

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO DE FILOSOFIA, CIÊNCIAS HUMANAS E SOCIAIS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

GABRIELA MENDONÇA DA SILVA

**GEOMORFOLOGIA APLICADA A CARACTERIZAÇÃO DA VULNERABILIDADE À
EROSÃO DOS SOLOS EM RIO PRETO DA EVA (AM)**

MANAUS- AM
2021

GABRIELA MENDONÇA DA SILVA

**GEOMORFOLOGIA APLICADA A CARACTERIZAÇÃO DA VULNERABILIDADE À
EROSÃO DOS SOLOS EM RIO PRETO DA EVA (AM)**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia pela Universidade Federal do Amazonas (UFAM), como requisito para a obtenção do título de Mestre em Geografia.

Área de concentração: Domínio da Natureza na Amazônia.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Fábio Sabbá Guimarães Vieira

MANAUS- AM
2021

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

S586g Silva , Gabriela Mendonça da
Geomorfologia aplicada a caracterização da vulnerabilidade à erosão dos solos em Rio Preto da Eva (AM) / Gabriela Mendonça da Silva . 2021
114 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Antonio Fábio Sabbá Guimarães Vieira
Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Erosão. 2. Relevo. 3. Voçoroca. 4. Vulnerabilidade. I. Vieira, Antonio Fábio Sabbá Guimarães. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título



Poder Executivo
Ministério da Educação
Universidade Federal do Amazonas
IFCHS/DEGEO/Programa de Pós-Graduação em Geografia
Mestrado e Doutorado Conceito 4 CAPES



Aprovado pela Resolução Nº 011 – CONSUNI de 11/07/2006
Reconhecido através da Portaria Nº 1.077 - MEC, de 31 de agosto de 2012

Ata da Defesa Pública da Dissertação de Mestrado do(a) Senhor(a) **GABRIELA MENDONÇA DA SILVA**, discente do Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Filosofia, Ciências Humanas e Sociais da Universidade Federal do Amazonas, Área de Concentração em Amazônia: Território e Ambiente, realizada no dia **23 de Agosto de 2021**.

Aos **vinte e três** dias do mês de **Agosto** de **dois mil e vinte e um**, às **quinze horas**, em sala virtual (Google Meet), realizou-se a Defesa Pública da Dissertação de Mestrado, intitulada **“GEOMORFOLOGIA APLICADA A CARACTERIZAÇÃO DA VULNERABILIDADE À EROSÃO EM RIO PRETO DA EVA-AM”**, sob orientação do Professor Doutor **ANTONIO FÁBIO SABBÁ GUIMARÃES VIEIRA (PPGEOG/UFAM)**, da aluna **GABRIELA MENDONÇA DA SILVA**, em conformidade com o Art. 83 do Regimento Geral de Pós-Graduação da Universidade Federal do Amazonas, como parte final de seu trabalho para a obtenção do grau de **MESTRE EM GEOGRAFIA**, área de concentração em **AMAZÔNIA: TERRITÓRIO E AMBIENTE**. A Banca Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: **Professor Doutor Antonio Fábio Sabbá Guimarães Vieira (Presidente - PPGEOG/UFAM)**, **Professor Doutor Marcos Roberto Pinheiro (Membro Titular – FFLCH/USP)** e o **Professor Doutor Rogério Ribeiro Marinho (Membro Titular - PPGEOG/UFAM)**. O Presidente da Banca Examinadora deu início à sessão convidando os membros da Banca e a Mestranda a tomarem seus lugares. Em seguida, o Senhor Presidente informou sobre o procedimento do exame. A palavra foi facultada a Mestranda para apresentar uma síntese do seu estudo e responder às perguntas formuladas pelos Membros da Banca Examinadora. Após a apresentação e arguição pelos Membros da Banca Examinadora, esta reuniu-se onde decidiu, por unanimidade, que a discente foi **“Aprovada”**. A sessão foi encerrada. Eu, Maria das Graças Luzeiro, Técnica do PPGEOG, lavrei a presente ata, que vai assinada por mim, pelos Membros da Banca Examinadora e pela Mestranda. Manaus (AM), **23 de Agosto de 2021**.

Banca Examinadora	Rubrica	Nota
<i>Prof(a) Dr(a) Antonio Fábio Sabbá Guimarães Vieira</i> <i>Presidente (PPGEOG/UFAM)</i>		“9,0”
<i>Prof(a) Dr(a) Marcos Roberto Pinheiro</i> <i>Membro Titular (FFLCH/USP)</i>	<i>marcos R. Pinheiro</i>	“9,0”
<i>Prof(a) Dr(a) Rogério Ribeiro Marinho</i> <i>Membro Titular (PPGEOG/UFAM)</i>		“9,0”
<i>Gabriela Mendonça da Silva</i> Mestranda		

Ao meu pai Raimundo Felipe da Silva (*In
memoriam*).

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus. “Até aqui nos ajudou o SENHOR. (1 Samuel 7:12)”.

A minha gratidão e eternamente será ao meu amado e querido Pai- Raimundo Filipe da Silva- que nos deixou este ano, mas cumpriu o seu papel sendo eternizado em nossos corações. Saudades, pai! E a minha mãe, mulher guerreira e sabia, por todo amor e dedicação a família. Amo vocês! "Honra teu pai e tua mãe, a fim de que tenhas vida longa na terra que o Senhor, o teu Deus, te dá (Êxodo 20:12)”.

Aos meus irmãos, em especial, a minha irmã e segunda mãe, Neudirene Mendonça da Silva, por ter assumido esse papel de cuidadora, protetora. E ao meu cunhado Jean Sousa da Silva pelas conversas e ensinamentos.

Ao o meu querido orientador -Antônio Fábio Sabbá Guimarães Vieira - que desde 2017 faz parte da minha vida acadêmica. E digo mais, um pai orientador. Á família Latossolo-UFAM (Ludmila Soares, Feliciano Maciel, Carla Maria) que sempre vem apoiando nas atividades laboratoriais e em campo.

Ao professor e amigo Marcos Pinheiro pelas orientações e conselhos nos momentos difíceis. E ao Laboratório de Pedologia (LabPed) da USP pelo acolhimento em minha estadia como aluna especial na Pós Graduação em Geografia Física. Não posso esquecer dos colegas “exagerados” que deixei em São Paulo.

A banca de qualificação e defesa composta pelos professores doutores Marcos Pinheiro (GEO-USP) e Rogério Marinho (DEGEO - UFAM) pelas orientações e ensinamentos.

Agradeço a pessoa que ganhou meu coração e se mostrou presente nos momentos felizes e mais triste da minha vida, André Alves. Obrigada por segurar a minha mão, pelo apoio, pelas brigas, pelo companheirismo, pelo carinho, pelos conselhos e por todo amor que tens me dado. “O amor é paciente, o amor é bondoso. Não inveja, não se vangloria, não se orgulha. Não maltrata, não procura seus interesses, não se ira facilmente, não guarda rancor. O amor não se alegra com a injustiça, mas se alegra com a verdade. Tudo sofre, tudo crê, tudo espera, tudo suporta.

(1 Coríntios 13:4-7)”

Ao meu irmão de orientação e amigo, Ilbson Nascimento que em pouco tempo de amizade se mostrou uma das melhores pessoas que já conheci, muito obrigada! “Um amigo fiel é uma poderosa proteção: quem o achou, descobriu um tesouro. Nada é comparável a um amigo fiel, o ouro e a prata não merecem ser postos em paralelo com a sinceridade de sua fé

(Eclesiástico 6:14)”.

A minha companheira de laboratório, Kenya Souza. Obrigada pela amizade, pelas fofocas e por compartilhar os momentos de alegrias e tristezas.

A minha amiga Ana Jacqueline, pelos momentos de diversão, pelos conselhos e por todo o carinho demonstrado.

Mayara Queiroz pelo incentivo, pelos risos e pelas alegrias.

Ao meu colega Thiago Neto pelo estímulo na carreira acadêmica.

Aos professores que direta e indiretamente colaboraram com a minha chagada até aqui.

Agradeço ao professor Dr. Ricardo Nogueira pela assistência e amparo com os alunos da Pós.

Ao programa de Pós-Graduação em Geografia da UFAM por todo apoio nessa jornada. E ao CAPES pelo incentivo a pesquisa.

Finalizo com a palavra **Gratidão** por sempre está presente em todos os momentos da minha vida.

*Tenha **FÉ** em tudo que acredita*

RESUMO

O processo erosivo é um fenômeno natural de modelamento e remodelamento do relevo que acontece em razão do desgaste do solo e/ou rocha. Por essa razão, a geomorfologia da superfície terrestre está em constante mudança. Entre os produtos mais comuns, resultantes da degradação ambiental, estão as feições erosivas do tipo voçorocamento, formadas em decorrência do escoamento concentrado da água superficial e/ou subsuperficial no solo. Tal degradação remete a vulnerabilidade do relevo ao processo erosivo. A vulnerabilidade associada à erosão dos solos é um produto de investigação que visa a identificação de fragilidade proveniente de processos resultantes da erosão hídrica. Dessa forma, a pesquisa teve como objetivo principal, analisar a geomorfologia do município de Rio Preto da Eva (AM) do ponto de vista da vulnerabilidade à erosão dos solos e surgimento de voçorocamento. Este trabalho teve suporte no método de pesquisa da Abordagem Sistemática visando a conectividade entre elementos naturais (geologia, geomorfologia, solo, hidrografia, vegetação e pluviosidade) e humanos para o melhor entendimento da relação entre geomorfologia, vulnerabilidade a erosão e voçorocamento. Para a execução dos objetivos, foi utilizado o Sistema de Informação Geográfica (SIG), onde processou-se as imagens MDE do Topodata-INPE, Imagens de Satélites e dados Vetoriais do IBGE e CPRM (Geologia, Geomorfologia, Hidrografia, Solo). O processamento dos dados possibilitou uma análise dos dados geomorfométricos (hipsometria, declividade, curvaturas e formas das encostas), como também, dos mapas de vulnerabilidade natural e ambiental. Os resultados propiciaram a espacialização das caracterizações geomorfométricas do relevo do município, assim, uma dedução dos processos que ocorrem sobre este. Os mapas de vulnerabilidade demonstraram um grau de baixa a média vulnerabilidade em decorrência da maior parte do município apresentar a floresta preservada e sem interferências antrópicas, o que torna o ambiente mais estável. Nas áreas de impactos das atividades antrópicas identificou-se seis voçorocas, três na área urbana e três ao longo da rodovia AM - 010. O aparecimento das feições ocorreu em áreas naturalmente vulneráveis que somadas à intervenção do homem culminou no surgimento das voçorocas. O dinamismo dos processos naturais somados às ações humanas sobre o relevo, contribui sobremaneira a ocorrência de processos erosivos mais intensos, os quais resultam no surgimento e expansão de voçorocas. Espera que esse estudo, possa somar com outras pesquisas, para dar suporte aos futuros planejamentos para esse município, contribuindo assim para melhor entendimento do uso e ocupação nesta área, ambiente físico e, portanto, no ambiente vivido pelo homem.

Palavra-chave: Erosão. Relevo. Voçoroca. Vulnerabilidade.

ABSTRACT

The erosive process is a natural phenomenon of modeling and reshaping of the relief that occurs due to the wearing away of soil and/or rock. For this reason, the geomorphology of the earth's surface is constantly changing. Among the most common products resulting from environmental degradation are gully-type erosive features, formed as a result of concentrated surface and/or subsurface water runoff on the soil. Such degradation refers to the vulnerability of the relief to the erosive process. The vulnerability associated to soil erosion is a product of research that aims to identify the fragility arising from processes resulting from water erosion. Thus, the main objective of this research was to analyze the geomorphology of the municipality of Rio Preto da Eva (AM) from the point of view of vulnerability to soil erosion and the emergence of landslides. This work was supported by the research method of the Systemic Approach aiming at the connectivity between natural (geology, geomorphology, soil, hydrography, vegetation and rainfall) and human elements for a better understanding of the relationship between geomorphology, vulnerability to erosion and landslides. For the execution of the objectives, the Geographic Information System (GIS) was used, where the Topodata-INPE MDE images, satellite images and vectorial data from IBGE and CPRM (Geology, Geomorphology, Hydrography, Soil) were processed. The data processing enabled an analysis of the geomorphometric data (hypsometry, slope, curvatures and slope shapes), as well as the natural and environmental vulnerability maps. The results provided the spatialization of the geomorphometric characterizations of the relief of the municipality, thus, a deduction of the processes that occur on it. The vulnerability maps showed a degree of low to medium vulnerability due to the fact that most of the municipality presents a preserved forest, without anthropic interference, which makes the environment more stable. In the areas of impact from anthropic activities six gullies were identified, three in the urban area and three along the AM - 010 highway. The appearance of the features occurred in naturally vulnerable areas that added to human intervention culminated in the emergence of the gullies. The dynamism of natural processes added to human actions on the relief, contributes greatly to the occurrence of more intense erosive processes, which result in the emergence and expansion of gullies. It is hoped that this study can add to other studies, to support future planning for this municipality, thus contributing to a better understanding of the local environment.

Keyword: Erosion. Relief. Gully. Vulnerability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Roteiro para a confecção análise da Vulnerabilidade Natural e Vulnerabilidade Ambiental	26
Figura 2 - formas das voçorocas	28
Figura 3 - Desenho exemplificando os tipos de voçorocas no relevo, A- conectada, B- desconectada e C- integrada.....	29
Figura 4 - Declividade das vertentes e processos morfogenéticos.....	32
Figura 5 - Ação da água nas formas de vertentes.....	34
Figura 6 - Mapa de localização da área de estudo.....	38
Figura 7 - Unidades geológicas da área de estudo	39
Figura 8 - Paralelismo dos principais canais que drenam o município	41
Figura 9 - Mapa da Compartimentação geomorfológica da área de estudo.....	43
Figura 10 - Perfil topográfico transversal aos vales dos rios Puraquequara, Preto da Eva e Urubu, destacando, esquematicamente, os efeitos tectônicos na morfologia do relevo. Em vermelho simbolizando a área do município em estudo.....	44
Figura 11 - Vegetação Ombrófila (A) e Vegetação do tipo ombrófila aberta aluvial (B) ao longo do curso do rio Preto da Eva.....	45
Figura 12 - Principal rede de drenagem no município	46
Figura 13 - Classes de solos predominante no município em estudo.....	47
Figura 14 - Volumes médios mensais de chuva para o período de Jan/1995 a Ago/2011, medidos na Estação Pluviométrica de Rio Preto da Eva (ANA/CPRM).....	48
Figura 15 - Variáveis geomorfométricas brutas extraídas no site do INPE	52
Figura 16 - Forma do terreno com base na curvatura horizontal e vertical.....	53
Figura 17 - Fluxograma sintetizando as etapas de mapeamento do índice de dissecação	55
Figura 18 - Esquema exemplificando as dimensões (Interfluvial e Entalhamento) no relevo a partir do perfil topográfico.....	55
Figura 19 - Espacialização das estações pluviométricas- INMET utilizada para a coleta de dados pluviométricos.....	62
Figura 20 – Uso da Trena métrica (A) e Phantom 4 Latossolo (B).....	65
Figura 21 – Representação do plano de voo no aplicativo do Pix4Dcapture.....	66
Figura 22 - Fluxograma dos procedimentos realizados para cumprimento dos objetivos.	67
Figura 23 - Hipsometria do município e estudo.....	69
Figura 24 - Depósitos sedimentares Quaternários ao longo dos rios Preto da Eva e Urubu.....	70
Figura 25 - Declividade do município de Rio Preto da Eva.....	72

Figura 26 – Orientação de vertentes da área em estudo.....	74
Figura 27 - Caracterização dos segmentos das encostas (perfil) quanto à forma.....	75
Figura 28 - Curvatura vertical das encostas de Rio Preto da Eva- AM.....	76
Figura 29 - Curvatura horizontal de Rio Preto da Eva- AM.	78
Figura 30 - Formas das encostas predominante em Rio Preto da Eva-AM.....	79
Figura 31 - Forma das encostas de Rio Preto da Eva- AM.	80
Figura 32 - Perfil transversal do relevo do município ilustrando o modelado de dissecação moderada.....	81
Figura 33 - Mapa de Índice de dissecação do Relevo de Rio Preto da Eva.	82
Figura 34 - Mapa da Cobertura da Terra do município de Rio Preto da Eva.....	84
Figura 35 - Mapa de Vulnerabilidade Natural do município de Rio Preto da Eva-AM.....	86
Figura 36 - Mapa de vulnerabilidade Ambiental para o município de Rio Preto da Eva - Am.	87
Figura 37 - Sítio urbano de Rio Preto da Eva. A- Centro e B/C- parte norte da cidade.....	88
Figura 38 - Localização das voçorocas no município de Rio Preto da Eva-AM.	89
Figura 39 - Ortomosaico (A) e MDE (B) da voçoroca (circunscrito de preto) 01 situada na cidade de Rio Preto da Eva	90
Figura 40 - Ortomosaico (A) e MDE (B) da voçoroca (circunscrito de preto) 02 do Conjunto Residencial São Sebastião	91
Figura 41 - Ortomosaico (A) e MDE (B) da voçoroca (circunscrito de preto) 03.....	91
Figura 42 - Vista da Voçoroca 04 na AM-010.....	92
Figura 43 - Voçoroca 05 na AM-010.....	92
Figura 44 - Vista da voçoroca 06 na AM-010.....	92
Figura 45 - Perfil transversal das voçorocas na rodovia AM- 010.....	93
Figura 46 – Acumulação anual da Erosividade da chuva para o município de Rio Preto da Eva- AM.....	95
Figura 47 - Acumulação anual (2009-2019) da Intensidade Pluviométrica de Rio Preto da Eva- AM.	96
Figura 48 – Feições erosivas causadas pelo impacto das gotas de chuva no solo.....	97
Figura 49 - Voçoroca 01 na rua 31 de março.....	98
Figura 50 - Vulnerabilidade a voçorocamento no município de Rio Preto da Eva- AM.	99

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação para o tamanho da voçoroca.....	29
Quadro 2 - Parâmetros de classificação da curvatura horizontal e vertical	53
Quadro 3 - Critérios para análise da declividade do relevo	54
Quadro 4 - Valores para as classes de IDR.....	56
Quadro 5 - Escala de vulnerabilidade	57
Quadro 6 – Categorias do grau de vulnerabilidade.....	58
Quadro 7 - Escala de vulnerabilidade das rochas	59
Quadro 8 - Vulnerabilidade para a dissecação do relevo (G)	59
Quadro 9 - Vulnerabilidade para amplitude altimétrica (A).....	60
Quadro 10 - Valores de vulnerabilidade para a declividade das encostas (D).....	60
Quadro 11 - Valores de vulnerabilidade a com base na classificação de solos	60
Quadro 12. Grau de Vulnerabilidade para a classe de vegetação.	61
Quadro 13 - Estacoes pluviométricas utilizadas.	62
Quadro 14 - Grau de vulnerabilidade a perda de solo para o índice pluviométrico.....	63
Quadro 15 - Grau de vulnerabilidade para o Cobertura da terra.....	63
Quadro 16- Classe para interpretação do índice de Erosividade anual.	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados das imagens do VANT.....	66
Tabela 2 - Dados métricos das voçorocas mapeadas na cidade	93

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	17
CAPÍTULO I- UMA ANÁLISE SOBRE AS ABORDAGENS DO RELEVO	20
Vulnerabilidade	23
Voçorocamentos	27
Uso do SIG para análise do relevo	29
Dissecação do relevo	30
Declividade	31
Modelo Digital de Elevação	32
Orientação de vertentes	33
Curvatura vertical e horizontal	33
Vulnerabilidade à erosão	35
Erosividade da chuva	36
CAPÍTULO II- CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	38
Localização	38
Geologia	38
Geomorfologia	42
Vegetação	44
Hidrografia	45
Solos	46
Clima	47
Aspectos sociais	48
Histórico do Município	48
Dados socioeconômicos	49
CAPÍTULO III - METODOLOGIA	51
Descrição do relevo de Rio Preto da Eva com base nos dados geomorfométricos	51

Caracterização da vulnerabilidade à erosão dos solos	56
Geologia (<i>G</i>).....	58
Geomorfologia (<i>R</i>)	59
Solos (<i>S</i>)	60
Vegetação (<i>Vg</i>)	61
Clima (<i>C</i>).....	61
Mapeamento das ocorrências de voçorocamento e a correlação com as áreas de vulnerabilidade	64
Planejamento do voo e extração de dados métricos das voçorocas.....	65
CAPÍTULO IV - RESULTADOS E DISCUSSÕES	68
Descrição do relevo de Rio Preto da Eva com base nos dados geomorfométrico	68
Caracterização da vulnerabilidade à erosão dos solos	83
Mapeamento da ocorrência de voçorocamento e a correlação com as áreas de vulnerabilidade ...	88
CONSIDERAÇÕES FINAIS	101
REFERÊNCIAS	103

INTRODUÇÃO

A geomorfologia como ramo da ciência Geográfica procura entender a gênese, evolução e processos atuantes no modelamento do relevo. Desde o princípio da Geomorfologia, havia a existência das primeiras preocupações de entender o relevo da superfície terrestre.

A necessidade de decifrar o relevo impulsionou vários pesquisadores, tendo como destaque James Hutton (1726-1797) ao publicar o livro intitulado *Theory of the Earth* (1795) partindo do princípio de que a chave de interpretação da formação e modelamento da terra está relacionada com os processos atuais naturais (erosão, vulcanismo). Assim, contrapondo a ideia catastrófica das intervenções/modificações na geomorfologia originários do divino.

É notório que a sistematização da geomorfologia, enquanto ciência, naturalmente partiu dos geólogos, em especial, William Morris Davis (séc. XIX) conhecido como pai da Geomorfologia (CHRISTOFOLETTI, 1989, OLIVEIRA e ALMEIRA, 2019). Porém, foi com Alexandre Surré o salto para o avanço do conhecimento geomorfológico com os princípios ou leis da morfologia fluvial (ROSS, 2017). Desde então, muitas teorias e concepções geomorfológicas surgiram com o intuito de analisar e entender o relevo.

Nos estudos geográficos, a análise geomorfológica tem seu destaque nas relações espaciais entre as esferas da sociedade e natureza, isso com a ênfase, nos estudos de cunho ambiental, ou melhor, nos estudos da morfodinâmica (SUERTEGARAY e NUNES, 2001). Dessa forma, assume-se uma importância no processo de ocupação do espaço em razão das propriedades de suporte ou recurso respondendo pelo comportamento e consequências (CASSETI, 2005).

O estudo geomorfológico vem como uma forma interpretativa do relevo, com base para a apropriação das atividades humanas. É no cenário de intervenções no relevo, a ocorrência de problemas ambientais. Assim, à medida em que ocorre a intensificação, por meio das ações antrópicas, essas áreas se tornam mais vulneráveis a processos naturais, tais como, movimento de massa, inundações e erosões.

A importância da dinâmica da natureza, na qual está inserido o relevo (conhecimentos geomorfológicos), é necessária para subsidiar quaisquer atividades humanas (rodovias, expansão urbana) em virtude de uma compreensão da estrutura e dos processos atuantes no relevo. O entendimento sobre o relevo oportuniza uma pré-avaliação de áreas com grande

potencial a processos de degradação ambiental, como também, a geração de documentos básicos com fins de planejamento.

As informações e os métodos de análises da Geografia tem sua importância na adoção das práticas de planejamento e gestão ambiental de base territorial tornando, assim, possível pela condução com qualidade técnica e bases conceituais sólidas, sendo essas bases teóricas metodológicas calcadas no princípio sistêmico e no tratamento das informações referentes a natureza e a sociedade no contexto da integração de dados, combinados e interrelacionados que possibilite alcançar a concepção socioambiental de um lugar na visão holística da sociedade e natureza (ROSS, 2009).

Mediante a processos, formas e estruturas, o interesse pelo estudo geomorfológico se deu pela importância dos elementos na compreensão dos impactos causados pelas ações humanas no ambiente. Tais interferências deveriam ser precedidas de um minucioso entendimento desse ambiente (o relevo) e das leis que regem seu funcionamento, os agentes naturais endógenos e exógenos, e para isso, é necessário elaborar-se diagnósticos e análises ambientais adequadas (ROSS, 2017).

Sporl e Ross (2004), assinalam que a identificação dos ambientes naturais e suas fragilidades proporcionam uma melhor definição das diretrizes e ações a serem implementadas no espaço físico territorial, servindo de base a gestão do território. Em vista disto, a geomorfologia oferece suporte a análise da vulnerabilidade em virtude de viabilizar a compreensão de áreas com fragilidade a processos naturais, desempenhando um papel no estudo dos impactos ambientais.

A análise da vulnerabilidade está entrelaçada aos fatores da morfogênese e pedogênese (TRICART, 1977). A morfodinâmica, proveniente desses fatores, resulta na atuação dos processos erosivos agindo no modelamento do relevo. Essas formas de atuação têm como a erosão o principal agente modelado.

Assim, a vulnerabilidade associada à erosão dos solos é um produto de investigação que visa a identificação de fragilidade proveniente de processos resultantes da erosão hídrica. Tendo em vista que, a erosão dos solos é um processo de desgaste do solo pela atuação da água resultando em feições no relevo, tais como, sulcos, ravinas e voçorocas. E é nesse cenário de estudos da Geomorfologia, Vulnerabilidade e Erosão dos solos, a relevância da compreensão da dinâmica e limitações do relevo.

Em se tratando de Amazônia brasileira, devido a sua complexidade e diversidade natural e social, são poucos trabalhos voltados a temática em estudo, e isto não é diferente para a área em estudo. As produções bibliográficas em Rio Preto da Eva remetem a trabalhos voltados a geologia partindo da descrição da estrutura geológica, como os trabalhos de Costa et al., (1996), Silva (2005), e em estudos da compreensão geomorfológica relacionados a tectônica (Neotectônica) como a obra de Ibanez (2012).

Do ponto de vista da erosão dos solos, o referido município possui ocorrências de voçorocas ao longo da Rodovia AM-010 (DIRANE, 2016) e no sítio urbano (SILVA e VIEIRA, 2020). Em detrimento da ausência de trabalhos voltados a temática em estudo, é considerável a escolha do município para a análise da geomorfologia e vulnerabilidade a erosão dos solos como subsídio a melhor planejamento e gestão do território apropriada ao ambiente natural de Rio Preto da Eva.

Mediante a isso, este trabalho teve por objetivo analisar a geomorfologia do município de Rio Preto da Eva (AM) do ponto de vista da vulnerabilidade à erosão dos solos e surgimento de voçorocas. Para o alcance do objetivo geral, foram estabelecidos objetivos específicos, como: 1- a descrição do relevo de Rio Preto da Eva com base nos dados geomorfométricos; 2- caracterização da vulnerabilidade à erosão dos solos; 3- mapeamento das ocorrências de voçorocas; e 4- correlação do surgimento das voçorocas com as áreas de vulnerabilidade à erosão dos solos.

Em função dos objetivos, surgiram questionamentos acerca da vulnerabilidade a erosão no município, tais como: a vulnerabilidade à erosão dos solos no município de Rio Preto da Eva é condicionada pela geomorfologia? A vulnerabilidade a erosão no município pode estar diretamente relacionada com a forma de apropriação e ocupação do relevo? O surgimento das voçorocas está associado ao uso e ocupação do relevo? As áreas identificadas com alta vulnerabilidade são as que apresentam impactos ambientais mais expressivos do tipo voçorocamento? Partindo desse pressuposto, a pesquisa tentará responder esses questionamentos.

CAPÍTULO I- UMA ANÁLISE SOBRE AS ABORDAGENS DO RELEVO

A análise geomorfológica teve como precursores os geólogos, na tentativa de compreender o relevo. Por isso, na evolução do pensamento geomorfológico, William Morris Davis e Walther Penck foram os principais precursores dessa teorização (CASSETI, 2005).

Desde sua sistematização como um campo da ciência geográfica, a geomorfologia detém uma proposta de compreender a evolução do relevo. As teorias geomorfológicas de autores como Davis (1899), Penck (1924), King (1953) e Hack (1960) influenciaram muitos pesquisadores nessa compreensão do relevo partindo de seus processos e dinâmicas (DAVIS, 1899; CASSETI, 2005).

A geomorfologia tem como objetivo analisar as formas do relevo, buscando a compreensão das “relações processuais pretéritas e atuais no estudo da superfície terrestre” (CASSETI, 1994, p.11). O relevo terrestre é resultado da interação da litosfera, atmosfera, hidrosfera e biosfera, que trocam energia e matéria no desenvolvimento do espaço geográfico (FLORENZANO, 2008).

Segundo Christofolletti (2012), a geomorfologia analisa as formas de relevo objetivando as características morfológicas, materiais componentes, processos e atuação e fatores controladores. Christofolletti (1980) menciona também que as formas do relevo estudadas pela geomorfologia são expressões espaciais, ou seja, representam a fisionomia da paisagem comportando diversas configurações da paisagem morfológica. Isto é, a paisagem, por ser expressão, também exibe um caráter de herança. Isso porque se trata de um legado deixado pelos mesmos, ou seja, herança dos processos de atuação antiga, que foram remodeladas e modificadas por processos de atuação recente (AB'SABER, 2003).

O relevo é condicionado por agentes exógenos e endógenos (geodinâmicos internos e externos) que atuam no modelamento da paisagem geomorfológica. Ou seja, é indicador primário da paisagem que reflete as interações dinâmicas que ocorrem entre substrato, variações climáticas e tectonismo (JORGE, *et al.*, 2013).

O relevo, como palco das relações humanas, compõe o estrato geográfico que compreende uma estreita faixa entre a parte superior da litosfera e a baixa atmosfera. A aplicação dos conhecimentos geomorfológicos se faz jus em quaisquer atividades antrópicas na superfície terrestre (ROSS, 2017). Deste modo, o relevo não pode ser deixado de lado nos estudos ambientais, uma vez que é impossível compreender o funcionamento e a dinâmica

ambiental sem que se considere o estrato geográfico, ocorrendo a necessidade da análise do relevo para implantação das atividades humanas.

Cassetti (1994) enfatiza que o relevo assume uma vital importância no processo de ocupação do espaço, no qual inclui as propriedades de suporte ou recursos e a análise geomorfológica de uma área implicada no conhecimento da evolução que ela sofre, o que é possível através das evidências dos materiais deposicionais resultantes dos diferentes processos morfogenéticos. Schutzer (2012) acrescenta que o relevo é o suporte e resultado da configuração espacial e territorial, uma interação com o meio.

O relevo não é estático, é dinâmico e apresenta mudanças no cenário ambiental, ou seja, os eventos pontuais no relevo como erosão, movimento de massa, processos deposicionais que alteram a fisionomia da paisagem geomorfológica são processos episódicos que, segundo Suertegaray e Nunes (2005), caracterizam como tempo que o faz, o tempo das irregularidades, dos episódios catastróficos, desastres.

Advinda da transformação acelerada do ambiente, a preocupação com a questão ambiental se amplia e passa a ocupar espaços significativos na ciência nos últimos 20 anos. Nos quais houve uma ascensão da chamada Geografia Ambiental, entendida como a área dos estudos geográficos que se preocupa em compreender a ação do homem sobre a natureza, ou seja, analisa a relação sociedade versus natureza (SUERTEGARAY, 2002; SALES, 2021).

É nesse contexto que a geomorfologia passa a se preocupar com sistemas de erosão e com a dinamicidade da natureza, indo em confronto com a Geomorfologia descritiva e classificatória predominante até os anos 50 do século XX.

Ao longo dos anos, a geomorfologia no contexto brasileiro vem se detendo em preocupações que, segundo Vitte (2011), pode ser dividida em 4 fases: a primeira é a que remete aos primórdios, ou seja, a teoria evolutiva davisiana do relevo; a segunda, é a que remete a ruptura paradigmática na década de 1950 com o surgimento da Teoria da Pediplanação de Lester King; a terceira é marcada pelo forte inserção da Teoria Geral dos Sistemas (TSG); e a quarta, compreende a fase atual, marcada pelo aprofundamento das questões ambientais e o desenvolvimento de novas metodologias.

Nunes (2019) enfatiza que após os anos de 1960, diversas teorias emergem no contexto mundial, em vista dos problemas ambientais globais que se manifestaram com forças em escalas locais, em ambientes urbanos e rurais, além das questões advindas das conferências ambientais, cujas temáticas envolviam a degradação ambiental.

Christofoletti (2012) ressalta que a inserção da geomorfologia como também outras facetas da geografia física na política de desenvolvimento sustentável são advindas do conhecimento que surge como base para a compreensão dos elementos constituintes do grande conjunto do estoque de recursos naturais e ambientais.

Dessa forma, as análises geomorfológicas divergem dos estudos do início do século XIX, uma vez que hoje existe um leque de ramos de estudo da geomorfologia. Marques (2012, p. 35) salienta que, em “função de uma maior valorização das questões ambientais, a Geomorfologia vem ganhando espaço pela pertinência da aplicação direta dos seus conhecimentos sobre a análise ambiental”.

A geomorfologia hoje, ou seja, uma Geomorfologia contemporânea tem como um de seus principais objetivos os estudos ambientais que, segundo Suertegaray e Nunes (2001, p. 17) tem sua importância no entendimento do “tempo presente, do tempo imediato, do tempo do diagnóstico para a atuação e intervenção imediata sobre o relevo que será apropriado”. Em síntese, uma geomorfologia que atenda a demanda ambiental (monitoramento, prevenções, mitigações).

Em vista disso, os conhecimentos geomorfológicos surgem como uma ferramenta a ser utilizada na análise do relevo que visem estudos ambientais como erosão e movimento de massa. Suertegaray (2002) enfatiza que com o avanço das tendências metodologias de se analisar o relevo em diversas facetas, abre-se para a Geomorfologia a possibilidade de estudos ambientais.

Atualmente os estudos geomorfológicos possuem uma gama de métodos e técnicas que permite uma aplicação nos estudos ambientais (CREPANI, *et al.*, 2001; FLORENZANO, 2008; CUNHA e BACANI, 2016; DANTAS, 2016). Com base na geomorfologia, pode-se extrair informações, ou melhor, variáveis geomorfométricas relevantes para o inventário ambiental, como também subsídio para as atividades antrópicas. A extração de dados geomorfométricos como declividade, altimetria, curvas de níveis, forma de vertentes que permitem uma caracterização do relevo que põem em mérito a análise da geomorfologia.

Valeriano (2008) diz que os métodos paramétricos, ou métodos quantitativos de extração de dados (geomorfométricos) são importantes, pois fornecem uma base mais objetiva e uniforme na identificação de sistemas terrestre, mas estes requerem a medição e o mapeamento de variáveis do relevo como altitude, declividade, curvaturas verticais e

horizontais, orientação de vertentes que são combinados para caracterizar o relevo de forma sistemática e completa.

E é nessa perspectiva que muitos trabalhos estão ligados ao papel da geomorfologia no contexto ambiental como de Tricart (1977), que propõe a Ecodinâmica; o de Ross (1992), que desenvolve a concepção de fragilidade ambiental imprimindo uma dimensão geográfica – geomorfológica; o de Vitte (2011) no tratamento das questões ambientais com o foco o relevo; Fagundes e Queiroz Filho (2014), que investigou a variação de escala nas metodologias de fragilidade e vulnerabilidade na bacia hidrográfica do rio Jundiaí em São Paulo e entre outros.

Em vista disso, a geomorfologia tem sua importância na compreensão de fatores, como a vulnerabilidade do relevo à erosão, em especial, a erosão dos solos para a avaliação ambiental sobretudo dos processos atuantes. Posto isso, a análise do relevo no contexto da geomorfologia, tendo como foco a vulnerabilidade, permite compreender a fragilidade do relevo em frente problemas de degradação.

Vulnerabilidade

O termo vulnerabilidade, por si, possui diversas definições e interpretações. Não existe, portanto, uma conformidade universal, uma vez que a comunidade internacional não apresenta diretrizes e indicadores para avaliar a vulnerabilidade (BRIRKMAN, 2005).

Conforme Schneiderbauer e Ehrlich (2004), o termo vulnerabilidade foi introduzido nos anos de 1970 em oposição à ideia de risco de desastre. Nesse período, a prioridade das pesquisas sobre o risco tinha como referência a análise dos perigos e ameaças naturais, onde se buscava técnicas e tentativa de solucionar os problemas (ALMEIDA, 2012).

No entanto, foi somente nos anos 1980, que a vulnerabilidade foi usada para expressar a probabilidade de exposição ao perigo e a capacidade de resistir a ela. Brirkman (2005), salienta que nesse período a vulnerabilidade foi usada como ponto de partida para entender e viabilizar a possibilidade da redução de riscos.

Almeida (2012) enfatiza que o crescimento populacional, as desigualdades sociais, a pobreza e a segregação socioespacial, advinda da tríade Capitalismo-Industrialização-Urbanização, correlacionado com a degradação ambiental concebeu, nos anos 80, a emergência da necessidade de uma abordagem teórico-metodológica com o foco nos desastres naturais e tecnológicos.

É na tentativa de entender e evitar as catástrofes, desastres naturais, deslizamentos, inundações e enchentes, que as investigações acerca dos movimentos/dinâmicas naturais do solo a aplicabilidade do termo vulnerabilidade se demonstram importante. Para Almeida (2012), a vulnerabilidade é um conceito vital na abordagem dos riscos e perigos, centrada no desenvolvimento de estratégias de redução e mitigação das consequências dos desastres naturais nas diversas escalas de análises.

Conforme Lima *et al.* (2000), a vulnerabilidade de um geossistema, entendido como a relação entre as partes, é avaliada pelas características dos meios físicos (rocha, relevo, clima, solo e recursos hídricos), biótico (vegetação) e antrópico (uso e ocupação do solo), que tornam o relevo instável ou sujeito a processos erosivos.

Adger (2006) diz que o termo vulnerabilidade é uma ferramenta analítica para descrever estados de suscetibilidade, responsabilidade de prejudicar, impotência e marginalidade de sistemas físicos e sociais para orientar normas de ações para melhorar o bem-estar por meio da redução de riscos. Em vista disso, a vulnerabilidade em geral sempre será retratada no contexto negativo, ou seja, algo suscetível a risco e prejuízo.

Para Martins e Costa (2014), a vulnerabilidade está relacionada aos fatores de exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa ou de resposta ao sistema, sendo que a exposição significa o grau em que um sistema pode absorver as pressões sem sofrer alterações em longo prazo. Assim como também está relacionada à capacidade adaptativa e à habilidade do sistema de se ajustar a um dano ocorrido.

A vulnerabilidade possui uma visão holística, podendo ser interpretada, analisada ou compreendida por campos distintos do conhecimento: vulnerabilidade social na Sociologia, vulnerabilidade ecológica na Biologia, vulnerabilidade econômica na Economia, História, Geografia.

Na visão das ciências ambientais, em especial na Geografia, a vulnerabilidade “está posta quando há um conjunto de fatores naturais e sociais específicos que fomentam a suscetibilidade ao risco” (GIRÃO *et al.*, 2018, p.72). As pesquisas geomorfológicas fornecem abordagens teóricas e aplicadas à prevenção de desastres naturais em termos de origem e dinamismo dos processos físicos, assim como contribuições importantes com base na compreensão da interação entre os desastres naturais – vulnerabilidade natural – e as sociedades – vulnerabilidade humana (ALCÁNTARA-AYALA, 2002).

Segundo Julião *et al.* (2009, p. 21), a vulnerabilidade é o “grau de perda de um elemento ou conjunto de elementos expostos, em resultado da ocorrência de um processo (ou ação) natural, tecnológico ou misto de determinada severidade”.

O termo vulnerabilidade muitas vezes se confunde com susceptibilidade, que diz respeito a um determinado fenômeno que ocorre independente dos fatores sociais, porém tendo a sociedade como elemento de interferência que a acelera ou a retarda. Girão *et al.* (2018, p.73) mencionam que:

Dentro dessa perspectiva, o semiárido é suscetível às secas, as planícies de inundação, às inundações e as áreas de elevação topográfica aos movimentos de massa. A ação humana atua como ferramenta de modificação da dinâmica natural, acelerando-a ou retardando-a. Outro ponto é que a susceptibilidade é específica a um fenômeno. Assim, as características do meio podem o tornar mais vulnerável aos movimentos de massa e menos as inundações, por exemplo.

Para Julião *et al.* (2009), a susceptibilidade é a incidência espacial do perigo, pois representa a propensão de uma área a ser afetada por um determinado perigo em tempo indeterminado e sendo avaliada através dos fatores de predisposição para a ocorrência dos processos ou ações, não contemplam o seu período de retorno ou a probabilidade de ocorrência.

Em resumo, a análise da susceptibilidade foca na perspectiva de uma área em possuir a probabilidade a determinado processo (erosão, deslizamentos, inundações). A vulnerabilidade indica a situação/grau (degradação) que determinado elemento possui aos processos naturais ou antrópicos.

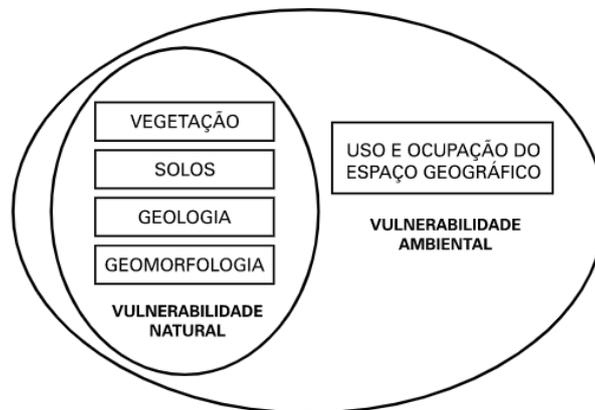
Diversos trabalhos têm sido desenvolvidos com a temática vulnerabilidade. Costa *et al.* (2006) determinaram a vulnerabilidade ambiental na Bacia Potiguar em Rio Grande do Norte; Zanella, et al. (2011) analisaram a vulnerabilidade natural e ambiental no município de Fortaleza no Ceará. Zanella *et al.* (2013) estudou a vulnerabilidade ambiental social e socioambiental no baixo curso da bacia hidrográfica do rio Cocó em Fortaleza. Santos Junior e Oliveira (2015) caracterizaram a vulnerabilidade como a erosão dos solos da bacia do rio Juliana na APA de Pratigi na Bahia.

Nos estudos geográficos, o termo vulnerabilidade é utilizado no sentido natural e ambiental. Segundo Grigio (2008), a vulnerabilidade natural diz respeito a propensão do ambiente natural a problemas. Para Taglian (2003), a vulnerabilidade ambiental é a maior ou

a menor susceptibilidade de um ambiente a um impacto potencial provocado por uso antrópico.

Em outras palavras, o conceito de vulnerabilidade natural remete às características físicas do ambiente o que concerne à vegetação, aos solos, a geologia e a geomorfologia. Já a vulnerabilidade ambiental é a junção dos aspectos físicos e a ocupação antrópica do espaço geográfico, sendo esses, os conceitos adotados na pesquisa (**figura 01**).

Figura 1 - Roteiro para a confecção análise da Vulnerabilidade Natural e Vulnerabilidade Ambiental



Fonte: COSTA *et al.*, (2006).

Ao analisar vulnerabilidade, faz-se necessário estabelecer o sujeito vulnerável, neste caso, o relevo. Posto isso, a presente pesquisa refere-se à vulnerabilidade do relevo à erosão dos solos, em que remete a problemas ou impactos ambientais gerados por processos erosivos e feições resultantes.

Segundo Silva Neto (2013), a vulnerabilidade da paisagem a perda de solos, aqui entendida como paisagem geomorfológica, é compreendida como a ruptura desencadeada pela atuação da sociedade na natureza. Posto isso, é impossível fazer um estudo sobre erosão não levando em consideração os saberes da geomorfologia, uma vez que os parâmetros geomorfológicos identificam a intensificação ou não da erosão no relevo.

A erosão, em especial a erosão hídrica, é um processo ativo no modelamento do relevo e atua de duas formas: na forma de escoamento difuso, isto é, quando a água escoar de forma dispersa pelo terreno. E na forma de escoamento concentrado, ou seja, quando a água escoar de forma irregular no terreno traçando caminhos preferenciais e deixando feições no solo como sulcos, ravinas e voçorocas. Tem-se assim, o papel da água que remove o solo das encostas deixando marcas de expressões, as feições erosivas citadas.

O relevo é um agente intensificador dos processos erosivos. Segundo Carvalho (1994), a declividade e o comprimento da rampa provocam o aumento da erosão, isto é, em terrenos com maior declividade, a água da chuva escoar tão rápida que não há infiltração provocando um maior esforço nos terrenos e, conseqüentemente, uma maior erosão.

Vale ressaltar que, na erosão, a água sempre procura caminhos com menor resistência (zonas de fraquezas), onde ela (a água) se concentra ganhando velocidade. Havendo topografia inclinada (igual ou superior 3°) essa velocidade é ampliada, tornando a remoção de solos muito maior (CARVALHO, 1994; GUERRA, 2012; BERTONI e LOMBARDI NETO, 2014).

A erosão por voçorocas surge por uma concentração de enxurradas no solo pelo escoamento concentrado, e se amplia pelo deslocamento de grandes massas de solo formando grandes cavidades em extensão e em profundidade (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2014).

Existem diversas formas para o surgimento das voçorocas, tais como pela ação da água na base e nas laterais das ravinas, tornando-a uma voçoroca. Algumas voçorocas têm origem na erosão causada pelo escoamento subsuperficial (dutos) e, por outro lado, podem surgir em antigos deslizamentos que deixaram cicatrizes nas paredes íngremes da cicatriz (GUERRA, 2012).

Vale dar um destaque às voçorocas, uma vez que elas são as maiores expressões de feições erosivas. Ou melhor, as voçorocas são as formas erosivas de maior destruição (modelagem) do relevo e é considerada um tipo de degradação, pois o fator erosivo ultrapassa o limiar de estabilidade do relevo (VIEIRA, 2008; GUERRA, 2014).

Voçorocamentos

Os voçorocamentos surgem na paisagem geomorfológica como sintoma do limiar ultrapassado no relevo. As voçorocas são feições erosivas expressas na paisagem geomorfológica em decorrência do escoamento concentrado da água superficial e subsuperficial no solo. Para Vieira (2008), seguindo os critérios morfológicos e descritivos, as voçorocas são incisões erosivas que apresentam em seu interior queda em bloco das camadas do solo, paredes verticais, fundo chato, secção transversal em U e profundidade superior a 1,5 m.

Apesar de serem feições naturais, podem ao mesmo tempo, ser acarretadas pelo uso inadequado do solo. Em ambientes urbanos, de modo geral, as voçorocas surgem em

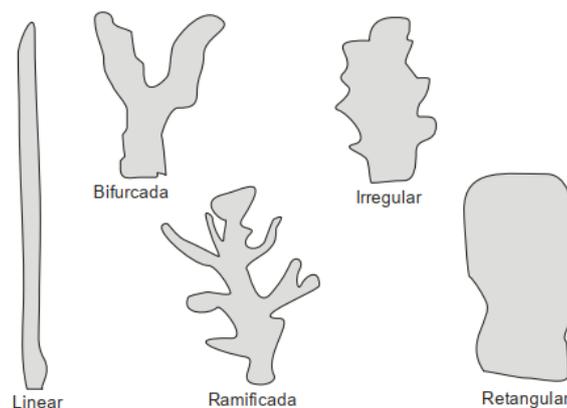
decorrência das ocupações irregulares como apontado por Batista *et al.* (2018) em estudo de caso dos impactos ambientais por ocupações em encostas urbanas. Além disso, as feições podem surgir em decorrência de fatores naturais associados a ocupações, como sinalizado por Vieira (2008), onde este identificou um grande número de voçorocas ($n^{\circ} = 91$) na cidade de Manaus (AM). Todavia, o autor deu maior peso a ocorrência dessas incisões às características do relevo, como a declividade, o comprimento e a forma das encostas.

Além das áreas urbanas, as voçorocas surgem da mesma forma (uso irregular do solo) em ambientes rurais, como identificou Oliveira e Sousa (2017) com o monitoramento de voçorocas na área rural de Marzagão, em Goiás.

O surgimento da voçoroca a partir da ação humana concebe um novo sistema geomórfico. Em outras palavras, as atividades humanas ultrapassam a estabilidade do sistema em equilíbrio, ao modificar o ambiente, proporcionando a configuração da voçoroca com nova característica e dinâmica ao relevo.

No que se refere à sua organização conceitual, as voçorocas podem ser classificadas quanto à forma, tipo e volume. Quando à forma, as feições podem apresentar formato linear, bifurcada, ramificada, irregular e retangular (**figura 02**), tendo como base os processos específicos e de condições ambientais tais como: geologia (litologia e estrutura), relevo (forma e declividade), solo, cobertura vegetal e sistema de drenagem superficial (VIEIRA, 2008).

Figura 2 - formas das voçorocas

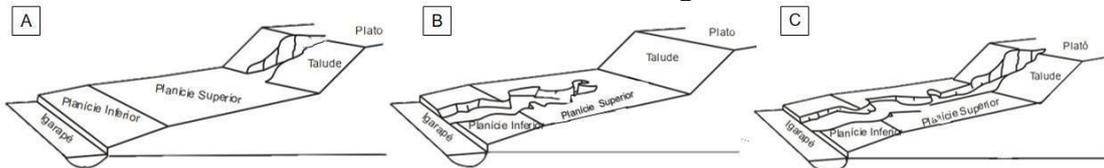


Fonte: VIEIRA (2008).

Em relação ao tipo, as incisões podem ser conectadas, desconectadas e integradas. As voçorocas conectadas surgem na parte inferior da encosta conectada ou não a um canal

hidrográfico. Já as feições desconectadas surgem na parte superior das encostas. E, por último, as integradas, sendo a junção da conectada e desconectada (**figura 03**).

Figura 3 - Desenho exemplificando os tipos de voçorocas no relevo, A- conectada, B- desconectada e C- integrada



Fonte: VIEIRA (2008). Org.: Gabriela Silva (2019).

Quanto ao parâmetro volume, a classificação tem como base Vieira e Albuquerque (2004), na qual estes levam em consideração o volume erodido para determinar o tamanho das voçorocas, conforme o quadro abaixo.

Quadro 1 - Classificação para o tamanho da voçoroca

VOLUME ERODIDO	TAMANHO
Até 900 m ³	Muito pequena
De 1.000 até 9.999 m ³	Pequena
Entre 10.000 e 19.999 m ³	Média
Entre 20.000 e 40.000 m ³	Grande
Mais de 40.000 m ³	Muito grande

Fonte: VIEIRA e ALBUQUERQUE (2004).

Uso do SIG para análise do relevo

Os estudos geomorfológicos dispõem hoje de uma grande variedade de métodos, técnicas e equipamentos que permitem uma investigação profunda do relevo ao combinar com informações de campo e dados de sensoriamento remoto (FLORENZANO, 2008).

Os dados geomorfológicos oferecem informações (variáveis) para análise e interpretação da paisagem natural. As variáveis extraídas pelo Sistema de Informação Geográfica (SIG) permitem a identificação da forma do terreno, bem como suas características.

Segundo Becker e Egler (1996), a influência do relevo no processo de erosão é consequência da sua morfologia que se subdivide em morfografia (forma e a aparência) e em morfometria (quantitativos do relevo como altitude, amplitude altimétrica, declividade e intensidade de dissecação pela drenagem).

Otto *et al.*, (2017) mencionam que nas últimas décadas o SIG vem influenciando o campo da geomorfologia, uma vez que a facilidade da obtenção dos dados por meio de análises geoestatísticas e a descrição matemática do terreno são facilmente tratadas pelo SIG. Os autores ainda acrescentam que as ferramentas do SIG permitem às pesquisas geomorfológicas a descrição quantitativa de formas de relevo até modelagem dos processos.

Os estudos da caracterização da paisagem por meio de variáveis morfológicas têm favorecido o desenvolvimento de métodos automáticos (da ferramenta SIG) de extração de variáveis topográficas. A automatização oferece uma base mais objetiva e uniforme na identificação dos sistemas terrestre, como a interpretação dos sistemas geomorfológicos, onde requer um mapeamento de variáveis geomorfométricas do relevo como altitude, declividade, curvaturas verticais e horizontais, orientação de vertentes (VALERIANO, 2008).

No âmbito geomorfológico, muitas pesquisas são desenvolvidas para a interpretação do relevo a partir dos trabalhos de Valeriano (2003) com curvaturas verticais de vertentes em bacias pela análise de Modelos Digitais de Elevação.

Valeriano *et al.* (2006) realizou a modelagem de pequenas bacias hidrográficas na Amazônia brasileira a partir das imagens SRTM com a resolução de 90 m. Outros também utilizaram o MDE para melhor compreensão da geomorfologia, como Grohmann *et al.* (2008) ao aplicar os Modelos Digitais de Elevação em Geomorfologia; Silva Neto (2013) ao utilizar *SPRING* para extração de variáveis para Zoneamento ambiental como subsídio para o ordenamento do território da bacia hidrográfica do rio Salobra em Minas Gerais; Silva e Machado (2014) ao utilizar o SIG para a análise ambiental na susceptibilidade erosiva da bacia hidrográfica do córrego Mutuca em Minas Gerais.

Dissecação do relevo

No que se refere aos sistemas classificatórios geomorfológicos, a dissecação se encaixa nos processos denudacionais do relevo, isto é, o modelando do relevo tem como principal agente a ação da água em ambientes tropicais úmidos. Segundo Crepani *et al.* (2004) a causa fundamental da denudação é a ação da chuva agindo inicialmente sobre as rochas a partir do processo de intemperismo, sobre o solo removendo-o pela erosão hídrica. Posto isso, a dissecação se destaca nos estudos geomorfológicos pelo modelamento do relevo.

A extração de dados de dissecação do relevo permite compreender o nível de desgaste que ele sofre. Segundo Ross (2017), a densidade de drenagem associada ao grau de

entalhamento dos canais combinados define a rugosidade topográfica, isto é, o índice de dissecação do relevo.

Referente aos processos erosivos, os fatores comprimento da rampa (dimensão interfluvial média) e o grau de declividade (grau de entalhamento dos talwegues) possuem uma relação com a perda de solos de uma encosta (DAVICARI, 2009). Dessa forma:

Quando começa o processo erosivo (impacto da gota de chuva) vai depender da extensão que essa água vai se deslocar em relação à parte mais rebaixada do terreno e da declividade da vertente. Quanto maior a distância percorrida maior a velocidade do fluxo e, conseqüentemente, maior capacidade de arraste de partículas. Considerando-se a declividade da vertente, quanto mais declivosa maior a velocidade do fluxo o que ocasionará, maior capacidade de erosão (DAVICARI, 2009, p.45).

Ross (2017) associa a fragilidade ambiental, aqui entendida como vulnerabilidade, com a dissecação do relevo, visto que a intensidade de dissecação é o primeiro grande indicador de fragilidade potencial que o ambiente natural apresenta.

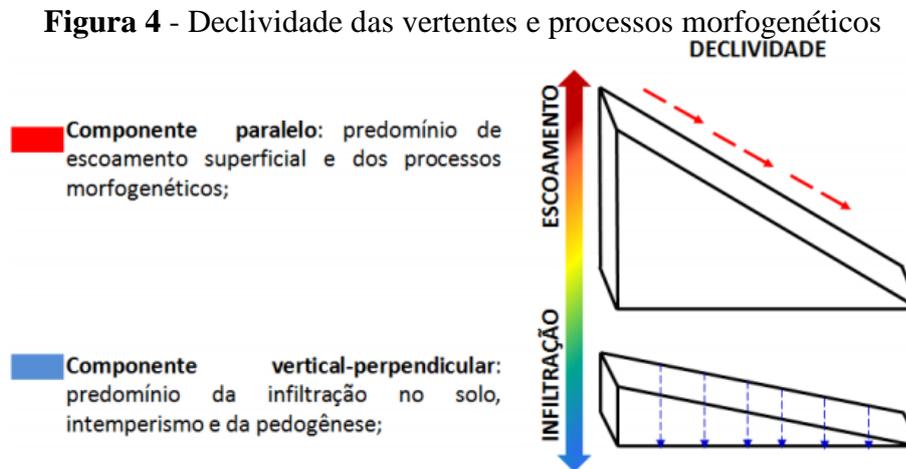
Declividade

A declividade é um fator que se destaca na caracterização e interpretação geomorfológica por estar diretamente ligada a processos de movimentos de massa e erosão, possibilitando assim uma análise genérica da susceptibilidade do relevo. Com ênfase na erosão, diversas características naturais influenciam nos processos erosivos, como intensidade pluviométrica, tipo de solo, encosta (forma, declividade e comprimento) e cobertura vegetal.

Com ênfase nas encostas, a declividade possui um papel de controle ou intensificador de erosão (escoamento superficial), isto é, a declividade possui relação direta com a transformação da água da chuva de energia potencial para energia cinética, sendo assim, responsáveis em desagregar e transportar materiais (CREPANI *et al.*, 2001). Ou seja, quanto maior a declividade, mais rápido ocorre a transformação para energia cinética e, maior é a velocidade da água.

A ação da água na superfície topograficamente horizontalizada é marcada pela infiltração, assim, o impacto das gotas de chuva provocam no solo o processo de salpicamento (*splash*). No entanto, em topografias com inclinações (ou com o mínimo de 3° de inclinação) prevalece o escoamento, na qual a água da chuva, ao atingir o solo, escoar de forma mais

rápida que a infiltração (CREPANI *et al.*, 2001; GUERRA, 2012; BERTONI e LOMBARDI NETO, 2014), conforme a **figura 4**.



Fonte: SILVA NETO (2013).

A variável declividade está associada aos métodos morfométricos (quantitativos) do relevo. Segundo Florenzano (2008), a declividade é a inclinação do relevo em relação ao plano horizontal, podendo ser expresso em graus ($^{\circ}$) ou porcentagem (%).

Em ambiente SIG, a declividade tem como base o MDE, ou seja, a extração da declividade topográfica em graus ou porcentagem é por intermédio do MDE, sendo este elaborado a partir das imagens SRTM. Segundo Valeriano (2008, p.26), a aquisição dessa variável em MDE consiste na:

Estimativa se baseia na análise dos desníveis entre pixels vizinhos. Uma série de termos pode fazer referência à função de SIG para sua estimativa, podendo-se listar: *slope*, *slope angle*, *gradient*, *steepness* e *directional derivatives*. Como indicam as metodologias para seu cálculo, a declividade é a primeira derivada da elevação em relação à distância horizontal.

Modelo Digital de Elevação

A missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) realizada pela NASA (National Aeronautics and Space Administration) abriu uma gama de possibilidade nos estudos geomorfológicos como a aplicação dos modelos de elevação em geomorfologia por meio da coleta de dados topográficos de toda a superfície terrestre. A geração do MDE envolve a modelagem de dados de representação e criação da superfície terrestre a partir de alturas amostradas.

A elaboração do modelo digital de elevação consiste no armazenamento de cotas altimétricas (elevação) em arquivo digital estruturado em linhas e colunas, isto é, os registros altimétricos devem ser valores do relevo para a representação topográfica (VALERIANO, 2008).

Orientação de vertentes

As vertentes possuem um papel chave na dinâmica processual do relevo, isto é, o elemento dominante do relevo na qual expressa as transformações que compõem a paisagem geomorfológica (CASSETI, 1995). Para Christofolletti (1980), as vertentes constituem a base para os estudos geomorfológicos, uma vez que são os componentes básicos da paisagem.

A variável orientação das vertentes possui um papel fundamental na análise do relevo, uma vez que dispõe de uma participação na direção da dinâmica dos fluxos de água. Segundo Colângelo (1996), a orientação de vertentes se ocupa unicamente do fator quantitativo (morfometria) em detrimento do fator qualitativo (morfologia).

Segundo Valeriano (2008), a orientação das vertentes compõe a geometria de exposição da superfície do terreno em representação, ou melhor, é uma medida de ângulo horizontal da direção esperada do escoamento superficial. Em resumo, a orientação das vertentes remete ao sentido do fluxo da água em superfície topograficamente inclinadas.

Curvatura vertical e horizontal

Colângelo (1996) aponta que as vertentes são as feições mínimas do relevo, as quais devem ser entendidas como formas geometricamente mais simples, identificáveis em sensores remotos e cartas topográficas que pode se representar por retilíneas ou curvaturas

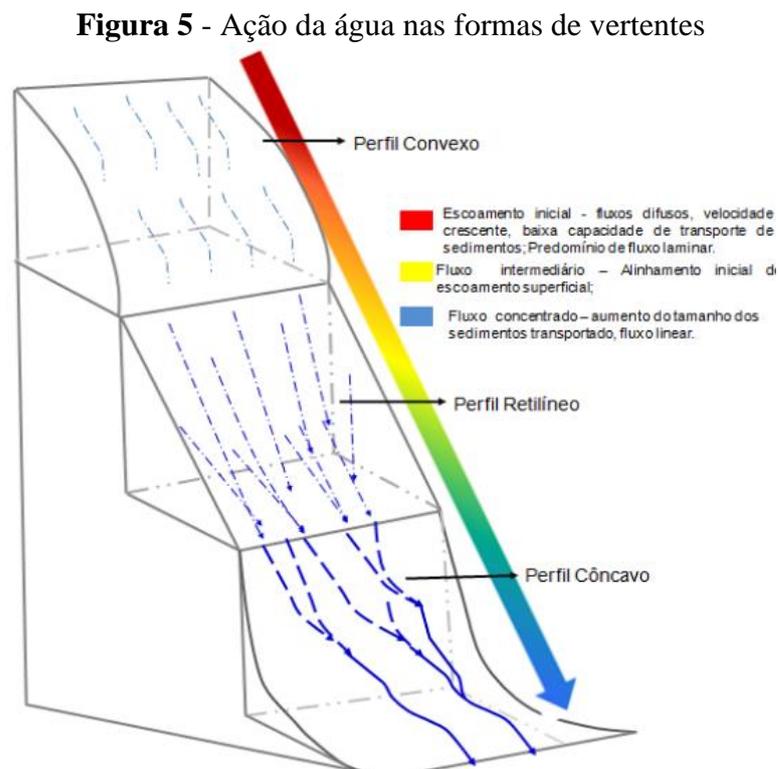
As vertentes são formas modeladas pelos processos de denudação, isto é, erosão. O papel da curvatura horizontal e vertical para análise do relevo remete às características morfológicas do escoamento da água nas vertentes. Valeriano (2008a) diz que as curvaturas combinadas representam uma característica das formas do terreno, que associam propriedades hidrológicas e transporte de sólidos.

A curvatura vertical refere-se ao formato das vertentes quando observadas em perfil côncavas/convexas. A curvatura vertical das vertentes é uma das variáveis que identifica as paisagens homogêneas do relevo e está relacionada com o processo de migração e acúmulo da água, minerais e matéria orgânica no solo por meio da superfície (VALERIANO, 2008).

Dessa maneira, a curvatura vertical desempenha um papel na hidrologia do terreno. O fluxo de água na superfície e forma da encosta (côncava, retilínea e convexa) influencia no processo de escoamento.

Nas encostas com comprimento reto e largura reta, isto é, retilíneas, ocorre o predomínio do fluxo laminar. Em encostas de comprimento reto e largura curva, ou seja, convexas, o escoamento se dá também de forma laminar, ou seja, fluxo disperso. E nas encostas de comprimento curvo e largura curva ou encostas côncavas verifica-se o fluxo concentrado e o aumento do fluxo de água potencializa o transporte de material detrítico (RUHE, 1975; SILVA NETO, 2013).

Por outro lado, a curvatura horizontal indica o formato da vertente quando observada em projeção horizontal. A curvatura horizontal refere-se ao escoamento superficial nas vertentes com a concentração e dispersão dos fluxos de água (SILVA NETO, 2013), conforme a **figura 5**.



Fonte: SILVA NETO (2013).

Segundo Stabile e Vieira (2009), cada parâmetro da topografia de uma vertente leva a distribuição dos fluxos hídricos e conseqüentemente na distribuição dos focos erosivos é de grande importância para a compreensão da erosão.

As curvaturas são características importantes das vertentes, na qual se destacam pelo papel na ocorrência e distribuição das feições erosivas. Os determinados tipos de formas das encostas associadas ao fluxo de água possibilitam e potencializam o surgimento dos processos erosivos.

Vulnerabilidade à erosão

Segundo Costa *et al.* (2006, p.120), o emprego do SIG voltado para “estudos ambientais auxilia na análise fácil e ágil quando há vulnerabilidade local mediante ação humana ou até mesmo mediante as mudanças naturais ocorridas no próprio ambiente”.

A metodologia da vulnerabilidade à perda de solos foi desenvolvida por Crepani *et al.* (2001), do Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais - INPE para capacitar técnicos atuantes na Amazônia Legal na elaboração do Zoneamento Ecológico - Econômico (ZEE) da região. Segundo Crepani *et al.* (2001), a metodologia foi desenvolvida a partir do conceito de Ecodinâmica de Tricart de 1977 que dá potencialidade para estudos integrados das imagens de satélite que permitem uma visão sinótica, repetitiva e holística da paisagem.

Na perspectiva metodológica de Tricart (1977), a ecodinâmica é baseada no estudo da dinâmica dos ecótopos, onde estabelece categorias ou unidades ecodinâmicas que vão desde os “meios estáveis” aos “meios fortemente instáveis” resultantes dos processos de morfogênese ou pedogênese. As unidades ecodinâmicas são resultantes das alterações frequentemente imperceptíveis aos olhos humanos, que se processam em diferentes velocidades e alteram o ambiente natural (ROSS, 2017).

Em síntese, a ecodinâmica é integrada no conceito de ecossistema, e se baseia no instrumento lógico de sistema, nas relações da dinâmica e nos fluxos de energia e matéria importantes para a conservação e o desenvolvimento dos recursos ecológicos (TRICART, 1977).

Ross (2017) salienta que nos estudos voltados à geomorfologia aplicada, as contribuições de Jean Tricart se completam quando propõe que a paisagem seja analisada pelo seu comportamento dinâmico, partindo da identificação das unidades de paisagem, isto é, das unidades ecodinâmicas.

Crepani *et al.* (2001) propõe a vulnerabilidade natural à perda de solo como âncoras para o ZEE permitindo a criação de um modelo no qual se buscou a avaliação de forma relativa e empírica do estágio de evolução morfodinâmica da unidade de paisagem. Assim, os

valores de estabilidade foram atribuídos às categorias morfodinâmicas (CREPANI *et al.*, 2008).

Dessa forma, a metodologia propõe a escala de vulnerabilidade à perda de solo, na qual estabelecem 21 classes de vulnerabilidade distribuídas entre as situações em que há predomínio dos processos de pedogênese e situações de predomínio dos processos morfogênese. Segundo Silva Neto (2013) os elementos da paisagem (geologia, geomorfologia, solos) são definidos como variáveis que são analisadas e abordam os principais elementos que influenciam no desencadeamento dos processos erosivos como tipos de solos, rochas, uso do solo, cobertura vegetal, intensidade pluviométrica e morfologia do relevo.

O poder da chuva, ou melhor, a intensidade pluviométrica é um dos fatores a provocar a erosão dos solos. O fator erosividade da chuva (R) é uma das variáveis da mensuração a erosão dos solos (Equação Universal de Perda de Solo) por meio de dados pluviométricos. É imprescindível a análise do potencial da chuva em causa a erosão, como também no modelamento do relevo.

Erosividade da chuva

A água é um agente ativo no modelamento do relevo desde o intemperismo nas rochas até a erosão dos solos. No que se refere à superfície, a água da chuva é a principal causa do fator de erosividade do solo, ou seja, a água é o principal agente causador da erosão. Segundo Lombardi Neto e Moldenhauer (1992), o potencial de erosão de uma chuva provoca a perda do solo por uma unidade de área desprovida de cobertura vegetal e com ocupações e/ou usos humanos.

A erosão é um processo natural de desagregação e transporte das partículas do solo tendo como principal agente a ação da água, erosão hídrica (como já mencionado). Crepani *et al.* (2004) apresentam a erosão como produto da interação entre chuva e solo sendo aquela resultante do poder desta e da capacidade do solo em resistir a ela. Em outras palavras, toda água que cai sobre o solo possui uma energia capaz de desagregar, ou não, as partículas que compõem o solo, dependendo de fatores como o volume, frequência, duração, movimento, intensidade e tamanho.

Para Silva *et al.* (2003), a erosividade representa o índice de erosão pela chuva no qual desprendem partículas do solo no local que sofre o impacto, transporte por salpicamento das partículas desprendidas e imprimem energia em forma de turbulência da água superficial.

Segundo Zachar (1982, SILVA *et al.*, 2013) a erosão e as medidas de controle de erosão são objeto de diversos estudos em que se tem como objetivo classificar áreas erodidas. Estes objetivos podem ser alcançados por vários métodos como: nivelamento, crescimento de vegetação, climatológicos, pluviossimulação, deluométrico, pedológico, monolítico, morfométrico, hidrológico e matemático.

Dessa forma, dar-se-á destaque para o método da pesquisa erosiva de cunho morfométrico, isto é, que corresponde a investigação dos processos erosivos através de métodos geomorfométricos.

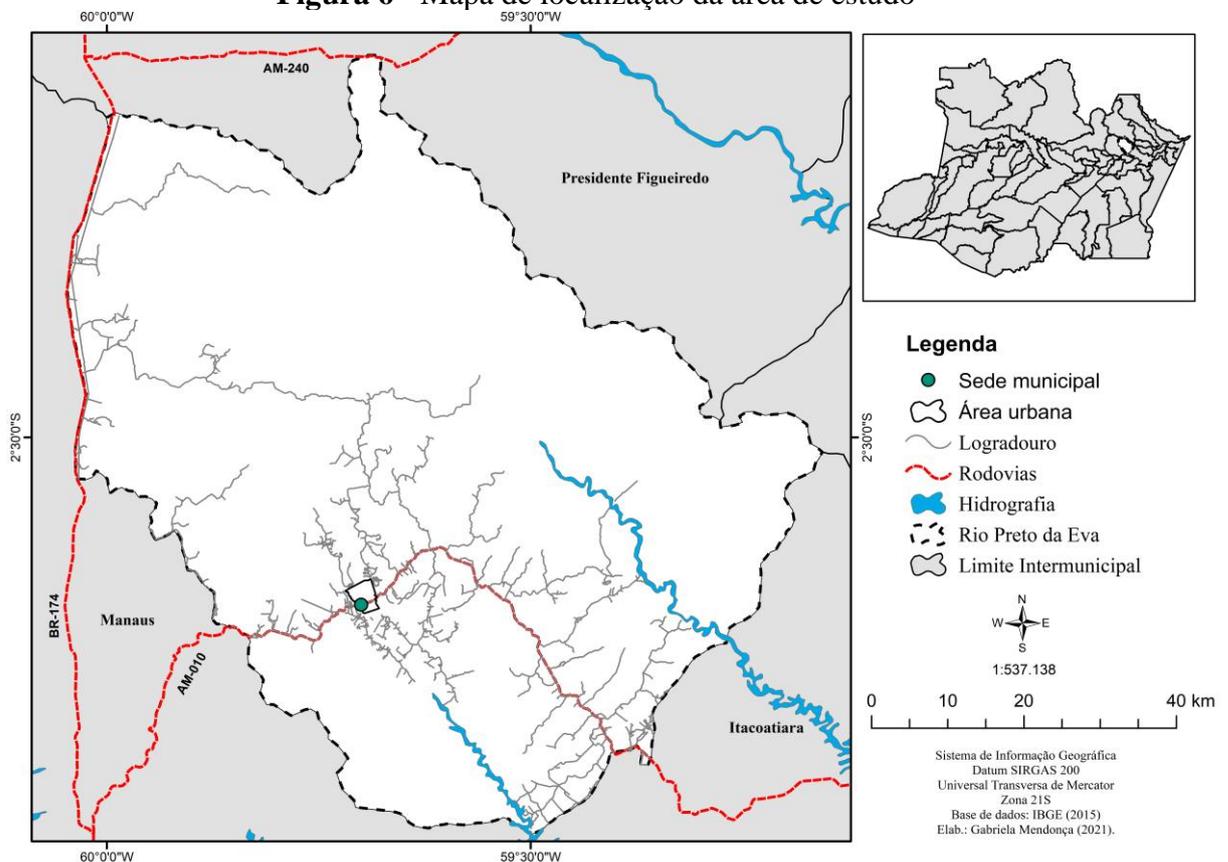
Segundo Davicari (2009), a influência do relevo nos processos de perda de solo é consequência da sua morfologia, que se subdivide em: aspectos morfográficos e parâmetros morfométricos. Os aspectos morfográficos remetem ao terreno quanto à sua forma e à sua aparência. Já os parâmetros morfométricos são quantitativos das formas do relevo, como o grau de dissecação do relevo pela drenagem, a declividade e a amplitude altimétrica.

CAPÍTULO II- CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Localização

Rio Preto da Eva é um dos 62 municípios que compõem o estado do Amazonas. Com uma extensão territorial de aproximadamente 5.815 km² para uma população de 34.106 habitantes (IBGE. 2020). A área de estudo corresponde a toda extensão do município de Rio Preto da Eva. São limítrofes: Manaus (oeste), Presidente Figueiredo (norte) e Itacoatiara (sul). A principal via de acesso à cidade é por meio da rodovia estadual AM-010, que liga os municípios de Manaus e Itacoatiara (**figura 6**).

Figura 6 - Mapa de localização da área de estudo



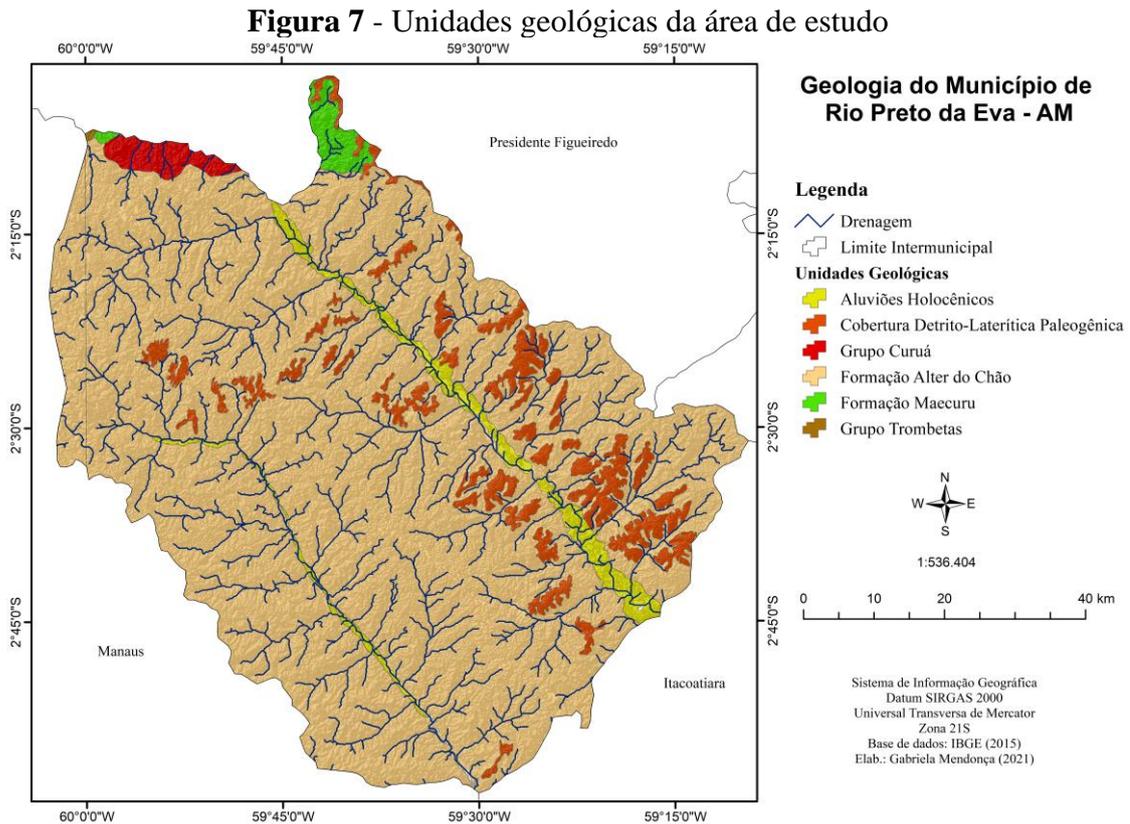
Org.: Gabriela Mendonça (2021).

Geologia

A gênese da atual paisagem geomorfológica do Estado do Amazonas, em consequência do município de Rio Preto da Eva, remonta da fragmentação do Cratón Amazônico no Paleozóico, a qual foi estruturada a Bacia Sedimentar Amazônica. A bacia é constituída de uma unidade sedimentar intracratônica fanerozóica que se limita com o Escudo das Guianas (norte) e com o Escudo do Brasil Central (sul), conforme Reis (2006). Mendes *et al.* (2012) enfatizam que a bacia do Amazonas, de área de aproximadamente 500 mil km², é

predominante rochas siliciclásticas do Paleozóico, intrudidas durante o Mesozóicos por diques e soleiras de diabásio.

O município possui seis unidades geológicas: Formação Alter do chão, Coberturas Detritos-lateríticas Paleogénico, Grupo Curuá, Grupo Trombetas, Formação Maecuru e Aluviões holocênicos (IBGE, 2010), conforme na **figura 7**.



Org.: Gabriela Mendonça (2021).

Em sua grande extensão (**figura 7**), o município está coberto pela Formação Alter do Chão (Cenozóico) que corresponde a arenitos avermelhados e esbranquiçados, finos a médios, siltitos e argilitos geralmente avermelhados e rosados, ferruginosos, conglomerados lenticulares, mal selecionados, com seixos arredondados e subarredondados (IBGE, 2010). Sarges (2007) enfatiza que sobreposto a formação Alter do Chão ocorrem depósitos aluviais, distribuídos às margens dos rios Negros e Amazonas, e com depósitos coluviais areno-argilosos e argilosos-arenosos cuja ordenação estratigráfica ainda não está definida.

Sobre a Formação Alter do Chão foram depositados sedimentos aluviais e coluviais durante o período Cenozoico, com a ocorrência de perfis lateríticos e solos sobre o topo da formação que evidencia a atuação do intemperismo na região (SARGES, 2007). No

interflúvio entre os rios Preto da Eva e Urubu ocorrem duplos e sistemas imbricados afetando os sedimentos da Formação Alter do Chão (SANTOS, 2006).

A morfologia da formação decorre de um longo processo de elaboração e espessos perfis intempéricos lateríticos, com desenvolvimento de horizontes ferruginosos concrecionários e horizontes aluminosos (COSTA, 1991). O entulhamento da Bacia Sedimentar do Amazonas (Paleógeno) provocou o processo de epirogênese rebaixando o nível de base regional e soerguendo os depósitos cretáceos colocando a formação Alter do Chão à erosão subaérea (DANTAS e MAIA, 2010).

A formação possui núcleos alongados lateralmente por lineamentos que são apontados NE-SW e NW-SE, com uma geomorfologia de relevos dissecados formados por colinas e planaltos sustentados por níveis ferrossensianos de paleossolo laterítico (GONÇALVES JÚNIOR et al, 2016).

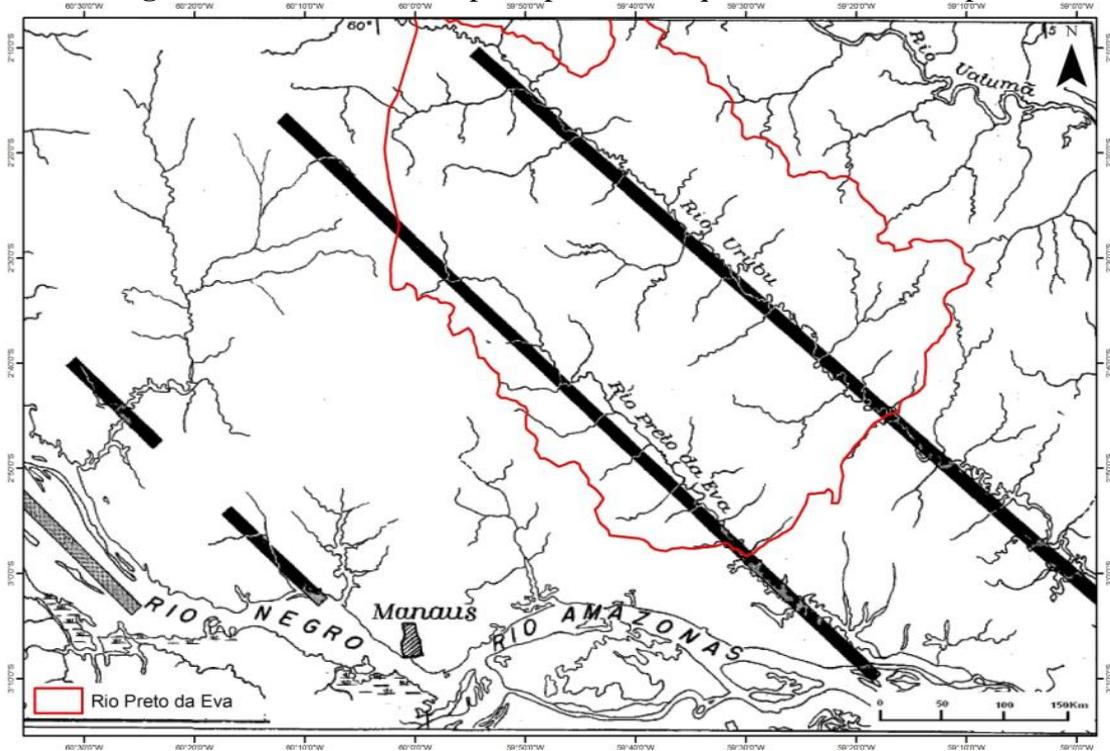
Ao longo da bacia do rio Urubu e algumas manchas dispersas no município, há Cobertura Detrito-Laterítica Paleogênica, constituídas de zona argilosa caulinítica, zona bauxítica com concreções e lentes gibsiticas, zonas ferruginosas concrecionária, zona pisolítica nodular, capeamento argiloso (IBGE, 2010). Essas zonas são resultantes de processos intempéricos que atuaram indiscriminadamente sobre rochas de gênese e idades distintas, produzindo nas rochas espessas coberturas detrito-laterítica, caracterizada pela intensa lixiviação dos elementos mais solúveis (sódio, potássio, cálcio e magnésio), concentração dos mais resistentes (ferro e alumínio) e produção de minerais secundários do grupo das argilas (MAIA e MARMOS, 2010).

Ao norte do município, no limite com o município de Presidente Figueiredo, encontra-se o Grupo Trombetas (Ordoviciano) intercalações de arenitos, siltitos e folhelhos, havendo predominância de arenitos na base e folhelhos no topo. A Formação Maecuru (Devoniano) arenitos finos a conglomerados, micáceos, com níveis de siltitos e silicificados, folhelhos, siltitos e arenitos intercalados, bioturbados, e com níveis de hematíticos e sideríticos. E o Grupo Curuá (Devoniano) que corresponde às Formações Barreirinha, Curiri, Oriximiná e Faro (IBGE, 2010).

E, ao longo das planícies fluviais ocorre a deposição de Aluviões holocênicos (Cobertura Cenozóica) que revelam uma morfologia características de planície sedimentar formados por conglomerados, arenitos e argilitos (IBGE, 2010).

No contexto tectônico, o município exibe lineamentos estruturais que controlam o sistema de drenagem (**figura 8**). Sternberg (1950), o pioneiro em neotectônica na Amazônia já sinalizava os abalos sísmicos ocorridos na Amazônia.

Figura 8 - Paralelismo dos principais canais que drenam o município



Fonte: STERNBERG (1954). Org.: Gabriela Mendonça (2019).

A neotectônica anunciada por Sternberg em "*Vales tectônicos na planície amazônica?*" de 1950, demonstra que os rios amazônicos, em especial os rios da Amazônia Ocidental, são condicionados por falhas tectônicas modernas provenientes de um tectonismo desde o Neógeno, vigente até os dias de hoje, que causam mudanças significativas na paisagem física amazônica (SILVA e ROSSETTI, 2009).

Veloso (2014), em seu trabalho "*On the footprints of major Brazilian Amazon earthquake*" traz novos *insights* acerca da sismicidade sobre o "possível" terremoto ocorrido em 1690 na região do Município de Rio Preto da Eva. O autor acrescenta que o provável epicentro do tremor de 1690 tenha ocorrido na margem esquerda do Amazonas entre os afluentes do rio Jatuarana e rio Preto da Eva, localizado a cerca de 45 km a jusante da cidade de Manaus. Diante disso, o possível terremoto na região teria causado a mudança no ambiente nas proximidades do município. O que sinaliza um relevo neotectonicamente controlado.

Salientando que na história geológica da Bacia do Amazonas, durante o Neógeno, houve movimentações (neotectônica) do tipo transcorrentes dextral, a bacia foi instalada sob

um segmento crustal espessado e estruturalmente controlado por meio de falhas normais. Essas falhas de transferência NW/SE afetaram posteriormente a bacia, segmentando-a em uma série de lineamentos que orientados de E para W, foram denominados de Manacapuru - rio Negro, Urubu - Crepori, Faro - Juriti, Paru - Anapu e Jari – Pacajaí (WANDERLEY FILHO, 1991).

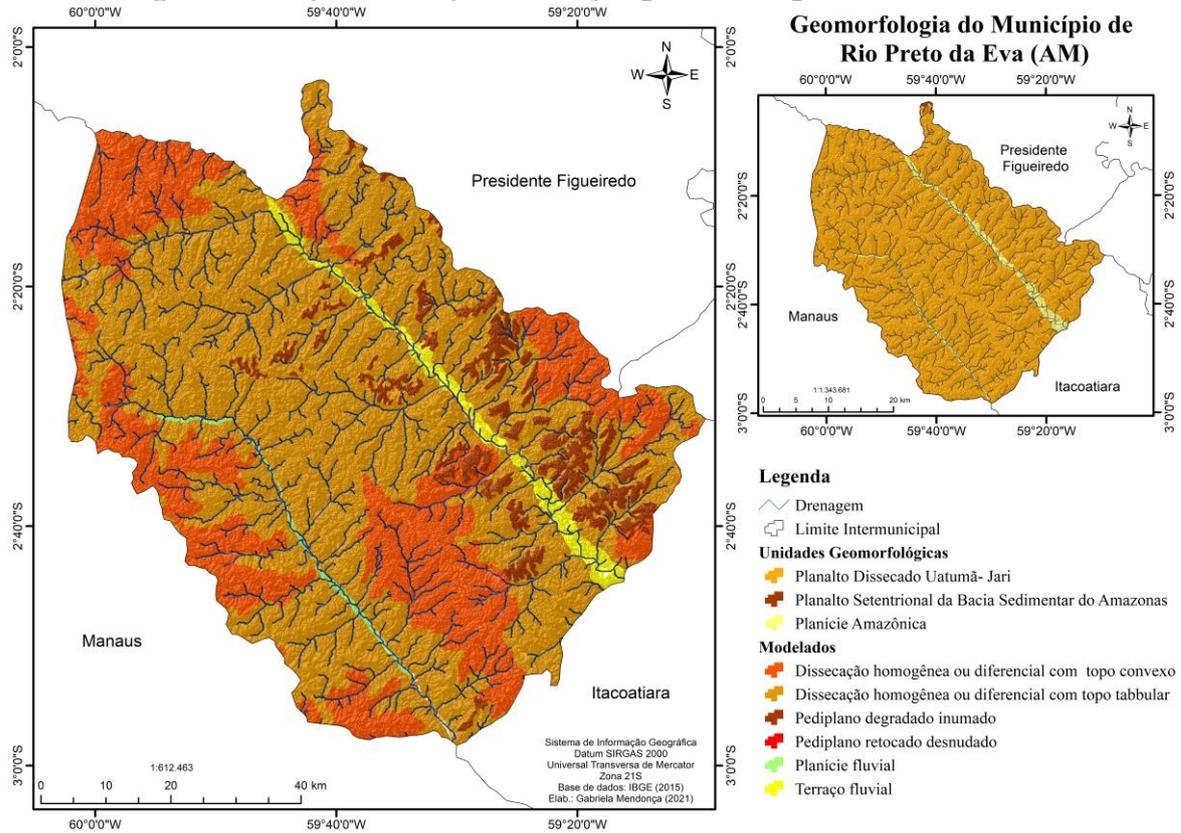
Silva (2005), aponta que a inflexão dos rios Preto da Eva e Urubu em ângulo reto ou em cotovelos e a formação de feixes paralelos desses segmentos apontam a evidência tectônica. Costa *et al.* (1996) afirmam que ao longo da rodovia AM-010, no trecho situado entre os rios Preto da Eva e Urubu, as falhas inversas mergulham em torno de 40° graus em orientação SE, o que define um sistema imbricado, e as falhas normais que controlam a orientação dos rios Preto da Eva e Urubu, onde compreendem elementos morfoestruturais encaixados em escarpas de falhas orientados segundo NW-SE.

Silva (2005) destaca em Rio Preto da Eva as camadas da Formação Alter do Chão e horizonte de solo possuem fraturas NW-SE, NE-SW e N-S, e cerca de 17 km após as fraturas são encontra falhas normais N45W/45SE. E no trecho entre o Rio Preto da Eva e o Rio Urubu predomina falhas inversas com direção N86W/45SW cortando os sedimentos da Formação Alter do Chão.

Geomorfologia

O primeiro mapeamento sistemático realizado no Amazonas foi do Projeto RadamBrasil (escala 1:250.000) nos anos 70, na qual classificou a região do município como Planalto Dissecado Rio Trombetas-Rio Negro e Planalto da Bacia Sedimentar do Amazonas (BRASIL, 1976). No entanto, IBGE (2010) ao mapear a Geomorfologia do Estado do Amazonas, classificou o município em três unidades geomorfológicas, sendo elas: Planície Amazônica, Planalto Setentrional da Bacia Sedimentar do Amazonas e Planalto dissecado dos rios Uatumã-Jari (**figura 9**).

Figura 9 - Mapa da Compartimentação geomorfológica da área de estudo



Org.: Gabriela Mendonça (2021).

Ao longo dos canais hidrográficos encontra-se a Planície Amazônica datada dos Depósitos Sedimentares Quaternário. A planície é uma área plana resultante de acumulação fluvial, sujeita a inundação periódica, correspondendo às várzeas atuais (IBGE, 2010).

Ao norte do município apresenta uma estreita faixa do Planalto Setentrional da Bacia Sedimentar do Amazonas com modelado de aplainamento de superfície aplainadas parcialmente conservada, tendo perdido a continuidade em consequência de mudança dos sistemas morfogenéticos, apresenta conservada ou levemente dissecadas a/ou separada por escarpas ou ressaltos de outros modelados de aplainamento e de dissecação correspondentes aos sistemas morfogenéticos subsequentes (IBGE, 2010).

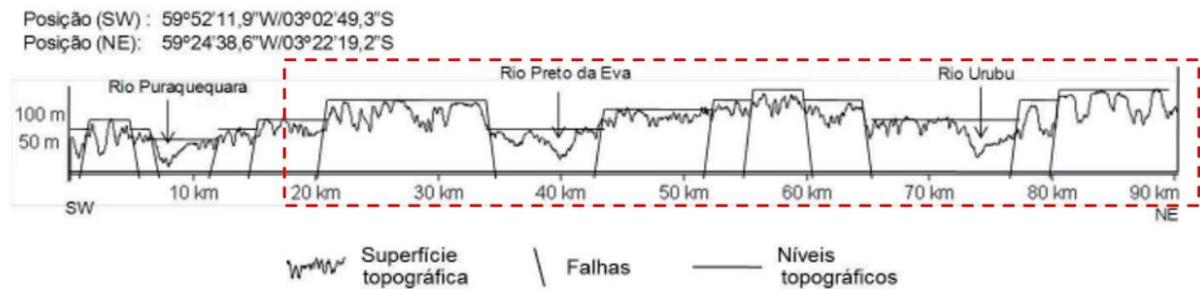
O município está assentado, em sua maior parte, no Planalto Uatumã-Jari com modelados de dissecação de forma homogênea com predominância de colinas e interflúvio tabulares com conjunto de formas de relevo que delineiam feições de rampas suavemente inclinadas e lombadas, geralmente esculpidas em rochas sedimentares (IBGE, 2010).

A dissecação do relevo do Planalto Uatumã- Jari, iniciou-se com o término da sedimentação da Formação Alter do Chão. Além disso, o processo de esculturação deve-se a componente Neotectônica (DANTAS e MAIA, 2010).

Silva (2005) enfatiza que a unidade que envolve as bacias dos rios Preto da Eva e Urubu se caracteriza pelas escarpas de falhas desses rios com direção NW-SE, a orientação dos rios afluentes que estão paralelos ao canal principal e a forte dissecação do relevo segundo a direção NE-SW.

Para Carvalho e Tomasella (2013) as falhas definidoras dessas estruturas (rios Puraquequara, Preto da Eva e Urubu) estão associadas ao *trend* de direção NW-SE, como reflexo da estruturação do embasamento, as quais influenciam fortemente na morfologia do relevo, com rejeitos evidentes na superfície (**figura 10**)

Figura 10 - Perfil topográfico transversal aos vales dos rios Puraquequara, Preto da Eva e Urubu, destacando, esquematicamente, os efeitos tectônicos na morfologia do relevo. Em vermelho simbolizando a área do município em estudo



Fonte: CARVALHO e TOMASELLA (2013). Org: G Gabriela Mendonça (2021).

Vegetação

De acordo com a classificação de Troppmair (2012), a área de estudo está situada na Floresta Equatorial da Amazônia que abrange vários tipos de florestas. O município exhibe cinco classes de vegetação, sendo elas: Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas, Floresta Ombrófila Densa Aluvial, Floresta Ombrófila Densa Submontana, Floresta Ombrófila Aberta Aluvial e Vegetação secundária (IBGE, 2010).

É predominante a vegetação do tipo de Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas ocupando áreas de platôs e vales em terrenos que não ultrapassam 100 m de altitude com vegetação de grande porte e emergentes (IBGE, 2010), conforme a **figura 11-A**. Ao longo dos rios ocorre o predomínio da Floresta Ombrófila Densa Aluvial (**figura 11-B**), que ocupa as planícies inundadas/periodicamente inundáveis e terraços quaternários, com espécies de

rápido crescimento, casca lisa e troncos com anomalias como reforços de raízes aéreas ou tabulares.

Figura 11 - Vegetação Ombrófila (A) e Vegetação do tipo ombrófila aberta aluvial (B) ao longo do curso do rio Preto da Eva



Fonte: Trabalho de campo. Foto: Gabriela Mendonça (2019).

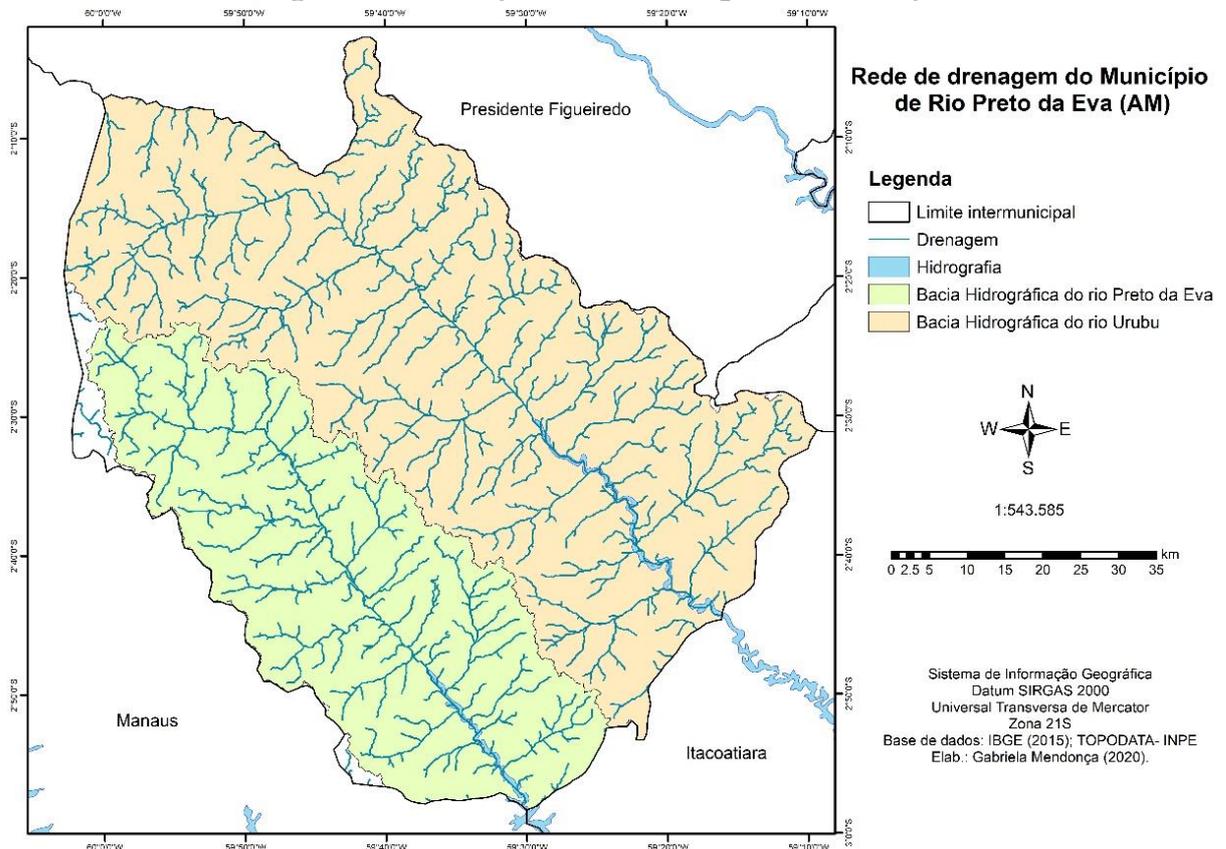
O município apresenta uma estreita faixa ao norte da Floresta Ombrófila Densa Submontana, sendo encontrada em terrenos antigos ou cristalinos em áreas altimétricas de 100 a 600 metros com uma alta diversidade florística, suas árvores raramente ultrapassa os 30m de altura (IBGE, 2010; IBGE, 2012). A Floresta Ombrófila Aberta aluvial ocupa as planícies sedimentares holocênicas, ou seja, estão presentes ao longo dos cursos d'água que sofrem influência do sistema hidrográfico com fisionomia onde predominam palmeiras, cipós, bambus (IBGE, 2010; IBGE, 2012).

Além disso, o município exibe a cobertura vegetal antrópica caracterizada como tipo de Vegetação Secundária. Esse tipo de vegetação está em áreas que sofreram interferência parcial ou total da estrutura vegetal primária pelo homem, tais como, atividades agrícolas, urbanização, mineração, entre outras (IBGE, 2010; IBGE, 2012).

Hidrografia

O estado do Amazonas por estar inserido na Bacia hidrográfica da Amazônia, apresenta um complexo sistema de drenagem com uma área de aproximadamente 6 milhões de km². O município de Rio Preto se destaca pela densa drenagem devido a morfologia do relevo, onde os rios Preto da Eva e Urubu são zonas de interflúvio que dissecam os seus vales. O município é cortado de NW/SE pelos rios Preto da Eva e Urubu afluentes da margem esquerda do rio Amazonas (**figura 12**).

Figura 12 - Principal rede de drenagem no município



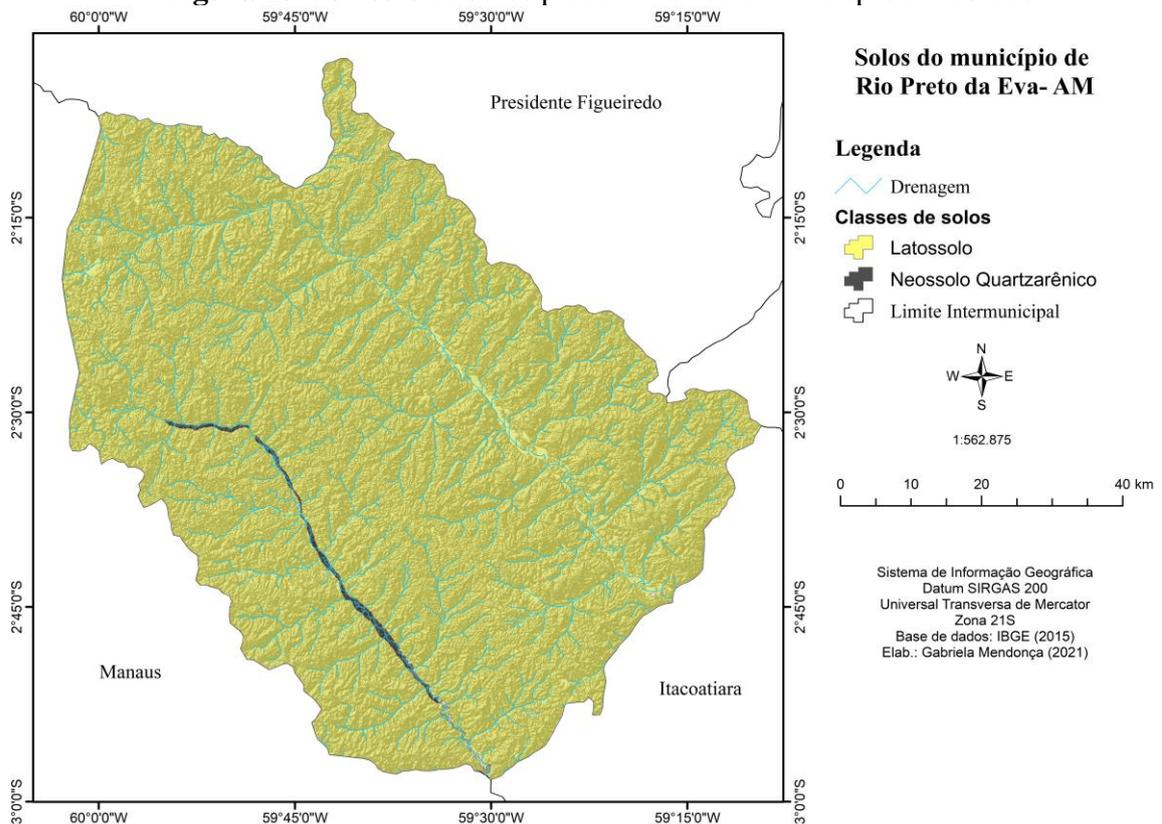
Org: Gabriela Mendonça (2021)

Solos

Na área de estudo pode ser destacada algumas classes de solos, como o Latossolo Amarelo e Neossolo Quartzarênico (**figura 13**). A primeira classe é caracterizada por ser um solo bastante evoluído, e constituído por material mineral, apresentando horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte A (EMBRAPA, 2006; CPRM, 2009).

No Paleógeno e Neógeno (Cenozoico), as rochas sedimentares predominantes na Bacia Sedimentar foram submetidas ao intemperismo, em especial ao químico, e lixiviação, originaram profundos mantos de alteração de espessura decamétrica e formações supergênicas representadas por diferentes fases de formação de perfis lateríticos, onde produziu solos muito desenvolvidos e lixiviados, com os Latossolos, (HORBE *et al.*, 2003 apud MAIA e MARMOS, 2010).

Figura 13 - Classes de solos predominante no município em estudo



Org.: Gabriela Mendonça (2021).

A segunda classe de solo, os Neossolo Quartzarênico, é caracterizada por ser pouco evoluída a partir de sedimentos arenoquartzosos ou de arenitos, e constituída por material mineral (hidromórficos ou não) ou por material orgânico pouco espesso, e que não apresentam alterações expressivas em relação ao material originário pois apresenta uma baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos por completa ausência de horizonte B (EMBRAPA, 2006; CPRM, 2009; MAIA e MARMOS, 2010).

Clima

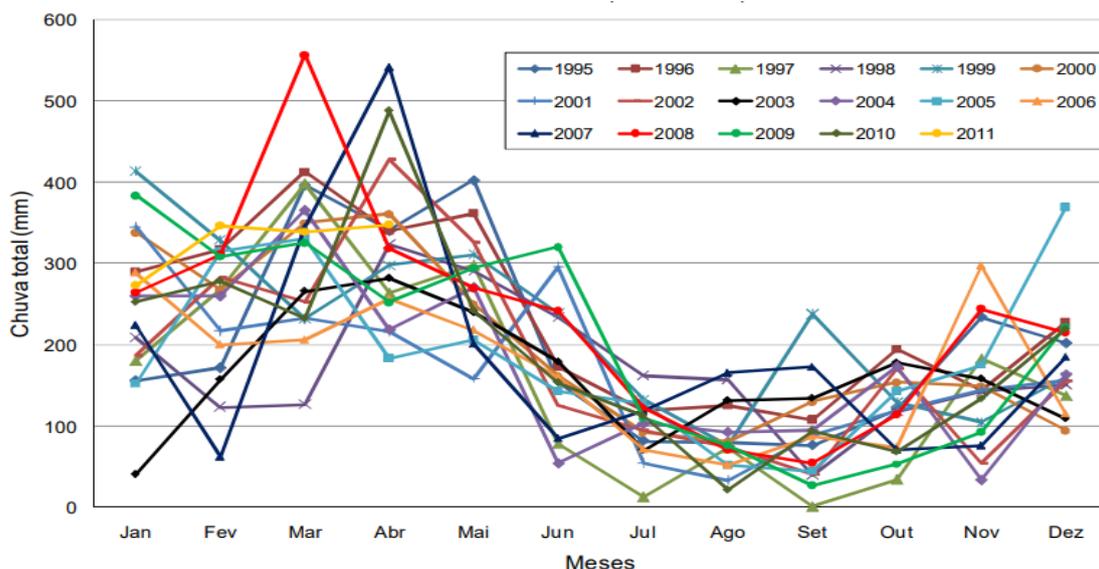
O clima na Amazônia de forma geral segundo Troppmair (2012) é caracterizado como Clima Equatorial com elevada precipitação anual de 1.500 a 4.000 mm distribuídas sobre os meses do ano. Mendonça e Oliveira (2007), enfatizam que o clima equatorial não apresenta grande amplitude térmica diária ou sazonal devido à grande umidade atmosférica e a intensa nebulosidade.

Conforme Fisch *et al.* (1998) o período de forte chuva na região amazônica corresponde entre os meses de novembro e março, sendo que, o período de seca ocorre entre os meses de maio e setembro. Nos meses de dezembro a fevereiro correm uma distribuição de

chuvas com precipitação superior a 900 mm na parte oeste (Manaus e adjacência) e centro da Amazônia.

Dubreuil *et al.* (2018) propõem utilizar a classificação de Köppen para definir os Tipos de Climas Anuais (TCA), dessa forma, o município de Rio Preto apresenta características de clima de monções que se aplica aos anos onde a precipitação do mês mais seco é inferior a 60 mm, sendo portanto, o tipo Am. Carvalho (2012), menciona que segundo os dados da estação pluviométrica de Rio Preto da Eva do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), o município no período de 1995 a 2011 a média de chuva foi de 2.295 mm com a máxima de 2.815 mm no ano de 1996 e mínima de 1.931mm no ano de 1997. O autor ainda acrescenta que de modo geral, o maior volume de chuva ocorre na estação úmida nos meses de dezembro e maio, sendo que o menor volume precipitado é referente aos meses de julho e novembro (**figura 14**).

Figura 14 - Volumes médios mensais de chuva para o período de Jan/1995 a Ago/2011, medidos na Estação Pluviométrica de Rio Preto da Eva (ANA/CPRM)



Fonte: CARVALHO (2014).

Aspectos sociais

Histórico do Município

O município de Rio Preto da Eva surgiu devido a abertura da rodovia que liga as cidades de Manaus a Itacoatiara. Lins (1965), enfatiza que em 1965 o Governo do Estado do Amazonas inaugura a estrada Manaus-Itacoatiara (AM-10) sendo um acontecimento pioneiro a abertura ao tráfego de veículos da ligação por via terrestre.

Nos anos 60, o Governo do Estado do Amazonas, através do DER/AM deu início aos trabalhos de topografia e desmatamento da estrada de rodagem. Com a abertura dessa rodovia, a aquisição por terras às margens da estrada começou a crescer, em consequência dando origem a uma colônia.

Nos anos de 1961, a colônia foi elevada à categoria de Município da Eva, sob o governo Gilberto Mestrinho, com sede em um sítio do mesmo nome às margens do Rio Grande. O crescimento populacional da colônia provocou a criação a Colônia Agrícola do Rio Preto (CARP) por meio da Secretaria Estadual de Produção Rural (SEPROR) que beneficiou os colonos locais tanto na divisão de seus lotes de terra como na produção agrícola (RIO PRETO DA EVA, 2019).

No entanto, em 1964 foi extinto o município de Eva pelo governador do estado Arthur César Ferreira Reis. A colônia, já com um total de sessenta famílias, praticava a agricultura de subsistência e produzia farinha, feijão, arroz, milho, abacaxi, cupuaçu e cana, de 1964 a 1981, pela Emenda Constitucional n. 12, de 10-12-1988, Rio Preto da Eva foi elevado à categoria de município pela segunda vez, desmembrando-se dos municípios de Itacoatiara, Manaus e Silves (IBGE, 2019). O município recebeu o nome em homenagem às águas escuras do rio que banha a localidade e desemboca no Paraná da Eva.

Dados socioeconômicos

No que diz respeito à economia, parte da extensão territorial do município de Rio Preto está localizada no Distrito Agropecuário da Suframa pertencente a área de livre comércio da Zona Franca de Manaus (ZFM). O Distrito agropecuário está situado no interior dos municípios de Manaus, Rio Preto da Eva e Itacoatiara com limites no sentido N/S pela BR - 174 e em sentido L/O pela rodovia AM 010 (SOUZA e FREITAS, 2015).

O município é a 6º maior economia do estado do Amazonas com o PIB per capita de R\$ 14.234,32 em 2016 (IBGE 2010). A principal atividade econômica do município é do setor primário, conforme Amazonas (2017) o PIB- Produto Interno Bruto do município corresponde cerca de 150 milhões de reais, na qual R\$ 35 milhões na receita bruta é proveniente da produção da laranja. O município também faz cultivo da banana que corresponde R\$ 27 milhões, piscicultura respondendo por R\$ 32 milhões, e a produção de gramas por R\$ 30 milhões.

Além disso, o município realiza a prática de turismo rural de base familiar. Conforme Begnini (2010), em 2005 o município deu os primeiros passos para viabilizar o turismo rural

com base no Plano Nacional de Agricultura Familiar (PNTRAF), na qual consiste em uma atividade em que os proprietários rurais dispõem em compartilhar seu modo de vida com os visitantes.

CAPÍTULO III - METODOLOGIA

A presente pesquisa segue as etapas de Libault (1971) que propôs quatro níveis da pesquisa geográfica: compilatório, correlativo, semântico e normativo para o tratamento quantitativo da informação e tem uma aplicação mais ajustada para dados de natureza numérica.

O nível compilatório corresponde a primeira fase da pesquisa com o levantamento e obtenção de dados. A segunda fase corresponde ao nível correlativo, associação dos dados compilados para posteriormente estabelecer a interpretação. O nível semântico corresponde a terceira fase, na qual consiste na interpretação chegando nos resultados conclusivos a partir dos dados selecionados e correlacionados. E por último, o nível normativo, referente a fase em que o produto de pesquisa se transforma em modelo cartográfico ou de gráficos que traduzem a forma mais simples da pesquisa (LIBAULT, 1971).

Este estudo tem como método de pesquisa a abordagem Sistêmica. O método sistêmico consiste no conjunto de objetos ou atributos e suas relações, organizadas para executar uma função particular (MENDONÇA, 1997). Para Christofolletti (1980), a aplicação da teoria dos sistemas aos estudos geomorfológicos auxilia para melhor focalizar as pesquisas e para delinear com maior exatidão o setor de estudo dessa ciência.

Descrição do relevo de Rio Preto da Eva com base nos dados geomorfométricos

Os procedimentos técnicos adotados para a descrição do relevo consistem na extração de Informações Geomorfométricas do município em estudo por meio do Sistema de Informação Geográfica-SIG tendo como base de dados o TOPODATA- INPE.

Segundo Sampaio e Augustin (2013), a análise do relevo em nível de Brasil, possuem duas correntes metodológicas, que são empregadas nos estudos técnicos: 2D e 3D. Este trabalho, terá como base metodológica de análise do relevo em 3D, em que está relacionada a dados morfométricos, resultantes de análise e processamento de Modelo Digital de Elevação – MDE.

Os dados do TOPODATA - Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil, oferecem o Modelo Digital de Elevação (MDE) e suas derivações locais básicas em cobertura nacional elaborados a partir dos dados SRTM (Shuttle Radar Topography Mission).

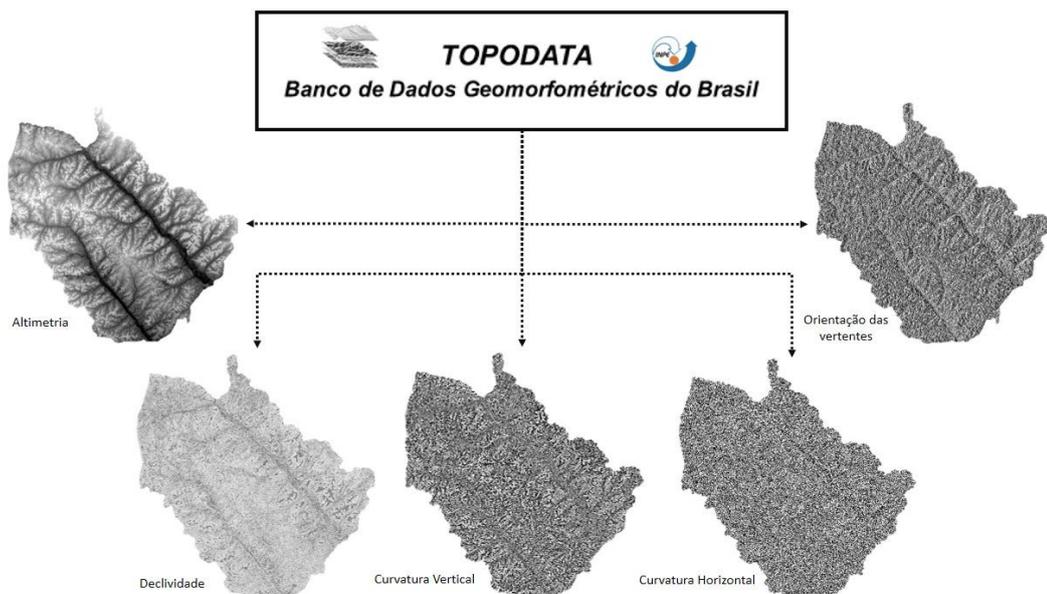
Valeriano (2008) enfatiza que os dados SRTM apresentam resolução horizontal (i. e., resolução espacial) de 3 arco-segundos (~90 m) e resolução vertical de 1m, sendo que toda a

aquisição dos dados SRTM foi planejada a suprir mapeamentos em escalas entre 1:100.000 e 1:250.000.

Conforme Leda *et al.* (2015), o uso do TOPODATA foi indicado para áreas que não apresentem mapeamentos planialtimétricos mais detalhados possibilitando a detecção de mudanças abruptas do relevo. Para Silva Neto (2013), os dados geomorfométricos disponibilizados pelo TOPODATA ampliou a resolução espacial dos dados da SRTM de 90 m para 30 m cada pixel por meio do método de interpolação por Krigagem.

A extração dos dados geomorfométrico do relevo são: **hipsometria, orientação de vertentes, curvatura vertical, curvatura horizontal e declividade (figura 15)**. Estas feitas de forma gratuita na plataforma do TOPODATA (<http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>) das folhas 02_60 e 02_615.

Figura 15 - Variáveis geomorfométricas brutas extraídas no site do INPE



Org.: Gabriela Mendonça (2021).

A elaboração do mapa do **Modelo Digital de Elevação (MDE)** consistiu nas imagens do TOPODATA, com o objetivo de representar a elevação do terreno. Com a mesma base de dados, foi realizado a extração de curvas de níveis e a elaboração de perfis topográficos transversais.

Realizou-se a identificação da **orientação das vertentes** no terreno. Esse método remete a verificação da direção da declividade em um algoritmo que analisa os valores de elevação. Conforme Valeriano (2008), a orientação das vertentes corresponde ao ângulo azimutal à maior inclinação do terreno onde é expressa em graus, de 0° a 360°.

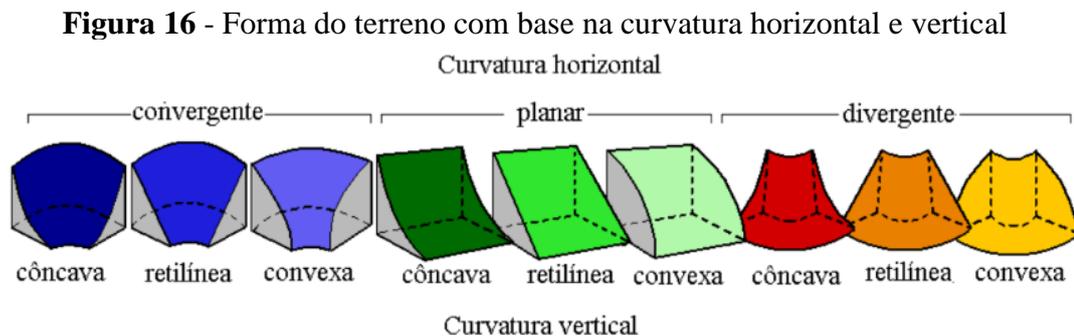
Para a caracterização das **formas de vertentes predominantes no relevo** foi utilizado as variáveis de curvatura horizontal (convexo, côncavo e retilíneo) e curvatura vertical (planar, convergente e divergente) (**quadro 02**).

Quadro 2 - Parâmetros de classificação da curvatura horizontal e vertical

CURVATURA HORIZONTAL	CURVATURA VERTICAL	ID	CANAIS		
			R	G	B
Convergente	Côncavo	5	0	0	155
	Retilíneo	6	58	58	220
	Convexo	7	161	181	255
Planar	Côncavo	9	0	124	0
	Retilíneo	10	0	205	0
	Convexo	11	205	255	209
Divergente	Côncavo	13	213	0	0
	Retilíneo	14	233	142	0
	Convexo	15	255	240	0

Fonte: VALERIANO (2008). Org.: Gabriela Mendonça (2021).

A partir da extração das variáveis da forma do terreno (curvatura horizontal e vertical), as informações foram representadas por cores. A paleta de cores estabelecida tem a matiz como expressão da curvatura horizontal e o brilho como expressão da curvatura vertical (VALERIANO, 2008), conforme a **figura 16**.



Fonte: VALERIANO (2008).

Para a análise da **declividade**, os critérios das classes foram elaborados a partir da classificação estabelecida pela EMBRAPA (2018), sendo representado em porcentagem (%), **quadro 03**.

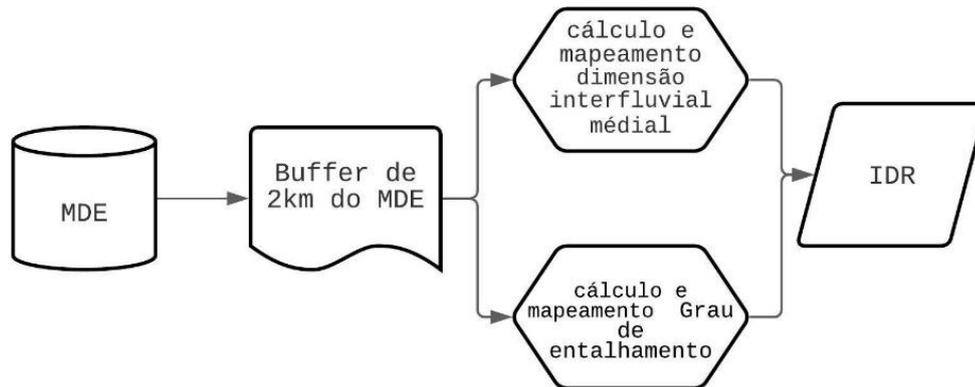
Quadro 3 - Critérios para análise da declividade do relevo

DECLIVIDADE (%)	CLASSES DE RELEVO	CARACTERÍSTICAS
0 - 3	Plano	Superfície de topografia esbatida ou horizontal, onde os desnivelamentos são muito pequenos.
3 - 8	Suave ondulado	Superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas e/ou outeiros apresentando declives suaves.
8 - 20	Ondulado	Superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas e/ou outeiros, apresentando declives moderados.
20 - 45	Forte-ondulado	Superfície de topografia movimentada, formada por outeiros e/ou morros e raramente colinas, com declives fortes.
45 - 75	Montanhoso	Superfície de topografia vigorosa, com predomínio de formas acidentadas, usualmente constituídas por morros, montanhas, maciços montanhosos e alinhamentos montanhosos, apresentando desnivelamentos relativamente grandes e declividades fortes e muito fortes.

Fonte: EMBRAPA (2018). Org.: Gabriela Mendonça (2021).

Outro fator importante para o estudo da descrição geomorfológica do relevo, é o nível de **dissecação do relevo**. Realizou-se o mapeamento do Índice de Dissecação do Relevo (IDR) para o município em estudo com base na metodologia de Ross (1994; 2017) adaptada as características do relevo do município. O fluxograma abaixo exhibe o procedimento realizado para obtenção do mapa de IDR.

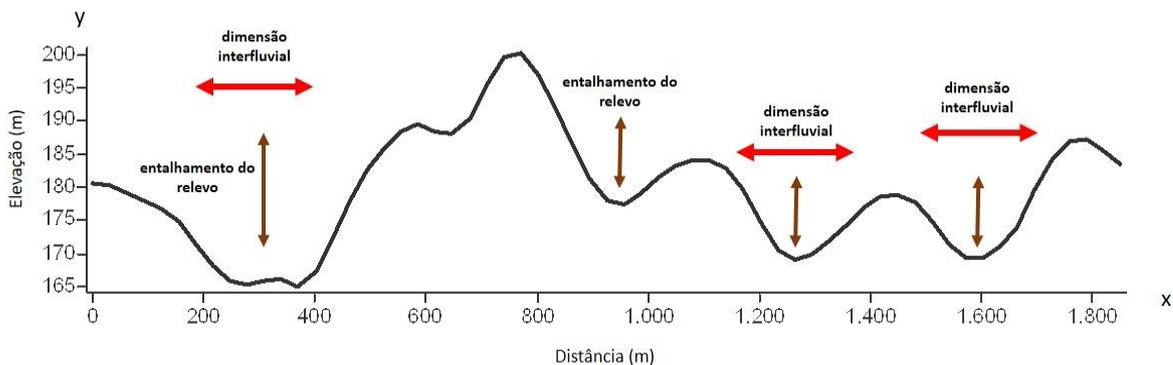
Figura 17 - Fluxograma sintetizando as etapas de mapeamento do índice de dissecação



Fonte: GUIMARÃES *et al.* (2017). **Org.:** Gabriela Mendonça (2021).

O mapeamento da **dimensão interfluvial média** (x), partiu da delimitação das bacias hidrográficas com o cálculo da distância euclidiana média entre os divisores de água. Para o **grau de entalhamento do relevo** (y) foi obtido o grau de entalhamento de cada pixel da imagem do MDE na diferenciação altimétrica entre a superfície de referência e o valor de cada pixel (GUIMARÃES *et al.*, 2017). A **figura 18** a seguir exibe as dimensões representada no relevo para obtenção do mapa de IDR.

Figura 18 - Esquema exemplificando as dimensões (Interfluvial e Entalhamento) no relevo a partir do perfil topográfico



Org.: Gabriela Silva (2021).

O cálculo dos valores de dissecação do relevo teve como base a proposta de Jurandy Ross (1994; 2012). Essa proposta metodológica partiu dos estudos elaborados pelo Projeto RadamBrasil estabelecidos a partir de uma matriz adaptada do referido projeto para a carta geomorfológica dos rios Xingu e Ji-Paraná (ROSS, 2012). O **quadro 04** a seguir ilustra as classes dos índices de dissecação do relevo.

Quadro 4 - Valores para as classes de IDR

Entalhamento do vale (m)	Distância Interfluvial (m)				
	Muito grande > 3750 (1)	Grande 1750 a 3750 (2)	Média 750 a 1750 (3)	Pequena 250 a 750 (4)	Muito Pequena 0 a 250 (5)
Muito Fraco 0 a 20 (10)	11	12	13	14	15
Fraco 20 a 40 (20)	21	22	23	24	25
Médio 40 a 80 (30)	31	32	33	34	35
Forte 80 a 160 (40)	41	42	43	44	45
Muito Forte > 160 (50)	51	52	53	54	55

Fonte: ROSS (1994).

Caracterização da vulnerabilidade à erosão dos solos

A **vulnerabilidade à erosão dos solos** no município de Rio Preto da Eva teve como base metodológica, a proposta de Crepani *et al.* (2001). A proposta parte da elaboração de mapas de vulnerabilidade natural e vulnerabilidade ambiental à perda de solo a partir de variáveis geoambientais.

Segundo Fagundes e Queiroz Filho (2014), essa metodologia trabalha sobre a compartimentação da área de estudo baseada na imagem de satélite permitindo o trabalho em diversas escalas. Para Crepani *et al.* (2001), o objetivo dessa metodologia é identificar e delimitar conjuntos estruturais e paisagísticos homogêneos, as Unidades Territoriais Básicas (UTBs), formados pelas Unidades da Paisagem Natural e pelos Polígonos de Intervenção Antrópica.

Segundo Grigio (2003), a confecção do mapa de vulnerabilidade natural propõe apresentar a intensidade e a distribuição da suscetibilidade do ambiente considerando fatores geológicos, geomorfológicos e solos, a instabilidade em relação a morfogênese e a pedogênese e o fator vegetação. Enquanto, o mapa de vulnerabilidade ambiental remete a susceptibilidade do ambiente as pressões antrópicas.

A confecção do mapa de **Vulnerabilidade natural**, foi realizado por meio extração das variáveis físicas da paisagem (Geologia, Solo e Vegetação) através dos dados vetoriais disponíveis pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), na escala 1:250.000. Para a variável Geomorfologia, optou-se pela base de dados do MDE do TOPODATA-INPE.

A variável Clima, foi obtida por meio dos dados pluviométrico do Instituto Nacional de Meteorologia (NMET).

Essas variáveis foram processadas no ambiente SIG, onde receberam um valor final resultante da média aritmética dos valores individuais, conforme a Equação de Vulnerabilidade (V) proposta por Crepani *et al.* (2001) a seguir:

$$V = \frac{(G + R + S + Vg + C)}{5}$$

Onde:

G, refere-se à correção das rochas (Geologia)

R, Geomorfologia

S, Solos

Vg, vegetação

C, Clima

Essa proposta metodológica tem como base o modelo de Tricart (1977) que estabeleceu princípios da Ecodinâmica. Desse modo, Crepani *et al.* estabeleceram 21 classes de vulnerabilidade a perda de solos, atribuindo valores de 1,0 (estável) a 3,0 (vulnerável), conforme o **quadro 05** abaixo.

Quadro 5 - Escala de vulnerabilidade

MEDIA			GRAU DE VULNERABILIDADE	GRAU DE SATURAÇÃO		
				R	G	B
↑	3,0		Vulnerável	255	0	0
	2,9			255	51	0
	2,8			255	102	0
	2,7			255	153	0
V U L N E R A B I L I D A D E	2,6	E S T A B I L I D A D E	Moderadamente vulnerável	255	204	0
	2,5			255	255	0
	2,4			204	255	0
	2,3			153	255	0
	2,2		102	255	0	
	2,1		51	255	0	
	2,0		0	255	0	
	1,9		0	255	51	
	1,8		0	255	102	
	1,7		0	255	153	
	1,6		0	255	204	
	1,5		0	255	255	
			Moderadamente estável			

	1,4	↓	Estável	0	204	255
	1,3			0	153	255
	1,2			0	102	255
	1,1			0	51	255
	1,0			0	0	255

Fonte: Crepani *et al.* (2001). **Org.:** Gabriela Silva (2021).

Para entender o grau de vulnerabilidade proposta por Crepani *et al.* (2001) realizada a segundo critérios desenvolvidos a partir dos princípios da Ecodinâmica (1977) que estabelece as categorias morfodinâmicas: estáveis, intermediários e instáveis. Assim, cada grau de vulnerabilidade proposto por Crepani *et al.* (2001) remete a uma característica de predominância conforme o **quadro 6**.

Quadro 6 – Categorias do grau de vulnerabilidade.

Grau de vulnerabilidade	Refere-se à /as
Vulnerável	Áreas altamente vulneráveis, com elevado grau de processo de erosivos. Predomínio da morfogênese.
Moderadamente vulnerável	São áreas de transição para áreas caracterizadas como vulnerabilidade.
Medianamente estável vulnerável	Áreas com balanço entre as interferências morfogenéticas e pedogenéticas.
Moderadamente estável	Áreas transacionais, porém, meios estáveis com a prevalência da pedogênese.
Estável	Indica áreas de maior estabilidade, onde ocorre um predomínio dos processos pedogenéticos. Apresenta uma cobertura vegetal densa, dissecação moderada.

Fonte: Tricart (1977); Crepani *et al.* (2001). **Org.:** Gabriela Silva (2021).

A atribuição dos valores a escala de vulnerabilidade foi concedida a cada variável: Geologia, Geomorfologia, Solos, Clima e Vegetação.

Geologia (G)

Segundo Crepani *et al.* (2001), é no fator geológico que se encontra as informações relativas ao grau de coesão das rochas, sendo a informação básica da geologia a se integrar a vulnerabilidade do relevo (morfogênese). Dessa forma, serão atribuídos graus de vulnerabilidade a litologia predominante no município em estudo (**quadro 7**).

Quadro 7 - Escala de vulnerabilidade das rochas

Litologia*	Vulnerabilidade
Arenitos quartzoso	2,4
Siltitos, Argilitos	2,7
Sedimentos inconsolidados Aluviões	3

*Litologia predominante no município de Rio Preto da Eva obtido a partir do cruzamento dos dados geológico do estado do Amazonas do CPRM (2006).

Fonte: Crepani *et al.* (2001), **Org.:** Gabriela Silva (2021).

Geomorfologia (R)

Para os valores da escala de vulnerabilidade a geomorfologia, deve-se estabelecer uma correlação entre índices morfométricos do relevo: dissecação do relevo, amplitude altimetria e declividade (CREPANI *et al.*, 2001). O cruzamento entre esses índices foi realizado por meio da equação aritmética que determinará a vulnerabilidade, conforme a fórmula abaixo:

$$R = \frac{G + A + D}{3}$$

Onde:

R, refere-se a Geomorfologia;

G, Grau de dissecação;

A, Amplitude altimétrica;

D, Declividade.

Os quadros abaixo exibem os valores de vulnerabilidade atribuído a cada variável: dissecação do relevo pela drenagem – plano horizontal - (**quadro 8**), amplitude altimétrica - plano vertical - (**quadro 9**) e declividade (**quadro 10**).

Quadro 8 - Vulnerabilidade para a dissecação do relevo (G)

Dissecação	Vulnerabilidade/ estabilidade	Dissecação	Vulnerabilidade/ estabilidade	Dissecação	Vulnerabilidade/ estabilidade
>5000	1,0	3250 – 3500	1,7	1500 – 1750	2,4
4750 – 5000	1,1	3000 – 3250	1,8	1250 – 1500	2,5
4500 – 4750	1,2	2750 – 3000	1,9	1000 – 1250	2,6
4250 – 4500	1,3	2500 – 2750	2,0	750 – 1000	2,7
4000 – 4250	1,4	2250 – 2500	2,1	500 – 750	2,8
3750 – 4000	1,5	2000 – 2250	2,2	250 – 500	2,9
3500- 3750	1,6	1750 - 2000	2,3	<250	3,0

Fonte: Crepani *et al.* (2001). **Org.:** Gabriela Silva (2021).

Quadro 9 - Vulnerabilidade para amplitude altimétrica (A)

Amplitude altimétrica	Vulnerabilidade/ estabilidade	Amplitude altimétrica	Vulnerabilidade/ estabilidade	Amplitude altimétrica	Vulnerabilidade/ estabilidade
<20	1,0	77-84,5	1,7	141,5-151	2,4
20-29,5	1,1	84,5-94	1,8	151-160,5	2,5
29,5-39	1,2	94-103,5	1,9	160,5-170	2,6
39-48,5	1,3	103,5-113	2,0	170-179,5	2,7
48,5-58	1,4	113-122,5	2,1	179,5-189	2,8
58-67,5	1,5	122,5-132	2,2	189-200	2,9
67,5-77	1,6	132-141,5	2,3	>200	3,0

Fonte: Crepani *et al.* (2001). **Org.:** Gabriela Silva (2021).

Quadro 10 - Valores de vulnerabilidade para a declividade das encostas (D)

Declividade (%)	Vulnerab./ Estabil.	Declividade (%)	Vulnerab./ Estabil.	Declividade (%)	Vulnerab./ Estabil.
<3,5	1,0	17,4 – 19,8	1,7	34,6 – 37,2	2,4
3,5 – 5,8	1,1	19,8 – 22,2	1,8	37,2 – 39,8	2,5
5,8 – 8,2	1,2	22,2 – 24,5	1,9	39,8 – 42,4	2,6
8,2 – 10,3	1,3	24,5 – 27,2	2,0	42,4 – 45,3	2,7
10,3 – 12,9	1,4	27,2 – 29,6	2,1	45,3 – 48,1	2,8
12,9 – 15,1	1,5	29,6 – 32,1	2,2	48,1 – 50	2,9
15,1 – 17,4	1,6	32,1 – 34,6	2,3	>50	3,0

Fonte: Crepani *et al.* (2001). **Org.:** Gabriela Silva (2021).

Solos (S)

As diferentes classes de tipos de solos apresentam um grau de vulnerabilidade tendo como relação os processos de intemperismo e lixiviação. O **quadro 11** abaixo refere-se aos valores atribuídos com grau de vulnerabilidade a classe de solos predominantes no município em estudo.

Quadro 11 - Valores de vulnerabilidade a com base na classificação de solos

Solos*	Vulnerabilidade
Latossolo Amarelo	1
Neossolo Quartzarênico	3

*Solos predominante no município de Rio Preto da Eva obtido a partir do cruzamento dos dados solos do estado do Amazonas do IBGE e CPRM.

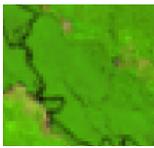
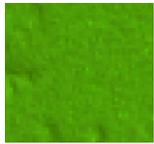
Fonte: Crepani *et al.* (2001). **Org.:** Gabriela Silva (2021).

Vegetação (Vg)

A vegetação é um fator de proteção a processos erosivos. A cobertura vegetal tem valores atribuídos na escala de vulnerabilidade, onde as altas densidade de cobertura vegetal se aproxima da estabilidade natural e as densidades intermediárias atribuem-se valores intermediários e para baixas densidades valores próximos da vulnerabilidade/fragilidade (CREPANI *et al.*, 2001).

Optou-se por utilizar as imagens do satélite Landsat OLI 8 para mapeamento classes de vegetação. Foram identificados (visualmente) tipos de vegetação na superfície, onde foram classificadas de forma supervisionada e atribuídas graus de vulnerabilidade para cada classe de vegetação (**quadro 12**).

Quadro 12. Grau de Vulnerabilidade para a classe de vegetação.

Classes dos alvos na superfície	Grau de vulnerabilidade	Chave de interpretação do Alvo
Floresta Aluvial/Várzea	1,0	
Floresta Densa	1,0	
Vegetação agrícola	3,0	

Org.: Gabriela Silva (2021).

Clima (C)

Com base em Crepani *et al.*, (2001) a intensidade pluviométrica é responsável pela erosividade da chuva, pois transforma a energia potencial em energia cinética, em qual desagrega as partículas do solo. Crepani *et al.* (2004) estabelecem a fórmula da intensidade pluviométrica para análise da vulnerabilidade a perda de solos, conforme a fórmula abaixo.

$$I_p = \frac{Pma}{Dpc}$$

Onde:

I_p , refere-se à Intensidade pluviométrica (mm/ano);

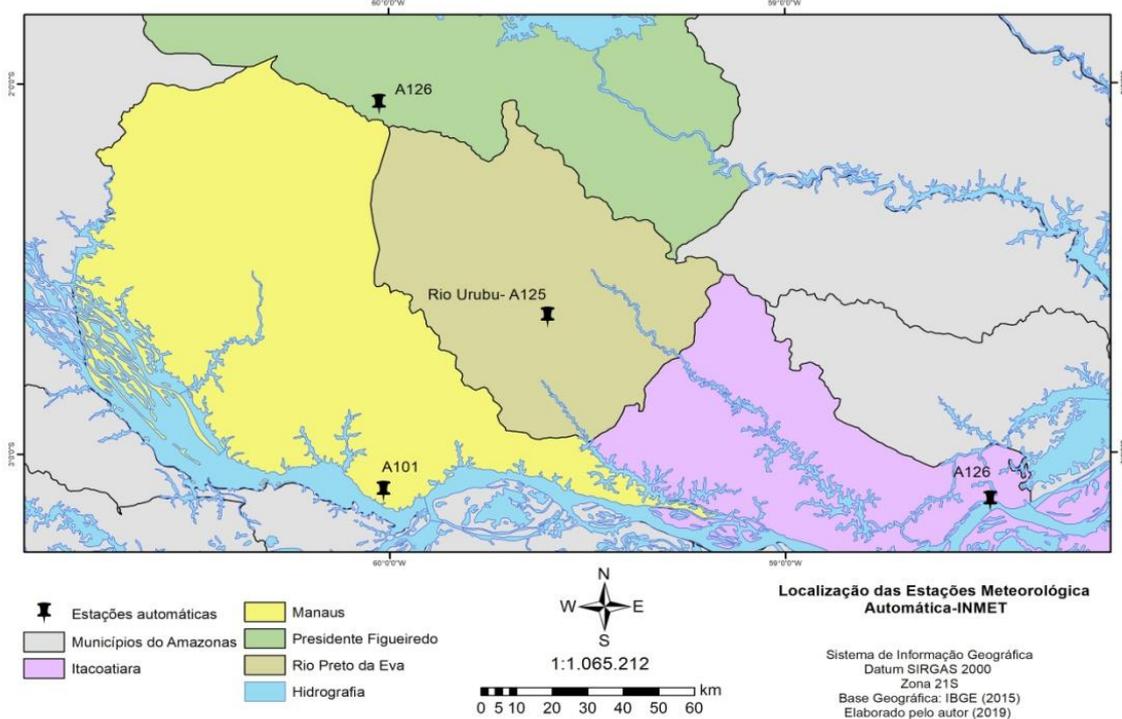
Pma , Pluviosidade anual (mm);

Dpc , Duração do período chuvoso (meses).

Para a obtenção dos dados de Dpc, o número de dias com chuvas é transformado em meses dividindo o total por 30. Foram coletados dados de 4 estações, para a interpolação por meio do Inverse Distance Weighted- IDW, o método que consiste no valor para um local não utilizando os valores amostrados a sua volta (VARGAS *et al.*, 2018).

Optou-se por utilizar três estações pluviométricas dos municípios adjacentes a área de estudo e, uma situada no próprio município, sendo elas: Rio Urubu - A125, Presidente Figueiredo - A126, Manaus- A101 e Itacoatiara - A121 (**figura 19**). Em virtude da dificuldade de obtenção dos dados de precipitação, usou-se somente os anos de 2009 a 2014 e 2018 a 2019.

Figura 19 - Espacialização das estações pluviométricas- INMET utilizada para a coleta de dados pluviométricos.



Org.: Gabriela Silva (2021).

Os dados das estações utilizadas para a interpolação estão expressos no quadro 13.

Quadro 13 - Estacoes pluviométricas utilizadas.

Nº	Código	Nome	Município	Altitude (m)	Lat. (°)	Long. (°)
01	81700	Rio Urubu-A125	Rio Preto da Eva	113	-2,633654	-59,600582
02	81699	Presidente Figueiredo-A126	Presidente Figueiredo	61	-2,056558	-60,025756

03	817333	Itacoatiara-A121	Itacoatiara	42	-3,133333	-58,48278
04	81730	Manaus-A101	Manaus	49	-3,103682	-60,015461

Fonte: INMET. **Org.:** Gabriela Mendonça (2021).

O **quadro 14**, apresenta os valores de vulnerabilidade dos índices de pluviosidade.

Quadro 14 - Grau de vulnerabilidade a perda de solo para o índice pluviométrico

Índice pluviométrico	Vulnerabilidade	Índice pluviométrico	Vulnerabilidade	Índice pluviométrico	Vulnerabilidade
<50	1,0	200-225	1,7	375-400	2,4
50-70	1,1	225-250	1,8	400-45	2,5
75-100	1,2	250-275	1,9	425-450	2,6
100-125	1,3	275-300	2,0	450-475	2,7
125-150	1,4	300-325	2,1	475-500	2,8
150-175	1,5	325-350	2,2	500-525	2,9
175-200	1,6	350-375	2,3	>525	3,0

Fonte: Crepani *et al.*, (2001), **Org.:** Gabriela Mendonça (2021).

O cruzamento da vulnerabilidade natural com a cobertura do solo resulta na **vulnerabilidade ambiental**. A extração de dados da cobertura solo do município, foi realizado a partir da Classificação Supervisionada das imagens de satélites Landsat OLI 8, onde foram extraídas várias e atribuídas peso em escala de valor de maior intervenção no solo conforme o **quadro 15** abaixo.

Quadro 15 - Grau de vulnerabilidade para o Cobertura da terra

Cobertura da terra	Grau de vulnerabilidade
Solo exposto	3,0
Vegetação Secundária/Área agrícola	2,8
Água	2,0
Floresta Densa	1,0
Floresta Aluvial	1,0

Fonte: CREPANI *et al.* (2001). **Org.:** Gabriela Mendonça (2021).

Para expressar a capacidade da chuva para a área de estudo em causar erosão, elaborou-se o Índice de Erosividade da chuva (EI) seguindo a metodologia Lombardi Neto e

Moldenhauer (1992). O índice é determinado pela fórmula R componente da fórmula da Equação Geral de perda de solos:

$$R = 68,73 * \left[\frac{M_x^2}{A} \right]^{0,841}$$

Onde:

R , refere-se ao Índice médio de erosão ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$);

M , Precipitação mensal (mm) do mês x ;

A , Precipitação anual (mm).

De modo a caracterizar a Erosividade para o município, as classes obtidas foram classificadas com base na chave de interpretação do índice de erosividade anual proposta de Carvalho (2008), o **quadro 16** exhibe as classes.

Quadro 16- Classe para interpretação do índice de Erosividade anual.

Erosividade ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$)	Classes
$R < 2.452$	Erosividade fraca
$2.452 < R > 4.905$	Erosividade moderada
$4.905 < R > 7.357$	Erosividade moderada a forte
$7.357 < R > 9.810$	Erosividade forte
$R > 9.810$	Erosividade muito forte

Fonte: Carvalho (2008). **Org.:** Gabriela Mendonça (2021).

Mapeamento das ocorrências de voçorocamento e a correlação com as áreas de vulnerabilidade

Para a identificação de feições erosivas no município foram aferidas por meio de imagem de satélite da ferramenta *Google Earth Pro*. Mediante a isso, realizou-se visitas em campo no município para averiguar as possíveis feições, como também, mapeá-las. Em campo, as feições afastadas da área urbana foram mapeadas manualmente, ou seja, com o uso da trena métrica para a extração de dados métricos (**figura 20- A**). O mapeamento das voçorocas na área urbana consistiu nas imagens do VANT - *Phanton 4*- de marca DJI pertencente ao grupo de pesquisa Geografia Física da Amazônia do Departamento de Geografia - UFAM (**figura 20-B**).

Figura 20 – Uso da Trena métrica (A) e Phantom 4 Latossolo (B)



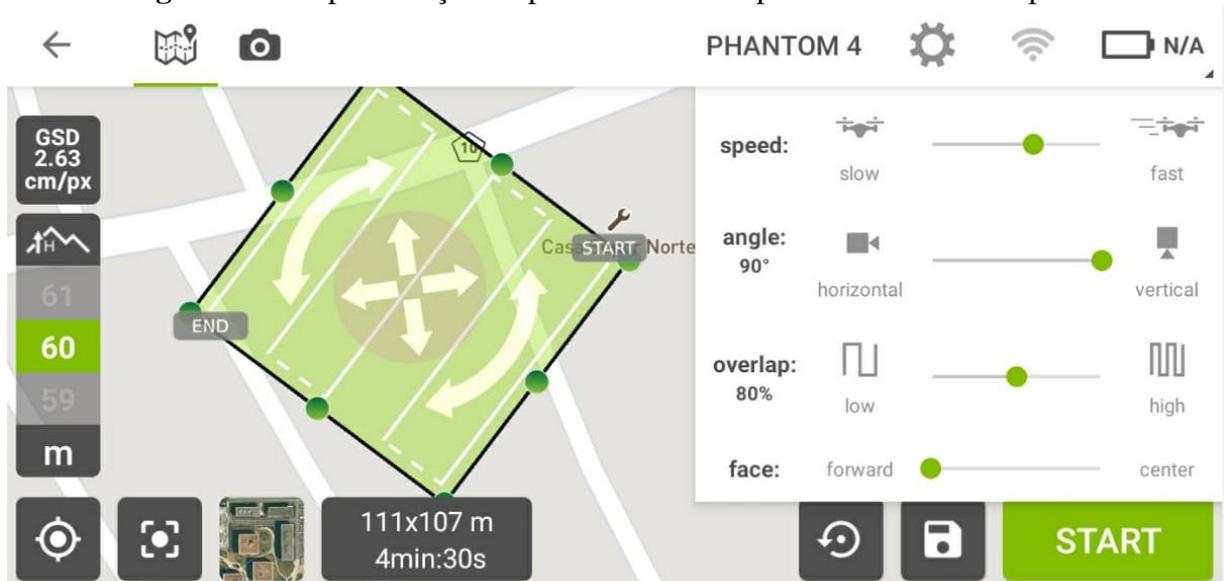
Fonte: Gabriela Mendonça (2019- B; 2021-A).

Com os dados métricos, as voçorocas foram caracterizadas quanto ao Tipo (OLIVEIRA, 1999), Forma (VIEIRA, 2008) e Tamanho (VIEIRA e ALBUQUERQUE, 2004).

Planejamento do voo e extração de dados métricos das voçorocas

Foram elaborados planos de voo para cada feição identificada por meio do aplicativo de celular *Pix4Dcapture* (*Professional Photogrammetry and Drone-mapping*). A ferramenta serve para planejamento e execução de voos autônomos de VANT, a **figura 21** exibe a tela principal, de modo a representar o plano de voo autônomo pelo *Pix4Dcapture*. As propriedades das imagens de cada voçoroca mapeadas estão expressas na **tabela 01**.

Figura 21 – Representação do plano de voo no aplicativo do Pix4Dcapture.



Fonte: Pix4Dcapture (2019).

Tabela 1- Dados das imagens do VANT.

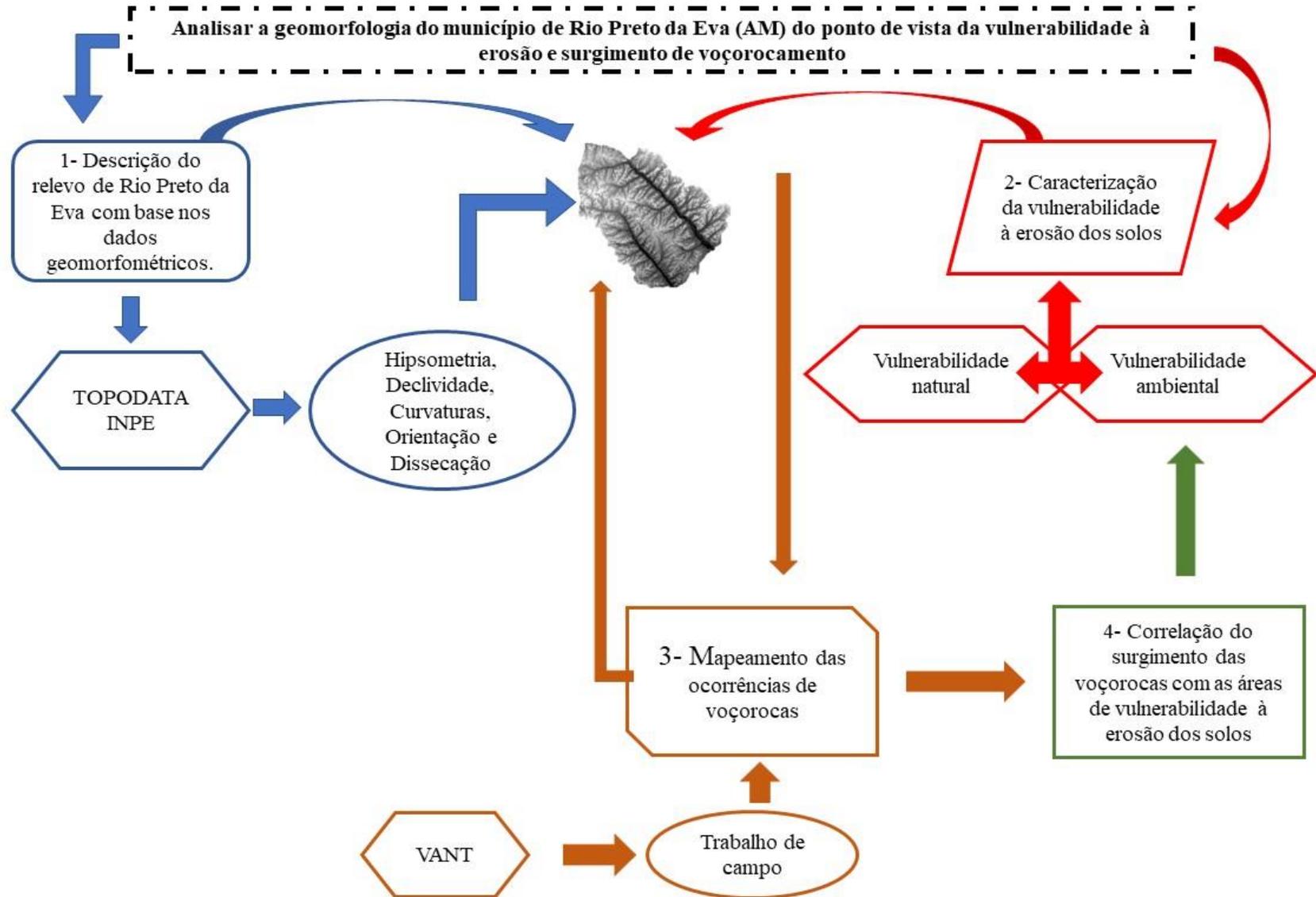
Voçorocas	Coordenadas Geográficas	Altitude (m)	Nº de imagens processadas	Tamanho máximo das imagens (m)	Inclinação da câmera
01	03°16'54.5'' S 60°10'47.1'' W	139,39	33	4000 x 3000	90°
02	02° 41' 58.1'' S 59° 41' 08.7 W	147,29	104	4000 x 3000	90°
03	02°40'55.6''S 59°42'06.9''W	137,99	87	4000 x 3000	90°

Org.: Gabriela Mendonça (2021).

O processamento das imagens coletadas foi realizado no Software *Agisoft Metashape*, que visa o processamento de imagens de VANT para a geração de mapas em 3D e para obtenção de parâmetros métricos da incisão a partir do Ortomosaico do Agisoft (comprimento, largura e profundidade). Dessa forma, elaborou-se ortomosaico e Modelo Digital de Superfície (MDS) relativos a cada voçoroca.

A **figura 22** exhibe o fluxograma dos procedimentos realizados para aquisição dos objetivos propostos.

Figura 22- Fluxograma dos procedimentos realizados para cumprimento dos objetivos.



Org.: Gabriela Mendonça (2021)

CAPÍTULO IV - RESULTADOS E DISCUSSÕES

A pesquisa atendeu a análise da geomorfologia, vulnerabilidade natural e ambiental aos processos erosivos lineares (voçorocas) do município de Rio Preto da Eva. Os resultados foram estruturados com base no objetivo geral e específicos visando.

Descrição do relevo de Rio Preto da Eva com base nos dados geomorfométrico

A distribuição espacial das formas do relevo de Rio Preto da Eva varia em função da altimetria, representadas em seis classes de valores hipsométricos (**figura 23**). Os valores altimétricos significativos (115 a 152 m) estão situados nos interflúvios das duas grandes bacias hidrográficas (rio Urubu e rio Preto da Eva), ocupando 21% do território. Os valores acima de 152 m (1%) referem-se à porção do extremo norte, na proximidade com a borda da Bacia Sedimentar Amazônica, e também em manchas isoladas na bacia do rio Preto da Eva.

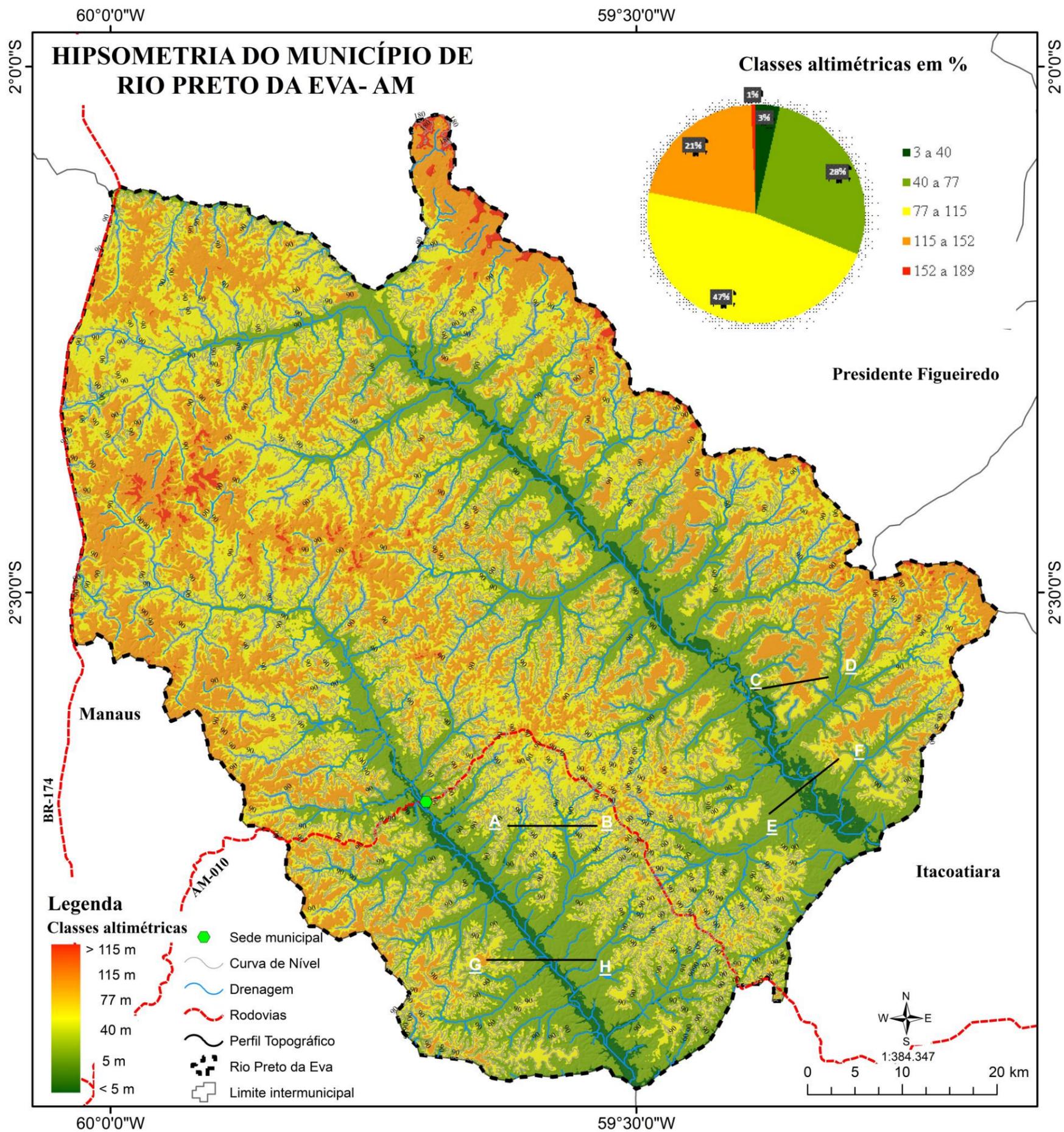
O município está assentado, em maior parte, em relevo com altimetrias de 77 a 115 m (47%), seguido dos valores de 40 a 77 m (28%) e, por último, de 3 a 77 m (3%) correspondendo aos terraços e planícies fluviais. O padrão de relevo do município está associado à rede de drenagem, na qual estabelece um papel importante de modelador.

De modo a caracterizar os modelados, os perfis topográficos transversais (**figura 23**) exibem as formas e padrões de relevo. Cada perfil foi traçado nos quatro principais modelados presentes no município, visando identificar as características das formas de relevo predominante em cada unidade de modelados.

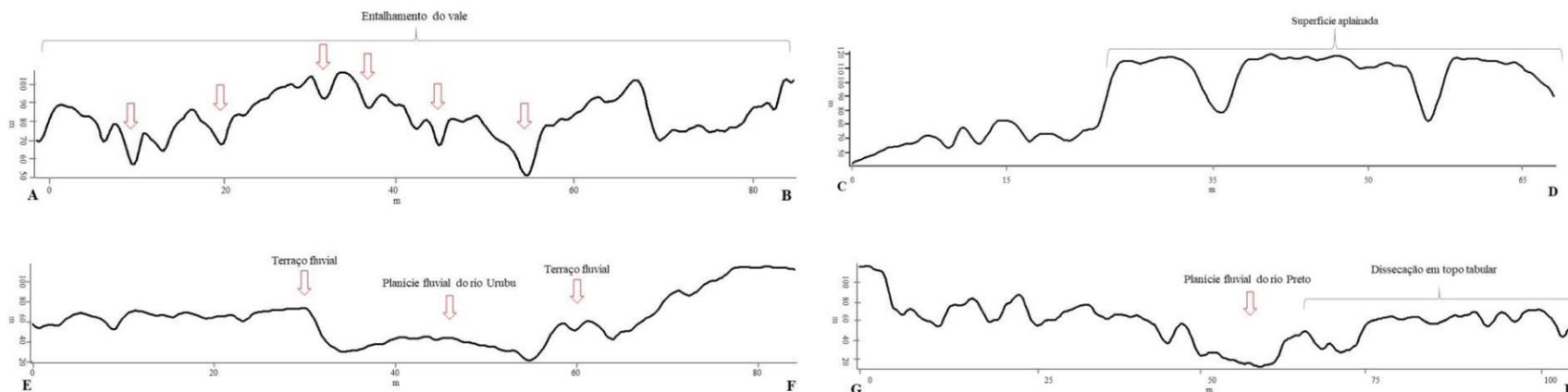
Em áreas situadas no **perfil A – B**, exibem forma de relevo bastante dissecado (processo denudacionais) sinalizando uma drenagem intensa (observa-se pela quantidade de vales) com formas de topos do tipo convexos e vales côncavos e abertos. O **perfil C - D** aponta formas de relevo com topo tabular e processo de dissecação com baixa densidade de drenagem, caracterizando uma superfície aplainada (plana) descontínua com sua borda abrupta ao vale. Essas formas de relevo correspondem a Cobertura Detrito-Laterítica Paleogênica (IBGE, 2010). Nas áreas de acumulação, rios Urubu (**perfil E – F**) e Preto da Eva (**perfil G - H**), são áreas caracterizadas por vales (planícies e terraços fluviais) com a presença de aluviões holocênicos.

Com o mapa hipsométrico, tornou-se perceptível que o vale do rio Urubu exibiu uma morfologia diferente do rio Preto da Eva. A **figura 24** mostra a morfologia do canal dos rios em destaque.

Figura 23 - Hipsometria do município e estudo

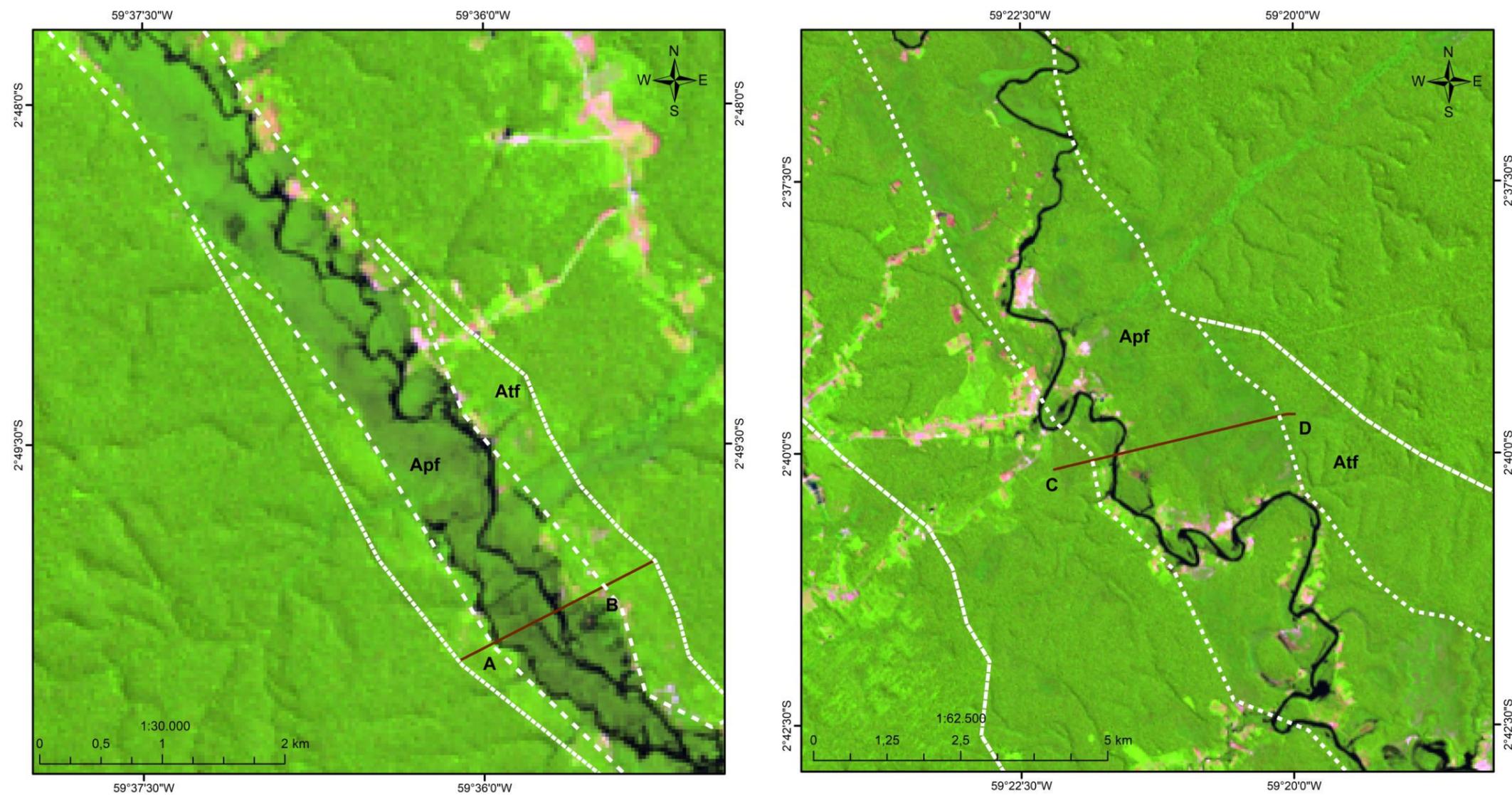


Perfis topográficos dos compartimentos geomorfológicos

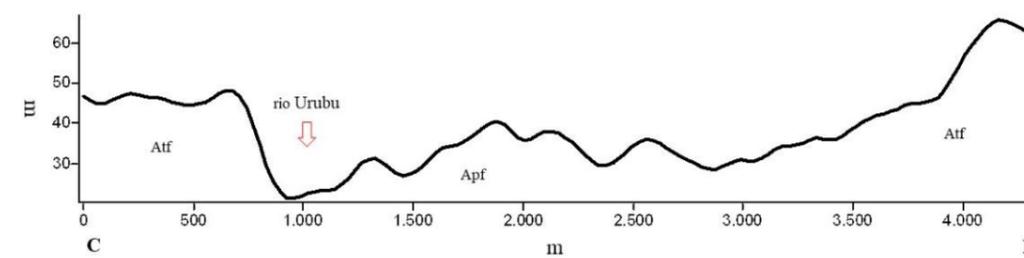
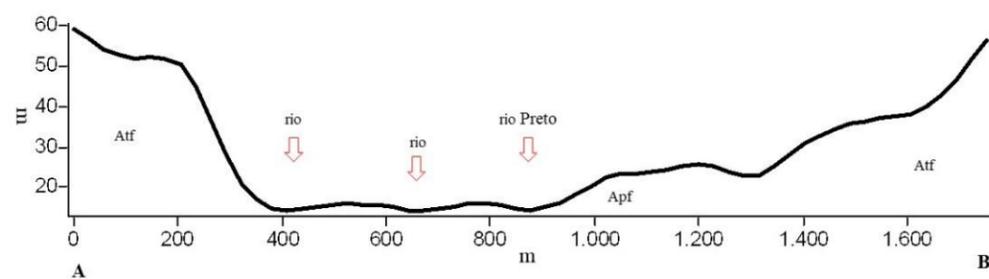


Datum: SIRGAS 2000. Org.: Gabriela Mendonça (2021).

Figura 24 - Depósitos sedimentares Quaternários ao longo dos rios Preto da Eva e Urubu.



Apt- Acumulação Planície Fluvial ; Atf- Acumulação Terraço Fluvial



Datum: SIRGAS 2000. **Fonte:** Imagem LandSat OLI- 8 (2020). **Org.:** Gabriela Mendonça (2021).

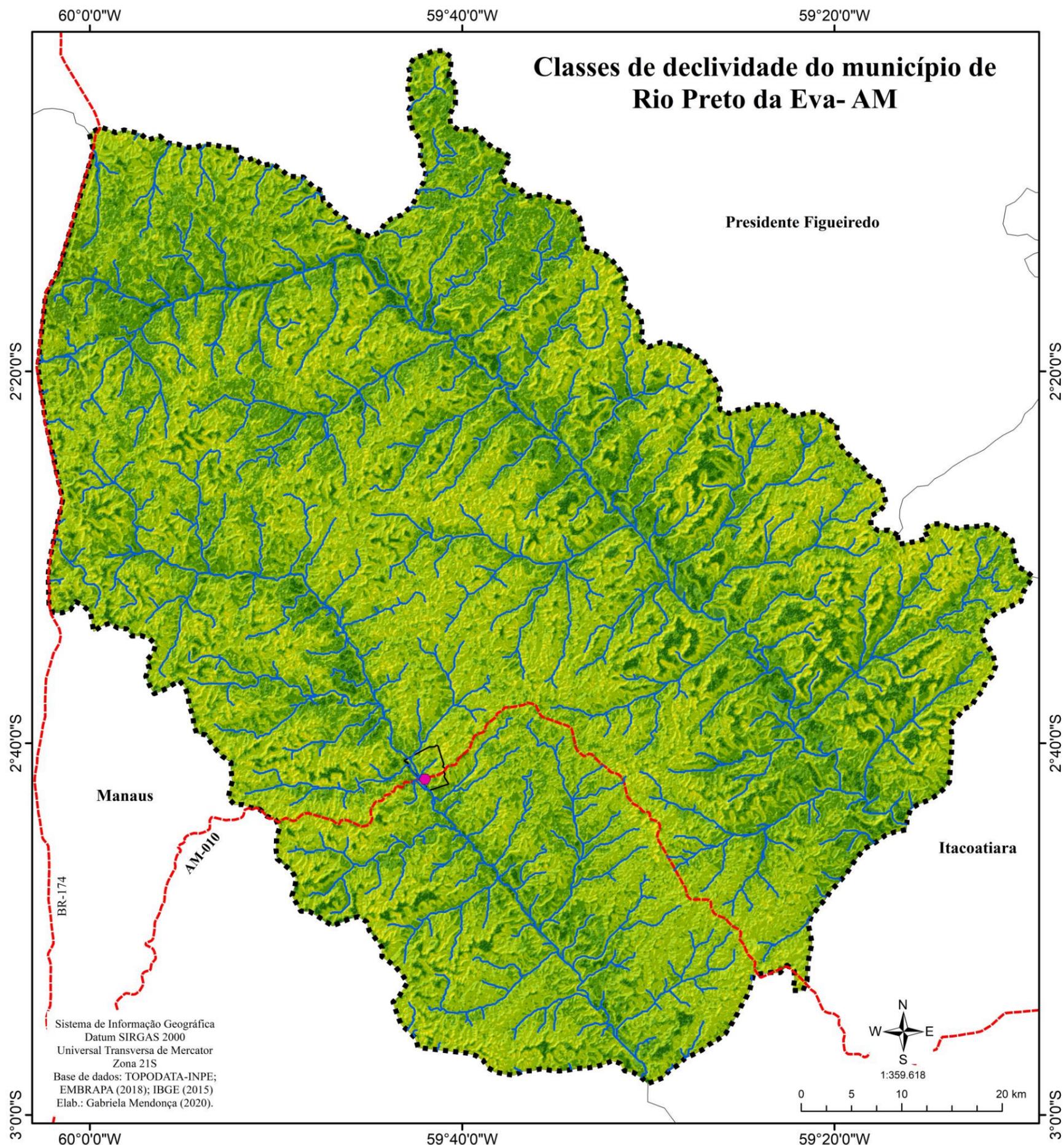
É nítido na **figura 24** que a largura da planície fluvial do rio Preto da Eva é menor em relação ao rio Urubu. Isto se dá pelo fato do rio Preto da Eva apresentar um vale mais encaixado, fundo chato e encostas íngremes. O rio urubu já exibe uma planície extensa com vale fundo, chato e encostas suaves. Vale ressaltar, que ambos os rios estão controlados tectonicamente por falhas.

O fator declividade do relevo no município, corresponde a áreas onduladas (55%), isso explica as extensas áreas colinosas com rampas inclinadas (**figura 25**). Seguido de áreas suave onduladas (31%) referente às áreas colinosas de rampas suavemente inclinadas. O relevo forte ondulado (10%) exibe formas morfológicas do tipo morros, porém com pouca frequência.

A **figura 25**, apresenta as classes de declividade espacialmente distribuídas no município, onde se percebe na imagem, que ao longo dos dois principais canais, as principais classes são de plano a suave ondulado.

O fator declividade também indica a inclinação (ângulo), a velocidade do escoamento da água do terreno condiciona diretamente a atuação dos processos erosivos, em que, áreas com maior declividade (ondulado a montanhoso) possuem a tendência de uma maior velocidade de escoamento. Em paralelo a essas áreas, as menores declividades (plano e suave ondulado), o escoamento se dá em uma velocidade muito menor e o processo erosivo pode ocorrer a partir de escoamento laminar.

Figura 25 - Declividade do município de Rio Preto da Eva.



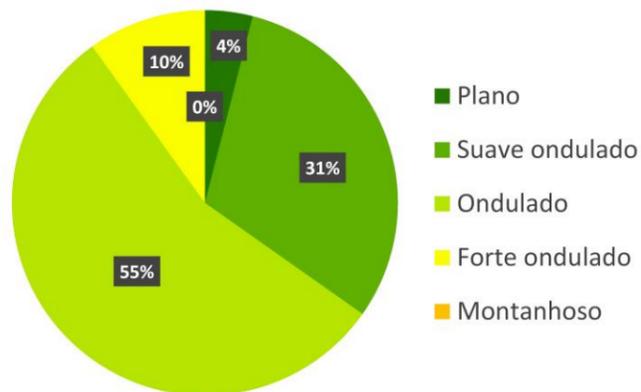
Legenda

- Sede municipal
- Drenagem
- Rodovias
- Área urbana
- Limite Intermunicipal

Classes de declividade (%)

- Plano (0-3%)
- Suave ondulado (3-8%)
- Ondulado (8-20%)
- Forte ondulado (20-45%)
- Montanhoso (45-75%)

Classes de declividade em %



Org.: Gabriela Mendonça (2021)

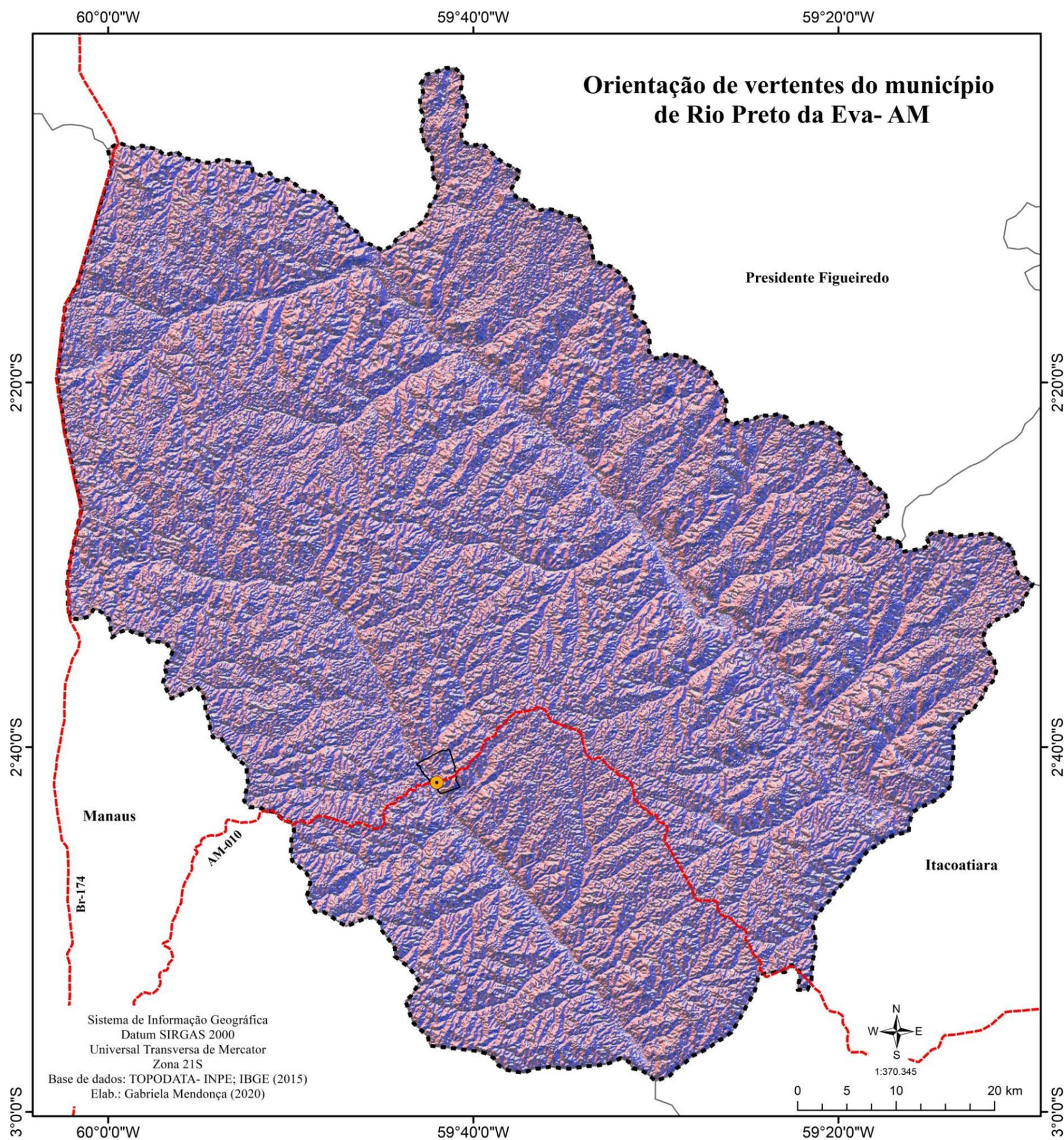
Além disso, as características do comprimento da rampa favorecem a erosão, onde a medida em que aumenta o comprimento da rampa, aumenta a velocidade da água, aumentando a sua capacidade de desagregar e transportar as partículas do solo (SILVA, 1995).

A declividade está diretamente relacionada com a orientação de vertentes. A orientação de vertentes, que remete a direção do fluxo de água superficial, é o indicador da direção da água da chuva, favorecendo a formação de processos erosivos. À medida em que ocorre o impacto das gotas de chuva no solo a inclinação das encostas aponta a direção do escoamento da água superficial.

As vertentes da geomorfologia de Rio Preto da Eva não apresentam uma orientação preferencial, suas rampas apresentam valores de percentuais equivalentes, ou seja, as direções Norte, Noroeste, Oeste, Sudoeste e Sul correspondem a 12% da área do município. As direções Nordeste e Sudeste (13%) e Leste (14%) exibem uma leve discordância nos valores, porém nos intervalos de 1 a 2% (**figura 26**).

Com base nos valores de orientação de vertentes obtidos e a relação do controle estrutural na drenagem do município, não há uma influência sobre a orientação de vertentes, ou seja, o condicionamento das vertentes é de caráter geomorfológico.

Figura 26 – Orientação de vertentes da área em estudo.



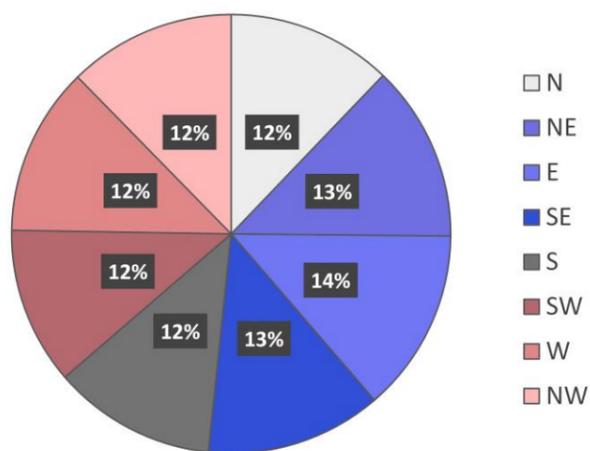
Legenda

- Sede municipal
- Rodovias
- Área Urbana
- Limite intermunicipal

Orientação de Vertentes

- 0 - 45° (N)
- 45 - 90° (NE)
- 90 - 135° (E)
- 135 - 180° (SE)
- 180 - 225° (S)
- 225 - 270° (SW)
- 270 - 315° (W)
- 315 - 360° (NW)

Orientação de vertentes em %



Org.: Gabriela Mendonça (2021)

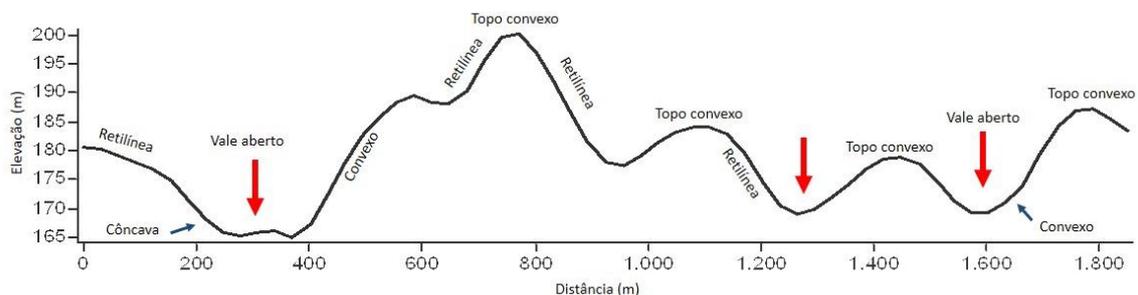
Outra forma de identificar no relevo áreas de potencial de esculturação, são as formas do terreno (curvatura vertical e horizontal) por estarem associadas a forma de dispersão do fluxo de escoamento de águas pluviais. O direcionamento e a intensidade da água na encosta, de acordo com a forma, facilitam o modelamento do relevo, como também, *output* de detritos arrastados e depositados nos vales.

O relevo em estudo possui curvatura vertical (perfil) do terreno de 34% na forma convexa, salientando que, de modo geral, esses tipos de formas de vertentes tendem a dissipar a água, sendo propensas ao surgimento de voçorocas. Seguindo de formas retilíneas (33,3%) e côncavas (33%) caracterizadas como coletoras de água, menos suscetíveis a aparecimentos de voçorocas (**figura 28**).

Devido os dados percentuais de extração da curvatura vertical serem equivalentes umas às outras, torna-se trabalhoso distingui-las no mapa (**figura 28**). Por outro lado, é visível que ao longo de toda a planície dos rios Preto da Eva e Urubu, o terreno exibe a forma retilínea. Os terrenos com a forma retilínea correspondem a áreas, onde a declividade permite que a água tenha um escoamento superior do que o processo de infiltração. Cabe destacar que, na área da Bacia do rio Urubu, a Coberturas Detrítico-lateríticas Paleogênica correspondem as formas retilíneas de encostas.

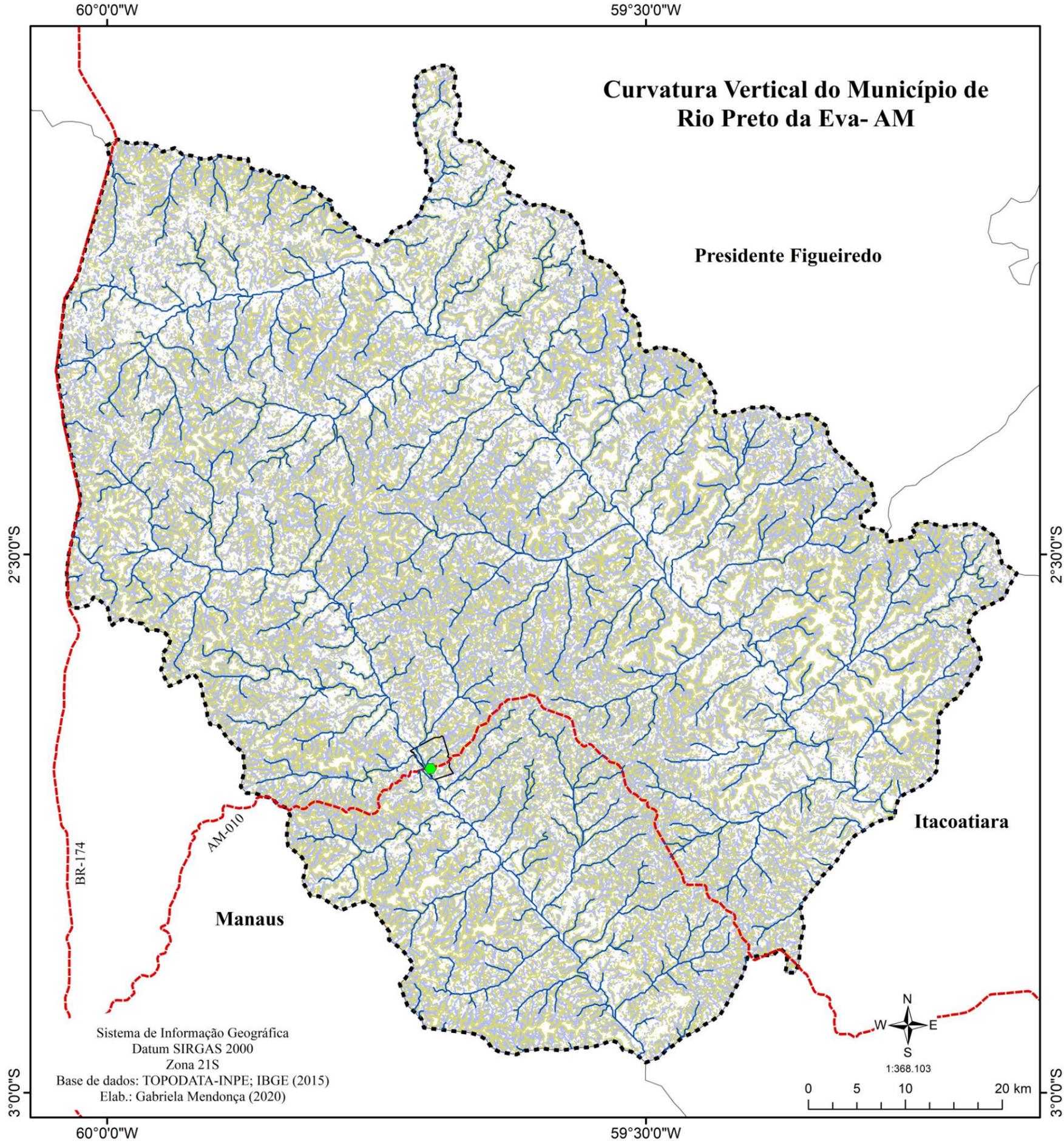
Com a curvatura vertical é possível identificar em perfil topográfico a forma das encostas. A **figura 27** apresenta o perfil topográfico exemplificando as formas de encostas no relevo de Rio Preto da Eva.

Figura 27 - Caracterização dos segmentos das encostas (perfil) quanto à forma



Org.: Gabriela Mendonça (2021).

Figura 28 - Curvatura vertical das encostas de Rio Preto da Eva- AM



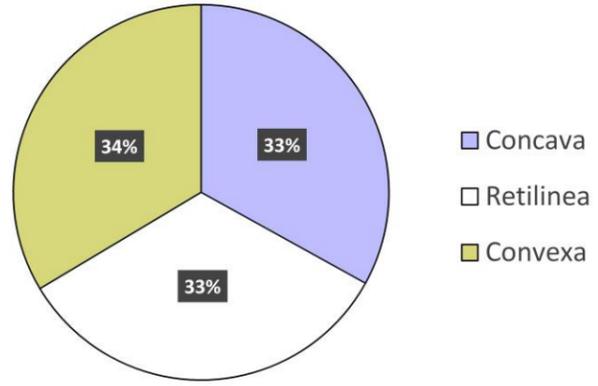
Legenda

- Sede municipal
- Drenagem
- Rodovias
- Área urbana
- Limite intermunicipal

Curvatura Vertical

- Côncava
- Retilínea
- Convexa

Curvatura vertical (%)



Org.: Gabriela Mendonça (2021).

Em se tratando de fluxo de matéria no terreno, o município apresenta duas formas de curvaturas horizontais predominantes: a divergente (45%) e a convergente (40%). A forma planar corresponde a 15% do território do município. A espacialização da curvatura horizontal no município está exposta através da **figura 29**.

Caracteriza-se que em Rio Preto da Eva, há uma dominância em encostas com a dispersão de fluxos e detritos correspondendo a formas escoamento laminar (lavagem do solo), seguido de vertentes com concentração de fluxos, propiciando a erosão linear. Posto isso, entende-se as áreas susceptíveis a ação da erosão linear nas vertentes por meio do fator relevo.

A partir da combinação do perfil e do plano de curvatura das vertentes para o município analisou-se quatro classes, que representam as formas das vertentes (convexo-divergente, convexo-convergente, côncavo-divergente e côncavo-convergente), conforme a **figura 30**. Há duas classes predominantes, a convergente-côncava (22%) e divergente-convexo (22%), seguido de Divergente-retilíneo (16%), convergente-retilíneo (12%) e o restante possuem uma somatória de 28% distribuídos em 6 a 5%.

Em encostas convergente-côncava o fluxo de água tende a canalizar para um único ponto, ou seja, pode intensificar o processo erosivo na encosta. Em contrapartida, as encostas divergente-convexo por estarem associadas a segmentos das encostas em que ocorrem uma menor infiltração e uma máxima dispersão do fluxo, tendem a provocar processos erosivos menos intensos. Ambas as formas das vertentes predominantes confluem para os processos erosivos, tanto de arraste de partículas do solo quanto de feições erosivas.

Figura 29 - Curvatura horizontal de Rio Preto da Eva- AM.



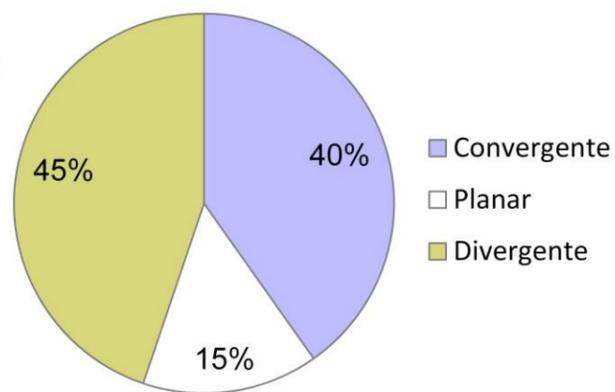
Legenda

- Sede municipal
- Área urbana
- Drenagem
- - - Rodovias
- Limite Intermunicipal
- Rio Preto da Eva

Classes de Curvatura Horizontal

- Convergente
- Planar
- Divergente

Curvatura Horizontal em %



Org.: Gabriela Mendonça (2021).

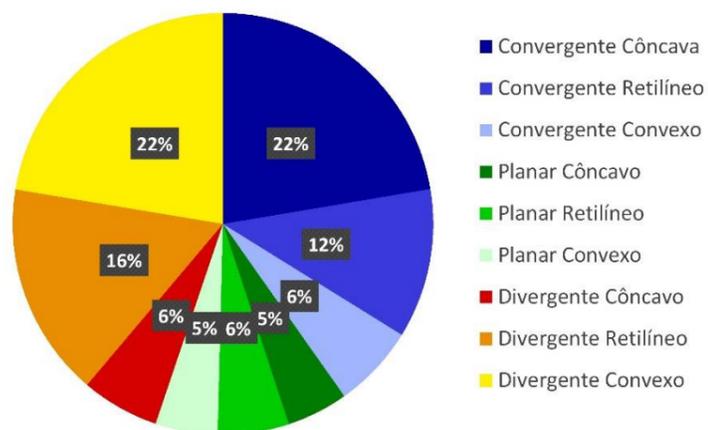
Figura 30 - Formas das encostas predominante em Rio Preto da Eva-AM



Legenda

- Sede municipal
- Rodovias
- Limite intermunicipal
- Rio Preto da Eva
- Forma do terreno**
- Convergente Côncava
- Convergente Retilíneo
- Convergente Convexo
- Planar Côncavo
- Planar Retilíneo
- Planar Convexo
- Divergente Côncavo
- Divergente Retilíneo
- Divergente Convexo

Forma do terreno em %



Org.: Gabriela Mendonça (2021).

A **figura 31** exhibe as formas das encostas, do tipo colinas com rampas suavemente inclinadas, encontradas ao longo da rodovia AM-010 no município em estudo, com segmento planar-convexo (A e B).

Figura 31 - Forma das encostas de Rio Preto da Eva- AM.



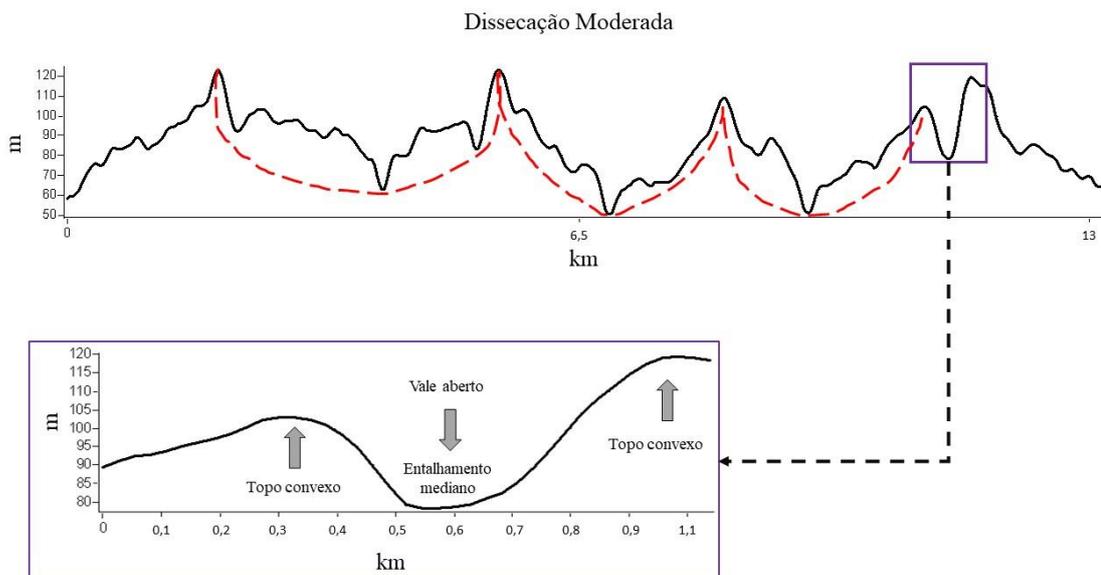
Org.: Gabriela Mendonça (2021).

Os processos denudacionais e deposicionais remetem a dissecação do relevo sob influências dos processos erosivos atuantes no modelamento da paisagem geomorfológica. A mensuração da dissecação do relevo de Rio Preto da Eva consiste em uma ferramenta de análise da atuação da morfodinâmica.

O relevo de Rio Preto da Eva apresenta um percentual de dissecação Moderada (72%) seguida de Fraca (20%), Muito forte (8%) e Forte (0,01%) (**figura 33**). Ressaltando que a densidade de drenagem está associada ao grau de entalhamento dos canais e a dimensão interfluvial, pois, quanto maior a densidade de drenagem menor a dimensão interfluvial resultando no maior entalhamento do vale. O fator densidade de drenagem resulta na ação dos processos erosivos atuantes nas encostas.

Áreas que apresentam moderada dissecação correspondem a um relevo com baixa dimensão interfluvial e canais fluviais moderadamente entalhamentos em áreas com declividades onduladas a suaves onduladas. A **figura 32**, exibe a representação da dimensão interfluvial, ou seja, áreas em formas de “U” aberto ou levemente aberto sob um entalhamento mediano.

Figura 32 - Perfil transversal do relevo do município ilustrando o modelado de dissecação moderada.

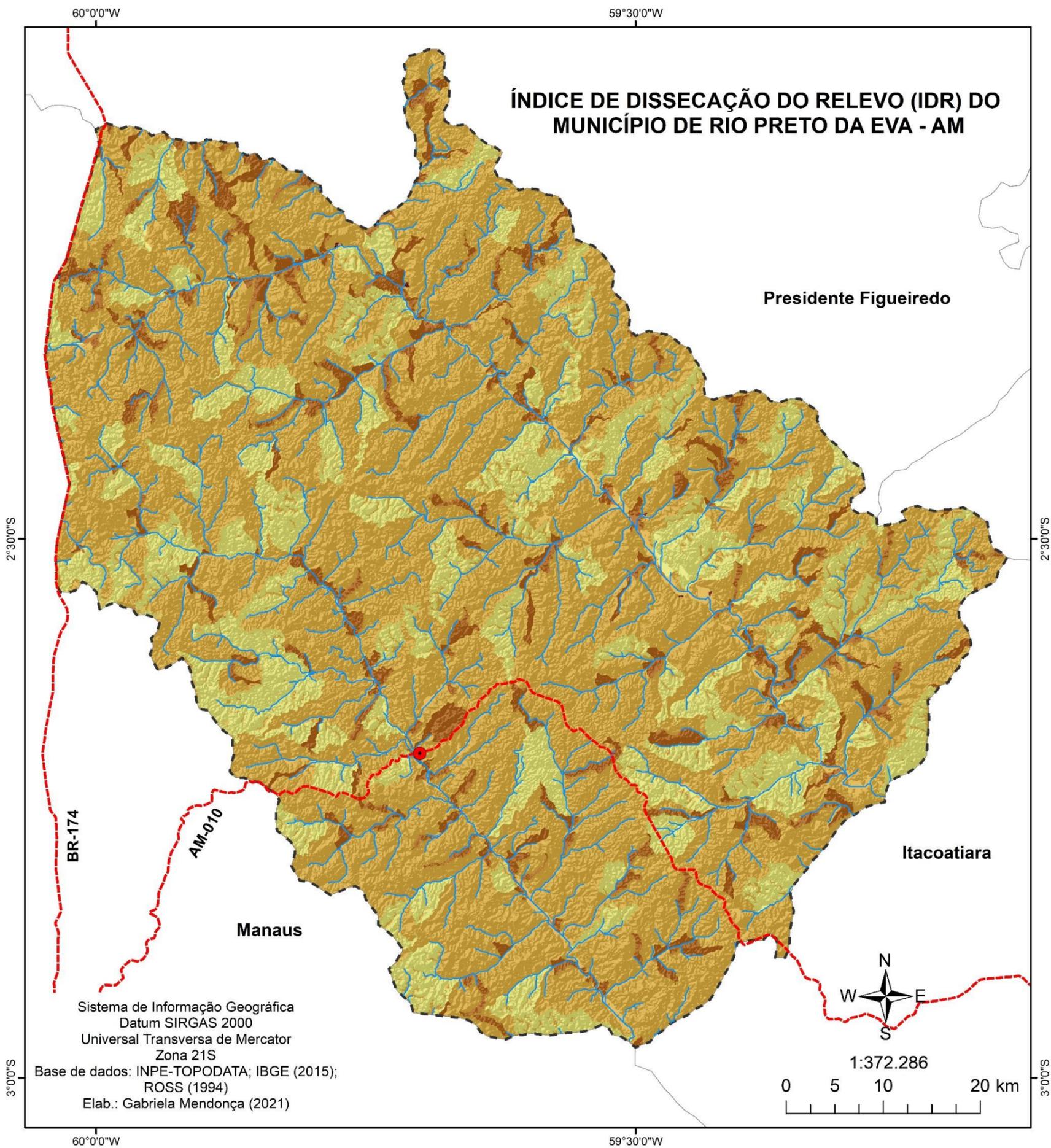


Org.: Gabriela Mendonça (2021).

As manchas de dissecação fraca são áreas com baixa atuação da drenagem, assim, correspondendo às áreas planas associadas a relevos com declividades relativamente baixas. Os polígonos de dissecação muito forte representam um elevado grau no entalhamento dos canais sobre uma dimensão interfluvial de média a pequena. Nas áreas com forte dissecação que correspondem o relevo com entalhamento mediano e uma dimensão interfluvial pequena.

O trecho da rodovia AM-010 em que corta o município está traçado, em sua maior parte, sob a dissecação moderada passando por manchas de grau de dissecação de forte e muito fraca e, áreas de interflúvios com declividades em torno de 3 a 20% (Ondulada e suave ondulada). Assim, correspondendo a superfícies topograficamente denudacionais.

Figura 33 - Mapa de Índice de dissecação do Relevo de Rio Preto da Eva.

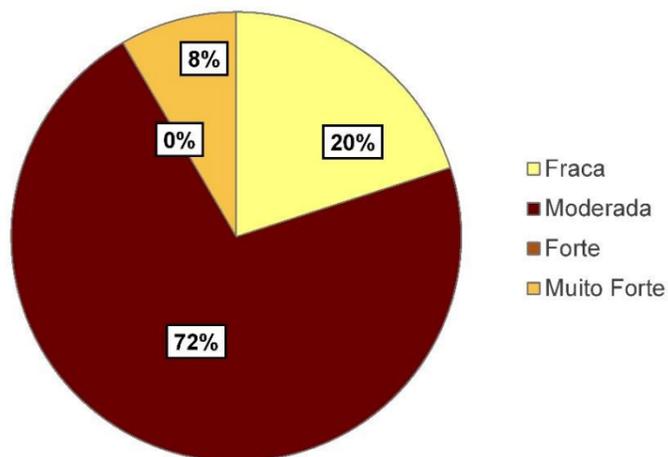


Legenda

- Sede municipal
- Rodovias
- Drenagem
- Rio Preto da Eva
- Limite Intermunicipal

- IDR**
- Fraca
 - Moderada
 - Forte
 - Muito Forte

Classes do IDR em %



Org.: Gabriela Mendonça (2021).

Caracterização da vulnerabilidade à erosão dos solos

De forma a caracterizar a erosão dos solos, optou-se em descrever a forma de ocupação da terra, pois entende-se que o levantamento da cobertura da terra é necessário para indicar espacialmente a distribuição das formas de cobertura, de tal modo que, a mesma influência na ocorrência de processos erosivos à medida que como a terra é usada.

A cobertura da terra de Rio Preto da Eva consiste em 92,48% do território de floresta densa, 3,06% de solo exposto, 3,04% em vegetação secundária/agrícola, 1,03% floresta aluvial ou várzea e por último 0,36% de corpos d'água, conforme (**figura 34**).

A densa cobertura vegetal predominante no município, impossibilitou o mapeamento fiel da classe corpos d'água. O dado (0,36%) obtido pela classificação remete, somente, à captura do alvo (água) visível na área em estudo pelo satélite.

Mais de 90% do território tem sua floresta preservada, correspondendo a Floresta Ombrófila Densa e Aluvial. As áreas alteradas pelas atividades antrópicas (3,06%) consistem nos trechos adjacentes à rodovia AM-010 e ao longo do sítio urbano. As manchas de solo exposto fora do eixo cidade-rodovia correspondem a uso de propriedades rurais para cultivo e pastagem.

O fato é que a área o município vem passando por processos de ocupação nas áreas adjacentes à rodovia e ao rio Preto da Eva destacando, assim, o maior potencial erosivo, pois são áreas sem a proteção da cobertura vegetal e com terraplanagem com consequente formação de taludes.

Figura 34 - Mapa da Cobertura da Terra do município de Rio Preto da Eva.



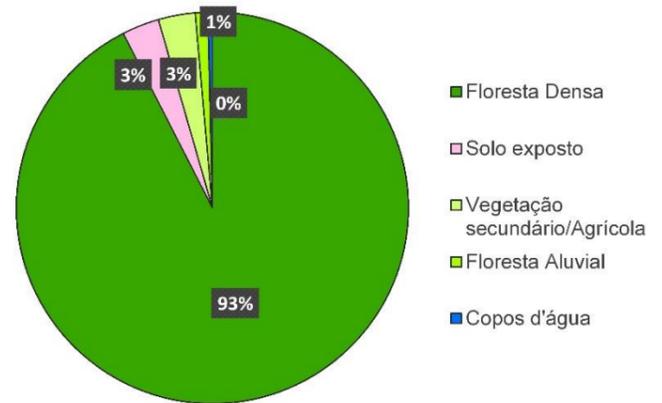
Legenda

- Sede municipal
- Rodovias
- Limite intermunicipal
- Rio Preto da Eva

Cobertura da terra

- Floresta Densa
- Solo exposto
- Vegetação Secundária/Agrícola
- Floresta Aluvial
- Copos d'água

Cobertura da Terra em %



Org.: Gabriela Mendonça (2021).

O mapa de vulnerabilidade natural exhibe o grau de fragilidade ou estabilidade dos elementos físicos do município em estudo (**figura 35**). Abrangendo a maior parte da área de estudo, as áreas com **vulnerabilidade moderadamente estáveis** à erosão (94%), correspondem a ambientes com elevada estabilidade decorrente das caracterizadas do meio físico da paisagem natural, em especial, a floresta densa.

A **vulnerabilidade medianamente estável** (6%) decorre do tipo de vegetação, como também, pela fragilidade do solo Neossolo Quartzarênicos situado ao longo da calha dos rios Preto da Eva e Urubu. Essas áreas são encontradas espalhadas no município, porém, concentradas ao longo da rodovia AM-010, no sítio urbano e na porção noroeste nas proximidades da BR-174.

As manchas de **moderadamente vulneráveis** (0,088%) envolvem áreas na planície do rio Preto da Eva. Está, deve estar condicionada pelos mesmos fatores naturais, porém, contém a classe Neossolo Quartzarênico, que por ser um solo com teor de areia elevado acaba por fragiliza essas áreas.

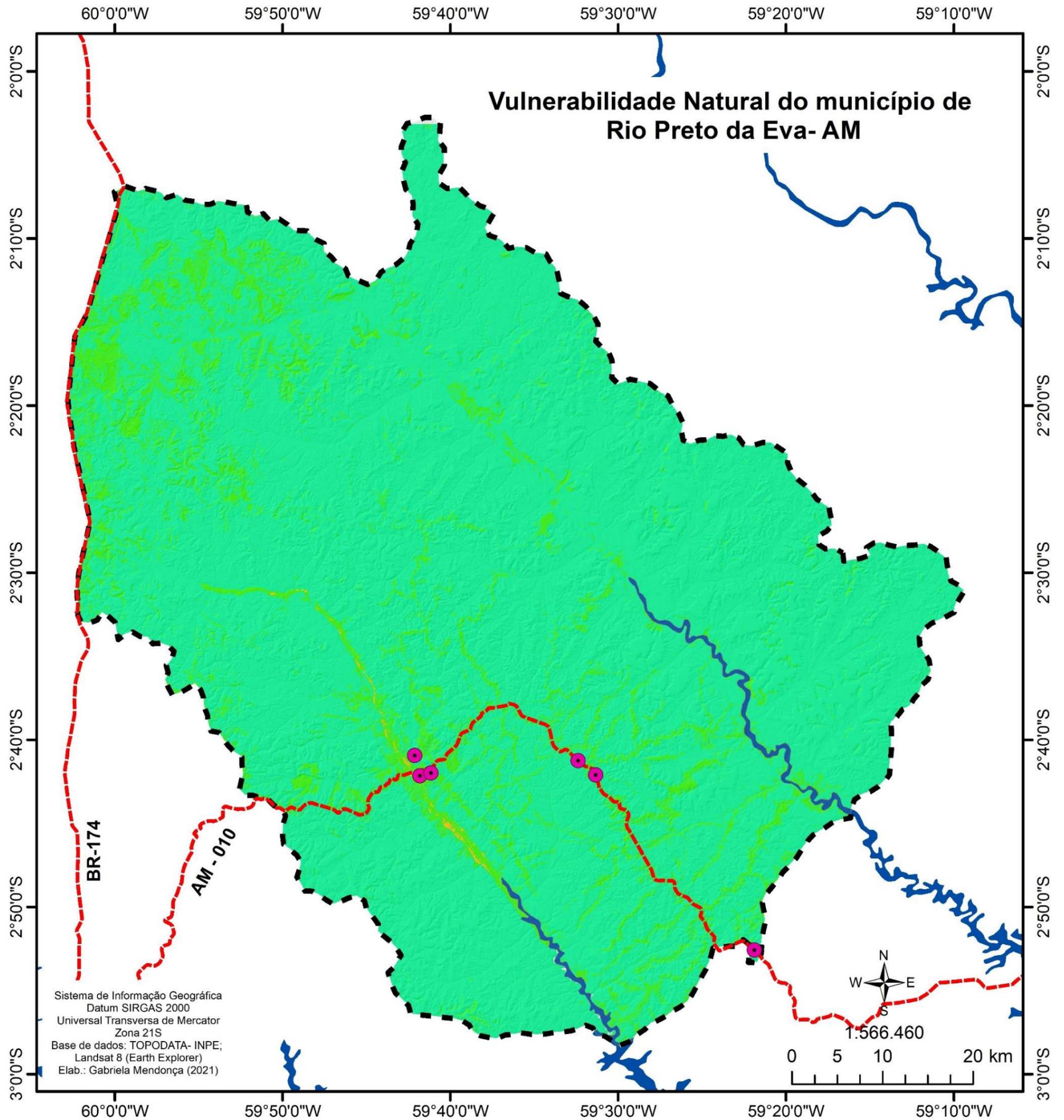
Com a sobreposição do mapa de cobertura da terra ao mapa de vulnerabilidade natural, percebe-se o grau de vulnerabilidade do município aos impactos ambientais. Em maior parte, o município está assentado no ambiente com um grau de **vulnerabilidade estável** (89%), conforme a **figura 36**. Este valor refere-se ao ambiente com baixa ou ausência de aparelhos urbanos consolidados e coberto por uma extensa floresta, proporcionando, assim, menor risco ambiental, uma vez que as características naturais estão preservadas.

As manchas com graus de **vulnerabilidade moderadamente estáveis** (5%), correspondem às áreas ao longo da planície dos rios Preto da Eva e Urubu. Esse valor representa o tipo de vegetação aluvial e solo.

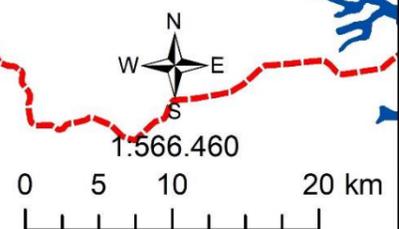
As áreas com **vulnerabilidade medianamente estáveis** (3%), encontram-se distribuídas em manchas isoladas nas áreas as quais passaram por intervenções antrópicas. E, mesmo sendo áreas que sofreram pelas atividades humanas, apresentam fragmentos de vegetação.

O grau de **vulnerabilidade moderadamente vulnerável** (3%) localiza-se em áreas com infraestrutura consolidada, como é o caso da cidade, da rodovia AM-010 e manchas de áreas de pastagem/agrícolas. É encontrada manchas isoladas no município do grau **vulnerável** (0,05%) situado, principalmente, nas planícies tecnogênicas (áreas de uso para banhistas) do rio Preto da Eva e áreas agrícolas descobertas de vegetação com o solo exposto.

Figura 35 - Mapa de Vulnerabilidade Natural do município de Rio Preto da Eva-AM.



Sistema de Informação Geográfica
Datum SIRGAS 2000
Universal Transversa de Mercator
Zona 21S
Base de dados: TOPODATA- INPE;
Landsat 8 (Earth Explorer)
Elab.: Gabriela Mendonça (2021)



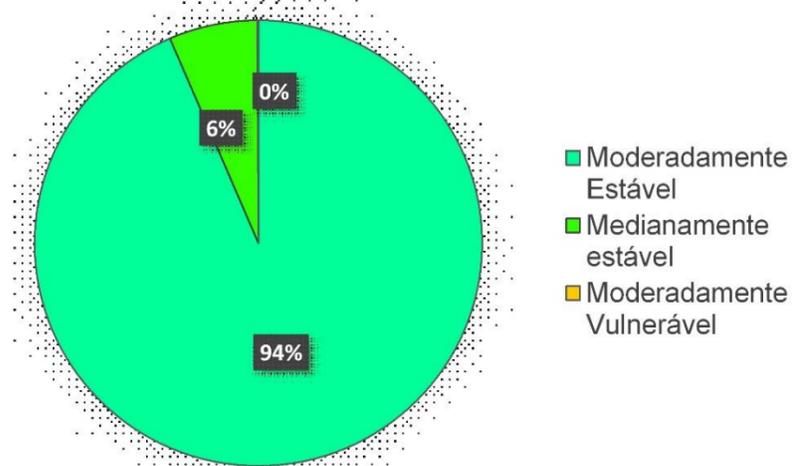
Legenda

- Rodovia AM-010
- Voçorocas
- Rio Preto da Eva
- Drenagem

Grau de Vulnerabilidade Natural

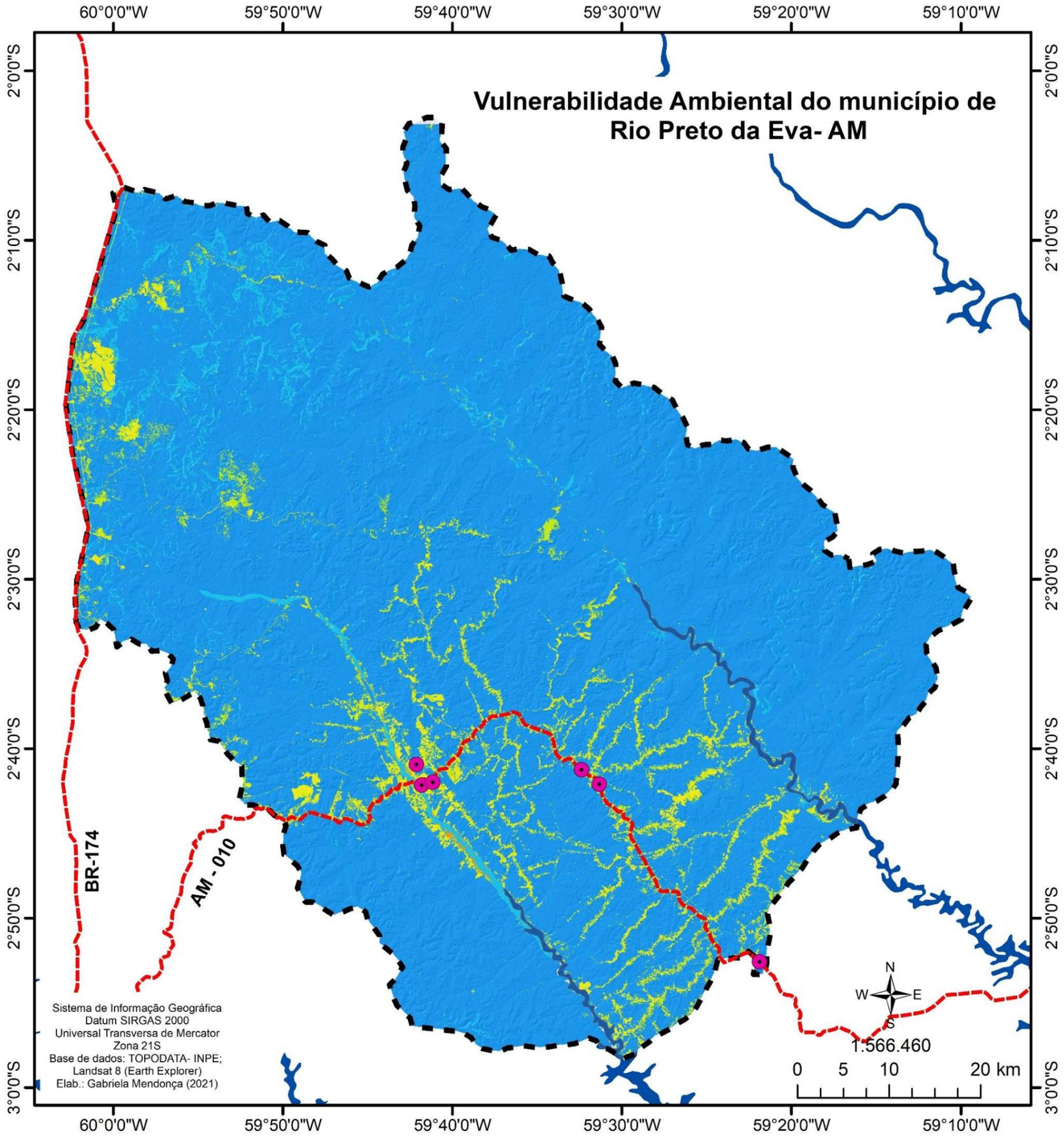
- Moderadamente Estável
- Medianamente estável
- Moderadamente vulnerável

Grau de vulnerabilidade natural em %



Org.: Gabriela Mendonça (2021).

Figura 36 - Mapa de vulnerabilidade Ambiental para o município de Rio Preto da Eva - Am.



Sistema de Informação Geográfica
Datum SIRGAS 2000
Universal Transversa de Mercator
Zona 21S
Base de dados: TOPODATA- INPE;
Landsat 8 (Earth Explorer)
Elab.: Gabriela Mendonça (2021)

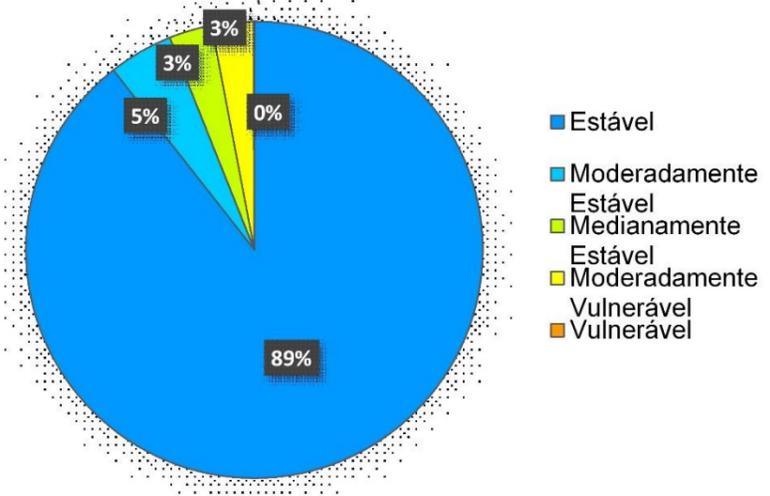
Legenda

- Rodovia AM-010
- Voçorocas
- Rio Preto da Eva
- Drenagem

Grau Vulnerab. Ambiental

- Estável
- Moderadamente Estável
- Medianamente Estável
- Moderadamente Vulnerável
- Vulnerável

Grau de vulnerabilidade ambiental em %



Org.: Gabriela Mendonça (2021).

Mapeamento da ocorrência de voçorocamento e a correlação com as áreas de vulnerabilidade

A origem dessas feições erosivas ocorreu por meio das ações antrópicas em áreas naturalmente vulneráveis. Um dos fatores identificados em campo que viabilizaram o aparecimento das voçorocas foi a alta declividade das encostas incompatível com as ações do homem (desmatamento, ocupação irregular, terraplanagem) na canalização do escoamento pluvial da água da chuva. Assim, foram mapeadas seis voçorocas, três situam-se no sítio urbano e as outras três às margens da rodovia AM-010 (**figura 38**).

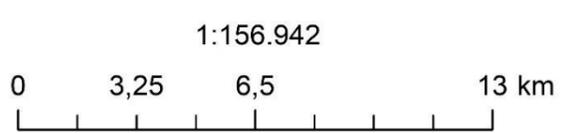
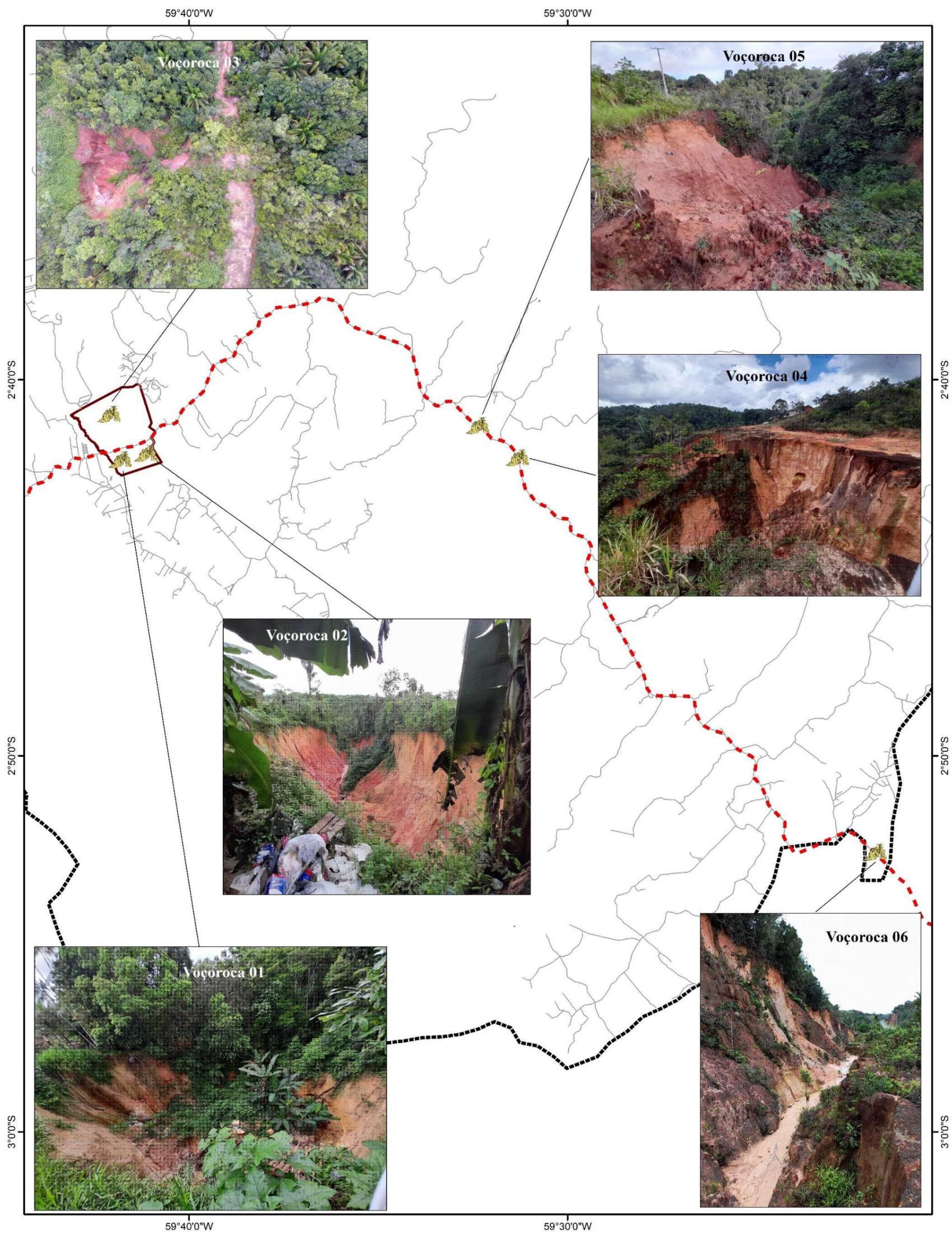
O sítio urbano de Rio Preto da Eva possui 11 km² de extensão para uma área territorial municipal de 5 mil km². Espacialmente a cidade não possui uma homogeneidade de aparelhos urbanos. A malha urbana densa da cidade concentra-se na parte central, a qual é cortada pela Rodovia AM-010 e pelo rio Preto da Eva (**figura 37-A**). A porção norte do sítio urbano apresenta características rurais como fazendas, chácaras (**figura 37-B**). E por não apresentar uma estrutura densa de urbanização, as principais vias de acesso são, em sua maioria, as vias não pavimentadas (**figura 37-C**).

Figura 37 - Sítio urbano de Rio Preto da Eva. A- Centro e B/C- parte norte da cidade

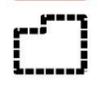


Fonte: VANT Latossolo (2019); Gabriela Mendonça (2021).

Figura 38 - Localização das voçorocas no município de Rio Preto da Eva-AM.



-  Voçorocas
-  Rodovia AM-010
-  Vicinais

-  Área urbana
-  Rio Preto da Eva

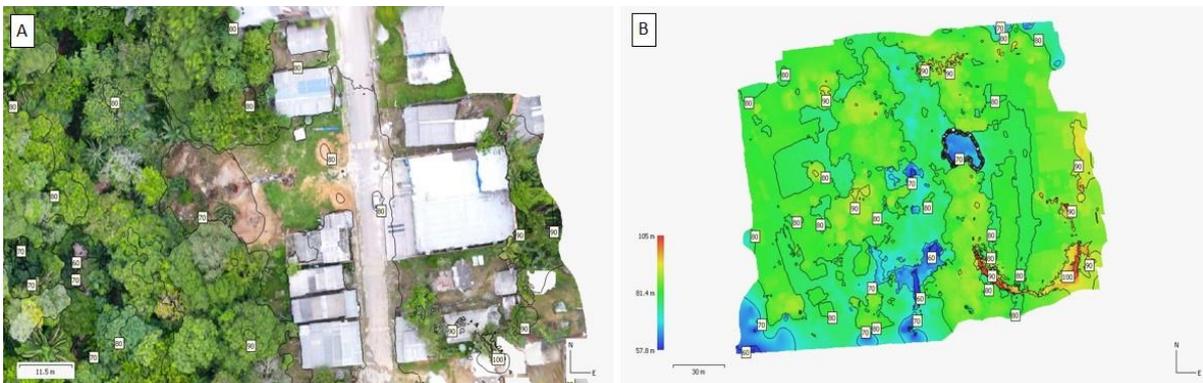
Org. Gabriela Mendonça (2021).

As voçorocas na área urbana têm como maior destaque em relação às demais, pois, 0,19% corresponde à área total da cidade com três voçorocas mapeadas. Em contrapartida, a área rural ocupa 99,81% com apenas três voçorocas distribuídas ao longo da AM-010. Destacando, assim, a importância do uso e ocupação da terra, demonstrando, que as ações antrópicas são marcantes no meio urbano.

Como já mencionado, o surgimento dessas feições está entrelaçado ao uso e ocupação das encostas, alteração da dinâmica hidrológica do escoamento da água. Os fatores geomorfométricos juntamente com a retirada da cobertura vegetal possibilitaram o surgimento e a expansão das feições.

A primeira voçoroca identificada na cidade, está situada na rua 31 de março (**figura 39- A**). A feição foi caracterizada quanto à forma como retangular e do tipo conectada. Na cabeceira, a cota altimétrica da feição é de 78 m, já no seu interior é de 64 m (**figura 39-B**). Situa-se em relevos ondulados de 8 a 20%.

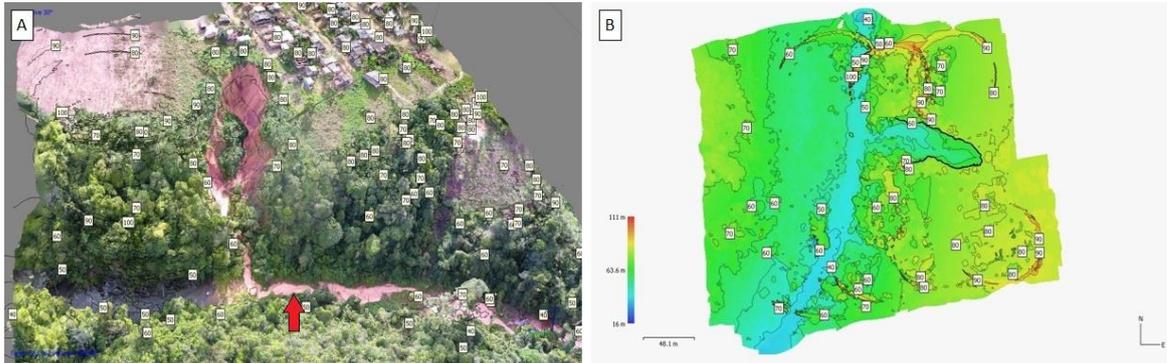
Figura 39 - Ortomosaico (A) e MDE (B) da voçoroca (circunscrito de preto) 01 situada na cidade de Rio Preto da Eva



Fonte: VANT- Latossolo (2019). **Org.** Gabriela Mendonça (2019).

A segunda voçoroca encontrada na cidade, está localizada no Conjunto Residencial São Sebastião. Vale destacar que, essa voçoroca pela extensão e volume erodido, atingiu o canal hidrográfico resultando no assoreamento deste, como pode ser visto no ortomosaico (**figura 40- A, seta vermelha**). A feição encontra-se na cota altimétrica de 80 m na cabeceira e 50m no seu interior (**figura 40-B**), sendo caracterizada com a forma retangular e sendo do tipo conectada. Está situada em relevos classificados como forte ondulada com declividade variando de 20 a 45%.

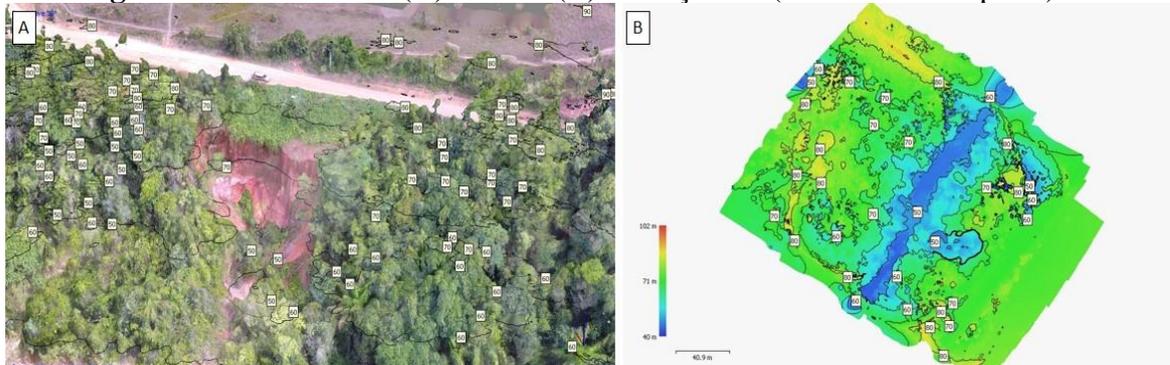
Figura 40 - Ortomosaico (A) e MDE (B) da voçoroca (circunscrito de preto) 02 do Conjunto Residencial São Sebastião



Fonte: VANT- Latossolo (2019). **Org.** Gabriela Mendonça (2019).

A terceira voçoroca encontrada na cidade está situada ao norte da cidade em via não pavimentada (**figura 41- A**). Apesar da área não apresentar a mesma forma de uso e ocupação das outras duas, o surgimento foi resultante da drenagem inadequada da água pluvial oriunda da pista. A voçoroca na cabeceira possui uma altimetria de 70 m e 50 m no seu interior (**figura 41- B**), sendo caracterizada com a forma retangular e do tipo conectada. Está situada em relevo classificado como forte ondulado onde a declividade varia de 20 a 45%.

Figura 41 - Ortomosaico (A) e MDE (B) da voçoroca (circunscrito de preto) 03



Fonte: VANT- Latossolo (2019). **Org.** Gabriela Mendonça (2019).

O surgimento das voçorocas na rodovia AM-010, também está associado à má drenagem pluvial, porém a forma de ocupação da terra se difere das voçorocas encontradas na cidade de Rio Preto da Eva. Todo o trecho da rodovia é ocupado por áreas agrícolas, pastagem e vegetação. Mesmo com a forma de ocupação distintas a canalização de água nas encostas com alta declividades deu aporte para o voçorocamento.

Após a cidade de Rio Preto foram encontradas três voçorocas situadas em áreas de solo ausente de vegetação, compactado e encrostado, características que contribuem para o aumento do escoamento superficial que juntamente com a drenagem da pista, propiciam o surgimento de voçorocas.

Figura 42 - Vista da Voçoroca 04 na AM-010.



Fonte: Gabriela Mendonça (2021).

Forma: Bifurcada

Tipo: conectada

Características do terreno no entorno da voçoroca: encrostada.

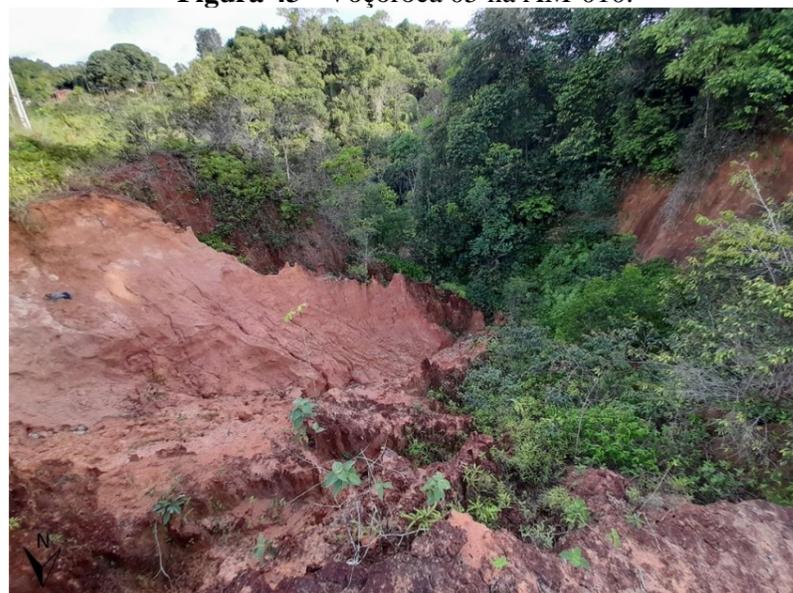
A parte interna, encontra-se retrabalhada por alcovas de regressão e movimentos de massa.

Apresenta vegetação arbustiva distribuída no interior da incisão de forma espaçada.

Não possui lixo em seu interior.

Encontra-se em altimetria variando de 70 a 74 m e com declividade caracterizada como forte ondulada (20 – 45%).

Figura 43 - Voçoroca 05 na AM-010.



Fonte: Gabriela Mendonça (2021).

Forma: Bifurcada

Tipo: conectada

Características do terreno no entorno da voçoroca: encrostada.

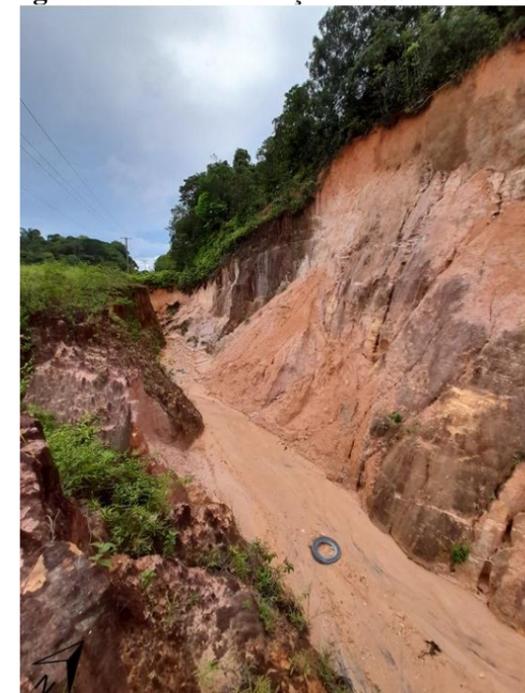
A parte interna, encontra-se retrabalhada por movimentos de massa, sem presenças de alcovas de regressão na parede da incisão.

Presença de vegetação arbustiva e subarbustiva no interior. À Jusante da voçoroca verifica-se vegetação arborescente e arbórea.

Sem descarte de lixo no seu interior

Situa-se em topografia que varia entre 80 e 84 m e em declividades onduladas (8 - 20%).

Figura 44 - Vista da voçoroca 06 na AM-010.



Fonte: Gabriela Mendonça (2021).

Forma: Linear

Tipo: conectada

Características do terreno no entorno da voçoroca: encrostada.

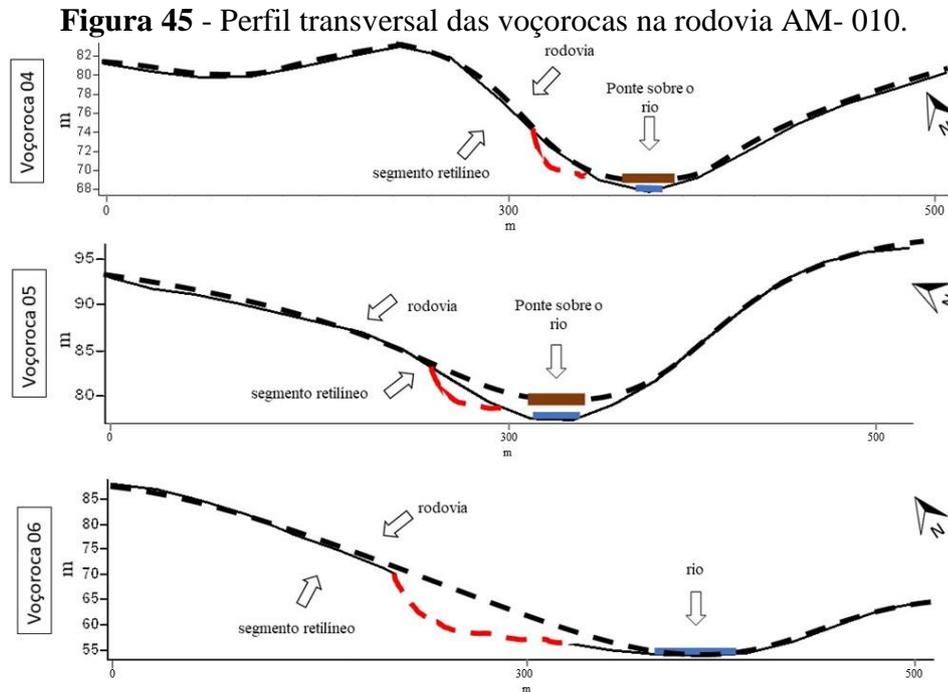
A parte interna, encontra-se retrabalhada por alcovas de regressão e movimentos de massa.

Não apresenta vegetação no seu interior.

Verificou-se uma pequena porção de lixo no seu interior.

Situa-se entre 55 a 70 m de altitude e em declividade forte ondulada (20 – 45%).

A posição topográfica das voçorocas nas vertentes (**figura 45**), mostra que estão situadas em segmentos retilíneos na parte inferior da encosta, associada diretamente ao fundo de vale, sendo assim, conectadas ao vale.



Org.: Gabriela Mendonça (2021).

Observa-se no perfil topográfico da voçoroca 04 (**figura 43**) que a incisão na vertente não apresenta uma variação altimétrica significativa, variação altimétrica de apenas 4 m, (74 m - montante a 70 m - jusante). Assim como a voçoroca 04 a 05, mostra uma variação altimétrica de 4 metros (84 m a 80 m). Ao passo que a voçoroca 06, apresentou uma amplitude altimétrica de 15 m (70 m a 55 m).

Quanto aos dados métricos, a maior feição é a voçoroca 02 com 64.638,33 m³ de material erodido, seguida da voçoroca 03 com 17.429,34 m³, voçoroca 06 com 9.678,15 m³, voçoroca 05 com 9.103,5 m³, voçoroca 04 com 8.489,86 m³, e por último a voçoroca 01 com 6.938,31m³ (**tabela 2**).

Tabela 2 - Dados métricos das voçorocas mapeadas na cidade

Voçorocas	Volume erodido (m ³)	Comprimento médio (m)	Largura média (m)	Profundidade média (m)	Tamanho
01	6.789,79	32,0	19,8	10,7	Pequena
02	64.638,33	32,7	31,1	17,9	Muito Grande
03	17.429,34	45,1	22,0	17,1	Média

04	8.489,86	35,0	33,40	7,2	Pequena
05	9.103,50	20,0	26,7	17,0	Pequena
06	9.678,15	192,6	8,3	6,0	Pequena

Org.: Gabriela Mendonça (2021).

A erosividade da chuva, baseada na série de precipitação acumulada observada de 2009 a 2019, foi de 79.606 a 86.077 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. A **figura 46** exhibe a distribuição espacial indicando as áreas de mínima e máxima erosividade da chuva de Rio Preto da Eva. As regiões Noroeste e Norte são as áreas com os valores de máxima erosividade, por outro lado, a porção sul possui os menores valores.

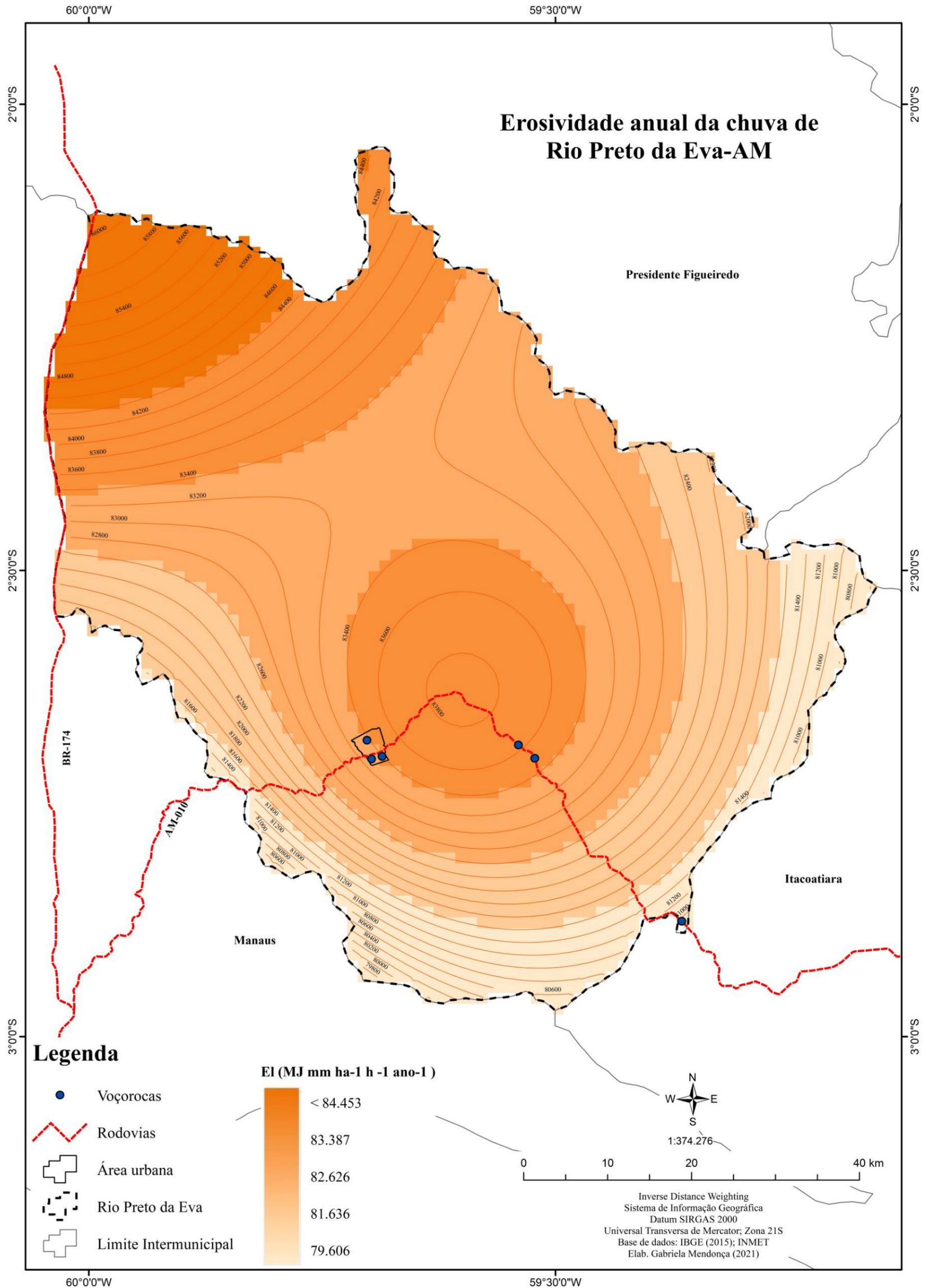
Para o ano de 2019, a Erosividade da chuva para o município, com base na proposta de Carvalho (2008), é de muito forte (11.516 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹), o que proporciona um maior escoamento, assim, um maior potencial erosivo. As voçorocas situam-se em áreas onde a chuva provocou a erosão de 83.354 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ (voçoroca 1, 2, 3, 4 e 5) e 80.877 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ (voçoroca 6) no período de 2009 a 2019.

Nos municípios de Coari, Tefé, Alvarães, Uarini, Carauari e Juruá, a média da Erosividade anual, das estações analisadas, correspondeu a 10.103,34 MJ MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, classificada como Erosividade Muito Alta, R>10.000 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ (SILVA NETO e ALEXO, 2020). Dessa forma, esses municípios possuem uma Erosividade da chuva semelhante ao município em estudo, caso comparado com o ano de 2019.

Na **figura 47** apresenta-se o mapa da acumulação da distribuição da precipitação anual, no período de 2009 a 2019, para o município de Rio Preto da Eva. O município apresenta valores de 2.914 mm (mínimo) a 3.069 mm (máximos) distribuídos espacialmente. Nos anos em estudo, a maior intensidade de chuva concentrou-se nas regiões Oeste, Sudoeste, Sul e Sudeste. Em direção às porções Norte, Nordeste, Noroeste e Central do município, correspondem a áreas com os menores valores de intensidade pluviométrica.

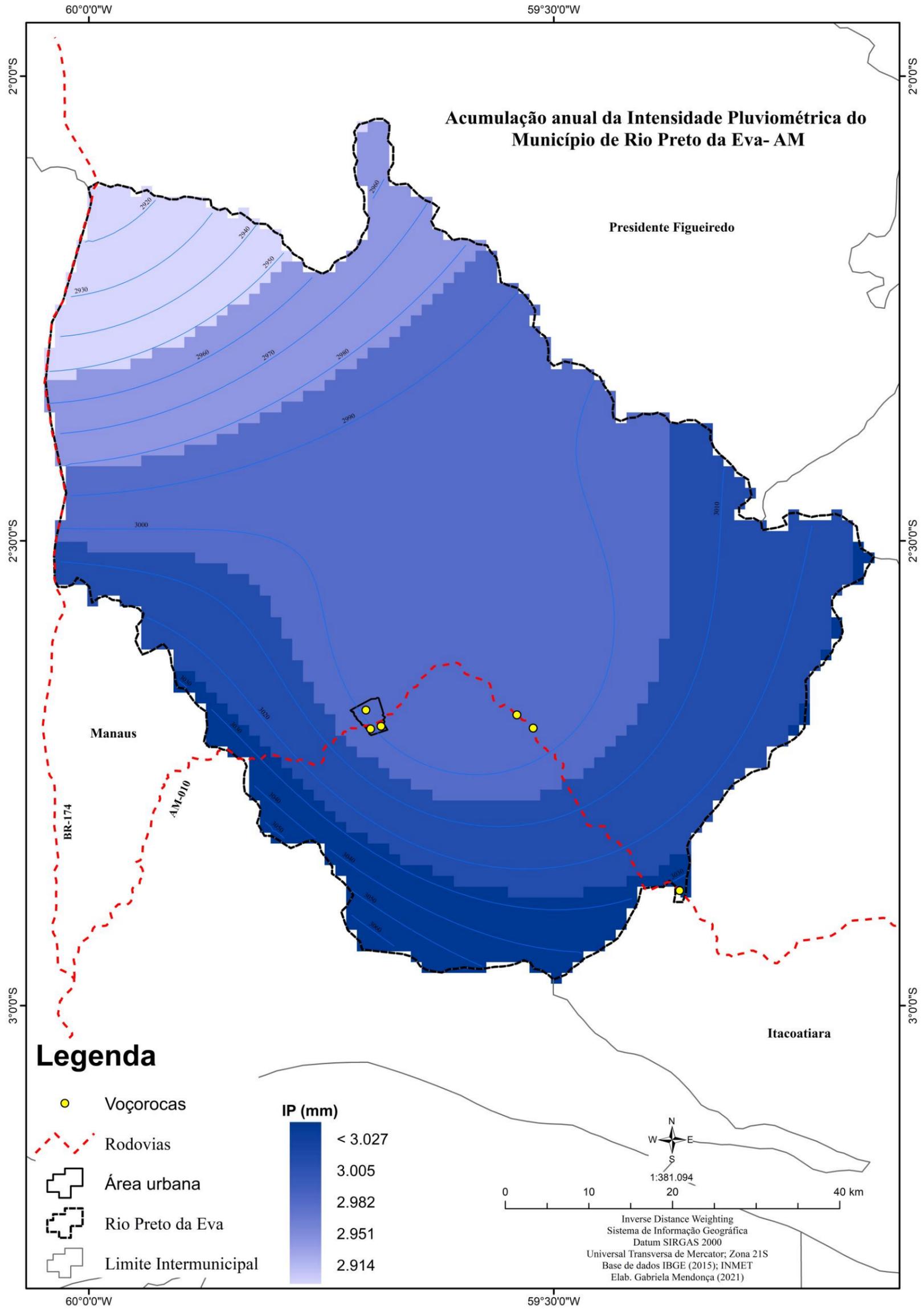
O processo de voçorocamento ocorreu em áreas onde a capacidade disponível em escoamento muito grande, com valor de acumulação (2009-2019) anual de 2.994 a 3.032 mm, assim, levando a um maior potencial erosivo.

Figura 46 – Acumulação anual da Erosividade da chuva para o município de Rio Preto da Eva- AM.



Org.: Gabriela Mendonça (2021).

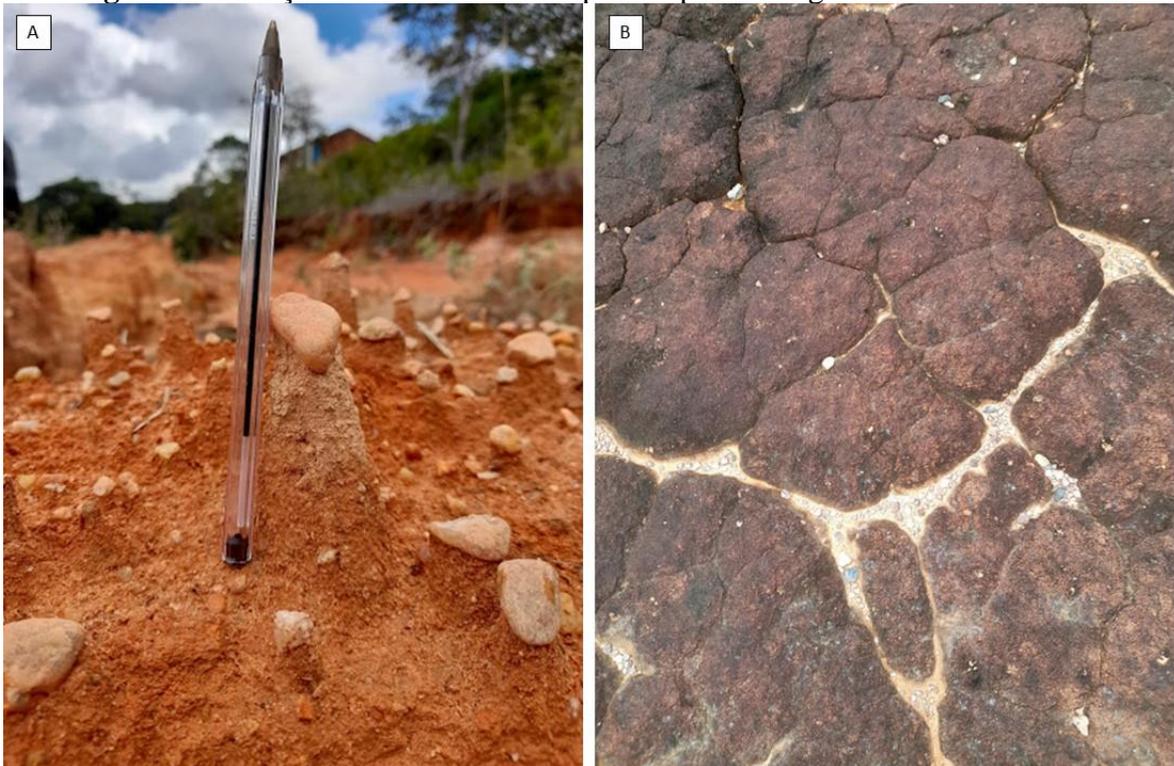
Figura 47 - Acumulação anual (2009-2019) da Intensidade Pluviométrica de Rio Preto da Eva- AM.



Org.: Gabriela Mendonça (2021).

Além da voçoroca ser a maior expressão do impacto da chuva no solo, outras feições também indicam o potencial das gotas da chuva na superfície do solo. Os pedestais ou *demoiselles* (**figura 48 – A**) são formas residuais provenientes do salpicamento (*splash*) pelo impacto da chuva na superfície do solo. Com a frequência da erosividade da chuva, a superfície do solo torna-se encrostada (**figura 48 - B**) em decorrência da compactação associada aos impactos de gotas de chuva (GUERRA, 2012).

Figura 48 – Feições erosivas causadas pelo impacto das gotas de chuva no solo.



Org.: Gabriela Mendonça (2021).

Dentre as voçorocas mapeadas em Rio Preto da Eva, a feição 01 apresenta uma particularidade, a qual refere-se a sua evolução, pois a mesma acabou por atingir as casas (02) situadas na proximidade da cabeceira desta. A água pluvial concentrada em direção a encosta, acabou sendo intensificada pela drenagem do esgoto no interior da voçoroca (**figura 49- C; D; F**). Com a expansão da feição, foram adotadas medidas de contenção, do tipo galeria pluvial, com intuito de desacelerar o crescimento, porém essas medidas culminaram no aumento da voçoroca (**figura 49- A; B**). O constante escoamento da água pluvial no interior da feição criou caminhos preferenciais, causando a instabilidade do solo das paredes da voçoroca com conseqüente desmoronamento destas (**figura 49- E**).

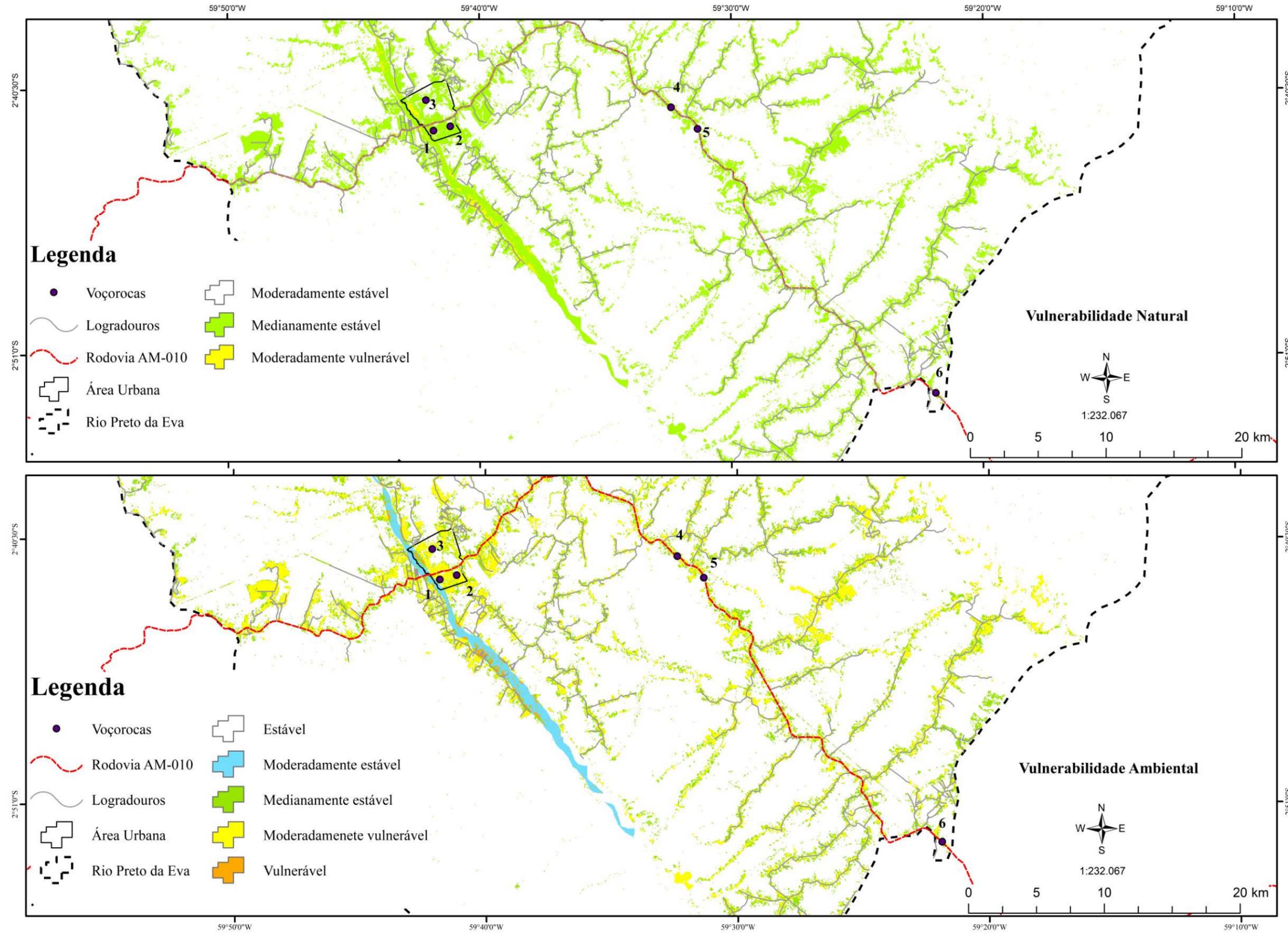
Figura 49 - Voçoroca 01 na rua 31 de março.



Org.: Gabriela Mendonça (2021)

As áreas onde ocorrem o voçorocamento no município correspondem as moderadamente estáveis, isto em ambiente natural, e moderadamente vulneráveis, em ambiente de intervenção antrópica (**figura 50**).

Figura 50 - Vulnerabilidade a voçorocamento no município de Rio Preto da Eva- AM.



Datum: SIRGAS 2000. Org.: Gabriela Mendonça (2021)

Tanto no sítio urbano de Rio Preto da Eva quanto ao longo da rodovia, é marcado pelo grau de vulnerabilidade moderadamente vulnerável, ou seja, processo de morfogênese ativa no processo de modelamento, entendida como a erosão. As áreas onde se encontram as voçorocas coincidem com as áreas fragilizadas com processos erosivos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O quadro geomorfológico do município de Rio Preto da Eva possibilitou uma análise preliminar da dinâmica da vulnerabilidade e dos processos erosivos. Rio Preto da Eva encontra-se assentada em relevos de altimetria de 77 a 115 m (47%), seguido de 40 a 77 m (28%), 115 a 152 m (21%), 3 a 77 m (3%) e acima de 152 m (1%). O fator declividade corresponde às áreas onduladas (55%), seguido suave onduladas (31%), forte ondulado (10%), ondulada (31%), forte ondulado (10%) e montanhoso (0,001%).

Em análise das variáveis do relevo, Rio Preto da Eva possui uma curvatura vertical de formas convexas (34%), seguido de retilíneas (33,3%) e côncavas (33%). Em curvatura horizontal, as formas predominantes são divergentes (45%), convergentes (40%) e planares (15%). A combinação dessas variáveis permitiu identificar que Rio Preto da Eva tem formas do terreno convergente-côncava (22%), divergente-convexo (22%), divergente-retilíneo (16%), convergente-retilíneo (12%) e o restante possuem uma somatória de 28% distribuídos em 6 a 5%.

A mensuração do índice de dissecação do relevo de Rio Preto da Eva identificou-se que o relevo possui o grau dissecação moderada (72%), seguida de fraca (20%), muito forte (8%) e forte (0,01%). As áreas com o processo de dissecação mais intensos correspondem a relevos com baixa dimensão interfluvial e canais fluviais moderadamente entalhamento em áreas de predominância de declividades onduladas a suaves onduladas.

De acordo com o resultado obtido, o município de Rio Preto da Eva apresenta, predominantemente, vulnerabilidade natural e ambiental baixa a mediana em decorrência da maior parte do município apresentar a floresta preservada ou sem interferências antrópicas, o que torna o ambiente mais estável. As áreas naturalmente mais vulneráveis são as planícies fluviais e planícies tecnogênicas (área de banho) dos rios Preto da Eva e Urubu. Desse modo, são áreas sensíveis a qualquer forma de uso e ocupação que possa fomentar os processos erosivos exigindo um maior efetivo de gestão e controle.

As voçorocas encontradas em Rio Preto da Eva situam-se em relevo com declividades acentuadas (igual ou acima de 20%), sendo assim, a declividade é um dos fatores potencializado da vulnerabilidade à erosão dos solos. Embora a influência das ações antrópicas seja marcante no aparecimento das voçorocas em Rio Preto da Eva, a declividade apresentou-se como uma variável importante, pois a mesma favoreceu o surgimento dessas feições.

Apesar das formas de ocupação nas áreas das voçorocas serem distintas, em todos os casos a drenagem inadequada, ou seja, a canalização da água pluvial para as encostas com declividades acentuadas potencializou o aparecimento da feição. Assim, o surgimento das voçorocas está situado em áreas vulneráveis, propícias à formação e evolução destas.

Em fase de expansão urbana de Rio Preto da Eva, as áreas vulneráveis apontadas no trabalho são informações minimizadoras de problemas futuros, que possam ocorrer em processo de urbanização, por motivos de processos erosivos.

O dinamismo dos processos naturais somados às ações humanas sobre o relevo, contribui sobremaneira a ocorrência de processos erosivos mais intensos, os quais resultam no surgimento e expansão de voçorocas. Espera que esse estudo, possa somar com outras pesquisas, para dar suporte aos futuros planejamentos para esse município, contribuindo assim para melhor entendimento do uso e ocupação nesta área, ambiente físico e, portanto, no ambiente vivido pelo homem.

REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. 2ª ed., São Paulo: Ateliê Editorial, 2003. 157p.

ADGER, W. N. Vulnerability. **Global Environmental Change**, n. 16, p. 268-281, 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959378006000422>. Acesso em: 30/04/2019.

ALCÁNTARA-AYALA, I. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. **Geomorphology**, v. 47 p.107–124, 2002. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/222577933_Geomorphology_Natural_Hazards_Vulnerability_and_Prevention_of_Natural_Disasters_in_Developing_Countries. Acesso em: 31/04/2019.

ALMEIDA, L. Q. **Riscos ambientais e vulnerabilidade nas cidades brasileiras: conceitos metodologias e aplicações**. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2012. 215p.

BATISTA, D. C. L.; ALBUQUERQUE, A. R. e FELIX, R. O. Impacto ambiental por ocupação em encostas urbanas: estudo de caso no bairro Gilberto Mestrinho zona leste de Manaus, Amazonas, Brasil. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 19, INPE, 2019, **Anais [...]**. Santos- SP: INPE, 2019, p. 1011-1014.

BRASIL, **Folha SA. 21 - Santarém; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra/Projeto RADAM BRASIL**, Rio de Janeiro, 1976, 510p.

BECKER, B. K. e EGLER, C. A. **Detalhamento da Metodologia para Execução do Zoneamento Ecológico-Econômico pelos Estados da Amazônia Legal**, Brasília: Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Naturais e da Amazônia Legal, 1996, 40p.

BEGNINI, R. S. B. **O turismo rural como estratégia de desenvolvimento local no município de Rio Preto da Eva - AM**, 2010. 141f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional). Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional. Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2010.

BERTONI, J. e LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**, 4ª ed., São Paulo: Ícone, 2014, 360p.

BIGARELLA, J. J. **Estruturas e origem das paisagens tropicais e subtropicais: processos erosivos, vertentes, movimento de massa, atividade endógenas, superfície de erosão, compartimentação do relevo, depósitos correlativos e ambientes fluviais**. 3ª ed., Florianópolis: Editora da UFSC, 2003. 552p.

BRASIL, **Projeto RadamBrasil: Folha SA-21 Santarém; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**, Rio de Janeiro: Departamento de Nacional de Produção Mineral, 1976. 220p.

BRIKMAN, J. Measuring vulnerability to promote disaster-resilient societies: Conceptual frameworks and definitions. **Institute for Environment and Human Security Journal**, v. 5,

p. 7-54, 2006. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Measuring-vulnerability-to-promote-societies%3A-and-Birkmann-Dech/c5d7618e26e587f1c1a0f4afc4c8ff1926a1634f>. Acesso em: 08/12/2019.

CARVALHO, J. S. **Caracterização hidrogeológica da região Norte da cidade de Manaus, com base em informação geofísica (resistividade elétrica), geológicas geomorfológicas**, 2012, 157f. Tese (Doutorado em Clima e Ambiente) - Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia, Manaus, 2012.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**, Rio de Janeiro: CPRM, 1994. 372p.

CARVALHO, J. S. e TOMASELLA, J. Aspectos morfoestruturais do relevo na região norte da cidade de Manaus e suas influências na dinâmica do aquífero Alter do Chão. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Brasília, v.14, n.3, p.323-330, 2013. Disponível em: <http://www.lsie.unb.br/rbg/index.php/rbg/article/view/430/341>. Acesso em: 05/05/2019.

CASSETI, V. Cartografia geomorfológica. **Observatório Geográfico de Goiás**, São Paulo, p, 1-19, 2005. Disponível em: https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/215/o/Casseti_valter_cartografia_geomorfol_gica.pdf. Acesso em 06/06/2019.

CASSETI, V. **Ambiente e apropriação do relevo**. 2ªed., São Paulo: Editora Contexto, 1995. 147p.

CASSETI, V. **Elementos de Geomorfologia**, Goiânia: Editora UFG, 1994. 140p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**, 2º ed., São Paulo: Blucher, 1980. 185p.

CHRISTOFOLETTI, A. O desenvolvimento teórico-analítico em geomorfologia: do ciclo de erosão aos sistemas dissipativos. In: **Geografia**, v. 14, n. 28, p. 15-30, 1985. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/view/15243/11701>. Acesso em: 10/12/2020.

CHRISTOFOLETTI, A. Aplicação do conhecimento geomorfológico nos projetos de planejamento. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. (org.) **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**, 11ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012. p. 415-440.

COELHO NETO, A. L. Hidrologia de encosta na Interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S B. (org.) **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 11ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012. p. 93-148.

COLANGELO, A. C. O modelo de feições mínimas, ou das unidades elementares de relevo: um suporte cartográfico para mapeamentos geocológicos. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 10, p. 29-40, 1996. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/53702>. Acesso em: 19/12/2019.

COSTA, J. B. S.; BEMERGUY, R. L.; HASUI, Y.; BORGES, M. S.; FERREIRA JÚNIOR, C. R. P.; BEZERRA, P. E. L.; COSTA, M. L. e FERNANDES, J. M. G. Neotectônica da região Amazônica: aspectos tectônicos, geomorfológicos e deposicionais. **Geonomos**, Belo Horizonte, n. 4, p. 23-44, 1996. Disponível em:

<https://periodicos.ufmg.br/index.php/revistageonomos/article/view/11499>_ Acesso em: 17/01/2020.

COSTA, F. H. S.; PETTA, R. A.; LIMA, R. F. S. e MEDEIROS, C, N. Determinação da vulnerabilidade ambiental na Bacia Potiguar, Região de Macau (RN), utilizando Sistema de Informação Geográfica. **Revista Brasileira de Cartografia**. Uberlândia, n. 58, p.119-127, 2006. Disponível em:

<http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44917>. Acesso em: 05/05/2020.

CPRM- Serviço Geológico do Brasil. **Mapa Geodiversidade do Estado do Amazonas**, Manaus: CPRM, 2009. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/14690>. Acesso em: 26/06/2019.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; PALMEIRAS, A. F. e SILVA, E. F. Zoneamento Ecológico-Econômico. *In*: FLORENZANO, T. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p. 285-317.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. e PALMEIRA, A. F. **Intensidade pluviométrica: uma maneira de tratar dados pluviométricos para análise da vulnerabilidade de paisagens à perda de solo**. São José dos Campos: INPE, 2004. 30p.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicado ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001. 103p.

CUNHA, E. R. e BACANI, V. M. Sensoriamento remoto e SIG aplicados ao mapeamento geomorfológico da bacia hidrográfica do córrego Indaiá-MS. **Geosp – Espaço e Tempo**, São Paulo, v. 19, n. 3, p. 630-646, 2016. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/geosp/article/view/107612/112870>. Acesso em: 20/09/2019.

DANTAS, G. K. M. **Estudo Geomorfológico a partir do uso de Sistema de Informações Geográficas (Landsat 8 e SRTM/NASA): um estudo de caso na sub-bacia do Riacho Santana-RN**. 2016. 257f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2016.

DAVIS, W. M. The Geographical Cycle. *In*: **The Geographical Journal**, v. 14, n. 5, p. 481-504, 1899.

DANTAS, M. e MAIA, M. A. M. Compartimentação Geomorfológica. *In*: **Geodiversidade do Estado do Amazonas**, Manaus: CPRM, 2010. p. 28-44.

DAVICARI, L. F. **O modelado de dissecação do relevo como fator topográfico na equação universal de perda de solo aplicado ao município de São Pedro do Sul – RS**. 2009. 124f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia e Geociências, Universidade de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

DIRANE, A. C. M. **Mapeamento das áreas de risco a voçorocamento e caracterização geoambiental da rodovia AM-010 Manaus/Itacoatiara – Am**. 2016. 106f. Dissertação

(Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2016.

DUBREUIL, V.; FANTE, K. P.; PLANTON, O. e SANT'ANNA NETO, J. L. Os tipos de climas anuais no Brasil: uma aplicação da classificação de Koppen de 1961 a 2005.

CONFINS, São Paulo, n. 37, 2018. Disponível em:

<https://journals.openedition.org/confins/15738>. Acesso em: 20/06/2019.

EMBRAPA, Centro de Pesquisa de solos, **Sistema brasileiro de classificação de solos**, 5º ed., Distrito Federal: EMBRAPA, 2018. 356p.

FAGUNDES, M. G. e QUEIROZ FILHO, A. P. A variação de escala nas metodologias de fragilidade e vulnerabilidade na Bacia Hidrográfica do Rio Jundiá/SP. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 34. N. 3, p. 585-605, 2014. Disponível em:

<https://www.redalyc.org/pdf/3371/337137823011.pdf>. Acesso em: 16/05/2020.

FISCH, M., MARENGO, J. A. e NOBRE, C. A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 28, p.101-126, 1998. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/aa/a/NVRbNSn7P5z4hjtFNmMjLjx/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 09/04/2019.

FLORENZANO, T. G. Introdução a geomorfologia. *In*: FLORENZANO, T. G.

Geomorfologia: conceitos e técnicas atuais, São Paulo: Oficina de textos, 2008. p. 11-30.

GIRAO, I. R. F.; RABELO, D. R. e ZANELLA, M. E. Análise teórica dos conceitos: Riscos Socioambientais, Vulnerabilidade e Suscetibilidade. **REGNE**, Caicó, v. 4, número especial, p.71-83, 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/13273>.

Acesso em: 04/04/2020.

GONÇALVES JÚNIOR, E. S.; SOARES, E. A. A.; TATUMI, S. H.; YEE, M. e MITTANI, J. C. R. Pleitocene-Holocene sedimentation of Solimões-Amazon fluvial system between the tributaries Negro and Madeira, Central Amazon. **Brazilian Journal of Geology**, v. 46, n. 2, p.167-180, 2016.

GOVERNO DO ESTADO DO AMAZONAS, **Rio Preto da Eva avança na implantação da Nova Matriz Econômica Ambiental com foco na cadeia produtiva da Piscicultura e Fruticultura**, 2017. Disponível em: <http://www.amazonas.am.gov.br/2017/01/rio-preto-da-eva-avanca-na-implantacao-da-nova-matriz-economica-ambiental-com-foco-na-cadeia-produtiva-da-piscicultura-e-fruticultura/>. Acesso em: 01/07/2019.

GRIGIO, A. M. **Evolução da paisagem do Baixo curso do rio Piranhas-Assu (1988-2024): uso de autômatos celulares em modelo dinâmico espacial para simulação de cenário futuros**. 2008. 247f. Tese (Doutorado em Geodinâmica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

GRIGIO, A. M. **Aplicação de sensoriamento remoto e sistema de informação geografia na determinação da vulnerabilidade natural e ambiental do município de Guamaré (RN): simulação de risco as atividades da indústria Petrolífera**. 2003. 253f. Dissertação (Mestrado em Geodinâmicas). Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003.

GROHMANN, C. H.; RICCOMINI, C. e STEINER, S. S. Aplicação dos modelos de elevação em SRTM em geomorfologia. **Revista Geográfica Acadêmica**, Boa Vista, v. 2 n. 2, p. 73-83, 2008. Disponível em:

<https://eartharxiv.org/repository/view/1636/#:~:text=A%20utiliza%C3%A7%C3%A3o%20de%20Modelos%20Digitais,relevo%20com%20rapidez%20e%20precis%C3%A3o>. Acesso em: 25/07/2019.

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. (orgs.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos** (org.). 11ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012. p. 149-208.

GUIMARÃES, F. S.; CORDEIRO, C. M.; BUENO, G. T.; CARVALHO, V. L. M. e NERO, M. A. Uma proposta para automatização do Índice de dissecação do relevo. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 18, n.1, p.154-167, 2017. Disponível em: <http://www.lsie.unb.br/rbg/index.php/rbg/article/view/1163/591>. Acesso em: 20/08/2019.

HUTTON, J. Theory of the Earth. *In*: Transactions of the royal society of edinburgh, v. I, PART II, p.209- 304, 1785.

IBANEZ, D. M. **Análise do relevo da Amazônia Central com o emprego de modelo digital de elevação e geometria fractal**. 2012. 172f. Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica). Programa de Pós-graduação Doutorado em Geoquímica e Geotectônica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

IBGE- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades**, 2019. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/am/rio-preto-da-eva/historico>>. Acesso em 22 de mai. De 2019

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA **Manual técnico de vegetação brasileira**, 2ª ed., Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

IBGE- Censo demográfico universal, **Base de dados Cidades**, 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/am/rio-preto-da-eva>, Acesso em: 17 de nov. de 2019.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa estado do Amazonas: Geologia**, Diretoria Geociências, 2010. Disponível em: <https://mapas.ibge.gov.br/tematicos/geologia.html>>. Acesso em 20/05/2019.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa estado do Amazonas: Geomorfologia**, Diretoria Geociências, 2010. Disponível em <<https://mapas.ibge.gov.br/tematicos/geomorfologia.html>>. Acesso em 20/05/2019.

IBGE- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa estado do Amazonas: Vegetação**. **Rio de Janeiro: IBGE** 2010. Disponível em <<https://mapas.ibge.gov.br/tematicos/vegetacao>>. Acesso em 22/05/2019.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico de Geomorfologia**. 2, ed. - Rio de Janeiro: IBGE, 2009, 182p.

IBGE- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico de pedologia**, 2 ed., Rio de Janeiro: IBGE, 2007, p,316.

INPE, **TOPODATA Banco de dados Geomorfométricos do Brasil**, 2019. Disponível em <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>. Acesso em: 15 de abr. de 2019.

JORGE, M. C. O.; MENDES, I. A. e GUERRA, A. J. T. Erosão dos solos e movimento de massa recuperação de áreas degradadas com técnicas de bioengenharia e preservação de acidentes, *In*: JORGE, M. C. O. e GUERRA, A. J. T. (org.) **Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas**, São Paulo: Oficina de textos, 2013. p. 8- 30.

JULIÃO, R. P.; NERY, F.; REBEIRO, J. L.; BRANCO, M. C. e ZEZERE, J. L. **Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) de base municipal**. Portugal: Instituto Geográfico Português, 2009. 93p.

KASPRZAK, M.; JANCEWICZ, K e MICHNIEWICZ, A. UAV and SfM in Detailed Geomorphological Mapping of Granite Tors: An Example of Starosćinćskie Skały (Sudetes, SW Poland). **Pure Appl, Geophys**, v, 175, n, 9, p, 3193–3207, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/321308733_UAV_and_SfM_in_Detailed_Geomorphological_Mapping_of_Granite_Tors_An_Example_of_Staroscinskie_Skaly_Sudetes_SW_Poland. Acesso em: 09/09/2019.

KOHLER, H. C. A escala na análise geomorfológica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v, 2, p, 21-33, 2001. Disponível em: <http://www.lsie.unb.br/rbg/index.php/rbg/article/view/5>. Acesso em: 27/06/2019.

LEDA, V. C.; POLONIO, V. D.; SARTORI, A. A. C.; NICOLETE, D. A. P.; CARVALHO, T. M.; ZIMBACK, C. R. L. Análise comparativa de mapas de declividade na bacia do Ribeirão da Prata em Lençóis Paulista – SP. *In*: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2015, João Pessoa. **Anais**. Pernambuco: INPE, 2015, p. 3273.

LIMA, L. C.; MORAIS, J. O.; SOUZA, M. J. N. **Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará**, Fortaleza: UNECE, 2000. 268p.

LINS, J. **Estrada Manaus- Itacoatiara Am-1: aspectos históricos**, Governo do Estado do Amazonas, Secretaria de imprensa e divulgação, Manaus, 1965, 20 p.

LOMBARDI NETO, F. e MOLDERNHAUER, W. C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as pernas de solo em Campinas (SP). **VII Conversação do solo**, Campinas, v. 52, p. 189-196, 1992. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/JVzbSngjnsnGX3mFhQyXQNG/?lang=pt>. Acesso em: 01/08/2019.

MAERKER, M.; BOSINO, A. BERNINI, A.; CUPPERS, A. e HARDENBICKER, U. Badland and gully erosion assessment using remotely sensed data, non-invasive field techniques and stochastic modelling approaches. **Global symposium on soil erosion**, Rome, Italy, p, 1-10, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/333163035_GLOBAL_SYMPOSIUM_ON_SOIL_EROSION_Badland_and_gully_erosion_assessment_using_remotely_sensed_data_non-invasive_field_techniques_and_stochastic_modelling_approaches. Acesso em: 30/01/2020.

MAIA, M. A. D. e MARMOS, J. L. (orgs.) **Geodiversidade do estado do Amazonas**, Manaus: CPRM, 2010. 275 p.

MARQUES, J. S. Ciência Geomorfológica, *In*: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. (org.). **Geomorfologia uma atualização de bases e conceitos**, 11^a ed., Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012. p.23-45.

MARTINS, F. P. e COSTAS, R. P. Geomorfologia aplicada ao estudo de vulnerabilidade ambiental no município de Ituiutaba – MG. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research médium**, Uberlandia, v. 5, n. 1, p. 173-193, 2014. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/braziangeojournal/article/view/24225>. Acesso em: 20/08/2019.

MENDES, A. C.; TRUCKENBROD, W, e NOGUEIRA, A. C. R. Análise faciológica da Formação Alter do Chão (Cretáceo, Bacia do Amazonas), próximo a cidade de Óbidos, Pará, Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, 42. p. 39-57, 2012. Disponível em: <http://ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/7873>. Acesso em: 20/04/2019.

MENDONÇA, F. e OLIVEIRA, I. M. D. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Texto, 2007. 206 p.

MENDONÇA, F. **Geografia física: ciência humana?**, 5^a ed., São Paulo: Contexto, 1997. 72p.

MOLION, L. C. B. e DALLAROSA, R. L. G. Pluviometria da Amazônia: são os dados confiáveis?. **Climanálise –Boletim de Monitoramento de Análise Climática**, São Pualo, v. 3, p. 40-42, 1990. Disponível em: <http://marte3.sid.inpe.br/rep/6qtX3pFwXQZ3r59YCT/GUkFo?ibiurl.backgroundlanguage=pt-BR>. Acesso em: 30/06/2019.

NUNES, J. O. R. Reflexões sobre as teorias geomorfológicas e suas relações com a Geografia. **Revista Geografia em Atos**, Presidente Prudente, n. 04, v. 11, p. 125-133, 2019. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/geografiaematos/article/view/6501>. Acesso em: 30/04/2020.

OLIVEIRA, M. D. N.; ALMEIDA, M. I. S. Os estudos geomorfológicos no Brasil: evolução teórica e metodológica. **Geografias**, v. 27, n. 2, p. 30-41, 2019. Disponível em: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Bh3AXNvTaHAJ:https://periodicos.ufmg.br/index.php/geografias/article/download/19886/16519/53278+&cd=15&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>. Acesso em: 20/08/2020.

OLIVEIRA Jr, R. C.; MEDINA, B. F. A erosividade das chuvas em Manaus (AM). **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 14, p. 235-239, 1990. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/292320007_A_erosividade_das_chuvas_em_Manau_s_AM. Acesso em: 09/07/2020.

OLIVEIRA, R. B. e SOUSA, A. T. Monitoramento de voçoroca na área rural de Marzagão (GO). *In*: **Simpósio interdisciplinar em Ambiente e Sociedade**, Goiânia-GO, 2017. Anais [...]. PPGAS/UEG, 2017. p. 530-540. Disponível em: <https://www.anais.ueg.br/index.php/sias/article/view/12043/8833>. Acesso em: 03/02/2020.

OLIVEIRA, M. A.T. Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçorocas. *In*: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. e BOTELHO, R. G. M. (org.) **Erosão e**

conservação dos solos: conceitos temas e aplicações, Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. 57-99p

OTTO, J.; PRASICEK, G.; BLOTHE, J. E; SCHROTT, L. GIS Applications in Geomorphology. **Earth Systems and Environmental Sciences**, Amsterdã, p. 81-111, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/316723307_GIS_Applications_in_Geomorphology. Acesso em: 08/02/2020.

REIS, N. J. **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Amazonas**, Manaus: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2006. 125p.

RIO PRETO DA EVA- Prefeitura Municipal de Aspecto. **Históricos**, Rio Preto da Eva, 2019. Disponível em: <<http://riopretodaeva.am.gov.br/o-municipio/historia/>>. Acesso em: 31 de jun. de 2019.

ROSA, R. Geotecnologias na Geografia Aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 16, p. 81-90, 2005. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47288/51024>>. Acesso em 28/08/2019.

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 6, p. 17-29, 1992. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47108>. Acesso em: 26/03/2020.

ROSS, J, L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizado. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 8, p. 63 - 74, 1994. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/000873908>. Acesso em: 06/04/2020.

ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil: subsídios para planejamento ambiental**, São Paulo: Oficina de textos, 2009. 209p.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: ambiente planejamento**. 9ª ed, São Paulo: Contexto, 2017, 89p.

RUHE, R. V. **Geomorphology: geomorphic process and sufcial geology**, Boston, Houghton Mifflin, 1975. 249p.

SALES, V. Geografia física, natureza, sociedade. **Humboldt - Revista de Geografia Física e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro, v. 1, n. 2, p. 1-15, 2021. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/humboldt/article/view/57381>. Acesso em: 15/05/2021.

SAMPAIO, T, V, M, e AUGUSTIN, C, H, R, R, Índice de concentração da rugosidade: uma nova proposta metodológica para o mapeamento e quantificação da dissecação do relevo como subsídio a cartografia geomorfológica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v, 15, n, 1, p, 47-60, 2014, Disponível em: <http://www.lsie.unb.br/rbg/index.php/rbg/article/view/376>, Acesso em: 23/10/2019.

SANTOS, H. S. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, 5ª ed., Brasília: EMBRAPA, 2018, 356p.

SANTOS JUNIOR, J. L. e OLIVEIRA, J. H. M. Caracterização da vulnerabilidade à erosão dos solos da bacia do rio Juliana: APA do Pratigi – BA. In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB. **Anais [...]**. João Pessoa 2015.

- SARGES, R. R. **Relações entre estrutura tectônicas, sedimentação coluvial e geomorfogênese na região de Manaus, Amazonas**. 2007. 109f. Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica). Programa de Pós-graduação em Geoquímica e Geotectônica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- SCHUTZER, J. G. **Dispersão urbana e apropriação do relevo na macrometrópole de São Paulo**. 2012. 328f. Tese (Doutorado em Geografia Física). Programa de Pós-graduação em Geografia física, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
- SCHNEIDERBAUER, S. e EHRLICH, D. **Risk, Hazard and People's Vulnerability to Natural Hazards: a Review of Definitions, Concepts and Data**, Brussels: European Commission-Joint Research Center, 2004. P.
- SILVA, A. M. Rainfall erosivity map for Brazil. *Catena*, 57, p. 251-259, 2004. Disponível em:
https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/299519/mod_resource/content/0/Artigo%201%20-%20Silva%202004.pdf. Acesso em: 05/05/2019.
- SILVA, C. L. **Análise da tectônica cenozóica da região de Manaus e adjacências**. 2005. 282 f. Tese (Doutorado em Geologia). Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, Rio Claro, 2005.
- SILVA NETO, J. C. A. e ALEXO, N. C. R. Erosividade da chuva na região do médio Solimões, Amazonas, Brasil. *Revista Caminhos de Geografia*, Uberlândia, v.21, n.77, p. 01-77, 2020.
- SILVA NETO, J. C. A. **Zoneamento Ambiental como subsídio para o ordenamento do território da Bacia Hidrográfica do rio Salobra, Serra da Bodoquena– MS**, 2013. 291f. Tese (Doutorado em Geografia) Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2013.
- SILVA NETO, J, C, A, Avaliação da vulnerabilidade à perda de solos na bacia do rio Salobra, MS, com base nas formas do terreno, *Geografia (Londrina)*, Londrina v, 22, n, 01, p,05-25, 2013. Disponível em: <http://docplayer.com.br/36814762-Avaliacao-da-vulnerabilidade-a-perda-de-solos-na-bacia-do-rio-salobra-ms-com-base-nas-formas-do-terreno.html>. Acesso em: 06/08/2019.
- SILVA, M. S. P. **Estudos da erosão**. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1995. 20p.
- SILVA, F. S.; PINTO, J. L. C. Comparativo estatístico multitemporal entre ACP NDVI na detecção de supressão da vegetação em imagens LANDSAT 5 TM. *In: I Simpósio Mineiro de Geografia*, Alfenas. *Anais [...]*. Alfenas, 2014. Disponível em: <https://www.unifal-mg.edu.br/simgeo/system/files/anexos/Fabr%C3%ADcio%20Sousa%20da%20Silva.pdf>. Acesso em: 03/02/2020.
- SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E. e CAMARGO, P. B. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**. 2ª ed., São Carlos: RiMa, 2003. 153p.
- SILVA; F. J. L. T.; RIBEIRO, K. V. e AQUINO, C. M. S. As tendências temáticas e conceituais da geomorfologia no XVI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada.

- GEOTemas**, Pau dos Ferros, v. 5, n. 2, p. 43-53, 2015. Disponível em: <http://periodicos.uern.br/index.php/geotemas/article/view/1564>. Acesso em: 22/09/2019.
- SILVA, C. L. e ROSSETTI, D. F. História tectônica dos rios amazônicos. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 61 n. 3, p. 24- 26, 2009. Disponível em: http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252009000300010. Acesso em: 20/01/2020.
- SOUZA, A. M. O. e FREITAS, R. M. **Panorama do Distrito Agropecuário (DAS)**. Manaus: SUFRAMA, 2015. 47p.
- SPORL, C. e ROSS, J. L. Análise da fragilidade ambiental relevo solo com aplicação de três modelos. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, São Paulo, v. 15, p. 39-49, 2004. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/123868>. Acesso em: 29/10/2019.
- STABILE, R. A.; VIEIRA, B. C. Análise do papel exercido pela topografia na distribuição das feições erosivas da bacia hidrográfica Água da Faca, Piratininga (SP), a partir de um modelo digital de elevação. *In*: 12º Congresso de Geógrafos da América Latina – EGAL, Montevideo, 2009. **Anais [...]**. Montevideo, 2009.
- STERNBERG, H.O.R. Vales tectônicos na planície Amazônica?. **Revista Brasileira de Geografia**, Vol.12, n.4, p.3-26, 1950. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/115/rbg_1950_v12_n4.pdf. Acesso em: 06/09/2019.
- SUERTEGARAY, D. M. A. Geografia Física e Geomorfologia: temas para debate. **Revista da ANPEGE**, v. 5, p.17-26, 2002. Disponível em: <http://ojs.ufgd.edu.br/index.php/anpege/article/view/6586/3586>, Acesso em: 22/09/2019.
- SUERTEGARAY, D. M. e NUNES, J. O. R. A natureza da Geografia Física na Geografia. **Terra livre**, São Paulo, n. 17, p. 11-24, 2001. Disponível em: <http://www.geoambiente.ufba.br/Arquivos%20extras/Textos/A%20natureza%20da%20G%20F%20na%20Geografia.pdf>. Acesso em: 24/04/2019.
- TRENTIN, R. e ROBAINA, L. E. S. Classificação das unidades de relevo através de parâmetros geomorfométricos. **Mercator**, Fortaleza, v. 15, n. 3, p. 53-66, 2016. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/mercator/v15n3/1984-2201-mercator-15-03-0053.pdf>>, Acesso em 25/08/2019.
- TRETIN, R.; SANTOS, L. S. C. e ROBAINA, L. E. S. Compartimentação geomorfológica da Bacia Hidrográfica do Rio Itu- Oeste do Rio Grande do Sul- Brasil. **Soc. & Nat**, Uberlândia, n. 1, p. 127-142, 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/sn/v24n1/v24n1a11.pdf>. Acesso em: 20/09/2019.
- TAGLIAN, C. R. A. Técnica para avaliação da vulnerabilidade ambiental de ambientes costeiros utilizando um sistema geográfico de informações. *In*: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2003, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte: INPE, p. 1657 – 1664. Disponível em: <http://repositorio.furg.br/bitstream/handle/1/3113/tecnicas.pdf?sequence=1>, Acesso em: 09/12/2019.
- TRICART, J. **Ecodinâmica**, Rio de Janeiro: IBGE/SUPREN, 1977. 91p.

TROPMAIR, H. **Biogeografia e meio ambiente**. 9ª ed., Rio de Janeiro: Technical Books, 2012. 281p.

VARGAS, T. D.; GOMES, M. G.; BELLADINA, R. e ADAMI, M. V. D. Aplicação do Interpolador IDW para Elaboração de Mapas Hidrogeológicos Paramétricos na Região da Serra Gaúcha. **Scientia Cum Industria**, Caixas do Sul, v. 6, n. 3, p. 38-43, 2018. Disponível em: <http://www.ucs.br/etc/revistas/index.php/scientiacumindustria/article/view/6853>. Acesso em: 29/07/2020.

VALERIANO, M. M. **Topodata: guia para utilização de dados geomorfológicos locais**. São José dos Campos: INPE, 2008. 75p.

VALERIANO, M. M. Dados topográficos. *In*: FLORENZANO, T. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Texto, 2008. p. 72-103.

VALERIANO, M. M.; KUPLICH, T. M.; STORINO, M.; AMARAL, B. D.; MENDES JÚNIOR, J. N. e LIMA, D. Modeling small watersheds in Brazilian Amazônia with SRTM-90m data. **Computers & Geosciences**, v.32, n.8, p.1169-1181, 2006. Disponível em: <https://www.mamiraua.org.br/documentos/9ba69d6f1d7980608e3bc289dca74fca.pdf>. Acesso em: 19/06/2019.

VALERIANO, M. M. **Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul**, São José dos Campos: INPE, 200. 72p.

VALERIANO, M. M. Curvatura vertical de vertentes em microbacias pela análise de modelos digitais de elevação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.3, p/.539-546, 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/w8rBnWXjxyBCssX8VvKGQpr/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 08/12/2019.

VELOSO, A. V. On the footprints of a major Brazilian Amazon earthquake. Academia Brasileira de Ciência. **Anais da Academia Brasileira de Ciências** [online]. 2014, v. 86, n. 3, p. 1115-1129. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aabc/a/G75f3MwNwJWtpSFTmdjWHsC/?lang=en>. Acesso em: 05/05/2019.

VIEIRA, A.F.G. **Erosão por voçorocas em áreas urbanas: o caso de Manaus (AM) 1998**. 181f. (Dissertação de Mestrado) Faculdade de Geografia, Universidade de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

VIEIRA, A. F. G. **Desenvolvimento e distribuição de voçorocas em Manaus (AM): principais fatores controladores e impactos urbano-ambientais**, 2008. 311f. Tese (Doutorado em Geografia). Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

VIEIRA, A.F.S.G.; ALBUQUERQUE, A. R. Cadastramento de voçorocas e análise de risco erosivo em estradas: BR-174. *In*: V Simpósio Nacional de Geomorfologia e I Encontro Sul-Americano de Geomorfologia, 2004, Santa Maria - RS. **Anais** [...]. Santa Maria: Editora da UFSM, 2004. p.50-65.

VITTE, A. C. A construção da Geomorfologia no Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 12, n. 3, p. 91- 108, 2011. Disponível em: <http://www.lsie.unb.br/rbg/index.php/rbg/article/view/262#:~:text=Outra%20participa%C3%A7%C3%A3o%20importante%20%C3%A9%20a,fase%20B%2C%20de%20ruptura%20epistemol%C3%B3gica>. Acesso em: 09/09/2019.

/WANDERLEY FILHO, J. R. **Evolução estrutural da Bacia do Amazonas e sua relação com o embasamento**. 1991. 125 f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica. Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Belém, 1991.

ZANELLA, M.E; OLIMPIO, J. L. S; COSTA, M. C. L; DANTAS, E.W.C. Vulnerabilidade socioambiental do baixo curso da Bacia Hidrográfica do Rio Cocó, Fortaleza- CE. **Revista Sociedade e Natureza**, Uberlandia, v. 2, n. 25, p. 317-332, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sn/a/3cfvBdtdv8yKCHH4bszHhhL/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 06/05/2020.

ZANELLA, M. E.; DANTAS, E. W. C. e OLIMPIO, J. L. A vulnerabilidade natural e ambiental do município de Fortaleza/CE. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, n. 31, v.2, p. 13-27, 201. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/bgg/article/view/16842>. Acesso em: 06/05/2020.