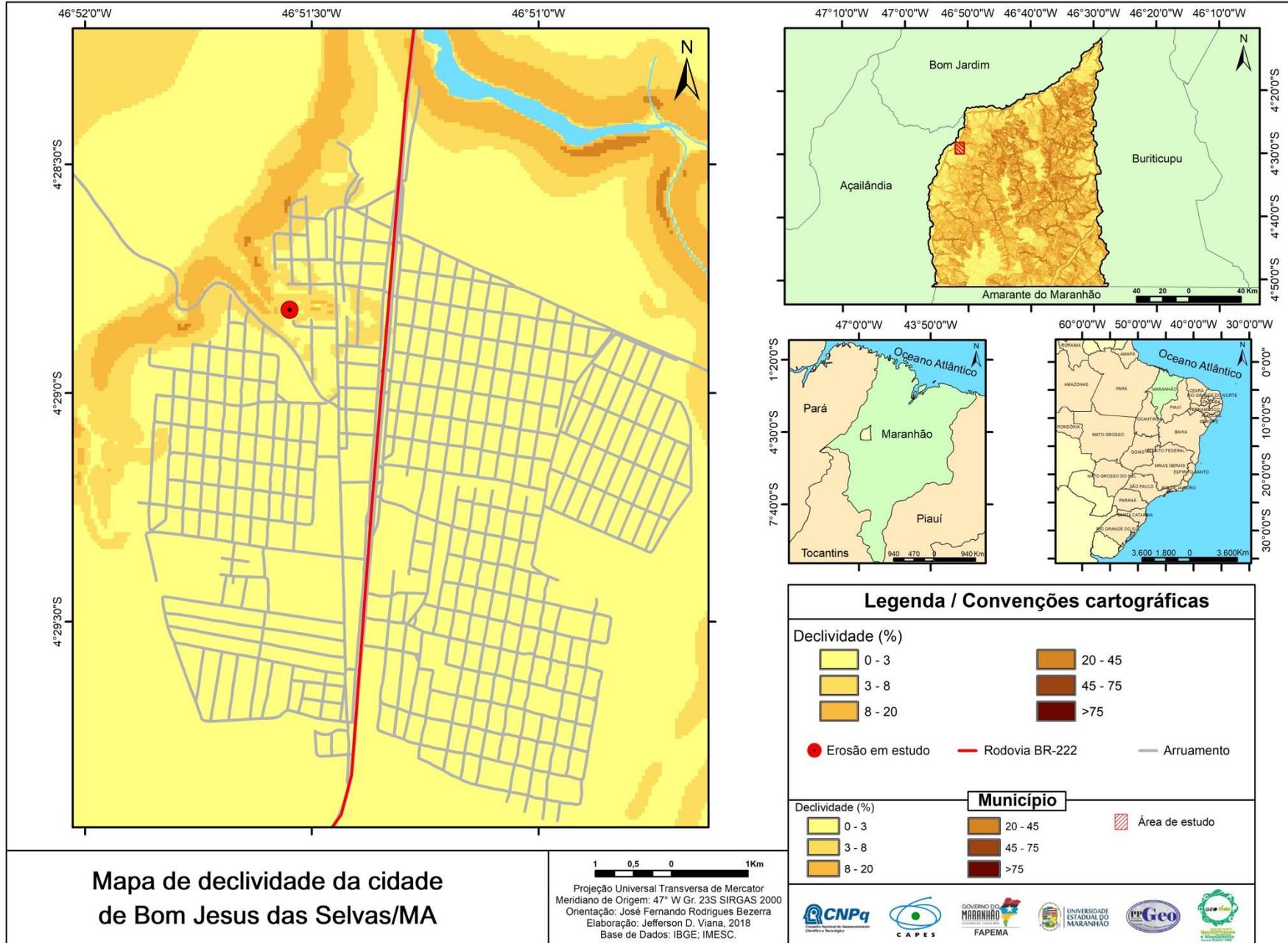
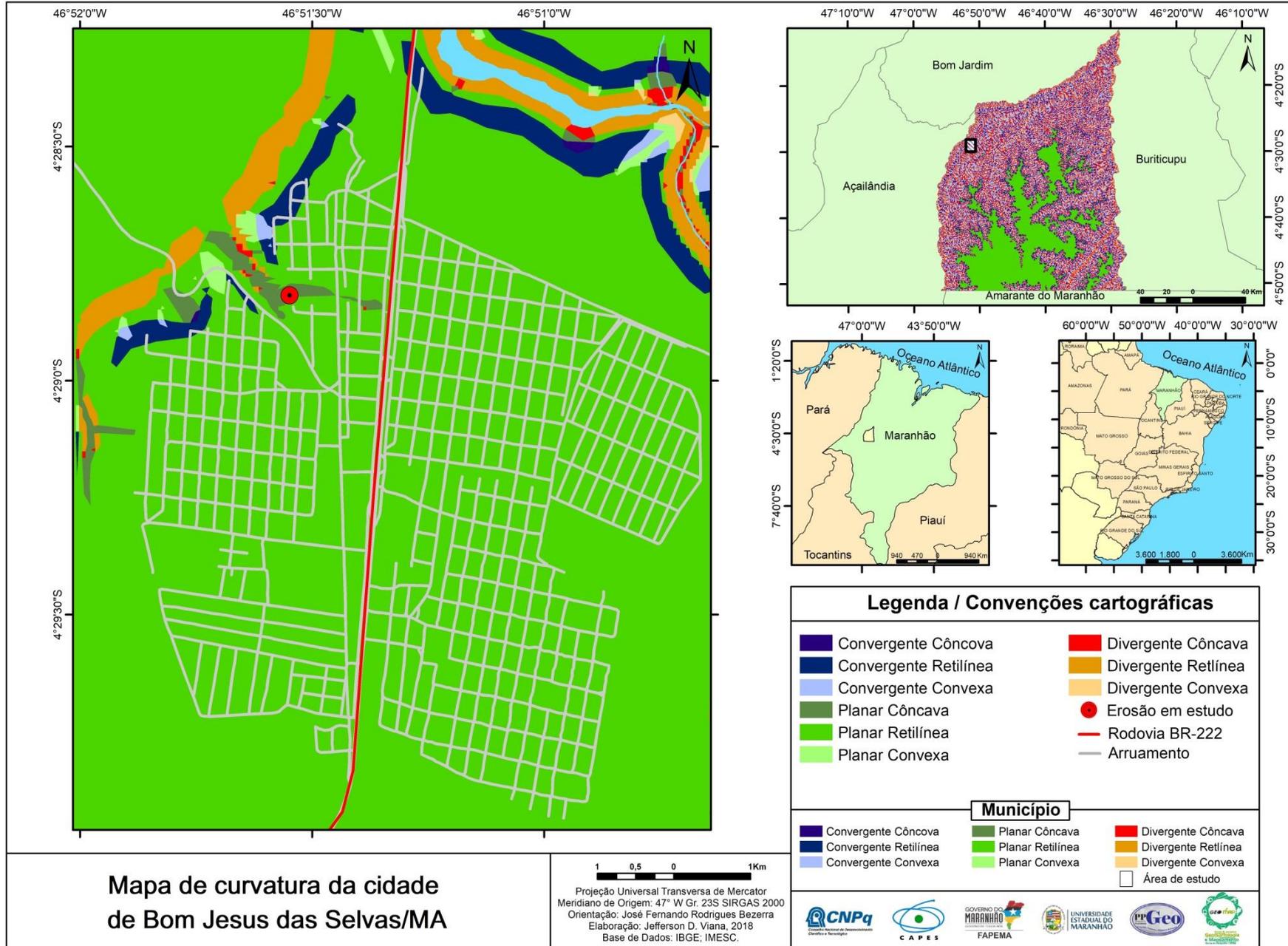


Figura 24 - Mapa de curvatura da cidade de Bom Jesus das Selvas/MA



Mapa de curvatura da cidade de Bom Jesus das Selvas/MA

1 0,5 0 1Km  
 Projeção Universal Transversa de Mercator  
 Meridiano de Origem: 47° W Gr. 23S SIRGAS 2000  
 Orientação: José Fernando Rodrigues Bezerra  
 Elaboração: Jefferson D. Viana, 2018  
 Base de Dados: IBGE, IMESC.



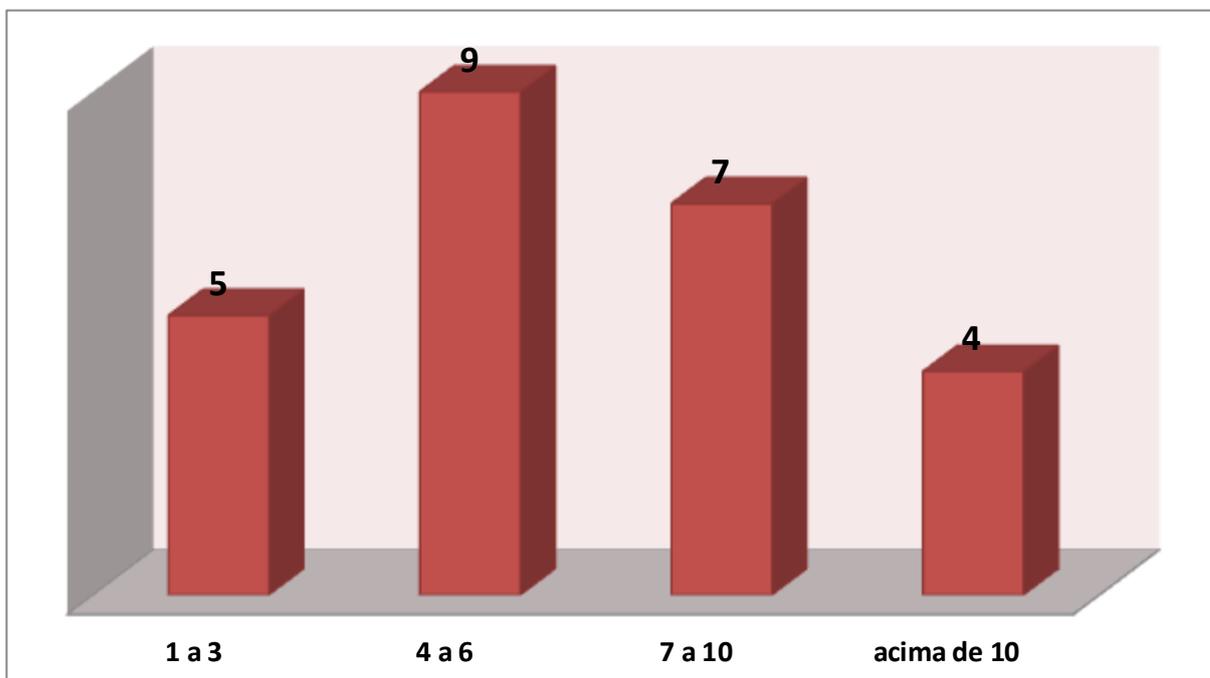
## 5.2 Suscetibilidade à Erosão

Pertinente destacar, que durante a pesquisa, percebeu-se a necessidade de vinculação de outros aspectos no processamento do resultado de suscetibilidade, neste sentido, serão anexados às etapas de atualização do mapa de suscetibilidade, os dados referentes à hipsometria e curvatura do terreno, deixando ciente a possibilidade de outros dados, que corroborem para um resultado ainda mais satisfatório e pertinente ao estudo.

Mediante o desenvolvimento da pesquisa, houve a necessidade de compreender o entendimento da população quanto à temática de erosões, visto que, em virtude da sua dimensão os moradores da cidade estão ciente que essa erosão tem gerado danos significativos ao meio, tanto natural como humano, até mesmo econômico.

Neste sentido, realizou-se um questionário junto à população que mora próxima à erosão com o intuito de entender como os mesmos se veem inseridos no contexto deste trabalho, foram realizados por residência 25 questionários, abarcando assim uma maior espacialização em relação à erosão. A primeira pergunta correspondeu ao tempo de moradia na cidade (Gráfico 7).

Gráfico 7 - Tempo de residência na cidade/anos



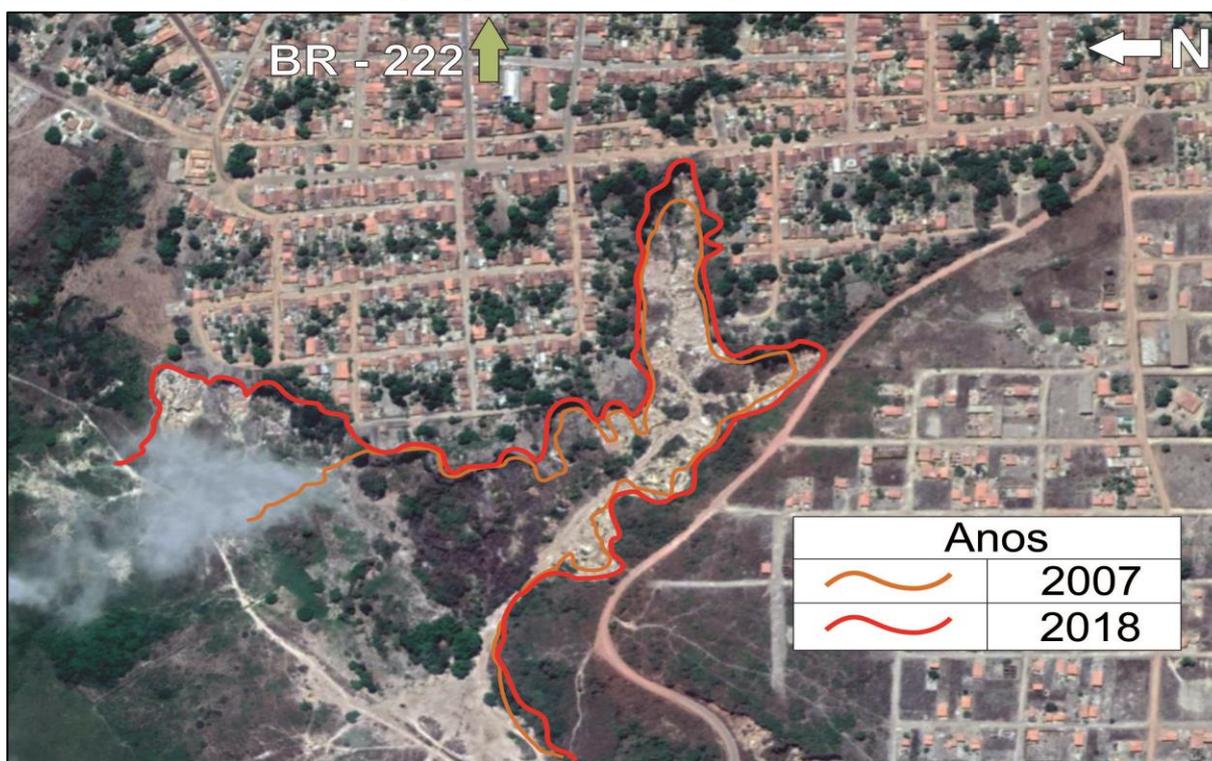
Fonte: Viana, 2019.

Como apresentado acima, a maior parte dos entrevistados vive na cidade entre 4 e 6 anos, e relataram que a erosão já estava com dimensões significativas desde esse período. Houve também, em 4 residências a presença de moradores que vivem a mais de 10 anos na

cidade e que afirmam que a erosão a cada ano e período chuvoso tem se expandido de forma impressionante.

Neste sentido, foi elaborado um croqui representativo do avanço da erosão de 2007 a 2018 (Figura 25), com uma diferença de 11 anos, com o intuito de demonstrar que a mesma está a cada ano avançando de forma aparentemente “lenta”, mas que tende a alcançar patamares ainda maiores como a BR 222, que corta a cidade, onde destaca-se que a mesma se encontra a menos de 200 metros da via, um valor à primeira vista alto, porém, com a falta de medidas de minimização ou bloqueio do avanço da erosão, tende a alcançar e gerar assim um dado ainda mais significativo, pois a BR é principal via terrestre de ligação entre São Luís (capital e maior cidade do Estado) e Imperatriz (segunda maior cidade do Estado).

Figura 25 - Croqui representativo do avanço da erosão em estudo

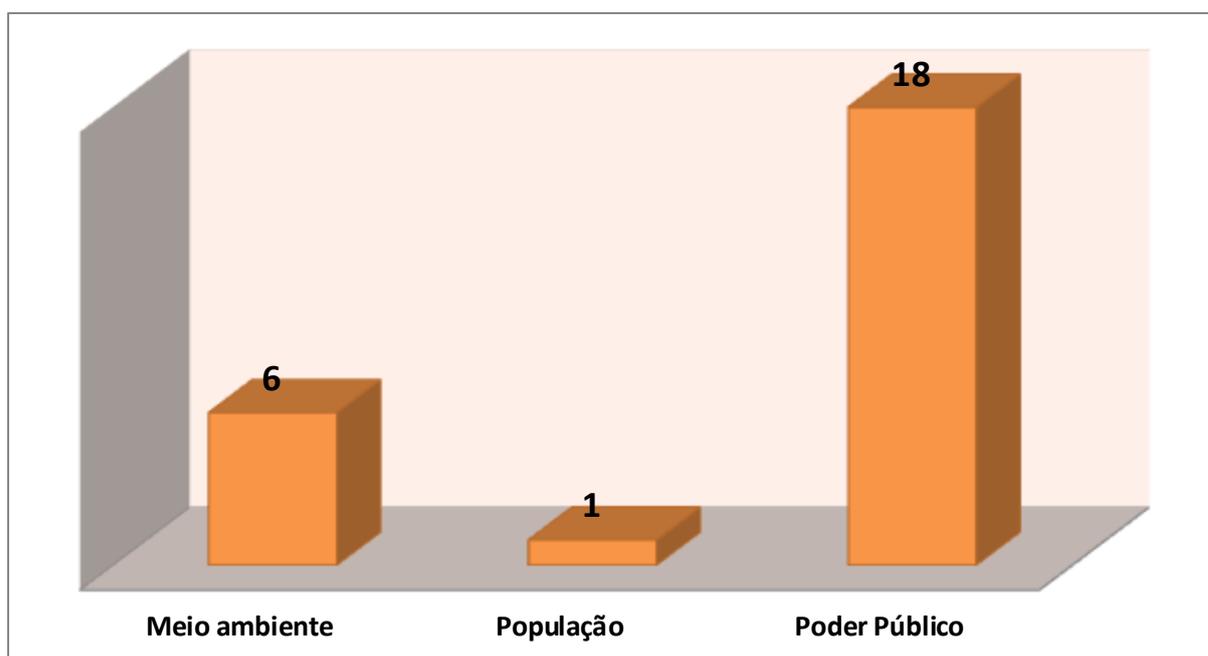


Fonte: Viana, 2019.

A segunda pergunta realizada no questionário refere-se de forma mais direta a temática em estudo, foi perguntado à população que agente é considerado por eles como causador do avanço da erosão, e dentre os 25 questionários aplicados, 18 deles atribuíram ao poder público o agente de maior causa do avanço da erosão, fator esse explicado pelos próprios, pela falta de investimentos ou medidas que evitem o avanço da erosão. Em conversa com o poder público, mais precisamente com a Câmara Municipal de Bom Jesus das Selvas – MA, foi informado que não há um projeto específico de contenção ou reabilitação da

voçoroca, devido sua grande dimensão e necessidade de um trabalho complexo que envolva várias áreas da Ciência e Pesquisa. Apesar disso, foi informado que este trabalho será apresentado em seu arquivo final em uma Assembleia para os vereadores e população presente, como forma de resposta ao trabalho desenvolvido na área, e, além disso, todo o trabalho em seus dados e arquivos será disponibilizado ao poder público, como possível aporte para projetos que visem à reabilitação da voçoroca em estudo ou outras erosões presentes na cidade ou no município de Bom Jesus das Selvas – MA (Gráfico 8).

Gráfico 8 - Agentes causadores do avanço da erosão segundo a percepção dos moradores



Fonte: Viana, 2019.

Mediante exposto acima, a população culpa em sua maioria o poder público o avanço da erosão, entretanto, destaca-se que a contribuição da população circunvizinha à voçoroca tem também colaborado para o avanço da erosão, visto que utilizam a mesma como ponto de despejo de resíduos sólidos (Figura 26-A), realizam queimadas (Figura 26-B) e desmatamento da vegetação presente nas bordas da voçoroca.

Além disso, foi relatado pelos moradores e comprovado em campo através de imagens de drone, a presença de veículos e pessoal, que extrai material da voçoroca para fins principalmente de construção, esse fator considerado de grave importância (Figura 27), pois, a extração de material na erosão contribui significativamente para o seu avanço, além do risco eminente do possível desmoronamento de paredes sob essas pessoas.

Figura 26 - A –Resíduos sólidos; e B – Queimada da vegetação



Fonte: Viana, 2019.

Figura 27 - Registro da presença de caminhão e pessoal extraindo material da voçoroca



Fonte: Viana, 2019.

Alguns moradores, apesar de não possuírem conhecimento científico e/ou de pesquisa (como relatado pelos mesmos), compreendem a importância principalmente da preservação da vegetação na borda da voçoroca, e em ações como o bloqueio de fluxo de água em direção à voçoroca, minimizam, mesmo que em menor nível o avanço da erosão. Ademais, um morador apresenta como solução a plantação de “taboquinha” planta herbácea gramínea (*Panicum latifolium*), sendo para o mesmo, uma das melhores formas de reabilitação da voçoroca, além de sugerir a construção de degraus que evite o impacto do escoamento superficial.

Como já demonstrado, mediante o avanço da erosão, foi perguntado aos moradores, considerando a sua estimativa de crescimento da voçoroca, a que grau de suscetibilidade os mesmos acreditam que estejam expostos, sendo assim, é apresentado no Gráfico 9, o resultado das respostas dos moradores.

Mediante apresentado abaixo, 18 dos moradores que responderam ao questionário afirmam que está em um grau alto de suscetibilidade a erosão, compreendendo assim uma exposição preocupante, visto que como relatado, muitos deles não tem onde morar, caso a erosão chegue a suas residências. Um fator ainda mais significativo, visto que a população carente sofre com esse problema, assim como de infraestrutura, saneamento, que se encontra em vários pontos escassos na porção onde se localiza a voçoroca em estudo.

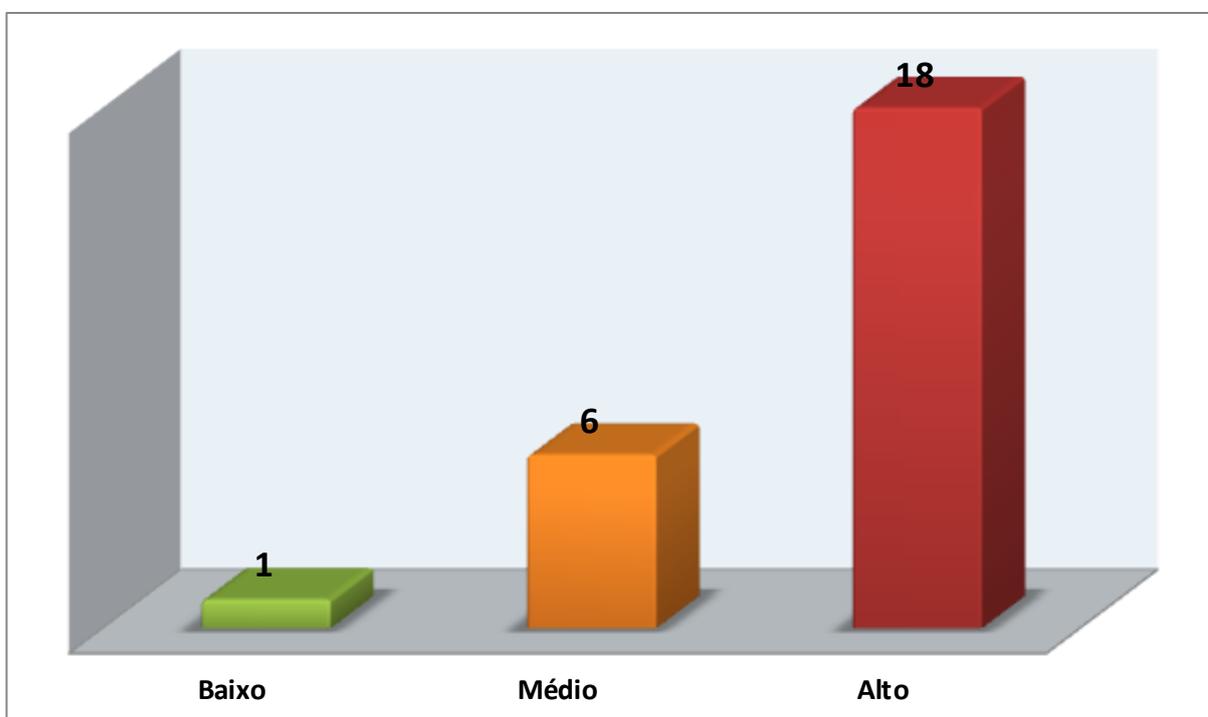


Gráfico 9 - Percepção do grau de suscetibilidade ao avanço da erosão

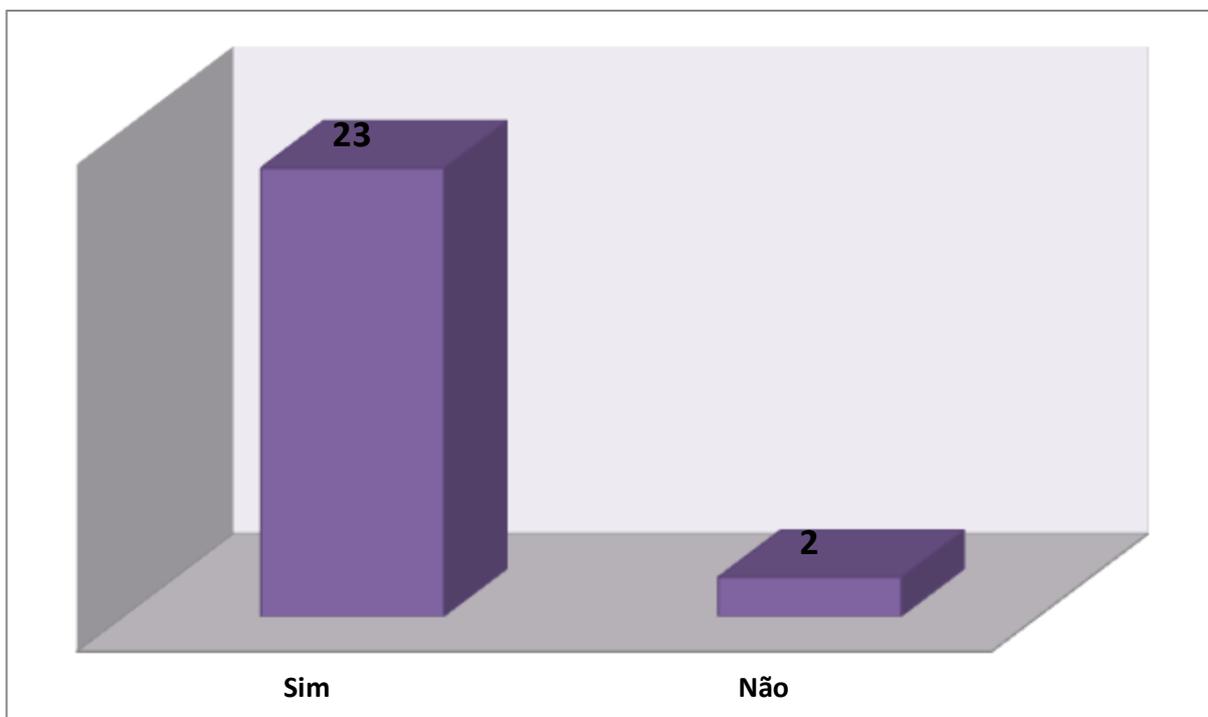
Fonte: Viana, 2019.

Um destaque para o morador que respondeu que encontra-se em um baixo grau de suscetibilidade advém do medo de ter que sair de sua residência, e como não possui família e nem condições financeiras, não tem onde morar caso tenha que sair do local devido o avanço da voçoroca.

Como última pergunta do questionário, os moradores responderam a seguinte pergunta “Você acredita ter solução esse problema?”. E em sua maioria, ou seja, 23 pessoas acreditam que o problema do avanço da erosão pode sim ser solucionado (Gráfico 10), e acreditam que isso necessita como

momento, os questionários serviram como aporte para compreensão da visão humana, já mencionado, de um interesse maior do poder público, pois continuamente, graças ao avanço e queda de blocos das paredes da voçoroca tem assustado os moradores, gerando medo e insegurança.

Gráfico 10 - Solução para o problema



Fonte: Viana, 2019.

Dentre as 25 respostas, 2 moradores acreditam que esse problema não tem solução, de acordo com relato dos mesmos, já vivem com a erosão desde quando chegaram na cidade, e que ela nunca parou de crescer, pelo contrário, só está crescendo cada vez mais, e pelo seu tamanho, e perigo já levou casas, gente já caiu e mesmo assim nada é feito. E um dos moradores afirmou “esse buraco vai engolir essa cidade”.

Antes da apresentação do mapa correspondente a suscetibilidade a erosão, percebeu-se a necessidade de destacar neste trabalho a importância de medidas e que neste caso enquadram-se como sugestões de possíveis ideias ou modelos de técnicas e trabalhos que podem sanar a problemática do avanço da voçoroca.

Atualmente não somente através da engenharia pode-se trabalhar com formas de reabilitação ou recuperação de áreas degradadas, em específico por erosões, pois outras áreas das ciências como Geografia, Biologia, Agronomia tem desenvolvido trabalhos e técnicas que corroboram de forma adequada para este mesmo fim, antes dominada somente pela utilização de muros de arrimo, grandes quantidades de concreto e ferro, que pelos materiais utilizados

impediam que a infiltração ocorresse de forma natural e ocasionavam a aceleração do escoamento superficial.

Então se faz necessário à busca por novas metodologias, principalmente viáveis a realidade local, para que medidas sejam tomadas, com carência de urgência, pois com o passar do tempo e constante avanço da erosão, a situação tende-se a piorar, elevando assim, o risco presente na área de estudo.

Com base na Figura 28, pode-se perceber e constatar que a área estudo, abrange as três classes de suscetibilidades apresentadas neste trabalho, até mesmo como forma de melhor compreensão do aspecto referente a sua distribuição na área.

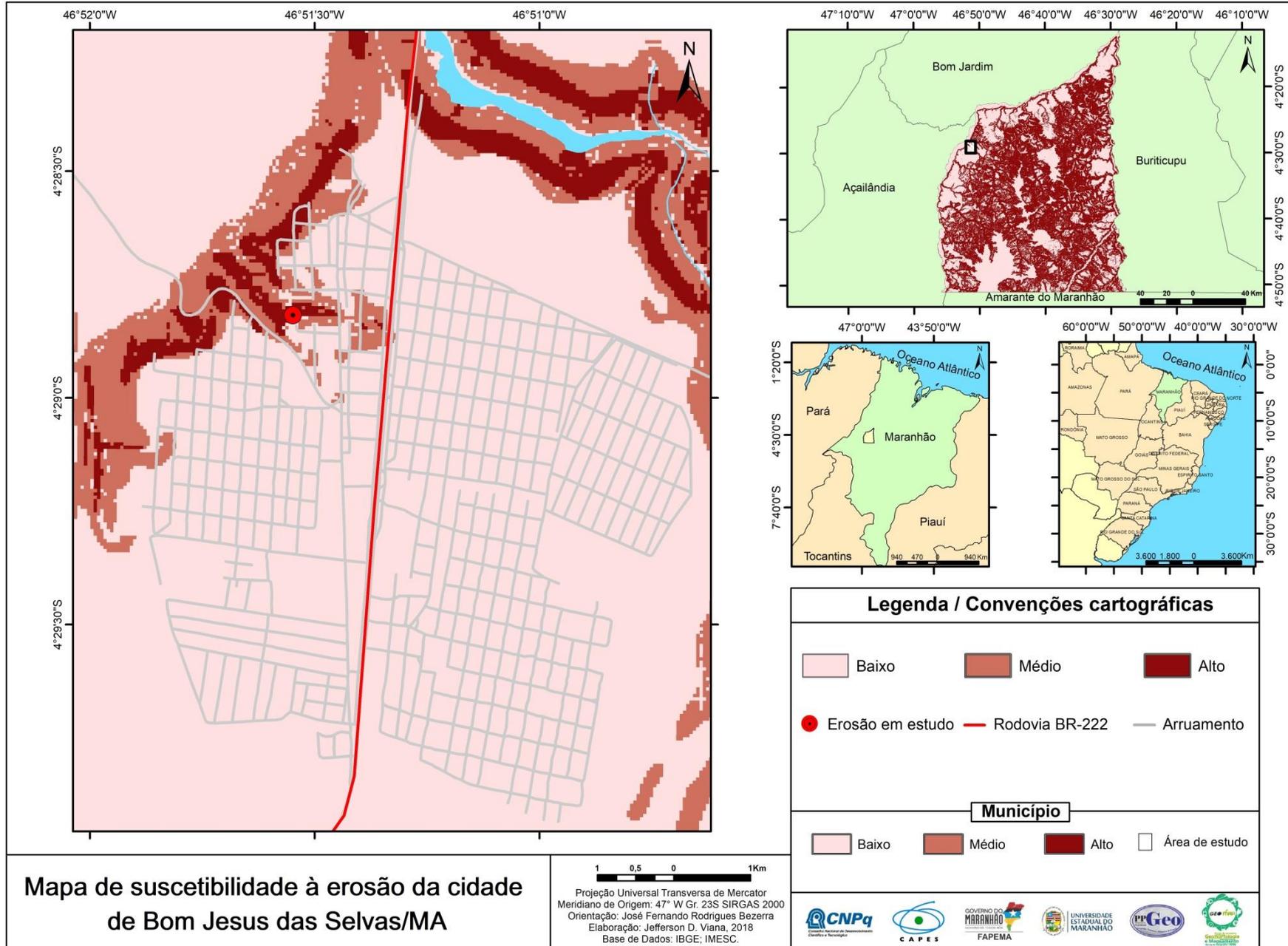
Compreendendo assim em resposta a um dos objetivos desta pesquisa, e com base no cruzamento de dados referentes a declividade, forma das vertentes (curvatura), uso e cobertura do solo, hipsometria e solos foi elaborado o mapa de suscetibilidade a processos erosivos relativo a cidade de Bom Jesus das Selvas-MA. Abrangendo uma porção que variou suas classes entre baixa, média e alta suscetibilidade a ocorrência de processos erosivos, onde culminou numa resposta satisfatória, indicando que as áreas compreendidas como mais suscetíveis são os locais, com presença de processos erosivos, em seus diferentes níveis e estágios, com presença de sulcos, ravinas e seu último estágio, as voçorocas, como a estudada neste trabalho.

Nessa perspectiva, a abordagem do método de multicritérios em seu formato HP possibilitou indicar que a erosão em estudo encontra-se em uma classe alta de suscetibilidade a ocorrência de processos erosivos, visto que é notório o crescimento da erosão, principalmente em virtude dos fatores acima citados e utilizados como base para o mapa apresentado posteriormente.

Neste sentido, ponderando o custo elevado de obras de recuperação de processos erosivos, principalmente quando esses alcançam o estágio evolutivo de voçorocas, a melhor alternativa de mitigações aos impactos provocados por esses processos ainda é o subsídio de prevenção fornecido por mapeamentos de suscetibilidade erosiva. Esse mapeamento indica e descreve o grau de probabilidade de determinadas regiões em sofrerem processos erosivos e auxiliam na formulação de diretrizes para a aplicação de técnicas de manejo e de conservação do solo (NASCIMENTO *et al.* 2016).

Neste sentido em síntese na Tabela 4, apresenta-se um resumo da caracterização específica que culmina o resultado da classe de suscetibilidade a erosão específica, tanto em seus aspectos naturais, como antrópicos, principalmente relacionado ao seu uso.

Figura 28 - Mapa de Suscetibilidade à erosão da cidade de Bom Jesus das Selvas/MA



Mapa de suscetibilidade à erosão da cidade de Bom Jesus das Selvas/MA

Quadro 4: Descrição das áreas das classes de suscetibilidade à erosão

Classes	Descrição						
	Geomorfologia	Geologia	Pedologia	Hipsometria (m)	Declividade (%)	Vertente	Uso e Cobertura do solo
Baixa	Planalto e Planície fluvial	Formação Itapecuru e Cobertura Detrito- Laterítica	Latossolo e Gleissolo	170 – 210	0 - 8	Planar retilínea, Planar côncava, Divergente côncava	Área construída, vegetação sec. mista, gramíneas, mata
Média	Planalto	Formação Itapecuru e Cobertura Detrito- Laterítica	Latossolo	130 – 210	0-20	Planar retilínea, Planar côncava, Planar Convexa, Divergente côncava, Divergente retilínea, Divergente convexa	Área construída, vegetação sec. mista, gramíneas, pastagem, eucalipto, solo exposto
Alta	Planalto	Formação Itapecuru	Latossolo	110-170	8-45	Convergente côncava, Convergente convexa, Convergente retilínea, Planar côncava	Área construída, vegetação sec. mista, pastagem

Fonte: Viana, 2018.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho visou compreender a relação existente entre erosão e os fatores controladores, que influenciam e controlam o surgimento e desenvolvimento de processos erosivos na cidade de Bom Jesus das Selvas-MA, mediante um estudo relacionado a uma erosão do tipo voçoroca (sete de setembro), localizado na região do Centro da cidade, o que de início já demonstra a gravidade do estudo.

Os procedimentos técnico-operacionais realizados e seus respectivos resultados alcançados foram satisfatórios. Onde através dos mesmos foi possível compreender a inter-relação dos fatores controladores no desenvolvimento da erosão, assim como através da análise da dinâmica hidrológica, desenvolvimento com os estudos relacionados à infiltração de água no solo, descrição morfológica e detalhamento das características físicas do solo, possibilitou um conhecimento específico e que norteou um dos principais objetivos deste trabalho, que foi de compreender quais fatores mais colaboram e influenciam para ocorrência de erosão.

Neste trabalho, como maior influência e melhores resultados, utilizou-se da declividade, curvatura, uso e cobertura do solo, hipsometria e solos, através deles possibilitou compreender que as áreas com maior suscetibilidade são aferidas de acordo com as características desses fatores, que corroboram com maior ação erosiva.

Quanto à declividade do terreno, percebeu-se que a mesma é considerada de suma importância neste estudo, pois a declividade mais acentuada na borda tabular do planalto onde encontra-se a cidade de Bom Jesus das Selvas, favorece uma ação mais significativa em estágio de erosividade, contribuindo, com os altos índices pluviométricos da região, considerada como parte da AMZ-L.

Com base em análise feita sobre as vertentes, foi observado que a porção que encontra-se a cidade, possui aspectos de curvaturas que convergem de forma direta para um fluxo concentrado, o que possibilita o escoamento também concentrado, acarretando uma probabilidade significativa de ocorrência de erosões.

Quanto ao uso e cobertura do solo, na cidade de Bom Jesus das Selvas, a área construída ainda é recente e tímida quanto ao seu crescimento, que apesar de possuir 24 anos de emancipação, já possui uma significativa problemática quanto a processos erosivos, pois não somente há a erosão em estudo. A retirada da cobertura vegetal para construção de residências e o desmatamento de algumas áreas, para pastagem, por exemplo, favoreceu a ocorrência de erosão, variando de média a alta.

A hipsometria, também utilizada como fator de suscetibilidade, acarreta sua influência somada à declividade e características das vertentes, pois uma altitude elevada, somada a esses dois fatores, contribuem para que as erosões como a estudada, acarrete dimensões significativa de largura, comprimento e profundidade.

Em específico o solo, classificado preponderantemente de Latossolo, possui em sua granulometria um aspecto argiloso, o que de início dificulta ou até mesmo inibe a ação erosiva em sua erodibilidade, entretanto, essa tipologia e característica granulométrica dificulta a infiltração e facilita o escoamento superficial, contribuindo para o desenvolvimento de processos erosivos.

Quanto aos questionários aplicados no trabalho, serviram como aporte na pesquisa sobre o entendimento da população sobre o assunto, bem como a compreensão dos mesmos, relativo aos agentes causadores do surgimento e atual avanço da erosão, assim como a esperança de acordo com os moradores, da resolução desta problemática.

A população, como agente antrópico, sofre com o avanço da erosão, pois devido a localização da mesma (Centro da cidade), há a densa quantidade de residências que devido o aumento frequente da voçoroca tem gerado perigo a população, onde de acordo com populares, já houve o desmoronamento de mais de oito residências, e infelizmente também já houve perdas humanas. A população, que apesar de sofrer com esse avanço, também contribui para o mesmo, pois utiliza a erosão como “buraco” de despejo de resíduos sólidos, assim como desmatam a vegetação no entorno da voçoroca, com também a queimada em alguns pontos.

Como resposta e retorno ao trabalho desenvolvido na cidade, foi acordado junto com a população e poder público, a apresentação final deste trabalho em uma Assembleia na Câmara Municipal, para que ambas as partes possam compreender melhor a visão do assunto tratado neste trabalho e em comum acordo, a realização de palestras em escolas e comunidade, de forma a levar ações que possam minimizar o avanço da erosão.

No tocante os obstáculos encontrados ao longo do trabalho se basearam principalmente na dificuldade em encontrar informações pertinentes à área de estudo, principalmente de forma mais detalha, que apesar de gerar alguns impedimentos, em contrapartida motivou a busca mais aprofundada e criação de forma mais detalhada de algumas informações, principalmente para essa área, escassa de dados, mas que necessita urgentemente de base para que o problema tratado nesta pesquisa, seja ao menos minimizado. Sendo assim, esse estudo constituiu uma importante contribuição para o conhecimento de processos erosivos na cidade de Bom Jesus das Selvas – MA.

## REFERÊNCIAS

- AFONSO, A. *et al.* **Geomorfologia Geral**. Fundação CECIERJ, Rio de Janeiro-RJ, 2014.
- AIMON, J. G. S. **Geotecnologias Aplicadas para Mapeamento de Processos Erosivos: Estudo de Caso Voçoroca do Ijuízo**. *In: Anais do COBRAC 2018 - Florianópolis –SC – Brasil - UFSC – de 21 a 24 de out., 2018.*
- ALBURQUERQUE, A. R. **Diagnóstico de Risco Erosivo na Bacia do Rio Leão – Amazônia Central**. *In: V Simpósio Nacional de Geomorfologia e I Encontro Sul-Americano de Geomorfologia*. Rio Grande do Sul-RS, 2004.
- ALHEIROS, M. M. *et al.* **Manual de ocupação dos morros da região metropolitana do Recife**. Fundação de Desenvolvimento Municipal, Recife: Ensol, 2004.
- ALMAGRO, A. *et al.* **Projected climate change impacts in rainfall erosivity over Brazil**. *Revista Scientific Reports*. V. 7, 2017.
- ALMEIDA, G. S. **Controles de Erosão**. Em foco. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental – ABGEA, 2018. Disponível em: < [http://abge.org.br/uploads/arquivos/archivoseccion\\_244\\_emfococontrolederos.pdf](http://abge.org.br/uploads/arquivos/archivoseccion_244_emfococontrolederos.pdf) > Acesso em: 12 out. 2018.
- ALVES, M. C. *et al.* **Densidade do Solo e Infiltração de Água como Indicadores da Qualidade Física de um Latossolo Vermelho Distrófico em Recuperação**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. V. 31, p. 617-625, 2007.
- AMORIM, D. G. de A. *et al.* **Avaliação de suscetibilidade à erosão e movimentação gravitacional de massa no Parque Estadual do Juquery, Franco da Rocha (SP)**. *Revista do Instituto de Geociências – USP*. v. 17, n. 2, p. 14-21, 2017.
- AMORIM, R. S. S. **Desprendimento e Arraste de Partículas de Solo Decorrentes de Chuvas Simuladas**. Tese de Doutorado em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa-MG, 2000.
- ANACHE, J. A., *et al.* **Runoff and soil erosion plot-scale studies under natural rainfall: A meta-analysis of the Brazilian experience**. *Catena*, v. 152, p. 29-39, 2017.
- ANJOS, D. S. **Classificação da curvatura de vertentes em perfil via *thin plate splines e inferência fuzzy***. Dissertação de Mestrado em Ciências Cartográficas, Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente-SP, 2008.
- AQUINO, C. M. S.; VALLADARES, G. S. **Geografia, geotecnologias e planejamento ambiental**. *Revista Geografia*, Londrina, V. 22, No.1, p. 117-138, 2013.
- BACK, A. J.; POLETO, C. **Avaliação temporal do potencial erosivo das chuvas de Florianópolis-SC**. *Revista Brasileira de Climatologia*. Ano 13 – Vol. 21, 2017.

BARBOSA, G. S. **Uso de atributos do solo na identificação de limites para preservação de Veredas no Mato Grosso do Sul**. 2016. 72 p. (Dissertação). Universidade do Estado de São Paulo: Ilha Solteira - SP, 2016.

BASTOS, C.A.B. *et al.* **Avaliação Geotécnica da Erodibilidade dos Solos**. In: GEOSUL – II Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica da Região Sul, Porto Alegre/RS, p.203-211, 2000.

BENDA, F. *et al.* **Análise da Suscetibilidade dos Solos à Erosão Laminar Utilizando Sistema de Informação Geográfica na Bacia Hidrográfica da Lagoa Feia no Limite do Município de Campos dos Goytacazes/RJ**. In: II Simpósio de Brasileiro de Jovens Geotécnicos, 2006. Disponível em: <<https://www.abms.com.br/links/bibliotecavirtual/IIgeojovem2006/2006-benda-correa.pdf>>. Acesso em: 12 jun. 2018.

BERTONI, J.; LOMBARDE NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ed. Ícone 7ª edição, 2010.

BESSE, J. M. **A fisionomia da paisagem**. De Alexandre Von Humboldt a Paul Vidal de La Blache. In: **Ver a Terra. Seis ensaios sobre a paisagem e a Geografia**. Tradução de Vladimir Bartalini. Editora: Perspectiva. São Paulo, 2014.

BEZERRA, J. F. R. *et al.* **Geomorfologia Aplicada à Reabilitação de Áreas Degradadas por Voçorocamento Utilizando Geotêxteis Produzidos com Fibra do Buriti na Área Urbana de São Luís - MA**. In: 8 Simpósio Nacional de Controle de Erosão dos Solos. São Paulo-SP, 2009.

BEZERRA, J. F. R. *et al.* **Proposta de recuperação em áreas degradadas por voçorocas na zona urbana do município de São Luís - MA**. In: Geo UERJ, v. 1, p. 1-5, 2005.

BEZERRA, J. F. R. **Geomorfologia e reabilitação de áreas degradadas por erosão com técnicas de bioengenharia de solos na bacia do rio Bacanga**. Tese de Doutorado em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro-RJ, 2011.

BEZERRA, J. F. R.; GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia e reabilitação de áreas degradadas por erosão com técnicas de bioengenharia**. In: XII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Natal-RN, 2007.

BEZERRA, J. F. R.; GUERRA, A. J. T. RODRIGUES, S. C. **Relações entre potencial matricial no solo e cobertura vegetal em uma estação experimental, Uberlândia – MG**. Revista Sociedade & Natureza, Uberlândia, ano 24 n. 1, 103-114, jan/abr. 2012.

BISPO, T. C.; LEVINO, N. de A. **Impactos Ambientais Decorrentes do Uso e Ocupação Desordenada do Solo: um Estudo da Região da Periferia de Maceió/AL**. In: XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Belo Horizonte-MG, 2011.

BOM JESUS DAS SELVAS. PREFEIRUTA DE BOM JESUS DAS SELVAS. **Lei Orgânica do Município de Bom Jesus das Selvas**. Maranhão, 1997.

BRAGA, C. de C. *et al.* **Mapeamento da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do reservatório da UHE Caçu – Goiás.** Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas – UFSM - Ciência e Natura, Santa Maria v.39, Ed. Esp. PROCAD/CAPES, p. 81 – 98. 2017.

CABRAL J. B. P. *et al.* **Mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Doce (GO), utilizando técnicas de geoprocessamento.** GeoFocus (Artículos), n. 11, p.51-69, 2011.

CAMPOS, R. C. *et al.* **Determinação indireta do teor de hematita no solo a partir de dados de colorimetria e radiometria.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, V. 38, No. 4, p. 521-528, 2003.

CARVALHO FILHO, A. de. **Levantamento de Reconhecimento de Média Intensidade dos Solos da Zona Campos das Vertentes - MG.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

CASSETI, V. **Geomorfologia.** 2005. Disponível em: <<http://www.funape.org.br/geomorfologia/>>. Acesso em: 12 dez. 2018.

CASTRO, R. A. *et al.* **Degradação do Solo e Influência na Qualidade da Água: O Caso da Erosão Urbana do Bairro Jacu na Cidade de Açailândia – MA.** In: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia, Goiânia-GO, 2006.

CASTRO, R. A.; SANTOS, L. C. A. dos. **Utilização do Mapeamento Geotécnico para controle preventivo de erosões urbanas: um estudo de caso.** In: Anais do I Congresso Intercontinental de Geociências. Fortaleza-CE, 2004.

CHEROBIN, S. F. **Estimativa de Erosão e sua Relação com os Diferentes Mecanismos Erosivos Atuantes: Estudo da Voçoroca Vila Alegrel.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Ouro Preto-MG, 2012.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia.** São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais.** São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

CORRÊA, L. da S. L. **Processos erosivos avançados em São Francisco de Assis-RS: estudo de caso.** Dissertação de Mestrado em Geografia, Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Santa Maria-RS, 2006.

CORREIA FILHO, F. L. *et al.* **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea, estado do Maranhão: relatório diagnóstico do município de Bom Jesus das Selvas.** Teresina-PI: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2011.

COSTA, J. F. da S.; YUI, L. M. **Comparação de Métodos de Cálculo de IBNR para uma Operadora de Planos de Saúde através do Método de Análise Hierárquica.** In: Cadernos do IME – Série Estatística. ISSN on-line 2317-4535 - v.44, p.19 - 36, 2018.

COSTA, Y. T.; RODRIGUES, S. C. **Relação entre cobertura vegetal e erosão em parcelas representativas de cerrado.** Rev. Geografia Acadêmica v.9, n.2, 2015.

COUTO, L. *et al.* **Técnicas de Bioengenharia para Revegetação de Taludes no Brasil**. Viçosa-MG: CBCN, 2010. Disponível em <[http://www.cbcn.org.br/arquivos/p\\_tecnicas\\_brasil\\_853272915.pdf](http://www.cbcn.org.br/arquivos/p_tecnicas_brasil_853272915.pdf)>. Acesso em: abr. de 2018.

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (Serviço Geológico do Brasil). **Geologia Básica**, 2001. Disponível em: <[http://www.cprm.gov.br/publique/media/geologia\\_basica/plgb/acailandia/acailandia\\_estratigrafia.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/geologia_basica/plgb/acailandia/acailandia_estratigrafia.pdf)>. Acesso em: 13 dez. 2018.

\_\_\_\_\_. **Conceitos Fundamentais de Risco e de Áreas de Risco**. Organização SANTANA, M. S. Belo Horizonte-MG, 2014.

\_\_\_\_\_. **Geodiversidade do estado do Maranhão**. Organização NASCIMENTO, I. C. Teresina-PI, 2013.

CREPANI, E. *et al.* **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico econômico e ao ordenamento territorial**. Instituto de Pesquisas Espaciais – INPE. São José dos Campos-SP, 2001.

CUIABANO, M. do N., *et al.* **Vulnerabilidade Ambiental à Erosão Hídrica na Sub-Bacia do Córrego do Guanabara/ Reserva do Cabaçal-MT Brasil**. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 36, n. 1, p. 138-153, 2017.

DANTAS M.E. *et al.* **Geodiversidade e análise da paisagem: uma abordagem teórico-metodológica**. Terræ Didática. 2015.

DANTAS, A.; MEDEIROS, T. H. de L. **A Geografia de Humbolt e Ritter**. *In*: Introdução à Ciência Geográfica. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Porto Alegre-RS. 2008.

De ARAÚJO, I. R. G. *et al.* **Estimativa do Índice de Vulnerabilidade à Erosão Costeira (Ivc) para o Litoral do Piauí, Brasil**. Rev. Brasileira de Geomorfologia. V. 20, No. 1, p. 105-118, São Paulo. 2019.

De MEDEIROS, M. C.; Da LUZ, E. L. P. **Falta de Cobertura Vegetal e suas Consequências**. *In*: II Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido – CONIDIS. Campo Grande-PB, 2017.

DEMARCHI, J. C.; ZIMBACK, C. R. L. **Mapeamento, Erodibilidade e Tolerância de Perda de Solo na Sub-Bacia do Ribeirão das Perobas**. Revista Energia na Agricultura. V. 29, No. 2, p. 102-114, 2014.

DERBYSHIRE, E. *et al.* **Geomorphology process**. Ed. Dowson e Son, England, 1979.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Determinação da densidade de solos e de horizontes cascalhentos**. Comunicado técnico 154 - ISSN 1679-0162. Sete Lagoas, 2009. Disponível em: <[http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/2008/comunicado/Com\\_154.pdf](http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/2008/comunicado/Com_154.pdf)> Acesso em: 7 ago. 2018.

\_\_\_\_\_. **Circular Técnica: práticas de conservação de solo e água.** Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Campo Grande-PB, 2012.

\_\_\_\_\_. **Grupo Barreiras: características, gênese e evidências de neotectonismo.** Dados eletrônicos. Rio de Janeiro-RJ: Embrapa Solos, 2012.

\_\_\_\_\_. **Manual de métodos de análise de solo.** 3. Ed. Brasília-DF, 2017.

\_\_\_\_\_. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 5. ed. Rio de Janeiro-RJ: EMBRAPA-SPI, 2018.

FAGUNDES, E. A. A. *et al.* **Determinação da infiltração e velocidade de infiltração de água pelo método de infiltrômetro de anel em solo de cerrado no município de Rondonópolis-MT.** *In:* Enciclopédia biosfera. Centro Científico Conhecer. V. 8, No. 14. Goiânia-GO, 2012.

FEITOSA, A. C. **O Maranhão Primitivo: uma tentativa de constituição.** São Luís: Ed. Augusta, 1983.

FERNANDES, N.F.; AMARAL, C.P. **Movimentos de massa: uma abordagem Friburgo.** *In:* GUERRA, A. J. FFP/UERJ, 2005. 120p. T.; CUNHA, S. B. (org.). Geomorfologia e meio. Rio de Janeiro, 1996.

FERREIRA, L. C. G. *et al.* **Estudo da Suscetibilidade Erosiva: Erodibilidade do Solo, Erosividade da Chuva, Uso do Solo e suas Relações com os Processos Erosivos Hídricos na Sub-bacia Rio Claro/Caiapó da Alta Bacia do rio Araguaia-GO.** Universidade Federal de Goiás -UFG / Instituto de Estudos Sócio-Ambientais-IESA. Goiânia-GO, 2016.

FERREIRA, R. V. **Mapeamento geomorfológico e de processos erosivos da bacia hidrográfica do Rio Botafogo (PE) utilizando técnicas de geoprocessamento.** Universidade Federal de Pernambuco. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, UFPE, Recife-PE, 2008.

FILIZOLA, H. F. **Controle dos Processos Erosivos Lineares (ravinas e voçorocas) em Áreas de Solos Arenosos.** EMBRAPA, Circular Técnica. 2011.

FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais.** São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FRANCISCO, A. B. **O processo de voçorocamento no perímetro urbano de Rancharia – SP: sua dinâmica e as propostas de recuperação.** 2011. 124 f. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2011.

FRANCISCO, A. B.; NUNES, J. O. R. **Análise da Dinâmica Espaço-Temporal do Processo de Voçorocamento através de Pesquisas de Campo no Município de Rancharia-SP.** 2015. Artigo disponível em <  
[https://www.researchgate.net/publication/267724342\\_ANALISE\\_DA\\_DINAMICA\\_ESPAC](https://www.researchgate.net/publication/267724342_ANALISE_DA_DINAMICA_ESPAC)  
 O-

TEMPORAL\_DO\_PROCESSO\_DE\_VOÇOROCAMENTO\_ATRAVES\_DE\_PESQUISAS\_DE\_CAMPO\_NO\_MUNICIPIO\_DE\_RANCHARIA-SP> Acesso em: 20 nov. 2018.

FRANCO, G. B. *et al.* **Relação qualidade da água e fragilidade ambiental da Bacia do Rio Almada, Bahia.** Brazilian Journal of Geology; 42: 114-127. 2013.

FREIRE, O. Solos das regiões tropicais. Botucatu: FEPAF (Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais), 2006.

FURTADO, M. S. *et al.* **Processo de recuperação da voçoroca do Sacavém, São Luís-MA.** In: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia/Conferência Regional de Geomorfologia. Goiânia-GO, 2006.

FUSHIMI, M. **Vulnerabilidade Ambiental aos Processos Erosivos Lineares nas áreas Rurais do Município de Presidente Prudente-SP.** Dissertação de Mestrado em Geografia. Universidade Estadual Paulista – UNESP, 2012.

GAMA, A.; DIMUCCIO, L. A. **Geomorfologia: a construção de uma identidade.** Universidade de Coimbra – UC. Coimbra-PT, 2013.

GEOBRASIL. **Perspectiva do Meio Ambiente no Brasil.** Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, 2002.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa.** Coordenado pela Universidade Aberta do Brasil – UAB/UFRGS e pelo Curso de Graduação Tecnológica – Planejamento e Gestão para o Desenvolvimento Rural da SEAD/UFRGS – Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social.** 6 ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOHAU, G. **Historie de la Géologie.** La Découverte. Paris-FR, 1987.

GRANDO, A. *et al.* **Erodibilidade do Solo de uma Microbacia Experimental.** In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Campo Grande-MS, 2009.

GUERRA, A. J. T. **Açailândia: cidade ameaçada pela erosão.** Revista Ciência Hoje. Vol. 23, n. 138. p. 36 – 45, 1998.

GUERRA, A. J. T. e MARÇAL, M. S. **Geomorfologia Ambiental.** Rio de Janeiro. Bertrand Brasil, 2014.

GUERRA, A. J. T. *et al.* **Soil Erosion and Conservation in Brazil.** Anuário do Instituto de Geociências. Vol. 37, p. 81-91. Rio de Janeiro-RJ, 2014.

GUERRA, A. J. T. G. **Geomorfologia urbana.** Ed. Bertrand Brasil. Rio de Janeiro-RJ, 2011.

GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia e Planejamento Ambiental – Conceitos e Aplicações.** Revista de Geografia. V. 35, No. 4. Recife-PE, 2018.

GUERRA, A. J. T. **Ravinas: processo de formação e desenvolvimento**. In: Anuário do Instituto de Geociências – V. 20, p. 9-26, 1996.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 4ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2001.

GUERRA, A. J. T; GUERRA, A. J. **Novo dicionário geológico geomorfológico**. 5ª ed. Editora: Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 2006.

GUERRA, A.J.T. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. 7ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012.

GUERRA, A.J.T.; JORGE, M.C. O. Orgs. **Degradação dos Solos no Brasil**. Editora Bertrand Brasil, 315p, 2014.

GUIMARÃES, T. L. B. **Determinação da Cor do Solo pela Carta de Munsell e por Colorimetria**. Monografia Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília-UnB, Brasília-DF, 2016.

HARDEN, C., *et al.* **Efeitos da Mudança no Uso da Terra na Água em Solos de Pastagem Andina de Páramo**. *Anais da Associação de Geógrafos Americanos*, 103 (2), pág. 375-384. 2013.

HERNANI, L. C. *et al.* **A Erosão e seu Impacto**. 2016. Artigo disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/285274946\\_A\\_erosao\\_e\\_seu\\_impacto](https://www.researchgate.net/publication/285274946_A_erosao_e_seu_impacto)> Acesso em: 21 jan. 2019.

HILLS, R. C. **The determination of the infiltration capacity of field soils using the cylinder infiltrometer**. *British Geomorphological Research Group, Technical Bulletin*, No. 3, 25. p, 1970.

HUGGETT, R. J. **Fundamentals of geomorphology**. Madison Avenue, New York, 2011.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico. **Resultado dos Dados Preliminares do Censo – 2010**. [www.ibge.gov.br/cidade@](http://www.ibge.gov.br/cidade@)

\_\_\_\_\_. **Manual Técnico de Pedologia**. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. - 3. ed. - Rio de Janeiro: IBGE, 2015.

\_\_\_\_\_. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – 2008**. Rio de Janeiro-RJ. 2008.

\_\_\_\_\_. **Zoneamento Geoambiental do Estado do Maranhão**. Diretrizes Gerais para a Ordenação Territorial. Salvador-BA, 1997.

JACOMINE, P. K. T. **A Nova Classificação Brasileira de Solos**. In: Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica, Recife, Vols. 5 e 6, p.161-179, 2009.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: Relações solo-planta**. São Paulo: Ceres, 1979.

LACERDA, M. A. D.; LACERDA, R. D. **Planos de combate à desertificação no Nordeste brasileiro**. Revista de biologia e ciência da terra, v. 4, 2004.

LADEIRA, F. S. B. “A ação antrópica sobre os solos nos diferentes biomas brasileiros – terras indígenas e solos urbanos”. *Entre Lugares*, v.3, p.127-139, 2012.

LAL, R., *et al.* **Management to mitigate and adapt to climate change**. *Journal Of Soil And Water Conservation*, 66(4), pág. 276-285. 2011.

LEITE, A.C. **A oferta de água no Maranhão**. Revista Água do Brasil, V.1, No.3, 2011.

LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação dos Solos**. 2.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

LIMA, A. A. C.; OLIVEIRA, F. N. S. **Solos e aptidão agrícola das terras cultivadas com cajueiro no Estado do Maranhão**. Fortaleza: EMBRAPA-CNPAT, 2000.

LISBOA, G. S.; BEZERRA, J. F. R.; MORAIS, M. S. de. **Monitoramento dos Processos Erosivos por Voçorocamento na Bacia do Rio Bacanga, São Luís/MA**. In: XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada e I Congresso Nacional de Geografia Física. Campinas-SP. 2017.

LISTO, F. de L. R.; XAVIER, J. P. de S. **Carta de Suscetibilidade à Erosão do Município de Aliança – PE a partir de Análise Multicritério**. *Clio Arqueológica*, V. 32, No 3, p.180-200, 2017.

LOUSA, A. R. B. **Identificação de Perigos e Avaliação de Riscos Profissionais de uma Oficina Automóvel**. Dissertação De Mestrado, Curso de Técnico Superior de Segurança e Higiene no Trabalho. Setúbal, POR. 2014.

MAGALHÃES, R. A. **Erosão: Definições, Tipos e Formas de Controle**. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão. Goiânia-GO. 2001.

MARÇAL, M. S.; GUERRA, A. J. T. **Processo de urbanização e mudanças na paisagem da cidade de Açailândia (Maranhão)**. In: GUERRA, A.J.T. & CUNHA, S.B. (orgs) *Impactos ambientais urbanos do Brasil*. 4.ed. Rio de Janeiro: Impactos ambientais urbanos do Brasil Bertrand Brasil, 2006.

MARTINS, S. G., *et al.* **Erodibilidade do Solo nos Tabuleiros Costeiros**. *Revista Pesquisa Agropecuária Tropical*, V. 41, No. 3, p.322-327, 2011.

MAXIMIANO, L. A. **Considerações sobre o conceito de paisagem**. *Revista RA'E GA*, No. 7, p. 83-91. Editora UFPR. Curitiba-PR, 2004.

MAYNARD, A. **Conheça as diferenças entre Perigo e Risco**. Associação Nacional da Indústria para a Proteção das Plantas – ANIPLA. Artigo Flash! FitoSíntese. 2015. Disponível em: <<https://www.anipla.com/docs/fitoflash/flash18.pdf>>. Acessado em: abr. 2019.

MENDES, J. M. **Risco, Vulnerabilidade Social e Resiliência: Conceitos e Desafios**. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, Florianópolis, v. 7, n. esp p. 463-492, jun. 2018.

MENDONÇA, J. K. S. *et al.* **Diagnóstico da erosão urbana no município de São Luís-MA.** In: VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão. Goiânia-GO, 2001.

MENEZES, A. F. *et al.* **Análise da Vulnerabilidade à Erosão Costeira através de Geoindicadores nas Praias de Piedade e Paiva (PE).** São Paulo, UNESP, Geociências, v. 37, n. 2, p. 455 - 465, 2018.

MENEZES, M. N. *et al.* **Arquitetura Aluvial da Formação Itapecuru (Eocretáceo da Bacia do Parnaíba).** In: XIV Simpósio de Geografia do Sudeste. Campos do Jordão-SP, 2015.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. 2007. **Vulnerabilidade Ambiental, Desastres naturais ou fenômenos induzidos.** 192p. Disponível em: <[www3.inpe.br/crs/geodesastres/conteudo/livros/Vulnerab](http://www3.inpe.br/crs/geodesastres/conteudo/livros/Vulnerab)>. Acesso em 29 Mar. 2019.

MORGAN, R. P. C. **Soil erosion and conservation.** Ed. 3, Blackwell Publishing, 2005.

MOURA, A. C. M. **Reflexões metodológicas com o subsídio para estudos ambientais baseados em Análise de Multicritérios.** In: Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE, Florianópolis, 2007.

MOURA, D. V.; SIMÕES, C. da S. **A evolução histórica do conceito de paisagem.** Revista Ambiente & Educação. V. 15, Ed. 1, 2010.

MUNSELL COLOR COMPANY. **Munsell Soil Color Charts.** Baltimore, 2000.

NASCIMENTO, D. T. F. *et al.* **Mapeamento da Suscetibilidade e Potencialidade a Processos Erosivos Laminares e Lineares ao Longo do Duto Osbra da Petrobras.** Revista Geociências, V. 35, No. 4, p.585-597, 2016.

OLIVEIRA, G. S. *et al.* **Caracterização e comportamento higroscópico do pó da polpa de cajá liofilizada.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. V. 18, No. 10, p. 1059-1064, 2014.

OLIVEIRA, M. A. T. **Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçorocas.** In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. (orgs.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações.** Editora: Bertrand Brasil. Rio de Janeiro-RJ, 2012.

OLIVEIRA, M. F. **Metodologia Científica: um manual para a realização de pesquisas em administração.** Universidade Federal de Goiás, 2011.

PERRIN, J.L., *et al.* **Rainfall/runoff processes in a small peri-urban catchment in the Andes mountains.** The Rumihurcu Quebrada, Quito (Ecuador). Hydrol. Process. 15, pág. 843–854. 2001.

PERVEEN, S. *et al.* **Desenvolvendo Cenários de Políticas para o Gerenciamento Sustentável do Crescimento Urbano: Uma Abordagem Delphi.** Revista Sustentabilidade, V. 9, Ed. 10. No. 1787, 2017.

PINHEIRO, M. R. **Técnicas cartográficas e aerofotográficas no estudo da erosão: alta bacia do Ribeirão Araquá – São Pedro e Charqueada/SP**. Dissertação de Mestrado em Ciências, Universidade de São Paulo – USP, São Paulo-SP, 2009.

PIRES, F. R.; SOUZA, C. M. de. **Práticas mecânicas de conservação do solo e da água**. 2. ed. Suprema Gráfica, Viçosa, 2006.

PRUSKI, F. F. **Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. Universidade Federal de Viçosa – UFV. Viçosa-MG, 2006.

PY-DANIEL, L. R. Caracterização da área amostrada. Capítulo 3. p. 35-42. **Biodiversidade do Médio Madeira: Bases científicas para propostas de conservação**. INPA: Manaus, 244p, 2007.

RABELO, D. R.; ARAÚJO, J. C. **Estimativa e Mapeamento da Erosão Bruta na Bacia Hidrográfica do Rio Seridó, Brasil**. In: Rev. Bras. Geomorfol. (Online), São Paulo, v.20, n.2, (Abr-Jun) p.361-372, 2019.

REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. **Propriedades físicas de solos em sistema plantio direto irrigado**. In: CARLESSO, R.; PETRY, M.T.; ROSA, G.M. e CERETTA, C.A., eds. Irrigação por aspersão no Rio Grande do Sul. Santa Maria-RS, 2006.

ROCHA, I. P. da. **Relação entre a Erosão Marginal, Atributos Físicos do Solo e Variáveis Hidrológicas e Climáticas no Baixo São Francisco Sergipano**. Dissertação de Mestrado em Agroecossistemas, Universidade Federal de Sergipe, 2009.

RODRIGUES, K. de M. *et al.* **Fauna do Solo ao Longo do Processo de Sucessão Ecológica em Voçoroca Revegetada no Município de Pinheiral – RJ**. In: Ciência Florestal, Santa Maria, v. 26, n. 2, p. 355-364, abr.-jun., 2016.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. 9ª ed. Editora Contexto. São Paulo-SP, 2014.

ROUGERIE, G.; BEROUTCHACHVILI, N. **Geosystèmes et paysages: bilan e méthodes**. Editora: Armand Colin. Paris-FR, 1991.

SANCHES, F. G. *et al.* **Fatores Condicionantes dos Processos Erosivos na Sub-Bacia Hidrográfica de água de Gato – Cabo Verde**. Revista Territorium. No. 24, p. 4-58, 2017.

SANT' ANNA NETO, J. L. e ZAVATINI, J. A. **Variabilidade e Mudanças Climáticas: Implicações Ambientais e Socioeconômicas**. Maringá-PR, 2000.

SANTOS, G. G. *et al.* **Chuvvas Intensas Relacionadas à Erosão Hídrica**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. V. 14, No. 2, p. 115-123, 2010.

SATHLER, R.; *et al.* **Erosive processes in urban areas on the island of Maranhão – Brazil**. In: Sociedade & Natureza (Special Issue), p. 161-173, 2005.

SAUER, C. O. **A morfologia da paisagem**. In: CORRÊA, R. L.; ROSENDAHL, Z. (Org.). Paisagem, tempo e cultura. Rio de Janeiro: EDUERJ, 1998.

SCAPIN, J. **Caracterização do Transporte de Sedimentos em Pequeno Rio Urbano na Cidade de Santa Maria – RS**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

SCHIER, R. A. **Trajatórias do conceito de paisagem na geografia**. Revista RA'E GA, No. 7, p. 79-85. Editora UFPR. Curitiba, 2003.

SEMA – Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais. **Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Estado do Maranhão**. São Luís-MA, 2011.

SILVA, E. J. da.; LIMA, M. da G., MARZIALE, M. H. P. **O conceito de risco e os seus efeitos simbólicos nos acidentes com instrumentos perfurocortantes**. Revista Brasileira de Enfermagem, set-out; 65(5): 809-14, Brasília 2012.

SILVA, G. H.; ARAUJO, S. I. **Gerenciamento de derrames de petróleo: sensibilidade ambiental x suscetibilidade ambiental x vulnerabilidade ambiental**. In: II ENCOGERCO, nov., Salvador-BA, 1994.

SILVA, L. F. T. da.; BEZERRA, J. F. R. GUERRA, A. J. T. **Implicações da mudança na cobertura vegetal em relação à erosão na sub-bacia hidrográfica do rio São Pedro – RJ**. Revista Geonorte, V.1, N.6, p.1–16 , 2012.

SILVA, Q. D. da. **Mapeamento geomorfológico da Ilha do Maranhão**. Tese de Doutorado em Geografia, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia em Presidente Prudente - SP, 2012.

SILVA, R. M.; SANTOS, C. A. G. **Influência da cobertura vegetal nos processos hidrossedimentológicos no semiárido do Nordeste, Brasil**. Unioeste Geografia, v 1/2, n. 5, p. 113-125, 2009.

SILVEIRA, E. L. D. **Paisagem: um conceito chave na geografia**. In: XII Encontro de Geógrafos da América Latina (EGAL). Montevideo-URU, 2009.

SOARES, J. C.B. *et al.* **Processos Erosivos em sulcos no município de Bom Jesus das Selvas-MA**. In: IX Simpósio Nacional de Geomorfologia. Rio de Janeiro-RJ, 2012.

SOUZA, A. P. *et al.* **Importância do Estudo do Solo como Recurso Natural no Contexto da Sustentabilidade e na Prática de Manejo**, 2013. Disponível em: <<http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal12/Procesosambientales/Usoderecursos/69.pdf>>. Acesso em: 22 out. 2018.

SPORL, C. **Metodologia para Elaboração de Modelos de Fragilidade Ambiental Redes Neurais**. Tese de Doutorado. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, 2007.

TAGLIANI, C. R. A. **Técnica para Avaliação da Vulnerabilidade Ambiental de Ambientes Costeiros utilizando um Sistema Geográfico de Informação.** In: XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto INPE, Belo HorizonteMG, 2003.

TARDIN, R. **Análise, Ordenação e Projeto da Paisagem: Uma abordagem sistêmica.** Rio de Janeiro: Rio Books. UFRJ.PROURB, 2018.

TORRES, F. S. de M. **Carta de Suscetibilidade a Movimentos de Massa e Erosão do Município de Ipojuca-PE.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, 2014.

TROLL, C. **El Paisaje geográfico y su investigacion.** In: MENDOZA, J. G.; JIMÉNEZ, J. M.; CANTERO, N. O. El pensamiento geográfico. Editora: Alianza. Madrid-ESP, 1982.

TUCCI, C. **Hidrologia – ciência e aplicação.** Editora da Universidade, ABRH, Porto Alegre-RS, 2000.

UNEP [United Nations Environmental Programme]. **Ecco Metropolitan District of Quito.** Retrieved from [http://www.pnuma.org/deat1/pdf/2011%20-%20ECCO%20Quito%20Summary%20\(web\).pdf](http://www.pnuma.org/deat1/pdf/2011%20-%20ECCO%20Quito%20Summary%20(web).pdf). 2011.

VALERIANO, M. M. **Curvatura vertical de vertentes em microbacias pela análise de modelos digitais de elevação.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.7, n.3, p.539-546, 2003.

VALLE, I. C. *et al.* **Mapeamento da Fragilidade Ambiental na Bacia do Rio Aldeia Velha, RJ.** Revista Floresta e Ambiente; 23(2): 295-308. 2016.

VIDAL, J. R.; BARROSO, P. G. S. **El papel de la Geomorfología en la investigación Geológica.** Cuaternario y Geomorfología, Ed. 13, pág. 3-5. Universidade de Huelva, Huelva-ESP, 1999.

WANG, X. *et al.* **Assessment of soil erosion change and its relationships with land use/cover change in China from the end of the 1980s to 2010.** Catena, v.137, p.256-268, 2016.

ZANATA, J. M.; PERUSI, M. C. **Solos urbanos: degradação ambiental na forma de processos erosivos.** Revista Geografia e Pesquisa, Ourinhos, v. 4, n. 2, p. 107-122. 2010.

## APÊNDICE A – Questionário aplicado aos moradores circunvizinhos à voçoroca em estudo.

1) Há quanto tempo mora na cidade?			
1 a 3 anos ( )	4 a 6 anos ( )	7 a 10 anos ( )	acima de 10 anos ( )
2) Qual o agente causador da formação e avanço da erosão?			
Meio ambiente ( )	População ( )	Poder público ( )	
3) Em que nível você considera está suscetível ao avanço da erosão?			
Baixo ( )	Médio ( )	Alto ( )	
4) Você acredita ter solução esse problema?			
Sim ( )		Não ( )	

Fonte: Elaborado por Viana (2019)