



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA-PRPG
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA-CCEN
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**ANÁLISE DA DINÂMICA DE RISCO À EROSÃO NO MUNICÍPIO DE
GARANHUNS-PE**

RENILSON PINTO DA SILVA RAMOS

**Linha de Pesquisa: Gestão do Território e
Análise Geoambiental**

**Orientadora: Dra. Daisy Beserra Lucena
Coorientador: Dr. Bartolomeu Israel de Souza**

JOÃO PESSOA-PB

2021

RENILSON PINTO DA SILVA RAMOS

**ANÁLISE DA DINÂMICA DE RISCO À EROSÃO NO MUNICÍPIO DE
GARANHUNS-PE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG) – da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) – como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Geografia.

JOÃO PESSOA-PB

2021

R175a Ramos, Renilson Pinto da Silva.

Análise da dinâmica de risco à erosão no município de
Garanhuns-PE / Renilson Pinto da Silva Ramos. - João
Pessoa, 2021.

175 f.

Orientação: Daisy Beserra Lucena.

Coorientação: Bartolomeu Israel de Souza.

Dissertação (Mestrado) - UFPB/João Pessoa.

1. Sistema de Informações Geográficas. 2. Processos
erosivos. 3. Análise dos processos hierárquicos. I.
Beserra, Daisy Lucena. II. Souza, Bartolomeu Israel de.
III. Título.

UFPB/BC

CDU 911(043)

**"ANÁLISE DA DINÂMICA DE RISCO À EROÇÃO NO
MUNICÍPIO DE GARANHUNS- PE"**

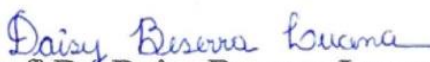
por

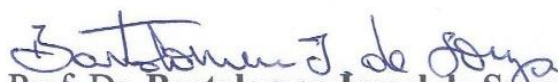
Renilson Pinto da Silva Ramos

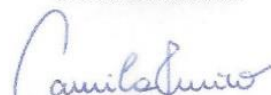
Dissertação de Mestrado apresentada ao Corpo Docente do Programa de Pós-Graduação em Geografia do CCEN-UFPB, como requisito total para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Área de Concentração: Território, Trabalho e Ambiente

Aprovada por:


Prof^a Dr^a **Daisy Beserra Lucena**
Orientador


Prof. Dr. **Bartolomeu Israel de Souza**
Coorientador


Prof^a Dr^a **Camila Cunico**
Examinadora interna


Prof. Dr. **Daniel Dantas Moreira Gomes**
Examinador externo

**Universidade Federal da Paraíba
Centro de Ciências Exatas e da Natureza
Programa de Pós-Graduação em Geografia
Curso de Mestrado e Doutorado em Geografia**

Dezembro/2020

RESUMO

Considerado um dos maiores problemas ambientais que a humanidade enfrenta, a erosão dos solos remove anualmente toneladas de solos de diversos ambientes, ocasionando áreas de degradação ambiental. Apesar de ser um fenômeno natural, os processos erosivos se intensificam por meio de ações humanas, quando estas são indevidamente executadas em discrepância com os níveis locais de risco à erosão configurados por seu sistema ambiental. Se faz presente, então, a possibilidade de tomadas de decisão por parte da administração pública que vise a aplicar medidas em áreas com aparecimento de erosões, com o objetivo de mitigar a evolução desse fenômeno. Contudo, isso só pode vir a ocorrer quando existem informações acerca de onde essa problemática ambiental pode ocorrer. Este trabalho busca entender a dinâmica dos processos erosivos no município de Garanhuns-PE em diferentes datas, identificando processos erosivos já existentes e os relacionando com as características físico-naturais do município, juntamente com as formas de apropriação espacial que foram dadas às diferentes áreas do mesmo, realizando assim uma adequação da metodologia escolhida para a realidade de Garanhuns e realizando uma classificação de risco à erosão linear. Assim como também analisando a remoção dos solos através do escoamento difuso pela equação universal de perda de solo. Para a realização desses procedimentos foram realizadas análises por meio da manipulação de dados em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), aplicando tanto a readequação dos pesos da metodologia base com o procedimento técnico da Análise dos Processos Hierárquicos (APH), quanto na aplicação da equação universal de perda de solo. Para os mapas de risco à erosão foram estabelecidas a escolha de três principais classes, sendo elas a de baixo risco, médio risco e alto risco, enquanto nos resultados da equação universal de perda de solo se adotou o procedimento padrão de definição de intensidade de remoção de sedimentos por tonelada em hectares. Todos os outros dados utilizados no trabalho receberam a função de fomentar a discussão ao redor de como se comporta a dinâmico físico-ambiental do município, e de que forma isso contribui para a evolução dos processos erosivos, inclusive o índice de anomalia de chuvas que auxiliou demonstrar quais foram os períodos de maiores e menores quantias de chuva nos últimos 30 anos. Referente a estas datas, observou-se em 2010 que baixo risco compreende a 95,09 Km², médio risco a 309,56 Km² e alto risco a 56,63 Km²; em 2015 baixo risco compreende a 96,77 Km², médio risco a 311,80 Km² e alto risco a 48, 71 Km²; finalmente, em 2018, baixo risco compreende a 92,40 Km², médio risco a 321,62 Km² e alto risco a 43, 40 Km². Na equação universal de perda de solo os níveis de remoção de material chegaram até o nível muito severo – em termos de média, algumas áreas do município perderam aproximadamente 129 toneladas de solos anualmente. Para que seja possível evitar essa possibilidade e mitigar os danos das erosões já existentes, a administração pública poderia aplicar diferentes medidas paliativas nas áreas que possuem um teor de alto risco à erosão, contribuindo assim para uma melhor manutenção do espaço do município de Garanhuns.

Palavras-Chave: Sistema de Informações Geográficas; Processos erosivos; Análise dos processos hierárquicos.

ABSTRACT

Considered one of the biggest environmental problems that humanity faces, soil erosion annually removes tons of soils from different environments, causing areas of environmental degradation. Despite being a natural phenomenon, erosion processes are intensified through human actions when they are improperly executed in discrepancy with the local levels of risk to erosion configured by their environmental system. Therefore, the possibility of decision-making by the public administration that aims to apply measures in areas with the appearance of erosion that aim to mitigate the evolution of this phenomenon is present, however this can only happen when there is information about where this environmental problem can occur. This work seeks to understand the dynamics of erosive processes in the municipality of Garanhuns-PE on different dates, identifying existing erosive processes and relating them to the physical-natural characteristics of the municipality, together with the forms of spatial appropriation that were given to different areas of the municipality. thus adapting the methodology chosen to the reality of Garanhuns and performing a risk classification to linear erosion, as well as analyzing soil removal through diffuse runoff using the universal soil loss equation. In order to carry out these procedures, analyzes were performed through data manipulation in a Geographic Information System (GIS) environment, applying both the readjustment of the weights of the base methodology with the technical procedure of the Analytic Hierarchy Process (AHP) and in the application of the universal soil loss equation. For the maps of risk to erosion, the choice of three main classes was established, namely low risk, medium risk and high risk, while in the results of the universal soil loss equation the standard intensity definition procedure was adopted sediment removal per ton in hectares. All other data used in the work were given the role of fostering a discussion around how the municipality's physical-environmental dynamics behaves, and how this contributes to the evolution of erosive processes, including the rainfall anomaly index that helped to demonstrate the periods of greatest and least amounts of rain in the last 30 years. In 2010, low risk has 95.09 km², average risk 309.56 km², high risk class has 56.63 km², in 2015 low risk has 96.77 km², medium risk 311.80 km² and high risk 48, 71 km² and in 2018 low risk has 92, 40 km², medium risk 321.62 km² and high risk 43, 40 km². In the universal soil loss equation, the levels of material removal reached a very severe level, in terms of average; some areas of the municipality lose approximately 129 tons of soil annually. So that it is possible to avoid this possibility and mitigate the damage from existing erosion, the public administration could apply different palliative measures in areas that have a high risk of erosion, thus contributing to a better maintenance of the space in the municipality of Garanhuns.

Keywords: Geographic Information System; Erosive processes; Analytic Hierarchy Process.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal da Paraíba, que me concedeu disponibilidade para a realização da presente pesquisa, junto com todo o corpo docente que compõe o Programa de Pós-Graduação em Geografia. À Capes, por financiar a pesquisa como órgão de fomento.

À minha orientadora, Prof^a. Daisy Beserra Lucena, por todo o tempo gasto em apoio e ensinamentos durante o mestrado. Ao coorientador, Prof. Bartolomeu Israel de Souza, por toda a paciência e auxílio prestado em seus ensinamentos durante o meu período no curso de mestrado.

À toda minha família, que forneceu o que foi necessário durante toda a graduação – em especial aos meus pais Renildo Ferreira Ramos e Geneide Pinto da Silva Ramos, por estarem ao meu lado em todos os momentos. À Adriani Azevedo por todo o companheirismo, amor e apoio a todo instante.

Aos meus colegas que, durante o mestrado, tornaram-se meus amigos: André Oliveira Trigueiro Castelo Branco, Adriano Santos Medeiros, Camilla Jerstica da Silva Santos, Carlos Augusto Barros da Silva, Diego Corte de Oliveira, Eliane Campos Santos, Guilherme Barroca Marques, Irislando Erick, Estevam da Silva, Jeferson Emanuel de Lemos, Jeovannes Lisboa da Silva Filho, José Arimatéia de Oliveira Silva, Joseline da Silva Alves, Leonardo Dantas Martins, Lúgia Pereira Levy, Luís Felipe Costa de Farias, Maurílio Farias da Silva, Rejane do Nascimento da Silva, Rodolfo Alexandre da Silva Gomes de Deus e Suliman Sady de Souza.

Ao meu orientador da graduação, Daniel Danta Moreira Gomes, por todo incentivo à pesquisa desde o início do curso na Universidade de Pernambuco.

Aos meus amigos que contribuíram de alguma forma indiretamente para a realização desse processo e aos demais por todo o apoio nos momentos mais difíceis durante os anos de mestrado: Maria Paula Nascimento, Diogenes Cavalcanti Pinto, Durval Vaz Cavalcanti, José Murate Azevedo, Carlos Eduardo de Lima, Fernando da Silva Alexandre, Samuel Othon de Souza Costa, Luan Danilo Pinto, Hallef Álvaro, Carlos dos Santos, João Victor Texeira, José Artur Araújo e Felipe Guimarães.

“Não existem métodos fáceis de resolver problemas difíceis.”

René Descartes

**Dedico para todos aqueles os quais me deram apoio e
ofereceram auxílio nessa caminhada.**

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização do município de Garanhuns-PE.....	18
Figura 2. Relação da Equação Universal de Perda de Solos.	28
Figura 3. Erosão Laminar e Linear em Encosta.	29
Figura 4. Interações de um SIG.	32
Figura 5. Camadas do SIG.....	33
Figura 6. Integração das variações de SIG.	36
Figura 7. Riscos Ambientais.....	37
Figura 8. Fluxograma Metodológico.	42
Figura 9. Mapa litológico do município de Garanhuns-PE.	62
Figura 10. Mapa dos modelados do relevo do município de Garanhuns-PE.	64
Figura 11. Carta hipsométrica de município de Garanhuns-PE.	66
Figura 12. Mapa de declividade do município de Garanhuns.	68
Figura 13. Gráfico da relação de declividade com pontos dos processos erosivos.	69
Figura 14. Mapa da orientação das vertentes.	70
Figura 15. Gráfico comparativo dos processos erosivos nos tipos de orientação das vertentes.	71
Figura 16. Tipos de curvaturas.	72
Figura 17. Mapa da curvatura horizontal.....	73
Figura 18. Relação da curvatura horizontal com os pontos de processos erosivos existentes.	74
Figura 19. Mapa da curvatura vertical.....	75
Figura 20. Relação da curvatura vertical com os pontos de processos erosivos existentes.	76
Figura 21. Mapa dos solos de Garanhuns-PE.....	78
Figura 22. Relação dos tipos de solos e quantia de ocorrência de erosões.....	80
Figura 23. Mapa da cobertura vegetal do município de Garanhuns-PE.....	82
Figura 24. Precipitação total anual para o município de Garanhuns – PE.	85
Figura 25. Mapa da Pluviometria do Município de Garanhuns-PE em 2010.....	86
Figura 26. Relação das áreas com processos erosivos com o regime de chuvas em 2010.....	87
Figura 27. Mapa da Pluviometria do Município de Garanhuns-PE em 2015.....	88
Figura 28. Relação das áreas com processos erosivos com o regime de chuvas em 2015.....	89
Figura 29. Mapa da Pluviometria do Município de Garanhuns-PE em 2018.....	90
Figura 30. Relação das áreas com processos erosivos com o regime de chuvas em 2018.....	91
Figura 31. Mapa do uso e cobertura da terra do município de Garanhuns-PE em 2010.....	94
Figura 32. Uso e Cobertura da terra em 2010 e pontos com processos erosivos.	95
Figura 33. Mapa do uso e cobertura da terra do município de Garanhuns-PE em 2015.....	96
Figura 34. Uso e Cobertura da terra em 2015 e pontos com processos erosivos.	97
Figura 35. Mapa do uso e cobertura da terra no município de Garanhuns-PE em 2018.....	99
Figura 36. Uso e Cobertura da terra em 2018 e pontos com processos erosivos.	100
Figura 37. Mapa dos grupos paisagísticos do município de Garanhuns-PE.	101
Figura 38. Mapa de localização dos processos erosivos.	105
Figura 39. Comparação em quantia dos processos erosivos.	106
Figura 40. Mapa de risco à erosão do município de Garanhuns em 2010.....	107
Figura 41. Gráfico comparativo do risco à erosão do município de Garanhuns em 2010.	108
Figura 42. Mapa de risco à erosão do município de Garanhuns em 2015.....	109
Figura 43. Gráfico comparativo do risco à erosão do município de Garanhuns em 2015.	110
Figura 44. Mapa de risco à erosão do município de Garanhuns em 2018.....	111
Figura 45. Gráfico comparativo do risco à erosão do município de Garanhuns em 2018.	112
Figura 46. Índice de anomalia de Chuvas.	113
Figura 47. Culturas temporárias em relevo plano na área sul do município de Garanhuns. ..	114

Figura 48. Pastagem em relevo suave ondulado área sul do município de Garanhuns.....	115
Figura 49. Pastagem em relevo suave ondulado na área sudoeste do município de Garanhuns.	115
Figura 50. Formação campestre em relevo plano na área norte do município de Garanhuns.	116
Figura 51. Pastagem em relevo ondulado na área sudeste do município de Garanhuns.	117
Figura 52. Vegetação arbustiva esparsa em relevo plano na área sudeste do município de Garanhuns.....	118
Figura 53. Formação florestal em relevo plano na área sudoeste do município de Garanhuns.	119
Figura 54. Voçoracamento no bairro Aluízio Pinto no centro urbano do município de Garanhuns.....	120
Figura 55. Proximidades da voçoroca no bairro da Liberdade no centro urbano do município de Garanhuns.	121
Figura 56. Resíduos sólidos na voçoroca no bairro da Liberdade no centro urbano do município de Garanhuns.....	121
Figura 57. Residências na proximidade da voçoroca no bairro da Liberdade no centro urbano do município de Garanhuns.....	122
Figura 58. Voçoroca no bairro da Liberdade no centro urbano do município de Garanhuns.	123
Figura 59. Edifícios nas proximidades da voçoroca no bairro da Liberdade no centro urbano do município de Garanhuns.....	124
Figura 60. Proximidades da voçoroca no bairro do parque fênix no centro urbano do município de Garanhuns.....	124
Figura 61. Voçoroca no centro comercial do município de Garanhuns.	125
Figura 62. Condômino Vale verde no município de Garanhuns.	126
Figura 63. Proximidades do Condômino Vale verde no município de Garanhuns.	126
Figura 64. Gráfico com resultado da equação universal de perda de solos considerando a média.	129
Figura 65. Gráfico com resultado da equação universal de perda de solos no ano de 2010. .	129
Figura 66. Gráfico com resultado da equação universal de perda de solos no ano de 2015. .	130
Figura 67. Gráfico com resultado da equação universal de perda de solos no ano de 2018. .	130

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Localização dos pluviômetros utilizados.	51
Tabela 2 - Resultados da equação universal de perda de solos do município de Garanhuns.	128

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Sítios Paisagísticos.	48
Quadro 2 - Nomenclatura dos Grupos Estados.	49
Quadro 3 - Classes do IAC.	50
Quadro 4 - Escala de Saaty.	53
Quadro 5 - Matriz de Comparação Paritária.	53
Quadro 6. Grupos paisagísticos.	102
Quadro 7. Relação dos riscos a erosão com as variáveis utilizadas.	112

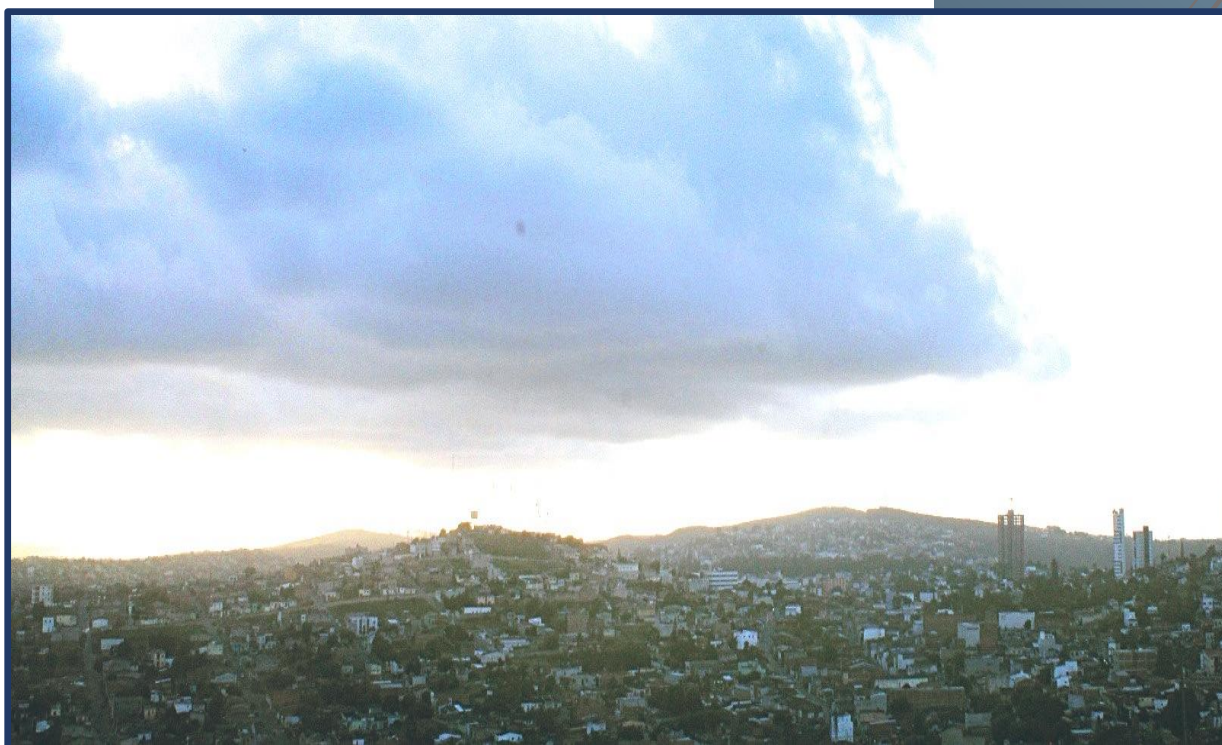
SUMÁRIO

CAPÍTULO I.....	14
1. INTRODUÇÃO	15
1.1. Localização da área de estudo	17
1.2. Objetivos.....	19
1.3. Estrutura da Dissertação	19
CAPÍTULO II.....	21
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	22
2.1. Sistemas Ambientais.....	22
2.2. Processos Erosivos.....	25
2.3. Sistema de Informações Geográficas.....	31
2.4. Risco à erosão	36
CAPÍTULO III	40
3. METODOLOGIA	41
3.1. Procedimentos Metodológicos.....	43
3.2. Procedimentos Técnicos	43
3.3. Procedimentos Técnicos da Caracterização.....	45
3.4. Etapa de Campo	55
CAPÍTULO IV	56
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	57
4.1. Caracterização da área de estudo	57
4.1.1. Evolução histórica do uso e cobertura da terra	57
4.1.2. Aporte geológico-geomorfológico.....	60
4.1.3. Tipos de solos do município de Garanhuns-PE	77
4.1.4. Densidade da vegetação e espécies endêmicas	80
4.1.5. Níveis de chuva.....	83
4.1.6. Análise multitemporal do uso e cobertura da terra	91
4.1.7. Aspectos da paisagem.....	100
4.2. Mapa das cicatrizes dos processos erosivos.....	104
4.3. Risco à erosão e perda dos solos por erosão laminar.....	106
CAPÍTULO V	135
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	136
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	140
ANEXOS.....	159
APÊNDICES	160

CAPÍTULO I

“É preciso lembrar que ninguém escolhe o ventre, a localização geográfica, a condição socioeconômica e a condição cultural para nascer. Nasce onde o acaso determinar. Por isso, temos que cuidar de todos aqueles que estão em todos os recantos deste planeta.”

Aziz Ab'Saber



1. INTRODUÇÃO

A necessidade de conhecer as características naturais do ambiente ultrapassou, nos últimos anos, o âmbito acadêmico e científico. Quando as demais esferas da sociedade tiveram conhecimento da necessidade dos estudos ambientais, não demorou muito para eventualmente os ciclos políticos e de administração incorporarem em seu escopo parâmetros que viabilizassem ações para melhor se obter dados de uma localidade, tais como mapeamentos e monitoramentos para gestão ambiental (BATISTELLA e MORAN, 2008).

Por definição, o processo erosivo é o transporte de material da superfície terrestre que ocorrem naturalmente, mas existe a possibilidade de intervenção humana potencializar tais processos, o que implica uma relação entre sociedade e natureza. A erosão é, na atualidade, um dos principais problemas ambientais que o homem enfrenta, visto que os espaços nos quais ocorre tornam-se inapropriados para o uso. Devido a essa capacidade de gerar danos, a erosão se tornou alvo de estudos que podem promover um melhor conhecimento de suas dinâmicas, para que seja possível melhor se executar políticas de planejamento (GUERRA; MENDONÇA, 2004).

De acordo com as informações disponibilizadas pela *Food and Agriculture Organization of the United Nations*/Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), tem-se o conhecimento de que cerca de 30% dos solos do mundo estão degradados (MONTANARELLA *et al.*, 2015) devido aos fortes impactos ocasionados pelas erosões, como danos nas proximidades, a necessidade de realocação de habitações e a contaminação dos recursos hídricos de locais distantes, fenômeno que pode ser o início de uma considerável degradação na paisagem. A paisagem na forma de ambiente de interação do homem com o meio em que vive, esse tipo de fenômeno pode ocasionar danos que dificultam a relação da população local com o ambiente, tornando assim o conhecimento sobre a dinâmica dos processos que atuam na estrutura da paisagem local essencial para ajudar a compreender como se desenvolvem as trocas e relações que ocorreram e irão ocorrer em um dado espaço.

Tendo em vista a problemática que os processos erosivos ocasionam e a necessidade de estudos sobre eles em áreas afetadas, é possível dizer que o município de Garanhuns-PE, no estado de Pernambuco, é um local onde existe a necessidade de análises de entorno dos processos erosivos, posto que o município em questão possui um considerável nível de erosões avançadas tanto do meio urbano quanto do rural (AZAMBUJA, 2007; MELO; ALMEIDA, 2013).

O objeto de análise dessa dissertação, Garanhuns, localizado no estado de Pernambuco

possui uma série de características físico-naturais peculiares, as quais ocasionam uma diferenciação quando comparado aos demais municípios em seu entorno, estando estes municípios dentro da nova classificação do semiárido (SUDENE, 2017). Uma das características que ajudam a diferir o município dos demais municípios é o seu nível pluviométrico. Levando em consideração que um dos principais agentes deflagradores de erosões são as chuvas, devido a serem processos que possibilitam o transporte de sedimentos, é importante salientar que na localidade as chuvas ocorrem em torno de 908,6 mm anuais, se tornando assim relevante considerar esse fenômeno como parte essencial do entendimento de como ocorre o desenvolvimento de erosões (AZAMBUJA, 2007).

Dentro da realidade observada, é possível considerar o aparecimento repentino de novos processos erosivos com frequência na área de estudo. Esses fenômenos ocasionam problemas dentro do perímetro urbano, como é o caso da perda de imóveis que se localizam na proximidade da erosão. É importante ressaltar que grande parte das localidades urbanas afetadas estão localizadas em áreas com indivíduos em vulnerabilidade social (MELO, 2016). Somada a esta problemática está a remoção da vegetação para loteamento em grande parte do município, assim como a construção de condomínios com edifícios nas proximidades de voçorocas, que terão sua estrutura prejudicada no futuro, comprometendo a segurança dos indivíduos que lá habitam, além de tornar áreas impróprias para a agropecuária no meio rural. Contudo, no que diz respeito especificamente ao local analisado, predomina um foco nos estudos de erosões em ambiente urbano, e normalmente essas análises não levam em consideração ambientes rurais.

Alguns estudos foram realizados no município sobre erosões nos últimos anos, podendo ser verificados os trabalhos de Azambuja (2007, 2015), Melo (2013, 2015) e Bispo *et al.*, (2018) os quais realizaram diagnósticos dessas erosões, bem como um estudo de relação da vida da população em vulnerabilidade socioambiental que vive nas proximidades dos fenômenos mais avançados, mas todas essas pesquisas tiveram enfoque nas erosões de caráter urbano no local estudado.

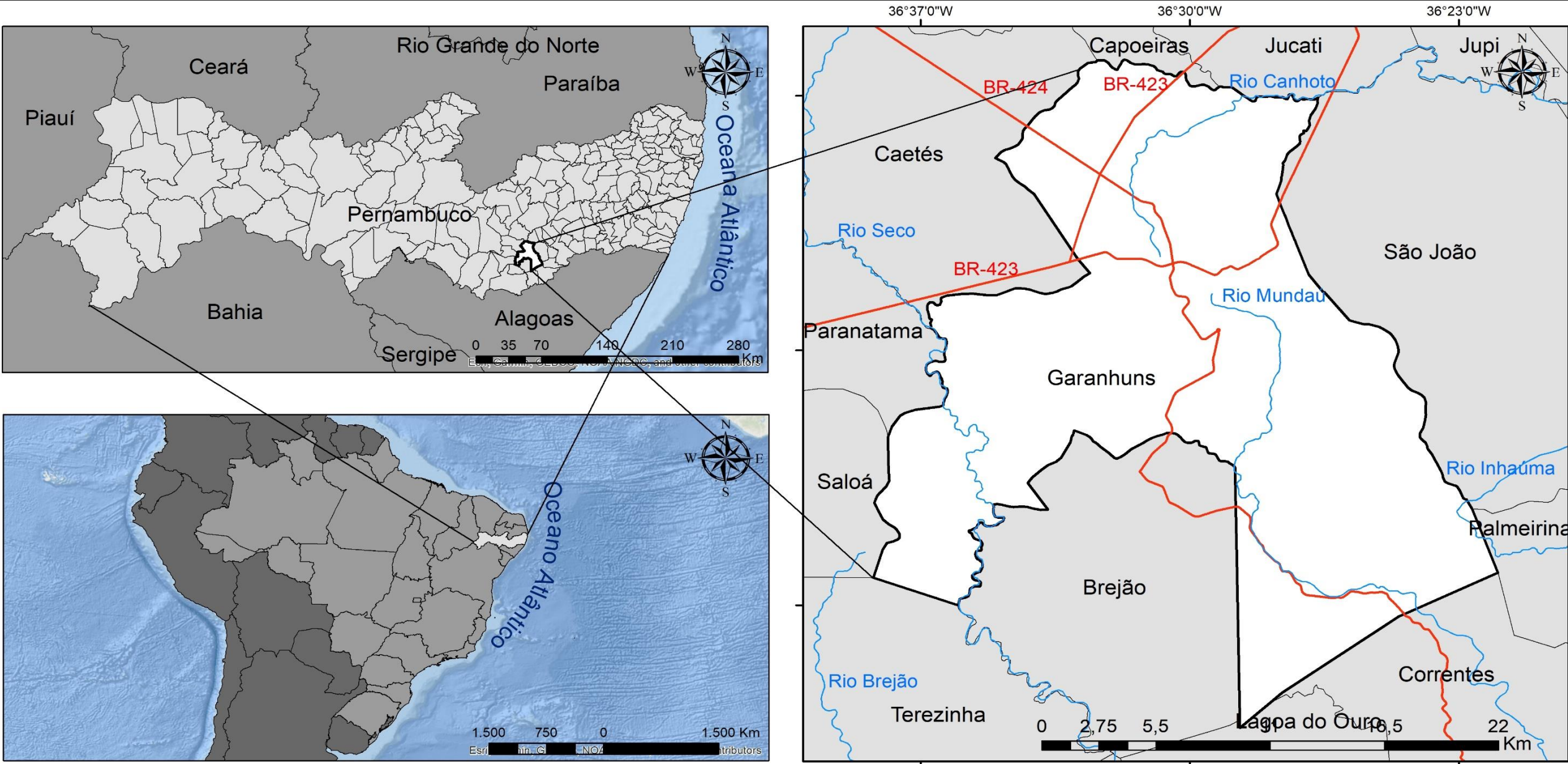
Devido às especificidades que compõe o município é possível supor que na área abordada por essa pesquisa, as características físico-naturais peculiares, que formam o sistema ambiental da área, atuam em consonância com o seu processo de apropriação espacial e isso influencia diretamente no desenvolvimento do fenômeno erosivo. De acordo com Guerra (2005), processos erosivos, apesar de serem fenômenos naturais, podem ser agravados pela ação humana e quando chegam a estados avançados são considerados como causadores da degradação da paisagem. Como a paisagem pode ser vista como espaço no qual ocorre a interação entre humanos e natureza, logo é possível supor que o desenvolvimento de erosões

em Garanhuns pode estar ocasionando a desestabilização dessa relação.

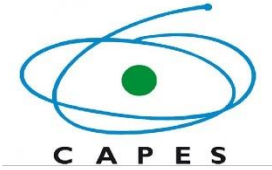
1.1. Localização da área de estudo

O município de Garanhuns está localizado na unidade federativa de Pernambuco, a uma distância de 230 km da capital do estado, Recife, e tem uma área aproximada de 459 Km², com um perímetro de 143 km. Sua altitude alcança no máximo 1.100 metros acima do nível do mar, e suas coordenadas registram 8°40'0'' S e 9°6'0'' S de latitude, 36°40'00' O e 36°20'0'' O de longitude, como é mostrado na Figura 1.

Figura 1. Mapa de localização do município de Garanhuns-PE.



- Legenda**
- Drenagem
 - Rodovia
 - Garanhuns
 - Pernambuco
 - Brasil
 - América do Sul



Informações cartográficas e de projeção

Sistema de coordenadas geográficas
SIRGAS 2000
Fonte:
Base de dados: IBGE, 2015
Elaboração: Renilson Ramos, 2020

1.2. Objetivos

1.2.1. Geral

Analisar a dinâmica dos processos erosivos no município de Garanhuns-PE em 2010, 2016 e 2018 como ocorre a perda de solo e quais são áreas com diferentes níveis de risco à erosão.

1.2.2. Específicos

- Identificar os processos erosivos já existentes para uma melhor definição do risco à erosão para as variáveis, declividade, orientação das vertentes, curvatura horizontal, curvatura vertical, solos, uso e cobertura da terra, níveis de chuva;
- Relacionar os aspectos físico-naturais em conjunto com o processo histórico da formação espacial do município e sua influência no desenvolvimento de erosões na área;
- Realizar uma classificação de risco à erosão;
- Analisar áreas de risco a processos erosivos e perda de solos por erosão laminar.

1.3. Estrutura da Dissertação

Para um melhor entendimento dos processos adotados na realização da pesquisa, a presente dissertação foi subdividida em uma estrutura contemplada por 5 capítulos, sendo eles:

O *Capítulo 1 – Introdução* realiza a iniciação sobre a temática abordada na pesquisa por meio da apresentação de uma contextualização dos temas discutidos, a problemática, a justificativa, principais objetivos com esse trabalho e a localização da área de estudo;

O *Capítulo 2 – Fundamentação teórica* diz respeito às noções básicas, trabalhos e teorias que norteiam a pesquisa realizada. Foi dividida especificamente em quatro tópicos, os quais são: sistemas ambientais, processos erosivos, sistemas de informações geográficas e risco à erosão;

O *Capítulo 3 – Metodologia* descreve os materiais usados no trabalho, assim como os procedimentos metodológicos empregados para que os resultados fossem obtidos;

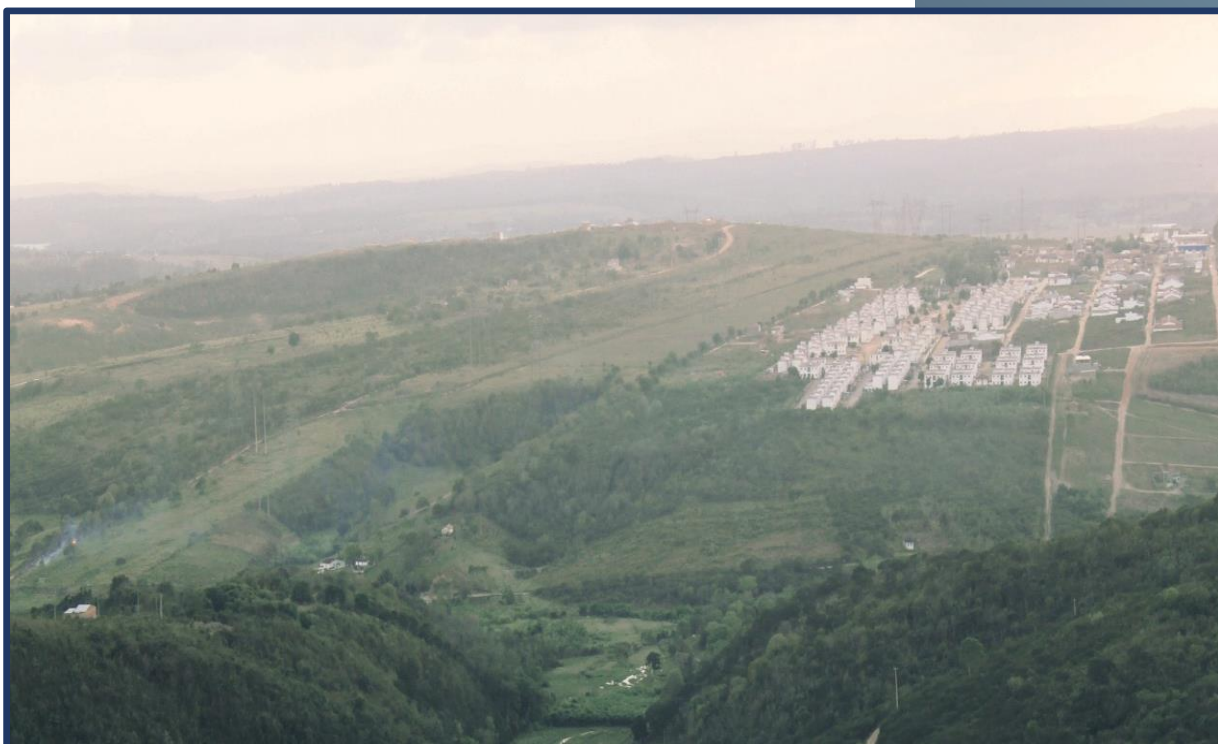
O *Capítulo 4 – Resultados e Discussões* apresenta os resultados obtidos na pesquisa e debate as razões pelas quais foi possível essa obtenção, assim como também os modos de lidar com o fenômeno erosivo;

Finalmente, o *Capítulo 5 – Considerações finais* mostra quais foram os principais pontos alcançados pelo trabalho, além de trazer uma perspectiva futura da utilização desses dados, assim como sugestões para outras pesquisas.

CAPÍTULO II

“Estranho contraste das coisas! Para aqueles que habitam o oásis, isso é uma prisão; para quem vê de longe ou vê apenas com a imaginação, é um paraíso.”

Élisée Reclus



2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Sistemas Ambientais

A palavra “sistema” corresponde por significado a um conjunto de fatores que, unidos às relações interdependentes que existem dentro deste conjunto, realizam trocas entre partes que lhe provirem forma. A nomenclatura “sistema” também foi utilizada pela ciência em diversos momentos e em diferentes áreas do conhecimento, como é o caso da física, que a utilizou para descrever sistemas planetários. É apenas nos anos 1930, entretanto – em estudos na Biologia – que essa palavra ganha um escopo conceitual e metodológico, passando então a possuir um maior rigor técnico e científico em sua definição (CHRISTOFOLETTI, 1999; AMADOR, 2008; PREISE *et al.*, 2018; ASSCHE *et al.*, 2019).

Na Geografia, houve diferentes contribuições vindas de vários geógrafos para uma análise que tinha em vista a integração. Na corrente de pensamento russo do Geossistema, destaca-se Sotchava (1977) e suas ideias baseadas numa classificação da paisagem por meio da homogeneização dos processos que ditam a dinâmica de uma localidade. Bertrand (1971) desenvolveu seu estudo sobre a temática na França e levou em consideração o estudo dos sistemas ambientais por tamanhos de escala da paisagem; Monteiro (2000) realizou estudos no Brasil acerca de sua análise integradora dos Geossistemas e Christofolletti (1999) procedeu à pesquisa em torno dos sistemas ambientais físicos. Esses diferentes pesquisadores possibilitaram uma forma do estudo da paisagem, fornecendo um ideal de maior integração dos elementos que a forma, considerando fatores abióticos, bióticos e, também, os antrópicos.

Acerca da tipologia dos sistemas ambientais, pode-se discutir o que/quais são isolados ou não-isolados, estes últimos subclassificados em mais dois tipos: os fechados e os abertos. Os sistemas isolados representam o tipo de sistemas que não têm relações com sistemas exteriores, mas apenas dele para com ele mesmo. Os sistemas não-isolados são os que mantêm relação com todos os outros sistemas; os não-isolados fechados permitem apenas a troca de energia, mas não a de matéria, permitindo assim apenas uma entrada e saída parcial desse sistema, enquanto que os sistemas não-isolados abertos permitem troca de matéria e energia com os sistemas ao seu redor (CHRISTOFOLETTI, 1999; CHRISTOFOLETTI, 2004; FEIL; SCHREIBER; TUNDISI, 2015).

A maioria dos sistemas ambientais, assim como os sociais, são classificados como não-isolados abertos. Para melhor entender essa interconexão entre cada um dos elementos, seria necessário levar em conta os processos de troca de matéria e energia que os formam, sendo

considerado o equilíbrio fluente como forma de estabelecer uma estabilidade ao sistema. Além do equilíbrio fluente, um sistema possui outras fases em seu funcionamento como: (I) a retroalimentação, que tem seu resultado a partir de uma casualidade; (II) a homeostase, que serve como processo que mantém o funcionamento do sistema; (III) o isomorfismo, que tem ligação direta com os princípios gerais que formam um sistema dentro da escala de abordagem; (IV) a sinergia, que é a capacidade de acumulação de energia por parte do sistema (SILVA; PEREZ FILHO, 2007; EICHENBERG; SILVA, 2015).

Essa abordagem sistêmica, levando em consideração diversos elementos para uma análise integradora, possibilitando assim subsídios para um melhor planejamento que leve à apropriação de um espaço. A análise ecodinâmica da paisagem a partir da interdependência e inter-relação entre seus elementos possibilita uma análise integrada a partir de uma visão sistêmica, por assim dizer dinâmica, diferentemente da formulação de um inventário, que seria estática. O estudo da paisagem a partir dessa visão favorece a possibilidade de se definir, a partir de uma grande quantia de variáveis com fatores tanto físico-naturais quanto humanos, áreas com estabilidade, áreas intermediárias e áreas com forte instabilidade ambiental (TRICART, 1977; CHRISTOFOLETTI, 1999; MONTEIRO, 2000; AMADOR, 2008; ALMEIDA *et al.*, 2018).

Considerando as discussões em torno dos sistemas ambientais como parte da análise da paisagem, essa categoria de análise espacial-geográfica pode ser discutida quando se trata de áreas com processos avançados de erosão. Tais fenômenos podem ser considerados, segundo Carneiro (2014), como paisagens degradadas, considerando a paisagem vista como área de interação entre elementos humanos, físico-naturais e biológicos.

A partir dessas afirmações é possível dizer que a construção de sistemas pode ser definida por mensurações de transporte de matéria e energia, consequentemente isso possibilita que modelos propostos para uma organização espacial sejam criados. Depreende-se também a possibilidade de trazer generalizações que por sua vez podem ser analisadas de acordo com o embate entre as definições constatadas em gabinete com a realidade analisada, analisando assim as interações humanas e seu contato com as atividades dos fenômenos físico-naturais (BRANDÃO, 2012; LI *et al.*, 2017).

Parte das atividades que o Homem desenvolveu ao longo de sua evolução técnico-científica ajudaram a ocasionar danos ao meio ambiente, fazendo com que assim existam danos para os recursos hídricos, os solos, a vegetação e demais partes de um grande e complexo sistema ambiental. Uma vez que esses sistemas ambientais são mantidos em funcionamento no que é chamado de equilíbrio dinâmico, uma mudança em apenas um de seus elementos altera

todo o funcionamento da interação desses processos, ocasionando assim o que pode ser descrito como um desequilíbrio ambiental (AMADOR, 2008; GRILO; ENAMI, 2008; FIERZ, 2015; LEMOS; SOUZA; DINIZ, 2020).

Tendo em consideração a complexidade dos sistemas ambientais, torna-se importante salientar que diversos estudos apontam o fato da erosão do solo poder ocasionar diferentes danos a um sistema ambiental. Esses danos ocasionam a queda na qualidade da água, o decréscimo no material orgânico nos solos e, conseqüentemente, a perda do potencial agrícola. Essas eventualidades podem ser evitadas com a utilização de técnicas que visem um ambiente de forma sistêmica (WONDEMARIAM *et al*, 2018; LEMOS; SOUZA; DINIZ, 2020).

Esse tipo de análise integradora tende a auxiliar em estudos que necessitam de uma abordagem complexa de múltiplos fatores, que deverão ser considerados na aplicação dos procedimentos metodológicos adotados e resultarão na proposta abordada. Problemas complexos de tomada de decisão que se utilizam dessa abordagem teórica podem ajudar a entender como diferentes fatores acarretam diferentes fenômenos. Esse tipo de visão auxilia a possibilidade de não só enxergar a conjuntura atual e pretérita de tais fenômenos como também de lançar um vislumbre do futuro (SOUCHÈRE *et al.*, 2010; BORGES *et al.*, 2005; LIU *et al.*, 2015; BALETA *et al.*, 2019).

Além da compreensão da realidade para fins de estudo, as análises provenientes da perscrutação que envolve a temática dos sistemas ambientais podem levar à possibilidade de definir quais áreas são especificamente mais frágeis que outras e o motivo disto. Isso permite a realização de planejamentos que tentem ser menos agressivos e que funcionem de maneiras a explorar todo o potencial de um local sem realizar uma degradação, permitindo uma coexistência baseada em sustentabilidade. Tais estudos muitas vezes tem um resultado final em torno de uma especialização (RIBEIRO *et al.*, 2016), como no caso dos estudos de um determinado tipo de risco, nos quais as complexidades envolvidas exigem uma abordagem que tenha como objetivo proporcionar uma visão multifacetada que facilita a compreensão do todo (EAKIN; LUERS, 2006).

Dessa forma, além de áreas que devem ser necessariamente apropriadas, existem também locais que necessitam exclusivamente de conservação. Tais sistemas possuem fragilidade incompatível com o uso humano, e sua traz mais danos que benefícios para todos os lados (ZUAZO e PLEGUEZUELO, 2008; PANDEY *et al.*, 2017; MACEDO *et al.*, 2018).

Por conta da diversidade na fragilidade dos ambientes, é importante considerar que diversos problemas ambientais são ocorridos devido a uma interação entre diferentes sistemas. Essa interação diz respeito ao momento em que sistemas físico-ambientais entram em choque

com a incongruência dos sistemas sociais, quando ocorre uma tentativa de fornecerem função a sistemas ambientais que são incompatíveis para aquela atividade. Gera-se então um desequilíbrio em todo o sistema, que traz danos para ambos os lados envolvidos (GIMENES e AUGUSTO FILHO, 2013).

2.2. Processos Erosivos

Os processos erosivos têm uma relação direta com o regime de chuvas, logo sua ocorrência é potencializada em regiões tropicais, uma vez que esses locais possuem totais pluviométricos elevados quando comparados a demais áreas no planeta (MONTGOMERY, 2007; NIROUMAND *et al.*, 2012; KHAZAELI *et al.*, 2018).

Algumas medidas tendem a intensificar esses fenômenos, como a remoção de vegetação para atividades humanas, que ocasiona o contato direto das chuvas com os solos. A depender do regime pluviométrico de uma área, o nível de remoção dos sedimentos pode se alterar. Em conjunto com os diferentes níveis de chuva, a capacidade do homem de alterar as feições e os processos que constituem uma paisagem influenciam diretamente na proporção do desenvolvimento de erosões. A problemática com erosões pode se agravar, necessitando de técnicas que visem a manutenção dessas localidades (GUERRA, 2009; FARIAS FILHO *et al.*, 2019; SOUZA *et al.*, 2019).

Alguns fatores físico-naturais que podem influenciar no aparecimento de erosões são as características físicas e químicas dos solos, índice pluviométrico da localidade, declividade das vertentes ou o comprimento e forma das encostas (GUERRA *et al.*, 2005; XU *et al.*, 2013; ALAVINI; SALEH; ASADI, 2019; STEPHENSON; KIRK; HEMMINGSEN, 2019).

Os impactos indesejáveis que as ações humanas ocasionam nos recursos naturais são cada vez mais visíveis. Esses problemas, como os relativos à erosão, são muitas vezes gerados por modelos de gestão incompatíveis com as ideias de desenvolvimento sustentável (BATISTELLA; MORAN, 2008; SCHARSICH; OTIENO; BOGNER, 2019).

As erosões ocorrem quando há um período de estabilidade tectônica – soluções aquosas repletas de elementos químicos são drenadas com o auxílio da vegetação até regiões mais rebaixadas da paisagem, nas quais ficam depositadas e ocasionam erosão química. Em momentos de instabilidade tectônica ou em caso de perda da vegetação, os solos passam a ser mais vulneráveis à erosão física (TOLEDO; OLIVEIRA; MELFI, 2009; CHEN *et al.*, 2018a). Segundo Sato *et al.* (2012), determinados tipos de vegetação também podem contribuir para o escoamento subsuperficial, agravando uma erosão. É necessário então, segundo Facadio *et al.*

(2014), levar em consideração as possíveis perdas de material nas áreas onde a vegetação não-nativa está presente, quando analisando se uma vegetação é endêmica e não realizando um monitoramento hidrológico.

De acordo com Guerra (2001), a erosão ocorre principalmente em regiões tropicais, não apenas por causa da elevada pluviometria dessas áreas. Parte importante para o desenvolvimento de erosões nesses países é consequência do subdesenvolvimento desses locais. Apesar da chuva ser um elemento relevante para o desenvolvimento de erosões, outro fator importante para o desenvolvimento dos processos erosivos são as atividades econômicas de uma área. Como os processos produtivos econômicos são realizados e quais as suas naturezas, assim como também as preocupações que existem em torno da questão ambiental pré e pós-atividade, são aspectos importantes a se considerar dentro da cadeia de produção (SHRESTHA; JETTEN, 2018; ZHANG; ZHUANG, 2019).

A remoção da vegetação é um dos fatores mais relevantes para o desenvolvimento da erosão. Diferentes fenômenos entram em interação no espaço e no tempo com a influência das precipitações e fazem com que processos erosivos evoluam em uma área já propensa a tal devido à ausência da camada de proteção da vegetação (OLIVEIRA, 2009).

De acordo com Guerra, Almeida e Araujo (2005), o efeito de salpicamento, que pode ser nomeado também de efeito *splash*, é ocasionado pela falta de vegetação e resulta na remoção dos solos, pois as gotas de chuva quando caem nos solos causam um impacto que faz com que os agregados se separem. Ainda sobre o efeito *splash*, é possível afirmar que a partir da força cinética das chuvas ocorre um remodelamento do silte e da argila, fazendo com que ocorra uma compactação dos solos, ocasionando uma dificuldade da infiltração da água e consequentemente um maior escoamento superficial, que leva a uma remoção superficial dos sedimentos (OLIVEIRA, 2009; HU *et al.*, 2018).

Quando se discute acerca das erosões dos solos, classifica-se as erosões ocasionadas por fluxo de água em erosões lineares e laminares. Sabe-se que as erosões laminares – ocasionados por escoamento difuso – diferem das erosões lineares pois estas últimas ocorrem em decorrência do escoamento de fluxo concentrado (SALOMÃO, 2009; SOUZA *et al.*, 2019).

No caso da erosão difusa, há um escoamento superficial e uma remoção laminar dos sedimentos, influenciados pela quantidade de chuvas em uma dada localidade somada aos fatores de declividade da área, tipos de solos, manejo e apropriação espacial da localidade. É possível ainda afirmar que esse tipo de erosão passa despercebido na maioria das circunstâncias, devido ao fato de que não é visualmente muito perceptível se comparado às erosões lineares. Contudo, os danos ocasionados pelas erosões laminares, principalmente em

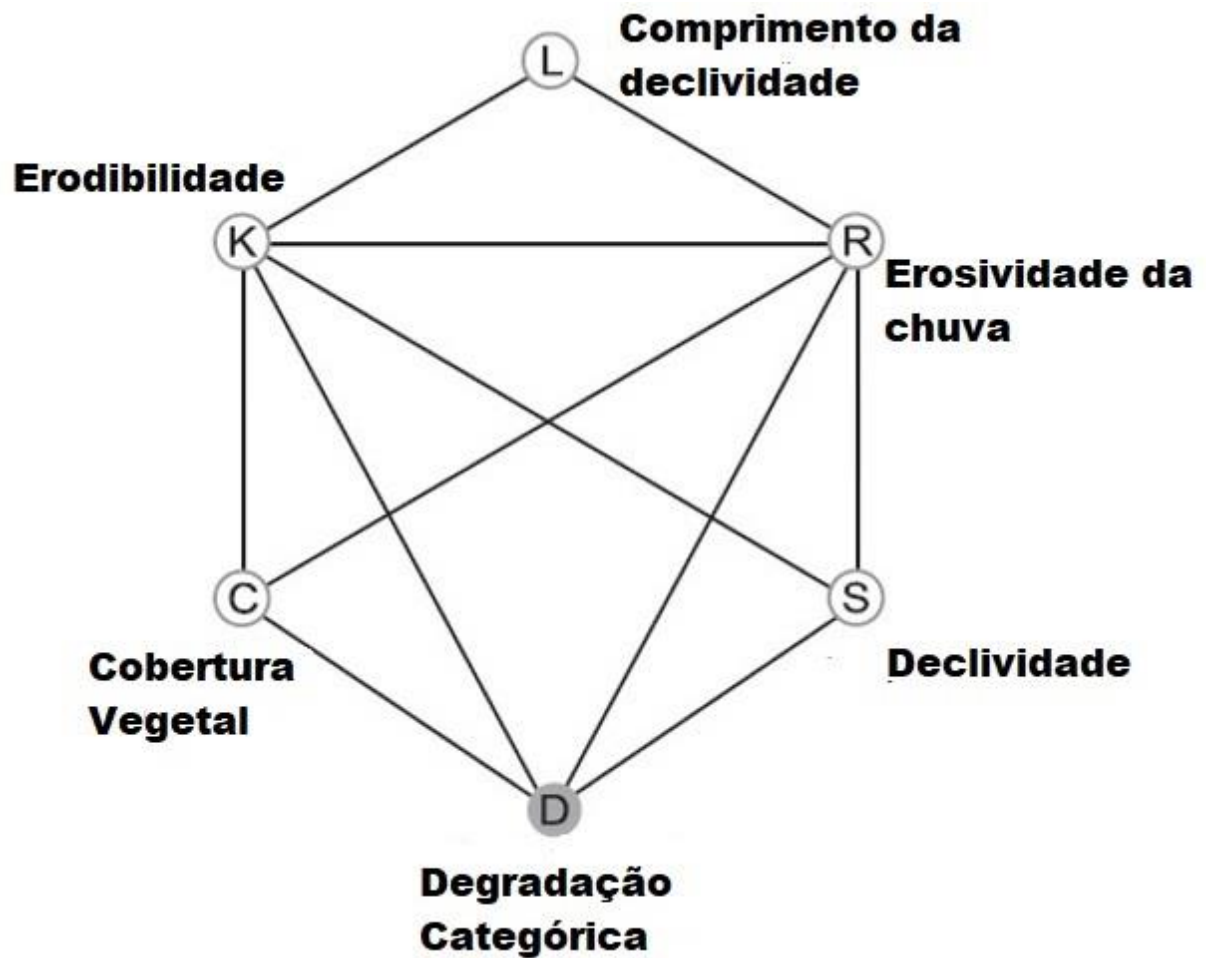
solos de agricultura, não devem ser subestimados e cuidados específicos devem ser tomados (SALOMÃO, 2009; BASSO, 2018; SILVA *et al.*, 2010; LIU *et al.*, 2018). Esse tipo de erosão pode ser analisado através de técnicas como a equação universal dos solos, que se utiliza de diferentes variáveis para definir as quantias de perda de sedimento em toneladas anuais para uma área estudada. Para melhor visualizar as variáveis consideradas para estabelecer esse cálculo, a Figura 2 pode ser visualizada.

No pertinente às estruturas que dificultam ou facilitam a erosão laminar, os solos que são mais arenosos são os que possuem uma maior porosidade e consequentemente dificultam o escoamento superficial, graças à facilidade com que a água escorre para dentro desse tipo de solo. Solos que possuem um nível baixo de argila, por outro lado, são removidos mais facilmente independentemente do nível da enxurrada, uma vez que a argila atua como agente agregador das partículas dos solos (OLIVEIRA, 2009).

Outro fator que ocasiona um aumento da probabilidade de remoção de solos de um espaço é a sua compactação. Através desta, o nível de porosidade é reduzido, permitindo que a enxurrada arraste superficialmente os sedimentos expostos. Mais um fator que influencia nos níveis de erosão e são relativos aos solos é a sua composição química: solos com pouca quantidade de sódio, cálcio e magnésio e ricos em ferro, seja ele *goetita* ou *hematita*, ou em alumínio, favorecem a estrutura de solos possuidores de poros, enquanto que solos com altos níveis desse componentes químicos desenvolvem partículas em forma de blocos ou prismas, que dificultam a infiltração das águas (FONSECA, 2009).

Mais um ponto importante a ser considerado é a quantidade de horizontes que um solo possui para se melhor analisar as erosões laminares, uma vez que solos rasos possuem pouca possibilidade de infiltração dessas águas e alta probabilidade de saturação. Isso é decorrente do fato de que logo abaixo do horizonte A existe um horizonte pobre e areno em menor nível, consequentemente menos poroso, o que favorece a saturação do horizonte A e leva a enxurrada a realizar a remoção da camada superficial de sedimentos, em decorrências dos baixos níveis de infiltração (SALOMÃO, 2009). As especificidades relativas a equação universal de perda de solos podem ser vistas na figura 2.

Figura 2. Relação da Equação Universal de Perda de Solos.

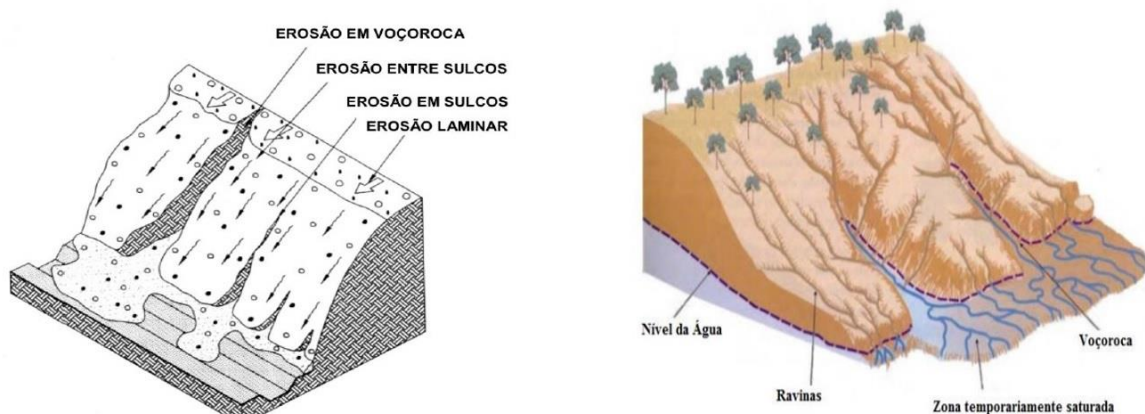


Fonte: Cohen, Shepherd e Walsh (2005, p. 249).

Já no que diz respeito às erosões lineares, Guerra e Botelho (1996) nos lembram que esse tipo de processo é iniciado por um fluxo difuso que cria um lençol; essa água se concentra e, por meio do escoamento superficial, ocasiona a criação de um fluxo linear, que se transforma em microrravinas que posteriormente tornam-se microrravinas de cabeceiras, criando assim as ravinas e depois se transformando em redes de ravinamento que por último dão origem às voçorocas.

As voçorocas também podem ser causadas pelo escoamento subsuperficial – neste caso, esse tipo de escoamento cria na subsuperfície dos solos uma rede de dutos e, quando ocorre a queda do teto desses dutos, esse tipo de erosão acontece (GUERRA, 2005; OLIVEIRA, 2009; ARABAMERI *et al.*, 2018). Exemplos desses fenômenos são mostrados na Figuras 3.

Figura 3. Erosão Laminar e Linear em Encosta.



Fonte: Torres (2014, p. 45).

A evolução de uma voçoroca que se dá a partir do escoamento subsuperficial cria formações nomeadas de alcovas de regressão. Sendo assim, o autor descreve que a perda de solos a partir das alcovas de regressão representa cerca de 30% da perda de material em cabeceiras de incisão. Especificamente em eventos de chuvas extremas, essas áreas tornam-se altamente instáveis, podendo ocorrer um solapamento dos taludes, ocasionando assim um desmoronamento. Em determinados eventos a junção do escoamento superficial com o lençol freático ocasionam a liquefação de materiais em processos de saprolitização, fazendo com que ocorra assim um aumento na taxa de erosão nesses locais (OLIVEIRA, 2009).

Ainda sobre a evolução de um processo erosivo, pode-se afirmar que esse escoamento subsuperficial ocasiona também o aprofundamento da concavidade de uma voçoroca ou canal. Com o canal aprofundado são deflagrados deslizamentos e em junção com as erosões ocorridas nessas áreas, os canais ou vales novamente se tornam mais profundos (AVELAR; COELHO NETTO, 1992; COSTA *et al.*, 2018).

A erosividade é definida como a capacidade da chuva de ocasionar os processos erosivos, e a responsável por isso é a energia cinética, que por sua vez é resultado do movimento translacional de um corpo. Dependendo, assim, da intensidade da chuva, a erosividade contribui para o crescimento de uma erosão, como também intensifica os danos ocasionados pelo fenômeno erosivo (GUERRA, 2009; ZHANG; XIAO; HE, 2019).

Apesar de ser difícil definir a medida exata para a deflagração de uma erosão devido à grande quantidade de elementos que influenciam sua ocorrência, é fato que a chuva é parte importante da ruptura dos agregados. Na conjuntura geral, os fatores que influenciam as erosões envolvem as partículas do solo, como tamanho, estrutura, textura e densidade, contudo também é possível afirmar que a diminuição de matéria orgânica no solo é parte fundamental da

ocorrência de ruptura de um agregado (GUERRA, 2009; WANG *et al.*, 2018).

Processos erosivos ocorrem devido a um variado número de fatores, indo desde seus componentes litológicos, tipos de solo e vegetação até o impacto ocasionado por chuvas e pela influência do homem. Pode ser utilizado de uma abordagem sistêmica como base para as metodologias que são aplicadas, como visto em trabalhos que englobam essa temática, tais como: Faria, Silva e Goes (2003), Martini *et al.*, (2006), Pereira (2010), Rudorff e Bonetti (2010), Silveira *et al.*, (2014), Torres (2014), Duarte (2015), Lima, Cordeiro e Bastos (2015), Bastos e Peulvast (2016) e Vital *et al.*, (2016).

Guerra (2001, 2005) traz a definição da fase mais intensa de uma erosão linear, a voçoroca, como uma característica erosiva relativamente permanente nas encostas, formada por paredes laterais íngremes e um fundo chato, formando uma região de instabilidade da paisagem. O autor também se refere às voçorocas como formas resultantes de processos erosivos que evoluem no espaço e no tempo.

Para uma definição ainda mais específica do que é uma voçoroca, Oliveira (2009) diz que os conceitos mais aceitos dentro da comunidade científica nacional tendem a definir ravinas e voçorocas de maneira a diferenciá-las pelo tamanho. Neste caso, a ravina pode ser definida por qualquer erosão com uma profundidade abaixo de 50 cm, enquanto que voçorocas são erosões com mais de 50 cm de profundidade. Para se tentar mitigar os impactos, assim como tentar interromper seu aumento, são necessários estudos sobre a área onde está a erosão.

Um dos principais motivos de realizar pesquisas em torno de processos erosivos é ter material base para que seja possível resolver os problemas causados pela erosão. As consequências que a erosão traz ao ambiente vão desde a criação de problemas a áreas na proximidade dos processos erosivos, conhecidos como danos *onsite*, quanto em locais distantes, chamados como danos *offsite* (GUERRA, 2001, 2005; ISSAKA; ASHRAF, 2017).

Exemplo de danos *onsite* que podem ser discutidos são os problemas de apropriação do espaço sob o processo erosivo, como a criação de áreas de risco. Já os danos *offsite*, ocasionariam problemas que podem atingir largas áreas, como a contaminação de lençóis subterrâneos, que abastecem o consumo de água potável tanto de locais próximos como em áreas de maior distância (GUERRA; MENDONÇA, 2004; GHAFARI *et al.*, 2017).

Guerra (2011) evidencia que ocorre um agravamento dos danos quando a erosão é encontrada em uma área urbana, uma vez que processos erosivos de rápida evolução tendem a ocorrer em áreas de solo exposto, como é o caso da existência desses fenômenos em periferias e conseqüentemente fazem com que vidas sejam colocadas em perigo.

Guerra e Almeida (2005) trazem a ideia de que a erosão dos solos está ligada diretamente

a conceitos pedológicos e geomorfológicos. Todavia, levando em consideração também uma interação com outros elementos e sua relação nos processos de modelação da paisagem, Carneiro (2014) se refere às voçorocas como paisagens degradadas, enquanto que Augustin e Aranha (2006) trazem voçorocas como resultados de processos dinâmicos de uma paisagem.

Guerra e Mendonça (2004) dizem que a erosão dos solos ocorrerem por características naturais das encostas onde eles se dão, mas a ação humana acaba por influenciar e acelerar esses processos, o que hoje é um dos principais problemas ambientais que a humanidade enfrenta. Sendo assim, a erosão dos solos é causadora de grandes impactos ambientais, transformando áreas através de ação antrópica em localidades inapropriadas para o uso e ocupação.

Em consequência da potencialização das ações humanas nos processos erosivos, é importante colocar em pauta que o monitoramento e gestão ambiental podem ser vistos também quando se trata das leis referentes à temática no país, desde os âmbitos de caráter federal até nos municipais. A Lei 6.225 de 14 de julho de 1975 estabelece parâmetros para planejamentos de combate a erosão dos solos, dita assim as diretrizes da Política Nacional de Meio Ambiente, que visa a preservar e melhorar a qualidade ambiental.

Para a definição de áreas as quais podem vir a sofrer com processos erosivos, sejam eles laminares ou lineares, são realizados mapeamentos de risco à erosão. Contudo, para a erosão laminar são utilizados diferentes procedimentos metodológicos para qualificar ou quantificar esses processos. Além de mapeamentos para saber quais são as áreas que são mais atingidas pelos fenômenos da erosão laminar, pode ser realizada sua quantificação através de equações, como é o caso da equação universal de perda de solos desenvolvida na década de 50 nos EUA, contudo adaptada e alterada ao longo dos anos para o território brasileiro. Entretanto, quando se trata de erosões lineares, a quantificação desse processo é de difícil aplicação e metodologias de mensuração de perda de sedimentos e mapas de risco à erosão são geralmente indicados para as análises de cunho semelhante (ISSA *et al.*, 2001; LU *et al.*, 2004; BARROS, 2005; KHEIR; CERDAN; ABDALLAH, 2006; BAITHURI; PANDEY, 2008; PANDEY; MATHUR; MISHRA, 2009; DABRAL; BARBOSA, 2015; BARBOSA *et al.*, 2015; DI RAIMO *et al.*, 2018).

2.3. Sistema de Informações Geográficas

Existem diferentes definições para o que é o Sistema de Informações Geográficas (SIG), embora seja possível afirmar que existam elementos que se interseccionam na maioria de suas elucidações. O conhecimento de que um dos elementos básicos para se considerar um tipo de

sistema como SIG é o fator de espacialização de dados em ambiente computacional, possibilitando a sobreposição dos elementos analisados (FITZ, 2008; PHINZI; NGETAR, 2019).

Apesar das diferenciações é importante salientar que o SIG é formado pela junção de quatro fatores. Segundo Rocha (2009), os quatro elementos que formam o SIG são o conjunto de dados, o *software* no ambiente computacional, o *hardware* com capacidade para o trabalho e o profissional para manipulação das informações. As relações acerca das capacidades do SIG e a sua interação com o banco de dados através das ferramentas de análise podem ser vistas na Figura 4.

Figura 4. Interações de um SIG.



Fonte: Lisboa Filho e Iochpe (1996, p. 4).

Sendo assim, é possível afirmar que para o funcionamento de um SIG é necessário desde o aparato técnico até um profissional capacitado. Tal indivíduo deve possuir conhecimento para interpretação dos dados que serão analisados, como é enfatizado por Rosa (2009) ao definir os quatro elementos que definem um SIG.

Os SIGs são sistemas que atuam em ambientes virtuais, capazes de executarem uma série de atividades. Essas atividades estão definidas como capturar, consultar, armazenar, analisar e imprimir dados que são referenciados e espacializados em relação à superfície da Terra (LISBOA FILHO; IOCHPE, 1996; ARABAMERI; PRADHAN; REZAEI, 2018).

Dentro do ambiente computacional é possível realizar uma diversidade de técnicas, as quais Garosi *et al.* (2019) citam, referenciando a possibilidade de múltiplas capacidades de trabalho nesse tipo de sistema. A possibilidade de realizar consultas em dados que estão armazenados para assim realizar análises e imprimi-las são algumas das características que tornam relevante e eficaz o uso do SIG.

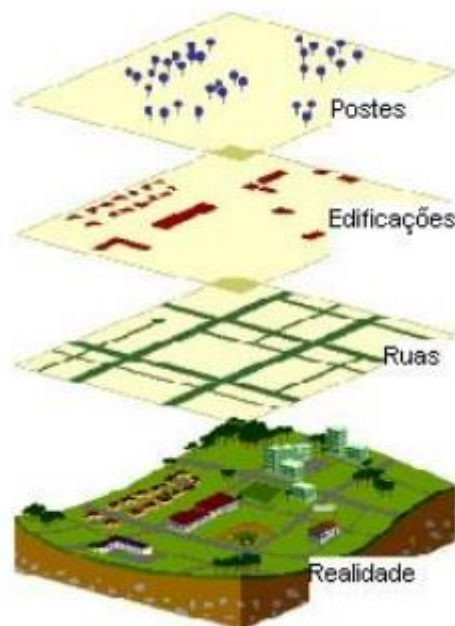
Existem *softwares* distintos para cada área da programação e a escolha varia dependendo da finalidade que se busca. Um software que tem os objetivos de proporcionar uma análise

espacial e a confecção de mapas é possivelmente um SIG e essa sua utilização diferenciada torna o mesmo um instrumento complexo. Assim, o SIG também é um laboratório de pesquisa, no qual é realizado através de uma série de dados uma análise espacial com base em abordagens teóricas e metodológicas já estabelecidas ou recentemente desenvolvidas (FERREIRA, 2011).

Há uma diversidade de dados que podem ser trabalhados em um ambiente SIG e nele agrupados, tais como: as bases cartográficas, os sistemas cadastrais, os censos demográficos e agropecuários que podem ser agrupados em dados alfanuméricos, para que quando integrados nesse mesmo ambiente as análises se tornem mais eficazes (BATISTELLA; MORAN, 2008; BUI *et al.*, 2019).

Um termo utilizado para a capacidade do SIG de integrar dados espaciais é *topologia*. Essa palavra define o estudo genérico dos lugares geométricos, através da conexão espacial que existe entre os elementos gráficos dentro do sistema. A topologia não apenas realiza a localização desses elementos gráficos no espaço, mas permite também a sua descrição, conectividade, adjacência, proximidade, pertinência, continência e intersecção entre os dados trabalhados no ambiente computacional (CÂMARA; ORTIZ, 1998; ROCHA, 2009; GHORBANI; MAKIAN; BREYER, 2018). A integração de dados, que podem ser realizadas em ambiente SIG, são visualizáveis de forma exemplificada na Figura 5.

Figura 5. Camadas do SIG.



Fonte: Ferreira (2006, p. 17).

Na representação vetorial, por meio de seus símbolos representantes, a conectividade

possibilita que os usuários do SIG realizem ligações entre arcos. A direção permite que ocorra uma modelagem no fluxo de dados, que relevância por permitir que os materiais usados em uma análise sejam armazenados ponto por ponto dentro do banco de dados (CETIN *et al.*, 2018).

Através das capacidades diversas de um SIG existe a possibilidade de sua aplicação em diferentes áreas de trabalho. Um exemplo é que as multifacetadas possibilidades de aplicações do SIG permitem a sua utilização em áreas como de atualizações florestais, monitoramento de pragas, plantio e colheita, controle do tráfego e nos mais diferentes tipos de mapeamento (LANG; BLASCHKE, 2009; CHEN *et al.*, 2018c).

Segundo Chen *et al.* (2018b), no SIG a análise espacial possibilita sua utilização em diferentes áreas de estudos da Geografia, sendo sua aplicação quase sempre em trabalhos ligados a análises da paisagem, como bacias hidrográficas, uso e cobertura da terra, cobertura vegetal e tipos de solo.

Com a diversidade de aplicações, o SIG se tornou ferramenta eficaz em estudos ambientais e geográficos, possibilitando tornar mais preciso e barato a análise de largas áreas através do estudo de um enorme conjunto de informações. Com essa eficácia, a gestão ambiental se tornou mais barata e precisa em estados de grande extensão territorial (LI *et al.*, 2011).

Gourfi e Daoudi (2019) descrevem como a utilização dos SIGs auxilia na eficácia das pesquisas entorno de um dos maiores problemas ambientais da atualidade, os processos erosivos, enquanto Mahmood *et al.* (2019) trazem para a discussão a importância da utilização das imagens de Sensoriamento Remoto em consonância com as técnicas de SIG para a execução de pesquisas em diferentes ambientes durante a realização de um trabalho acerca de indicadores de erosão, ao possibilitar que as diversas características que influenciam em mapeamento de multicritério sejam utilizados em consonância, obtendo-se assim uma melhor ideia do funcionamento da dinâmica de um local através de análises que tenham uma visão holística em sua abordagem.

Gurgel *et al.* (2013) descreve, em seu estudo acerca de erosão no nordeste brasileiro, que o uso de SIGs o auxiliou nos processos cartográficos, obtendo assim resultados condizentes com a realidade. Pupim *et al.* (2018), ao trabalhar com a evolução de processos erosivos, utilizou do SIG como ferramenta para a elaboração do produto cartográfico de sua pesquisa, utilizando do mesmo para compor uma análise holística englobando diferentes características da área estudada.

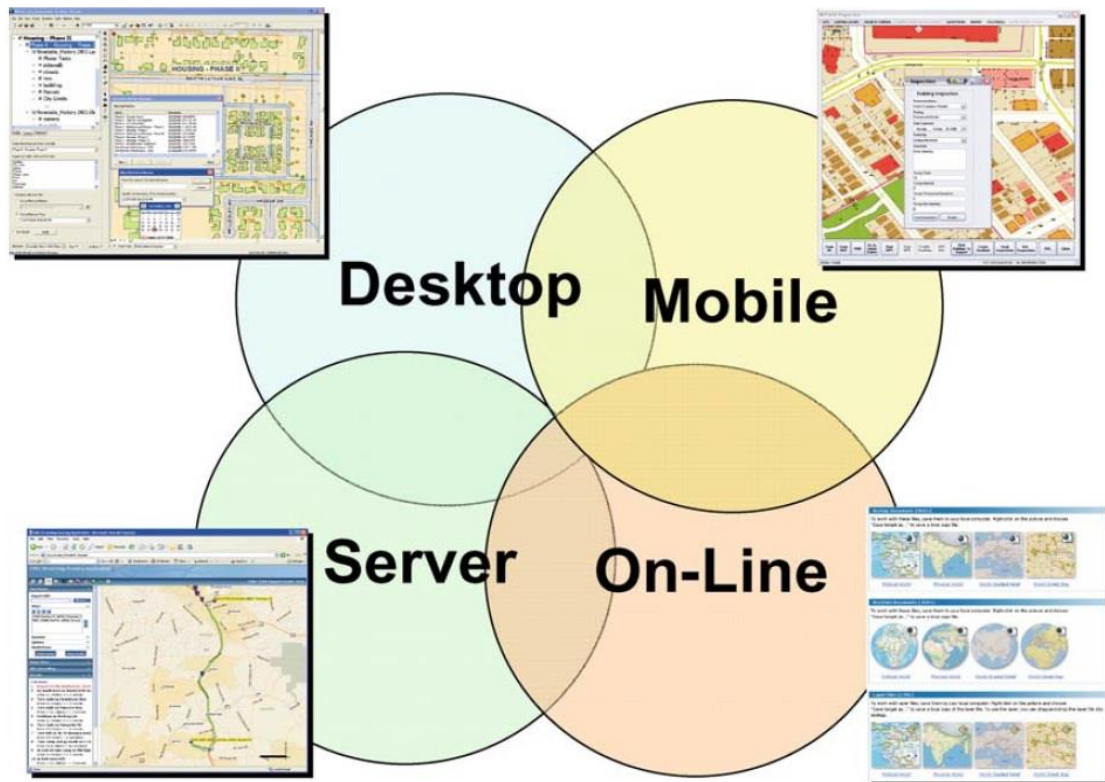
Dentro das variadas metodologias que podem ser aplicadas através das técnicas

oferecidas pela manipulação de dados advindos do SIG, existe a análise de processos hierárquicos desenvolvida por Saaty (1980), a qual se utiliza de procedimentos matemáticos e psicológicos para se atribuir notas a diferentes variáveis, as quais são utilizadas em procedimentos técnicos de mapeamentos com base em análises de multicritério. De acordo com Faria e Augusto Filho (2013), o método da análise dos processos hierárquicos fornece uma base de análise fundamentada em conceitos matemáticos e psicológicos, nos quais as variáveis são quantificadas, colocando-as de maneira racional dentro do pensamento humano, se iniciando ao colocar essas variáveis dentro de uma estrutura hierárquica apresentando as metas propostas.

Após esse procedimento são considerados os pesos e só então com base neles é elaborada a escala de importância que varia de 1 a 9, chegando à aplicação da matriz pareada que compara um valor ao outro, dividindo a soma de cada linha pela soma dos elementos da matriz. Por fim, é possível calcular a consistência desses pesos através de equações referentes ao autovalor de cada elemento e a soma das colunas da matriz. Através da utilização do SIG, é possível realizar estudos a respeito do risco a erosão, e através desse sistema é possível detalhar áreas sob alto nível de risco (MANDAL; SHARDA, 2011, 2013).

Nos últimos anos é possível encontrar diversas formas de interpretação o SIG, de maneira que esses sistemas podem ser usados em diferentes ambientes além de um *personal computer*. Existem também variados processos e interfaces que são realizados e hospedados em diferentes ambientes, como é o caso do *sigweb* hospedado exclusivamente em sites na internet e *SIG mobile* disponíveis até mesmo em *smartphones*. Além da disponibilidade dessas diferentes ferramentas que atuam na manifestação de um SIG, é possível também integrar todas essas variações em um único serviço, como mostrado na Figura 6 (SHECKHAR; XIONG, 2007; VICH; MARQUET; MIRALLES-GUASCH, 2018).

Figura 6. Integração das variações de SIG.



Fonte: Shekhar e Xiong (2007, p. 78).

Dessa forma, pode-se constatar que há um alto nível de integração de informações para se obter uma análise mais fidedigna com a realidade (LYU *et al.*, 2018).

2.4. Risco à erosão

De maneira geral, “risco” pode ser definido como a probabilidade de um evento vir ou não a ocorrer. Já a possibilidade dele se tornar uma realidade é descrita como um risco eminente. O risco ambiental é definido por sua relação a eventos que envolvam incertezas, exposição a perigo e prejuízos materiais, econômicos e humanos, ligados a eventos naturais. Nesse caso, o risco ambiental está diretamente ligado ao fato de eventos naturais ocorrerem no espaço e no tempo de maneira que não foram determinadas, causando prejuízos na vida humana (CASTRO; PEIXOTO; RIO, 2005; ALVES, 2006; BEKELE *et al.*, 2019).

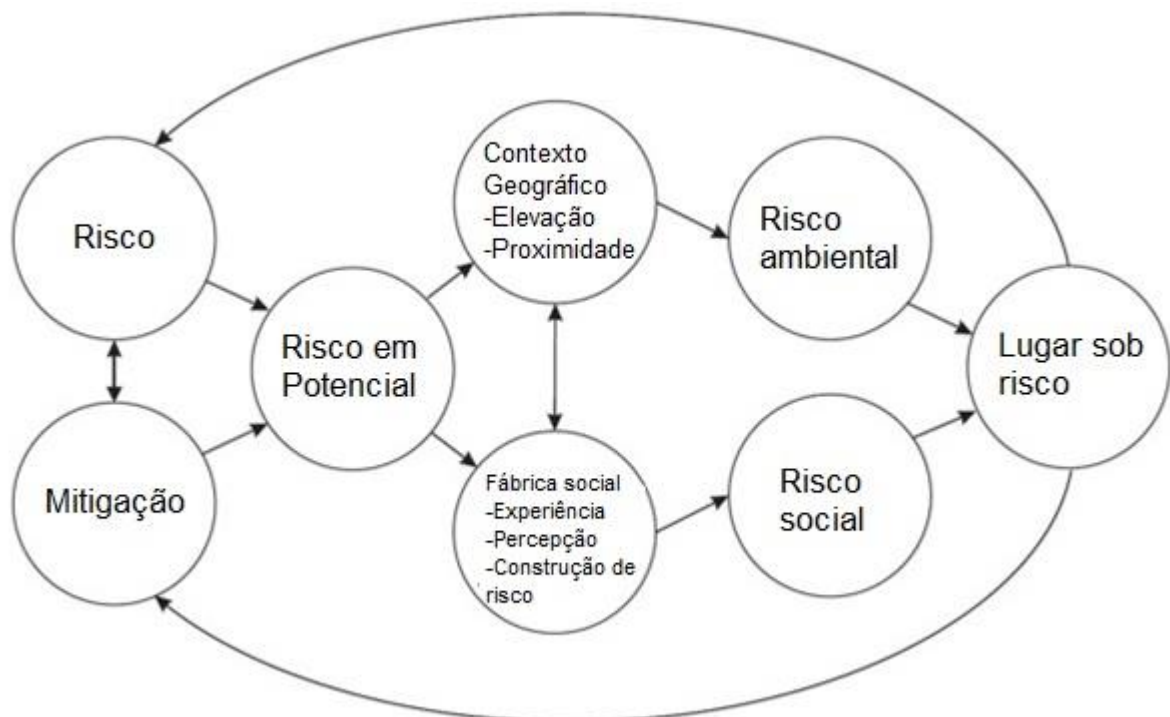
O desenvolvimento do pensamento em torno do risco evoluiu junto com a história da humanidade, entretanto a discussão de cunho científico com uma abordagem metodológica começou a ser desenvolvida em 1921 através do trabalho de Frank Knight, no qual foram diferenciados dois conceitos que sempre foram muito próximos: *risco* e *incerteza*. O termo risco ambiental só veio a ser desenvolvido junto com a evolução do pensamento sobre recursos naturais. É na escola de Geografia de Chicago onde se encontram as primeiras discussões entre

1945 e 1978 acerca de inundações em teses de doutorado (AQUINO *et al.*, 2017b).

Sendo assim, a discussão conceitual do que é risco ambiental está diretamente ligada à vida humana e, portanto, à probabilidade de eventos naturais ocorrerem de maneira única e isolada em uma área sem atividade ou ocupação humana não pode ser considerada como risco. O risco ambiental passa a ser considerado quando eventos naturais podem vir a causar danos de forma que a atingir vida humana, seja ela em sua saúde, situação econômica ou material (CHARTRES; BERO; NORRIS, 2019).

Apesar de saber-se desde sempre que eventos físico-naturais podem ocasionar danos à vida humana, só foi a partir da preocupação com questões econômicas que o desenvolvimento do pensamento científico nessa área foi melhor elaborado e definido. Dessa forma, apenas no século XX, com as discussões sobre recursos naturais, surgiram preocupações com o desenvolvimento de um pensamento científico mais elaborado, com bases conceituais e metodológicas sobre risco ambiental. Assim, foi mostrada a relevância da inserção da discussão sobre o capital financeiro dentro do que diz respeito aos riscos ambientais (CASTRO; PEIXOTO; RIO, 2005; MERINO-SAUM *et al.*, 2018). Para se compreender melhor como são formuladas as relações das ideias acerca do risco ambiental a Figura 7 pode ser visualizada.

Figura 7. Riscos Ambientais.



Fonte: Cutter (1996, p. 535).

Seguindo o pensamento moderno sobre risco, existem duas abordagens que podem ser

realizadas: uma por via realista e outra por via construtivista. Na realista há abordagens metodológicas em torno da análise quantitativa de elementos que envolvem esses riscos, enquanto que na abordagem construtivista observa-se como cada pessoa tem um pensamento diferenciado, uma maneira única de encarar o risco e o perigo de forma individual. Existe também uma classificação de tipos de risco, e ela é definida em risco natural, risco tecnológico, risco social, risco ambiental, risco antropogênico e, finalmente, risco produtivo (DAGNINO; CARPI JUNIOR, 2007; AQUINO *et al.*, 2017a).

A abordagem realista sobre risco busca quantificar os eventuais processos que podem trazer danos à vida humana de maneira objetiva, sem necessariamente haver consultas sobre como os indivíduos se comportam diante dessas situações. Enquanto na perspectiva construtivista é necessário observar a cultura em que a área analisada está inserida para conhecer se os indivíduos do local consideram esses eventuais processos como danosos ou não, nessa perspectiva o risco é um conceito abstrato, então os humanos necessariamente precisam definir ou não um fenômeno como tal. Dentro da abordagem de tipos de fenômenos que são riscos, é possível realizar uma classificação para um melhor trabalho nessas áreas específicas do conhecimento (MARANDOLA JR; HOGAN, 2005; ANGELER *et al.*, 2018).

No pertinente aos tipos de risco e como estes são classificados, sabe-se que risco natural pode ou não ter influência do homem – como as erupções vulcânicas, terremotos, deslizamentos de massa ou riscos hidrológicos, e que existem dois tipos de risco social: os endógenos, ligados a problemas naturais, e os exógenos, que são ligados a produtos da sociedade. O risco ambiental considera não só os aspectos naturais, mas todo o ambiente, inclusive o meio criado pelo ser humano (ALVES, 2006; PFALTZGRAFF, 2007; HEMBRAM; PAUL; SAHA, 2019).

Quando se trata de risco a eventos naturais tais como os de erosão, são realizados a espacialização das áreas com maior e menor possibilidade de ocorrência desse fenômeno, e costuma-se levar em consideração a instabilidade da área, apesar de existir possibilidade de quantificar e qualificar o volume e tipo da erosão (CARPI JUNIOR, 2001; FARIA; SILVA; GOES, 2003; RUDORFF; BONETTI, 2010; GASHAW; TULU; ARGAW, 2017; GAYEN *et al.*, 2019).

Tendo exposto a definição de risco à erosão, existem fatores que devem ser levados em consideração no momento da análise de um terreno para considerar seu risco, tais como características morfológicas e biológicas dos solos, variáveis climáticas, cobertura vegetal e uso e cobertura da terra. Essas discussões realizadas acerca do risco a erosão dos solos estão diretamente ligadas a uma das variáveis discutidas, a do clima. Em regiões tropicais a concentração de chuvas em uma estação auxilia a potencializar o fenômeno erosivo em períodos

específicos do ano (CPRM, 2014; TORRES, 2014; SUMNER *et al.*, 2016).

A análise e definição dos graus de risco à erosão são de grande importância para o planejamento das áreas que possuem certos objetos de estudo. A definição do risco à erosão poderá servir para que ao se apropriar de um terreno, o homem possa saber quais as possibilidades de fenômenos físico-naturais ocorrerem e assim melhor gerir a área. Para a visualização dessas análises espacializadas é possível construir-se um mapa de risco à erosão. Dentro de uma gestão que se utilizar de dados gerados por um mapa de risco à erosão pode se haver prevenções de eventos como desastres naturais, os quais podem ser resultado dos fenômenos erosivos (DIAS; GOMES; GOIS, 2001; FARIA; SILVA; GOES, 2003; CHAVES *et al.*, 2015; ZABIHI *et al.*, 2018).

Existem técnicas diferentes para a definição dos mapas de risco a erosão. Algumas metodologias são realizadas por meio da álgebra de mapas e definem o risco por intermédio de parâmetros do relevo, cobertura vegetal e uso cobertura da Terra, mas sempre salientando a importância da atividade pluviométrica em fenômenos como erosão (DUARTE, 2015).

Existem técnicas específicas para o desenvolvimento dessas metodologias, uma delas sendo a definição dos pesos por meio da relação entre a quantidade de ocorrências dos fenômenos com as classes do mapeamento. Com os dados resultantes dessa relação pode ser realizada a análise de processos hierárquicos desenvolvida por Saaty (1980), no qual se estabelece uma sequência de comparações entre as variáveis consideradas. Sendo assim, obtém-se formas de conseguir mapear as áreas com maior e menor risco a eventos como a erosão (RELLINI, 2019).

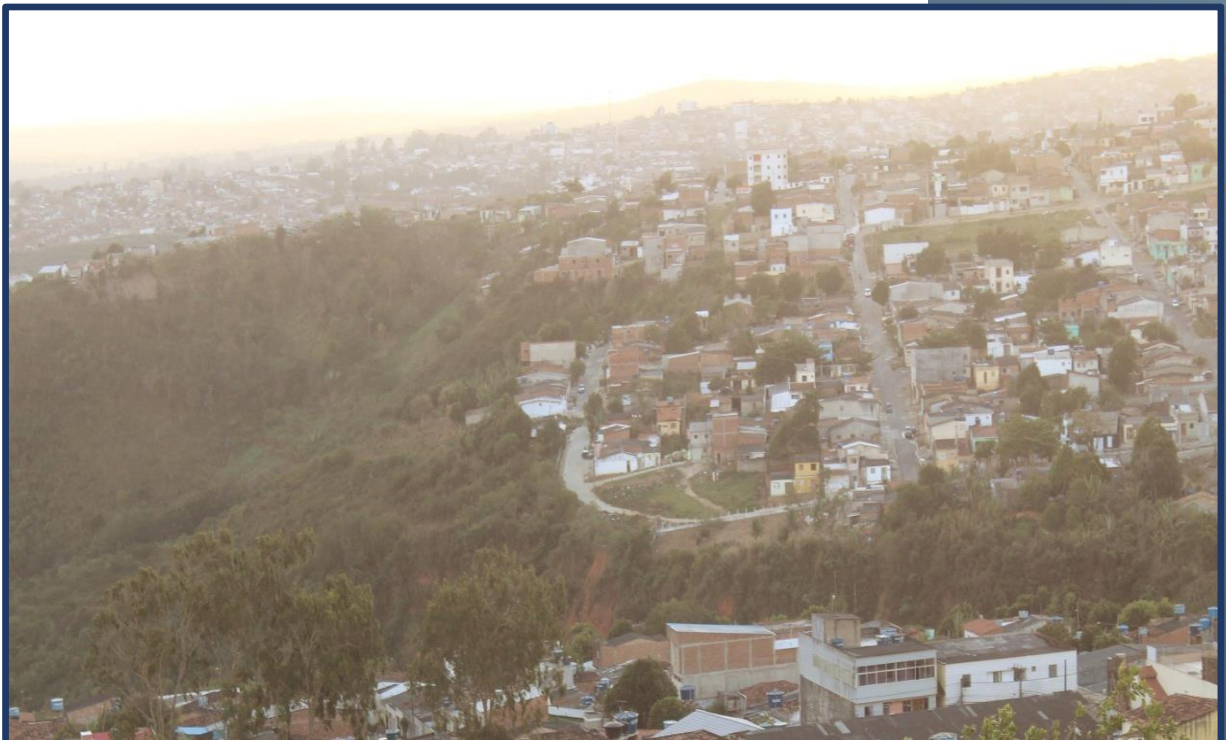
Quando se trata da problemática ambiental do risco à erosão, essa questão pode também ser relativa a discussões agroambientais, uma vez que esse processo é agravado por remoção da vegetação endêmica para diferentes tipos de manejo. Dessa forma alguns tipos de cultivo tendem a potencializar solos que já estão sob risco de serem erodidos. A definição de áreas com diferentes riscos à erosão parte de trabalhos que ao espacializarem esse fenômeno consegue quantificar as áreas com maior e menor perda. Em algumas metodologias é possível conferir a quantia dessa remoção assim como o transporte de material (DIAS; GOMES; GOIS, 2001; MONTEBELO *et al.*, 2005; MELLO; BUENO; PEREIRA, 2006; NOVARA *et al.*, 2018).

Uma série de condições básicas e naturais acerca de um terreno podem qualificar os graus de risco de erosão em consonância com as atividades humanas. Dessa maneira, discussões acerca do risco à erosão não são provenientes apenas de questões relativas a sua espacialização ou quantificação, mas também dizem respeito à origem, evolução e controle dos processos erosivos (PEDRO; LORANDI, 2004; LU *et al.*, 2004; REIMANN *et al.*, 2018).

CAPÍTULO III

“Nós seremos um ecossistema em miniatura... Seja qual for o sistema que um animal escolha para sobreviver, deve basear-se num padrão de comunidades interligadas, interdependentes, trabalhando juntas para o objetivo comum que é o sistema.”

Frank Herbert



3. METODOLOGIA

A metodologia da pesquisa consistiu em uma análise de mapas relativos à erosão, confeccionados para o município de Garanhuns-PE. Esses mapeamentos buscaram verificar os níveis de risco à erosão e sua potencialização possivelmente por meio das alterações nas atividades humanas em três diferentes datas.

Também foi possível estimar a quantidade de perda de solos por erosão laminar que ocorre no município de Garanhuns. Além das possíveis práticas de conservação desses solos no meio urbano e rural.

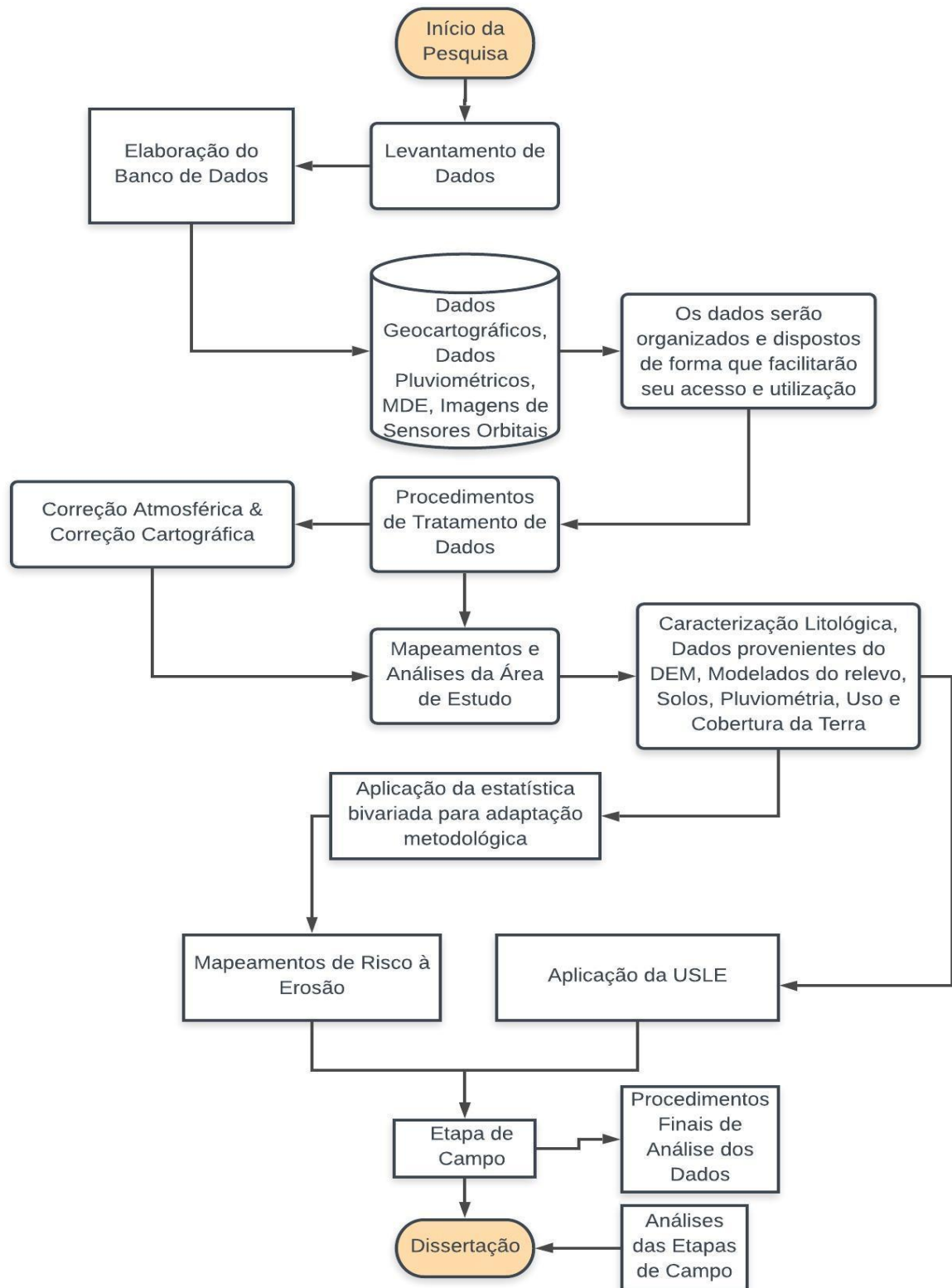
Para realizar as análises dos mapeamentos nas discussões apresentadas, foi necessário um levantamento bibliográfico, o qual buscou ter como base as teorias que norteiam a pesquisa. Foi pesquisado a respeito do estado da arte dos respectivos temas os quais fundamentam a pesquisa, assim como também detalhes relativos à realidade de Garanhuns, como seu processo de formação histórica e pesquisas desenvolvidas com temáticas semelhantes no município.

Para o material cartográfico, assim como para as informações provenientes de dados alfanuméricos aqui descritos, foram consultados diferentes órgãos. As instituições e propostas de trabalhos consultadas foram o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o projeto Mapbiomas, Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM) e Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC).

O material utilizado proveu dados para que fosse possível a realização de uma discussão acerca das características físico-naturais e como os processos de apropriação espacial de Garanhuns, atuam de forma conjunta no desenvolvimento de processos erosivos no município. Com esse material também foi possível verificar que empregando diferentes práticas em determinados tipos de solos é possível conseguir a conservação dos mesmos e a mitigação do crescimento de erosões já existentes.

Todas as pesquisas previamente realizadas serviram como base para a formulação das etapas que serão descritas a seguir como procedimentos metodológicos, e como pode ser visualizado resumidamente na Figura 8.

Figura 8. Fluxograma Metodológico.



Elaboração: Renilson Pinto da Silva Ramos, 2019.

3.1. Procedimentos Metodológicos

Foram consideradas sete variáveis que auxiliaram a caracterizar o risco à erosão no município de Garanhuns em três recortes temporais, que correspondem a três datas diferentes. Para a realização desse trabalho foram obtidos dados primários como a altimetria, declividade, orientação das vertentes e curvaturas, que utilizou um Modelo Digital de Elevação (MDE). Dados primários também foram utilizados para a espacialização dos dados de chuva.

Dados secundários foram consultados, dados estes referentes a mapeamentos realizados por órgãos governamentais para os tipos de solos para a área em estudo. Dados de projetos de mapeamento realizados através de uma coalização de instituições também foram inseridos na pesquisa, como é o caso do Mapbiomas.

Para o mapa de risco à erosão foram definidas classes pelos níveis de intensidade à erosão, dessa forma se obteve as nomenclaturas: baixo risco, médio risco e alto risco. Supôs-se que as mudanças entre os três mapas teriam como principal fator a diferenciação pluviométrica de cada ano, junto com as formas de apropriação espacial do município de Garanhuns no recorte temporal selecionado.

3.2. Procedimentos Técnicos

3.2.1. Levantamento de Dados

•Dados Vetoriais e Pluviométricos

Para o desenvolvimento da pesquisa foi necessário auferir dados provenientes de bases cartográficas, como dados relativos à classificação dos solos da área estudada. Esses dados foram obtidos do Zoneamento Agroecológico de Pernambuco (ZAPE) e disponibilizados pela Embrapa, com uma escala de 1:100.000.

Os Dados pluviométricos foram obtidos de órgãos como o Instituto Nacional de Meteorologia e a Agência Pernambucana de Águas e Clima nas datas referentes aos anos de 1984 até 2019, para construção de uma série histórica.

•Dados Matriciais

Para os Modelos digitais de elevação (MDEs), foram obtidos dados provenientes do

sensor *Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar* (PALSAR) do satélite japonês *Advanced Land Observing Satellite* (ALOS), que tem uma resolução espacial de 12,5 M, podendo ser trabalhada numa escala aproximadamente de 1:62.500.

Foram utilizadas também imagens multiespectrais dos sensores a bordo do satélite europeu Sentinel-2 com uma resolução espacial de 10 metros, resolução espectral de 11 bandas, resolução espacial de 5 dias e resolução radiométrica de 12 bit. Os dados foram adquiridos no site da Serviço Geológico dos Estados Unidos.

•Tratamento de Dados

Os dados geocartográficos obtidos necessitaram de tratamento para sua utilização. As correções geométricas para a conversão dos dados cartográficos para dentro do sistema UTM, DATUM SIRGAS 2000 foram realizadas em todos os dados da pesquisa.

No *software* ERDAS 5.0 foi possível realizar as correções atmosféricas dos dados de sensoriamento remoto que serão trabalhadas no presente trabalho. De acordo com Novo (2010), ao entrar na atmosfera a energia eletromagnética (REM) chega na superfície com distorções ocasionadas pelos gases da atmosfera, e quando a energia é refletida, refratada ou emitida pela superfície e volta por meio da mesma atmosfera, essa mesma energia sofre ainda mais distorções.

Por conta dessas interações da REM com a atmosfera, as correções se tornam necessárias, para que assim esses dados fiquem mais aproximadas da realidade. Segue a equação utilizada para a correção dos dados:

Equação 01:

$$L\lambda = M_L Q_{cal} + A_L$$

Sendo que:

$L\lambda$ = Radiância Espectral;

M_L = Fator Multiplicativo de cada banda;

Q_{cal} = Banda do Satélite;

A_L = Fator aditivo de cada banda.

Os dados pluviométricos foram analisados num período de 34 anos para uma análise do clima do município. Assim, foi realizado, com auxílio da planilha eletrônica Excel 2018, a definição das máximas e mínimas de chuvas nesse período em Garanhuns, assim como o desvio padrão. Segue o cálculo do desvio padrão:

Equação 02:

$$Dp = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

Sendo:

X_i = Valor individual.

$\bar{X}$ = Médio dos valores.

N = Número de valores.

3.3. Procedimentos Técnicos da Caracterização

3.3.1. Altimetria, Declividade, Orientação das Vertentes e Curvaturas

No que diz respeito aos processos que levaram à construção dos mapas que, por sua vez, utilizaram o modelo digital de elevação do ALOS, foram confeccionados cinco mapas: altimetria, declividade, orientação das vertentes e curvaturas horizontais e verticais. A partir dos mesmos, pôde ser observado diferenças de escala entre os dados utilizados, mas o reescalonamento para todas as variáveis utilizadas não foi realizado devido à escassez de dados como escalas iguais para as diferentes variáveis utilizadas pelas metodologias adotadas.

Os dados que, inicialmente, contém informações referentes à altimetria foram processados na ferramenta *slope* do ArcGIS para gerar os dados de declividade. Para os dados de curvaturas, a ferramenta *curvature* foi utilizada, visando a obter dados de ambos os tipos, curvatura horizontal e vertical. Para a orientação das vertentes a ferramenta *aspec* foi utilizada.

3.3.2. Mapeamento de Uso e Cobertura da Terra

No mapeamento de uso e cobertura da terra, utilizou-se do projeto *Mapbiomas*, o qual dispõe de uma grande quantia de dados sobre o uso e cobertura de terra no Brasil. Foram

definidas 3 datas, quais sejam: 2010, 2015 e 2018, sendo a primeira data com o maior volume de chuvas, a segunda data com o volume anual e o último ano sendo a data mais recente disponibilizada nos dados do projeto Mapbiomas.

Para a classificação apenas foi realizada a dos dados por meio da legenda disponível pelo próprio Mapbiomas. Foram usados códigos cedidos pelo projeto e presentes nos dados matriciais tanto para a definição das classes quanto para as cores dos mapas.

3.3.3. Mapa de Solos, Mapeamento Litológico e Modelados do Relevo

Para uma melhor escala de trabalho no mapeamento de solos, os dados que inicialmente foram obtidos da EMBRAPA numa escala de 1:100.000 foram reescalados uma melhor qualidade dos dados do trabalho. Os procedimentos realizados se utilizaram da declividade junto com as áreas de acumulação de água, buscando definir novas classes de solos através da inferência e dos dados contidos no relatório do ZAPE para cada uma das unidades de solo no mapeamento realizado pelo órgão governamental. Esse procedimento teve como base as técnicas utilizadas por Souza (2013).

Para o mapeamento litológico foram considerados dados disponíveis pela CPRM para as unidades geológicas, enquanto que, para os dados referentes às estruturas, cartas geológicas foram vetorizadas para a incorporação em formato de linha desses fenômenos.

No mapeamento de modelados do relevo foi utilizado como procedimento metodológico o mesmo adotado pelo IBGE. Para obtenção desse mapa utilizou-se dos dados multiespectrais do Sentinel-2, assim como da declividade, altimetria e relevo sombreado advindos do ALOS. O relevo sombreado foi elaborado no Arcgis na ferramenta *hillshade*.

3.3.4. Mapa de Localização dos Processos Erosivos

Para a localização das ravinas e voçorocas no município de Garanhuns, foram consultados dados multiespectrais provenientes do satélite Sentinel-2. Também foram utilizadas as imagens do Google Earth provenientes do satélite QuickBird, com seus 30 cm de resolução espacial. Dados referentes à declividade, curvaturas e uso e cobertura da terra foram usados como auxílio para a localização desses processos através de técnicas de gabinete.

Posteriormente, parte dos processos erosivos localizados em ambiente computacionais foram verificados em campo, marcados com auxílio do GPS *garmim etrex*, examinados e fotografados com uma câmera digital de 13 Megapixels.

Desses processos surgiu um mapa que contém pontos com as referidas ravinas e voçorocas na área do município de Garanhuns.

3.3.5. Mapeamento da Cobertura Vegetal

Para o mapeamento da cobertura vegetal foi utilizado a imagem do satélite Sentinel-2 já corrigida. Realizou-se então o cálculo do *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI), cuja desenvolvido por Huete (1988). Esse procedimento utilizou das bandas do vermelho e do infravermelho, junto com a soma de dois números, conforme a Equação 03.

Equação 03:

$$\frac{IR-V}{IR+V+(1+L)}$$

No qual:

IR = Infravermelho próximo.

V = Banda do vermelho.

L = Constante de ajuste ao solo.

A constante de variação do solo é o principal ponto que diferencia o SAVI de outros índices de vegetação semelhantes. Essa constante é aplicada para o ajuste do solo específico de uma área. Para o presente estudo foi utilizado o número 0,5; essa constante faz com que em áreas de maior aridez sejam realizado um ajuste na reflectância dos solos para que não haja confusão nas medidas do vigor da vegetação.

Após a realização da equação, foram definidas as classes e então realizada a classificação com a metodologia de Máxima Verossimilhança. Posteriormente foi utilizado um filtro para refinamento dos resultados e, por fim, a conversão para dados vetoriais e os cálculos de área para quantificação das classes em Km².

3.3.6. Mapeamento dos Grupos Paisagísticos

O mapeamento e definição dos grupos paisagísticos foram elaborados com base na proposta metodológica de Cavalcanti (2013) e Cavalcanti e Corrêa (2014), no qual se utilizou do cruzamento de dados de dois outros arquivos vetoriais previamente gerados, que são os arquivos relativos aos sítios e os estados. O cruzamento desses dados permitiu uma delimitação

das áreas com diferentes formas de paisagem que podem ser observadas em Garanhuns. Foi realizada uma subdivisão entre cada sítio pelos estados que cada um possuía.

Para a definição dos sítios considerou-se elementos físico-naturais, relativos aos tipos de drenagem, formas do relevo e características específicas referentes ao substrato rochoso, para os quais foram utilizados os dados vetoriais da litologia disponibilizados pela CPRM. Para os dados matriciais posteriormente convertidos em vetoriais, os dados do MDE do satélite ALOS foram adotados. Posteriormente esses dados foram reclassificados de forma que fosse possível definir os sítios paisagísticos, as reclassificações então se basearam em seis tipos de elementos fundamentais para possibilitar a diferenciação das áreas. Tal definição se embasou nas formas de relevo, características litológicas do substrato, origem do substrato rochoso, tipos de drenagem, migração geoquímica e na rocha matriz. O aparato propiciado pelo SIG permitiu que esses dados fossem cruzados e os sítios obtidos, com base nas classes propostas por Cavalcanti (2013), como o Quadro 1.

Quadro 1 - Sítios Paisagísticos.

Relevo	Rocha				Sedimento				
	Cristalino		Sedimentar		Arenoso a Franco Arenoso		Médio a Argiloso		Orgânico
	Ácid.	Básic	Carbonát	Terríg.	C/casc.	S/casc.	C/casc.	S/casc.	
Formas positivas ($\Delta h > 5m$) drenadas	S	M	C	T	Kfg	Kf	G	Kl	-
Encostas muito íngremes e escarpas drenadas	Cs	Cm	Cc	Ct	Cfg	Cf	Cg	Cl	-
Cânions e Vales íngremes com umedecimento variável	Vs	Vm	Vc	Vt	Vfg	Vf	Vg	Vl	-
Planícies de Inundação com umedecimento variável	-	-	-	-	-	Af	-	-	A b
Relevos planos ou suavemente ondulados ($\Delta h < 5m$) drenados	Ps	Pm	Pc	Pt	Pfg	Pf	Pg	Pl	-
Relevo plano pantanoso ou com estagnação de água, ainda que periódica	Ls	Lm	Lc	Lt	Lfg	Lf	Lg	Ll	B

Fonte: Cavalcanti (2013, p. 156).

Para a delimitação dos estados, considerou-se dois tipos principais de dados: os solos e a vegetação. Os dados de solos utilizados foram os mesmos dados vetoriais disponibilizados pela EMBRAPA, que tiveram um aumento em seus detalhes pela proposta metodológica de Souza (2013), enquanto que os dados referentes à vegetação foram obtidos a partir do cálculo do SAVI obtido por meio da utilização dos dados do satélite Sentinel-2, inicialmente matriciais, mas classificados e convertidos para arquivos vetoriais. Realizado o cruzamento dos dados referentes à vegetação e os tipos de solos, a delimitação dos estados se utilizou dos limites dos sítios paisagísticos. Também foram utilizados diferentes tipos de vegetação que existem no local, a nomenclatura T é usada na referência à vegetação caatinga, enquanto a M é empregada para mata atlântica, S para o Cerrado e A para aquela vegetação inserida de forma antrópica. O Quadro 2, que traz a proposta de classificação, pode ser visto abaixo.

Quadro 2 - Nomenclatura dos Grupos Estados.

Grupos de Estados		Descrição
Substrato Cristalino ou Sedimentar	Florestal Aberto (Fa)	Indivíduos lenhosos (árvores e arbustos) e <i>sem</i> interdigitação dos dosséis, sendo possível ver o solo a partir de imagens áreas ou orbitais
	Florestal Fechado (Ff)	Indivíduos lenhosos (árvores e arbustos) <i>com</i> interdigitação dos dosséis, <i>não</i> sendo possível ver o solo a partir de imagens áreas ou orbitais
	Gramíneo-Lenhosa (Fgl)	Área com predomínio de gramíneas com indivíduos lenhosos esparsos
Substrato Rochoso	Rupestre (Rp)	Indivíduos agrupados sobre sedimentos rochosos
Ambiente Hídrico	Hidrófila (H)	Formações aquáticas ou ripárias

Fonte: Cavalcanti (2013, p. 163).

A delimitação dos grupos paisagísticos ocorreu por meio da intersecção dos sítios paisagísticos e dos estados, considerando os diferentes tipos de estados contidos em cada um dos sítios paisagísticos. Os dois dados vetoriais foram relacionados dentro do ambiente SIG, o qual permitiu identificar as diferentes formas da paisagem que formam o município de Garanhuns. Sendo assim, a nomenclatura das classes dos grupos paisagísticos é referente à junção dos sítios e dos grupos-estados.

3.3.7. Análise Pluviométrica e Mapeamento da Espacialização da Chuva

Para conhecer melhor a dinâmica pluviométrica no município de Garanhuns e considerar quais são seus períodos chuvosos e secos, utilizou-se o Índice de Acumulação de

Chuvas (IAC). Com os resultados obtidos, foi possível estimar quais são os períodos nos quais ocorrem, no ano, uma maior quantia de remoção de sedimentos, assim como supor quais eram os anos que tiveram um maior nível de erosividade. O IAC propões dois principais cálculos, um referente à anomalias de chuva positivas e outro para anomalias negativas (Equação 04).

Equação 04:

Para anomalias positivas:

$$IAC = 3 \left[\frac{(N - \bar{N})}{(\bar{M} - \bar{N})} \right]$$

E para anomalias negativas:

$$IAC = -3 \left[\frac{(N - \bar{N})}{(\bar{X} - \bar{N})} \right]$$

Nos cálculos apresentados, N corresponde à precipitação total (mm) do ano referente, $\bar{N}$ representa a média anual da série histórica, $\bar{M}$ compreende à média das dez maiores precipitações da série histórica e $\bar{X}$ à média das dez menores precipitações anuais da série histórica (mm), como pode ser observado no Quadro 3. As anomalias positivas são representadas por valores acima da média e as negativas por valores abaixo disso (SANCHES, VERDUM e FISCH, 2014).

Quadro 3 - Classes do IAC.

Índice de Anomalia de Chuva (IAC)	IAC	INTENSIDADE
	De 4 Acima	Extremamente Úmido
	2 a 4	Muito úmido
	0 a 2	Úmido
	0 a -2	Seco
	-2 a -4	Muito Seco
	De -4 Abaixo	Extremamente Seco

Fonte: Sanches, Verdum e Fisch (2014, p. 78).

Para a espacialização das chuvas no município, foram obtidos dados de diferentes estações meteorológicas, contidas em Garanhuns e em cinco municípios de seu entorno. Foi conferido uma (1) estação de cada município, para que fosse possível dar um maior rigor técnico ao mapeamento no pertinente à obtenção de uma maior quantia de dados. Além de Garanhuns, os dados de chuva foram auferidos dos municípios de Brejão, São João, Caetés, Saloá e Correntes. A localização de todos os pluviômetros pode ser vista na tabela 1.

Tabela 1 - Localização dos pluviômetros utilizados.

Município do pluviômetro	Latitude	Longitude
Brejão	9° 2'16.84"	36°34'38.92"
Caetés	8°46'39.72"	36°37'32.07"
Correntes	9° 7'47.87"	36°20'20.09"
Garanhuns	8°52'52.12"	36°31'28.14"
Saloá	8°58'26.55"	36°40'12.01"
São João	8°53'8.93"	36°22'13.02"

Elaborado por: Renilson Pinto da Silva Ramos, 2020.

Após a localização de cada uma das estações meteorológicas como pontos em ambiente SIG, dados referentes à quantia de chuvas foram inseridos em cada uma das localizações referentes aos postos. Após esse procedimento, os dados dos pontos foram inseridos na ferramenta *IDW* do Arcgis, obtendo assim os dados de chuva de maneira especializada em um arquivo matricial, o qual posteriormente foi convertido para arquivo vetorial no mesmo ambiente computacional para a construção do mapa de chuva. Esse procedimento foi realizado em todos os mapas de chuva utilizados na construção deste trabalho.

3.3.8. Mapeamento de Risco à Erosão

Após os mapeamentos básicos da área do objeto de estudo e as suas respectivas caracterizações, ocorreu a fase dos mapeamentos e análises de risco à erosão. A metodologia que foi aplicada no presente trabalho levou em consideração as variáveis definidas por Torres (2014) e Rodrigues e Silva (2018), segundo os quais o mapeamento de risco à erosão consiste no procedimento da aplicação dos procedimentos da Análise dos Processos Hierárquicos (APH) nas características de altimetria, declividade, solos, pluviometria, uso e cobertura da terra, curvatura horizontal e vertical. A inserção da variável pluviométrica foi semelhante à utilizada por Paiboonvorachat e Oyana (2014), na qual são inseridos os totais pluviométricos anuais

referentes aos anos selecionados. As classes escolhidas para esses mapas foram as de *baixo risco à erosão*, *médio risco à erosão* e *alto risco à erosão*.

Para um melhor mapeamento de risco à erosão, foi realizada uma adaptação na metodologia para a realidade de Garanhuns. Essa adequação dos pesos das variáveis para o município de Garanhuns baseou-se na proposta realizada por Duarte (2015), a qual se utilizou do procedimento estatístico Wvi. Esse procedimento é baseado na relação de pontos contendo processos erosivos entre as classes de cada uma das variáveis utilizadas no mapeamento. Essa relação é estabelecida através de uma tabulação cruzada, utilizada para calcular a densidade dos processos erosivos em cada variável e assim realizar a distribuição dos pesos.

Para a realização dessa distribuição, todas as variáveis foram transformadas em formato *raster* com o mesmo tamanho pixels em ambiente SIG e posteriormente readequadas pela densidade de pontos em pixels de valor semelhante, em conformidade com a Equação 05.

Equação 05:

$$W_{vi} = L_{vi} / L = N_{pixclass}(S_i) / N_{picarea}(N_i)$$

No qual:

W_{vi} = Peso da variável i

L_{vi} = Número de ocorrências envolvendo a variável i

L = Número total de ocorrência de erosões na área

$N_{pixclass}(S_i)$ = Número de pixels contendo deslizamentos dentro da classe da variável i

$N_{picarea}(N_i)$ = Número total de pixels dos deslizamentos em toda a área

Os dados vetoriais que foram rasterizados tiveram seus pesos atribuídos, pesos estes que podem ser consultados nos apêndices de C à K, e então processados na ferramenta do programa QGIS 2.8 que realiza o processo de relação de importância das variáveis por meio da análise dos processos hierárquicos. A análise dos processos hierárquicos é um procedimento metodológico que pode ser aplicado em ambiente SIG e trabalha com bases em matemática e lógica. Sendo desenvolvido para tomada de decisões lógicas, o procedimento possibilita a definição, distribuição de pesos com base na diferenciação e comparação da importância de cada um através da quantificação de seus fatores.

O primeiro passo a ser realizado na análise dos processos hierárquicos é a decomposição da importância de cada um dos elementos envolvidos em uma escala de importância conhecida

como Escala de Saaty. Essa escala tem uma variação de 1 a 9 e auxilia na definição da importância que um fator tem sobre o outro, como é mostrado no Quadro 4. Segundo Gimenes e Augusto Filho (2013), a utilização da AHP confere consistência a um mapeamento que se utilizou dessa técnica, uma vez que reduz as chances de incoerências na relação entre as variáveis envolvidas através da sua matriz de comparação.

Quadro 4 - Escala de Saaty.

Intensidade de importância	Definição e Explicação
1	Importância igual: os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância moderada: um fator é ligeiramente mais importante que o outro
5	Importância essencial: um fator é claramente mais importante que o outro
7	Importância demonstrada: um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática
9	Importância extrema: a evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre julgamentos: possibilidade de compromissos adicionais

Fonte: Moreira *et al.*, (2001, p. 29).

A escala hierárquica dá origem à matriz de comparação paritária, no qual um determinado critério se relaciona com outro dependendo da sua definição de peso em relação a sua importância na escala de Saaty. Quando um critério A tem importância 6 e o critério B foi definido como importância 3, logo o critério B vale $\frac{1}{2}$ do critério na matriz de comparação. Essa matriz organiza os pesos e define os seus valores (GODOI, 2014). Dessa forma, de acordo com Oliveira *et al.* (2009), as variáveis adotadas são comparadas de um para o outro na ordem estabelecida, em que fatores hierarquicamente superiores influenciam variáveis inferiores a fim de melhor estabelecer de forma holística a relação entre cada uma das partes envolvidas. Isto é exemplificado no Quadro 5.

Quadro 5 - Matriz de Comparação Paritária.

	Critério A	Critério B	Critério C	Critério D
Critério A	1	2	3	5
Critério B	1/2	1	2	4
Critério C	1/3	1/2	1/2	3
Critério D	1/5	1/4	1/3	1

Fonte: Godoi (2014, p. 478).

A ferramenta *easy ahp* do software QGIS 2.8 permite que esses valores sejam

reequilibrados a partir de numa matriz de comparação paritária a partir da importância de cada uma das classes definidas pela escala de Saaty. Em um mapeamento para a realização desse procedimento, é necessário que os dados estejam em formato matricial para a realização do cálculo. A matriz utilizada no trabalho pode ser consultada no Apêndice B.

Após a realização do cálculo no *easy ahp* em trabalhos de risco à erosão, obteve-se áreas com maior ou menor predisposição ao fenômeno erosivo. Esses dados raster foram convertidos em dados vetoriais; suas áreas, perímetro e percentagem de área foram calculados e suas cores foram definidas com base na literatura consultada (TORRES, 2014).

3.3.9. Equação Universal de Perda de Solos (USLE)

Para a quantificação de perda dos solos do município de Garanhuns por erosão laminar, foi utilizada a equação de perda universal dos solos. Essa equação utiliza-se de 6 variáveis definidas por WISCHMEIER (1976) para definir o quanto de toneladas de solos são perdidos anualmente numa área. Todos os processos foram realizados em ambiente SIG e se utilizaram da calculadora raster presente no *software* ArcGIS. A calculadora foi utilizada como descrita nos trabalhos de Amorin *et al.* (2010), Phinzin e Negtar (2019) e Rellini *et al.*, (2019), modelos que podem ser vistos nos Apêndices L a O. A Equação 06 foi utilizada para essa etapa do trabalho.

Equação 06:

$$A = R.K.LS. CP$$

A = representa a estimativa de perda média anual de solo em determinada área, em condições específicas de uso e ocupação do solo. (t/ha.ano).

R = Erosividade da chuva (Mj.mm/ha.h.ano)

K - Erodibilidade do solo (t. h/Mj.mm)

L = Comprimento de rampa (m)

S = Declividade de rança (%)

CP = Uso e manejo do solo (0 a 1)

A variável R pode ser obtida através da relação entre a precipitação média mensal e a média anual na localidade estudada. K representa o grau de erosividade dos solos, seus valores foram obtidos para cada um dos tipos de solos existentes em Garanhuns através da consulta de

pesquisas, as quais realizam essa definição em áreas próximas ao município. A variável LS foi obtida através da relação entre as declividades de cada área pelo comprimento da rampa da área abordada. A variável CP diz respeito ao uso da terra e seus pesos foram obtidos a partir de dados provenientes da literatura.

3.4. Etapa de Campo

Para as etapas de campo foram utilizados materiais como um caderno de campo para anotações dos procedimentos e observações realizados durante o processo, um gps garmin etrex vista foi utilizado para marcar pontos de localização em diferentes locais durante que continham os objetos de estudo. Uma câmera digital de 13.0 megapixels foi utilizada para o registro fotográfico das localidades observadas.

O campo ocorreu em quatro datas distintas, sendo elas distribuídas nos dois primeiros anos da pesquisa, a primeira sendo realizada em abril de 2018 sendo esse campo de caráter exploratório, enquanto que os 3 outros campos foram para o registro fotográfico e as anotações para análise do que poderia ser observado. Os três campos se sucederam em meses consecutivos do mesmo ano, sendo eles outubro, novembro e dezembro de 2019.

CAPÍTULO IV

“Nossa imaginação é atingida apenas pelo que é grande; mas o amante da filosofia natural deve refletir igualmente sobre as pequenas coisas.”

Alexander von Humboldt



4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Caracterização da área de estudo

No município de Garanhuns existe um variado número de fatores físico-ambientais, tais como tipos de solos, intensidade das chuvas e formas do relevo, como também de ações humanas que influenciam seu risco a processos erosivos. Sendo assim, se faz necessário uma análise que vise integrar elementos diferentes da paisagem para trazer conhecimento sobre os graus de instabilidade na área (MELO, 2016).

Pesquisas que procedem a uma classificação de risco à erosão possibilitam que sejam localizadas as áreas com maior possibilidade de ocorrência destes fenômenos erosivos. O aporte cartográfico desenvolvido durante este trabalho pode também vir a fornecer bases a futuros planejamentos e monitoramentos que visem o cuidado e prevenção aos processos erosivos.

4.1.1. Evolução histórica do uso e cobertura da terra

Para se entender a forma como ocorre a apropriação espacial da área que compreende o município de Garanhuns, é necessário que se conheça o histórico do local, permitindo assim um esclarecimento acerca de como os processos de ocupação humana se deram ao longo do tempo, e de que forma conseguiram influenciar na formação de processos erosivos no município.

Os primeiros registros de Garanhuns são descritos nos relatos dos primeiros europeus que chegaram até perto do local onde hoje localiza-se o centro do município. Esses documentos são datados do século XVII e descrevem que, inicialmente, escravos e outros descendentes de europeus chegaram na região depois de fugirem dos holandeses. Mais especificamente, no ano de 1658 o capitão Cosmo de Brito Cação, Nicolau Aranha Pacheco, Antonio Fernandes Aranha e Ambrósio Aranha de Farias receberam 20 léguas de terra na região do governador da capitania de Pernambuco, sendo essas terras chamadas de sesmaria dos Garanhuns, onde um sítio nomeado de Garcia foi fundado (UBIRAJARA, 2015; IBGE, 2019).

De acordo com o IBGE (2019), a fazenda Garcia foi incendiada por quilombolas, sendo então após esse evento transformada em Tapera do Garcia. Como toda a região, Garanhuns também foi influenciada pelos eventos que compreendem à Guerra dos Palmares, a qual ocasionou uma fuga da população caucasiana das fazendas da localidade. Em 1699, através de uma Carta Régia, o governo da época criou as varas do juízo ou freguesias, o que

consequentemente tornou Garanhuns a sede da Capitania do Sertão de Ararobá.

Em 1704, a Tapera do Garcia foi comprada por Manuel Pereira de Azevedo, que após sua morte deixou a propriedade para sua viúva, D. Simoa Gomes de Azevedo, sendo retirada a doação das terras para a Confraria das Almas da Matriz de Garanhuns, onde foi construída inicialmente o centro urbano. Em 1762, Garanhuns tornou-se sede da freguesia de Santo Antônio de Garanhuns, e devido à estas mudanças administrativas e suas características naturais, mais especificamente seu clima peculiar devido a sua altitude, a localidade obteve desenvolvimento econômico considerável, sendo categorizado em 1796 como sede de vicariato (IBGE, 2019).

Em 1928 já havia um olhar da capital pernambucana para Garanhuns, visto que esta estava dotada de potencial turístico devido às suas peculiaridades físico-naturais diferenciadas de outras áreas do interior de Pernambuco, contudo já havia uma preocupação entorno da já evidenciada falta de infraestrutura na cidade por uma ausência de políticas de planejamento (MORAES, 2012).

Na década de 1920-1930, Garanhuns foi local para a disseminação de ideais políticas como o comunismo e também o integralismo por conta da linha férrea, pois as estações ferroviárias eram lugares onde os acadêmicos chegavam de suas viagens, tornando-se o primeiro lugar a haver uma disseminação de seus pensamentos. Ademais, a linha férrea em Garanhuns permitia o transporte da produção cafeeira e de algodão no local, chegando a haver comércio com os Estados Unidos da América, fazendo assim que houvesse um forte crescimento econômico na localidade (MORAES, 2012).

Moraes (2012) também discute que a maior parte do poder econômico de Garanhuns inicialmente advinha do meio rural, com o poder dos coronéis, que ocupavam importantes cargos políticos no cenário nacional. Em 1930, houve uma mudança nesse cenário devido ao fato de que Souto e Filho, prefeito na época, ter se apostado com veemência à tomada de poder de Getúlio Vargas. Posteriormente, em uma aliança entre os comerciantes, ocorreu a tentativa de fazer com que os coronéis não voltassem a controlar o município. Tal aliança potencializou o crescimento econômico, conferindo assim uma espécie de centralidade a Garanhuns e permitindo que a população dos municípios vizinhos pudesse ir para o ponto comercial da cidade, ao invés de precisar ir até Recife.

A crise do café em 1929, assassinatos políticos em Garanhuns, assim como as mudanças políticas da década 1950 mudaram o cenário político-econômico da cidade. Isso fez com que práticas cotidianas também fossem alteradas, reconfigurando o espaço no município. Em 1970, Garanhuns possibilitava o plantio de café mesmo décadas após a crise. Essas características

econômicas, devido a seu caráter natural, também permitiram o desenvolvimento de grandes feiras no município, que atraíam indivíduos da região dos sertões (AB'SABER, 1985; BELO, 2009).

Na década de 1990 houve uma inserção de novos investimentos na localidade, o que resultou em um maior interesse pelo município por diferentes esferas da sociedade, tais como o meio empresarial. Atualmente existe na localidade algumas empresas de caráter multinacional, agropecuária, assim como sedes de bancos, hospitais, universidades e setor de comércio que funcionam em conexão com os municípios vizinhos, gerando assim forte fluxo capital e populacional. Esse desenvolvimento fez com que Garanhuns se configurasse como um lugar de considerável relevância para o estado de Pernambuco (IBGE, 2019).

Garanhuns hoje se encontra com diversos processos erosivos na área de seu município, e em sua área urbana diversas comunidades moram nas proximidades dessas erosões avançadas, mas para chegar a esse ponto é importante entender que houveram ao longo do tempo alterações nas maneiras de apropriação espacial no município. Durante sua evolução histórica, o centro comercial de Garanhuns, no qual se concentra alguns processos erosivos avançados como voçorocamentos, já foi, segundo Ubirajara (2015), área de cultivo de algodão, café e milho. Uma vez que foi a chegada do trem em 1880 possibilitou uma maior evolução do caráter urbano do município, Garanhuns era quase que totalmente um meio rural, impactada pelo comércio de algodão da época.

A construção da estrada férrea no século XIX e, posteriormente, as rodagens, fizeram com que ocorresse um crescimento na população de Garanhuns e sua microrregião, o que gerou maior demanda de comida. Em 1975, isso provocou uma guinada para a produção alimentícia em Garanhuns, baseada principalmente na pecuária, mas também em menor escala na hortifruticultura. O crescimento populacional fez com que a expansão urbana em Garanhuns ocorresse muitas vezes sem planejamento prévio. A população de renda mais baixa também acabou por, em decorrência disso, ser empurrada para áreas como as de proximidade das encostas instáveis das voçorocas (UBIRAJARA, 2015).

Além do fator econômico, que faz com que a população sob vulnerabilidade social seja empurrada para tais áreas de risco e que, também, realiza o descarte de resíduos sólidos nas encostas dos fenômenos erosivos de maior intensidade, como as voçorocas – atuando assim na remoção da vegetação das proximidades dessa área para a construção civil –, em anos de chuvas acentuadas como o ano de 2010 puderam ser atestados deslizamentos de terra nas proximidades da encostas das voçorocas, o que acarretou na levada de solos onde havia residências. Esses acontecimentos levaram à realocação dos residentes dessas áreas para outro bairro com o auxílio

da prefeitura, demonstrando assim o grau de vulnerabilidade socioambiental que estes indivíduos possuem mediante essa situação (MELO, 2016).

4.1.2. Aporte geológico-geomorfológico

Geomorfológicamente Garanhuns também faz parte do planalto da Borborema, esse fator lhe conferiu características peculiares que denotam suas particularidades históricas. A fuga de escravos para a área só ocorreu por conta de sua altimetria, que tem relação direta com suas especificidades geológicas.

No planalto da Borborema são apresentadas áreas deprimidas, as quais são depósitos de sedimentos vindos da denudação do planalto. No ciclo de sedimentação do final do mesozoico, uma camada de sedimentos e detritos recobriram a parte superior do planalto e assim Garanhuns, junto com o Pico do Jabre, foram os únicos lugares no qual não houve influência desses processos de sedimentação, devido à sua altimetria (AB'SABER, 1998; CORRÊA *et al.*, 2010; MONTEIRO, 2015). Por conta desses processos a maior parte das rochas de Garanhuns são metamórficas.

Com auxílio dos dados da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), foi possível identificar que Garanhuns está inserida nas unidades geológicas de PPru2, NP3y1fc, NP3y2c, NP3y1scb, e a malha urbana do município na área da sigla MP3ca4, como pode ser visto na Figura 11. A unidade geológica MP3ca4, originada na era mesoproterozóica, no período Esteniano, tem idade que varia entre 1000 a 1200 anos, e nela são presentes as rochas de litotipo metarcóseo, quartzito feldspático e quartzito micáceo.

A unidade PPru2 foi formada na era paleoproterozóica, durante o período Riáciano; tais estruturas tem uma idade de 2050 anos, podendo chegar até 2300 anos. Nessas unidades existem a presença de rochas metatexito com biotita e, localmente, granatíferos, intercalações de anfibolitos, calcissilicáticas, ortognaisses graníticos finos, metagabros, anfibolitos e piroxenitos.

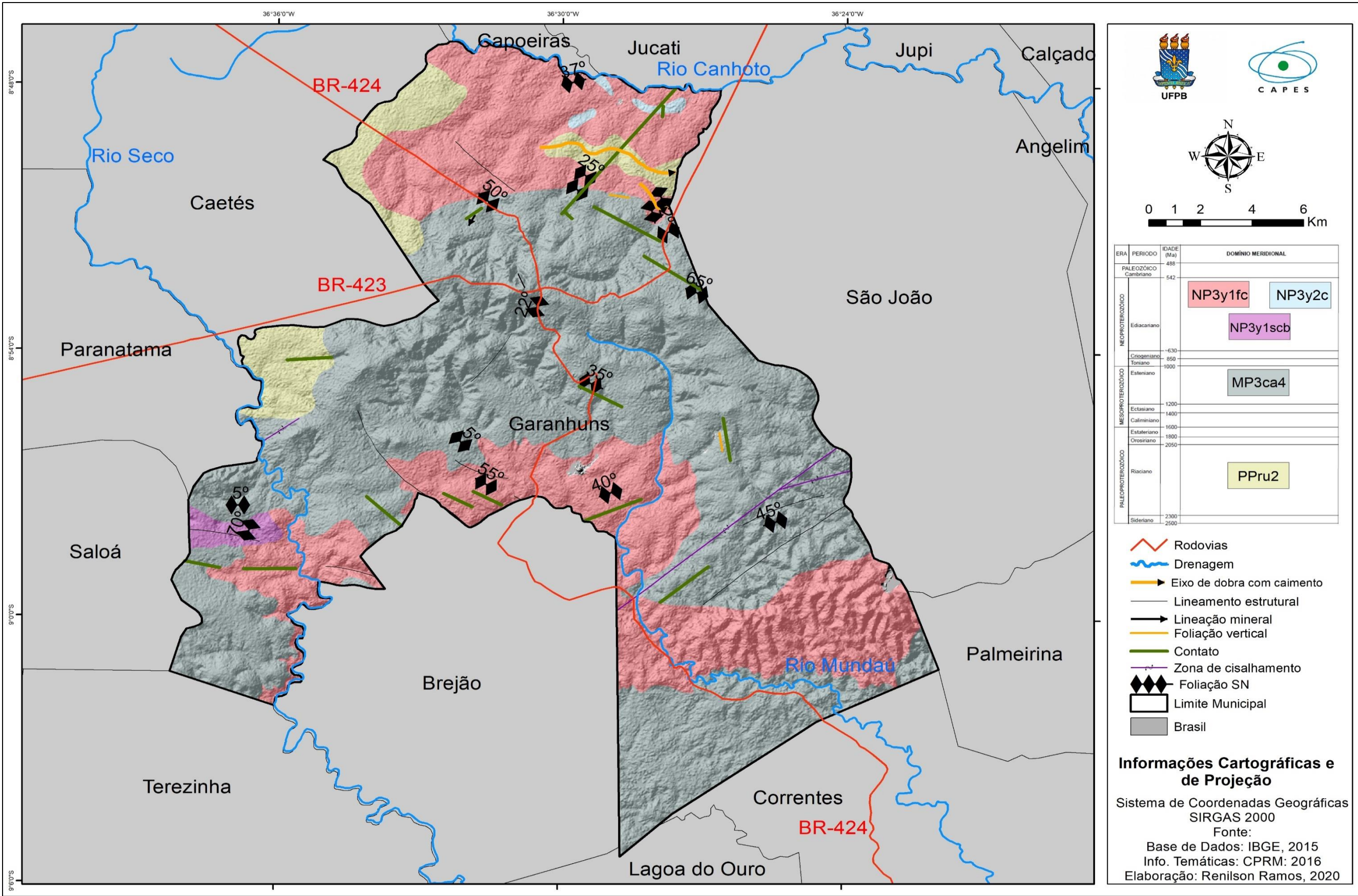
Existem na área de Garanhuns três (3) unidades originadas na era Neoproterozóica, no período Edicária, que remontam de 542 até 630 anos. As unidades foram nomeadas de NP3y1fc, NP3y2c e NP3y1scb e nelas existem rochas de litotipo álcali-feldspato granito, ortogneisse, ortogneisse tonalítico, gnaiss granodiorítico, granito, granodiorito, quartzito diorito e tonalito.

Também é possível observar em Garanhuns a presença de eixos de dobra com caimento, lineamento estrutural, lineação mineral, foliação vertical, áreas de contato, zonas de cisalhamento e foliação, como o observado na Figura 9, que ocorrem no município e formam a

composição da estrutura geológica da área.

A composição litológica de Garanhuns confere ao município um peculiar risco a processos erosivos, sendo as unidades com maior grau de risco as de embasamento cristalino.

Figura 9. Mapa litológico do município de Garanhuns-PE.



Elaborado por: Renilson Pinto da Silva Ramos, 2020.

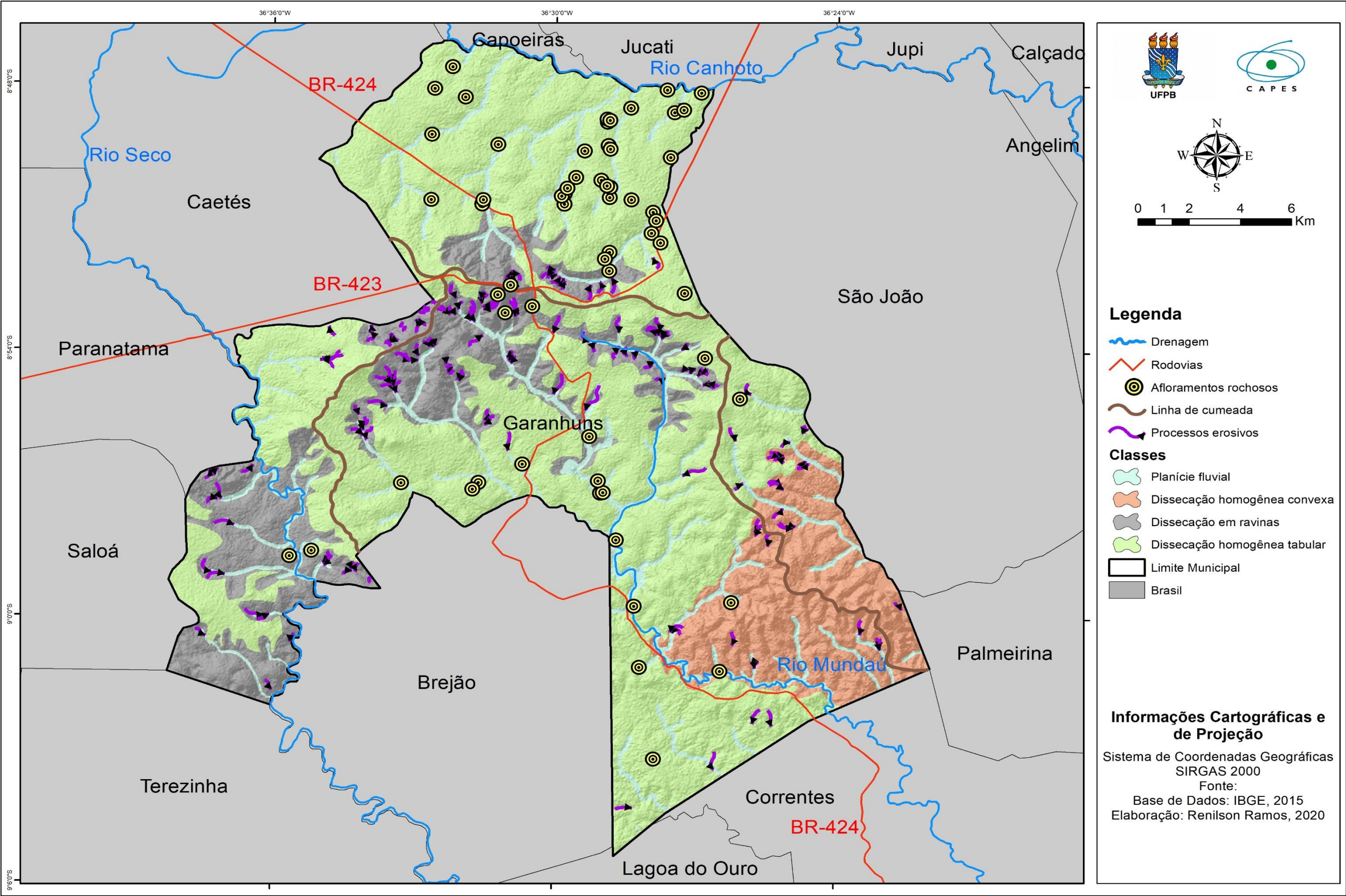
Junto com os parâmetros litológicos, os estudos das superfícies de cimeira ajudam a melhor compreender os processos de formação do relevo no planalto da Borborema.

Os aspectos dessas áreas de cimeira se apresentam localmente em alguns lugares como Triunfo, Serra do Gigante, Pico do Jabre e Garanhuns. A área que compreende a Garanhuns em especial apresenta semelhanças com a Serra do Gigante, apesar de possuir diferenças causadas por fenômenos tectônicos no pré-cretácio. O local da área de estudo compreende na formação a representação do relevo do planalto da Borborema, num período no qual a formação se estendia até a Serra do Gigante. Devido à sua altimetria de aproximadamente 1.100 metros, sendo a maior elevação quando comparado às demais áreas de cimeira da Borborema, Garanhuns apresenta um relevo de superfície aplainada do cretácio inferior, sendo assim a mais antiga superfície de cimeira da maior parte do nordeste (AB' SABER, 1965; LIMA; CORRÊA; FONSÊCA, 2016).

Na Figura 10 pode-se observar os modelados do relevo de Garanhuns, que se apresentam nas formas de dissecação homogênea tabular, dissecação homogênea convexa, dissecação em ravinas e planícies fluviais. As dissecações homogêneas convexas possuem terreno rugoso e se apresentam na parte sudeste de Garanhuns. Nestas áreas podem aparecer declividades que chegam até mais de 45%. Dissecação homogênea tabular é a unidade que apresenta maior área no município e comporta superfícies aplainadas ou suave-onduladas no comparativo com as outras dissecações. A dissecação em ravinas possui declividades que chegam até mais de 45%, sendo áreas onde os processos erosivos avançados estão localizados na área de estudo. As planícies fluviais se apresentam como áreas dos afluentes do Mundaú, sendo que não são todas que são formados por rios perenes, havendo também rios intermitentes (CPRM, 2008).

A linha de cumeada que divide Garanhuns em duas partes pode ser observada nas proximidades do norte do município. Essa linha, que existe entre a bacia do rio Canhoto e do Alto Curso do Mundaú, define duas áreas diferentes em Garanhuns do ponto de vista físico-natural, com condições climáticas distintas, mas que também implicam diferenças na maneira como espaços são humanamente ocupados. Visto que a superfície a barlavento impede a chegada de chuvas na região norte do município, ocasionando chuvas orográficas nas proximidades centro urbano, nessa área norte são efetivadas condições climáticas de maior proximidade com o semiárido. Afloramentos rochosos estão espaçados por todo o município, assim como vários processos erosivos podem ser observados em área de dissecação em ravinas (AZAMBUJA, 2007).

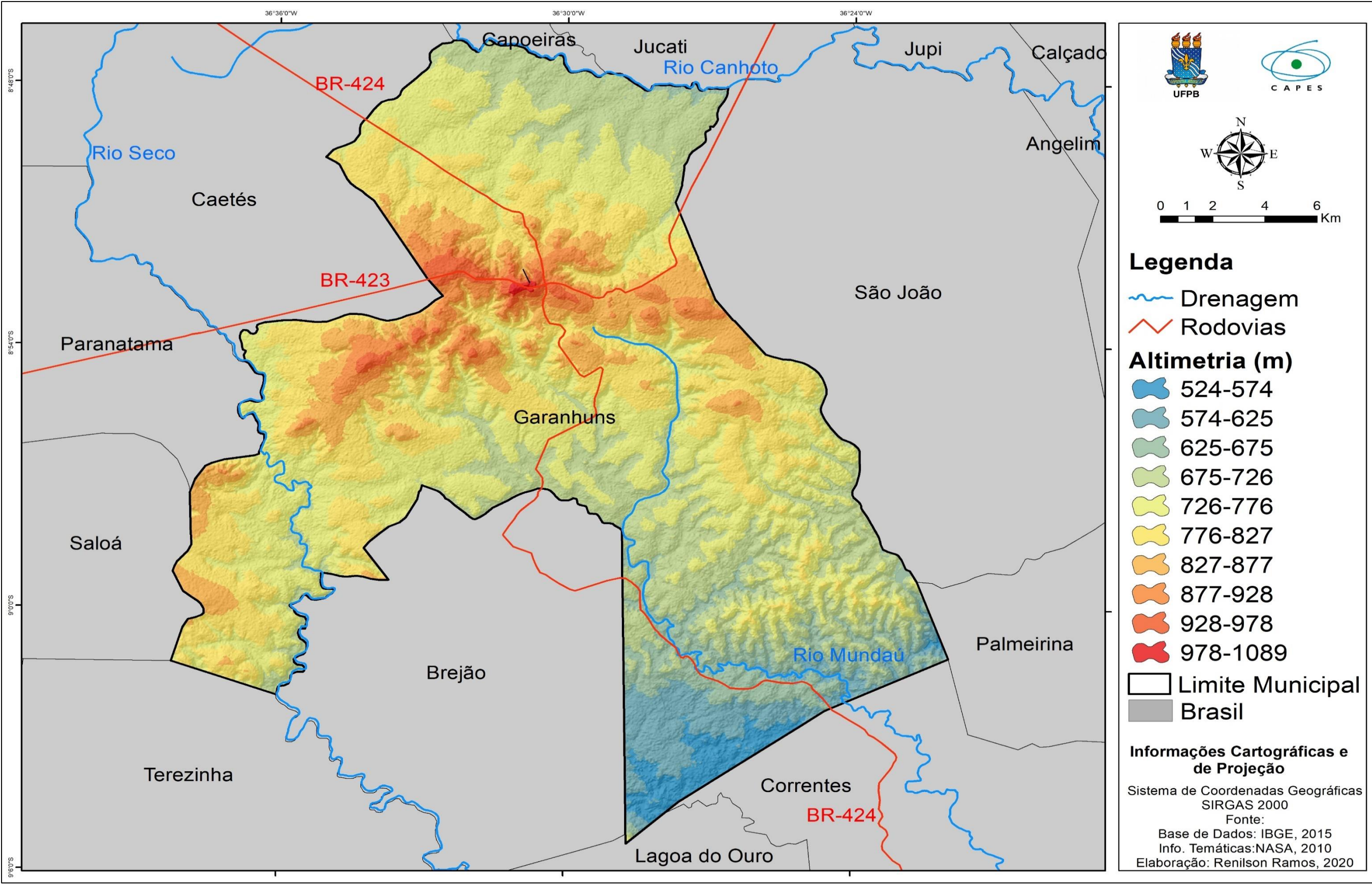
Figura 10. Mapa dos modelados do relevo do município de Garanhuns-PE.



Elaborado por: Renilson Pinto da Silva Ramos, 2020.

Ainda se tratando das formações do relevo de Garanhuns, cujos modelados e altimetria podem ser comparados, sabe-se que o município varia de 531 metros acima do nível do mar em sua área a sudeste, chegando até 1.089 metros no perímetro urbano. Essa variação altimétrica pode ser observada na Figura 11.

Figura 11. Carta hipsométrica de município de Garanhuns-PE.



Elaborado por: Renilson Pinto da Silva Ramos, 2020.

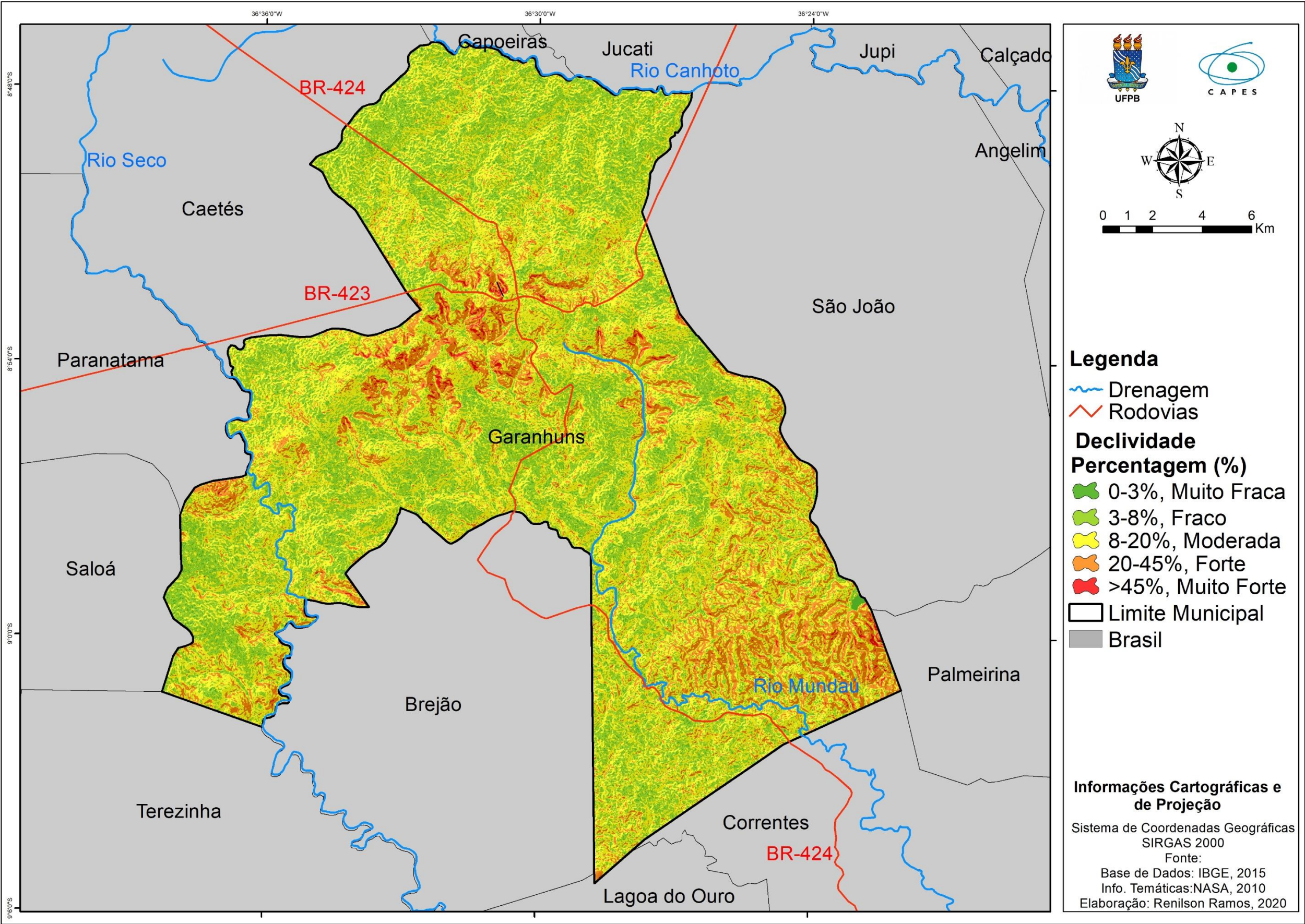
Ainda a respeito das formas da superfície do município de Garanhuns, é constatado pelo IBGE (2009) que sua declividade se apresenta como muito fraca (Mfa), fraca (Fa) e moderada (Mo), forte (fo) e muito forte (mfa) com uma variação que vai de 0 até $\geq 45\%$, sendo as áreas de declividade muito forte nas proximidades dos processos erosivos que podem ser encontrados na área de trabalho. Essas classes de declividade podem ser melhor analisadas e observadas no mapa da Figura 12.

As áreas com maior nível de risco à erosão são aquelas que possuem a maior declividade, pois quanto mais declivoso é um ambiente, maiores são as chances de que a gravidade atue intensificando eventos de remoção de sedimentos nessas localidades, através de diferentes formas de escoamento.

Como pode ser visto na Figura 13, é realizada a representação dessa distribuição dos pontos de erosões em cada uma das classes adotadas no mapeamento da declividade no município de Garanhuns e posteriormente aplicadas nos mapas de risco à erosão.

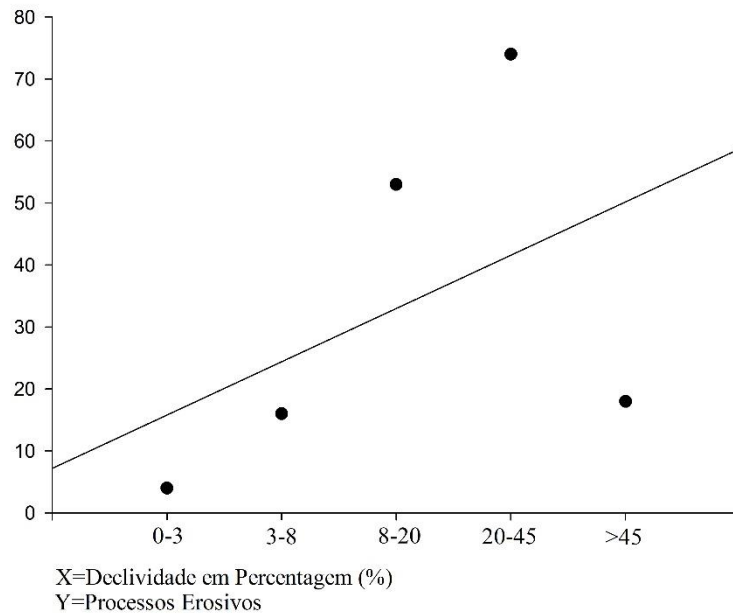
Nas áreas com declividade que varia de 0-3%, classificada como muito fraca, ficam a menor quantia processos erosivos: apenas quatro (4) deles, enquanto que na classe que varia de 20% até 45% observa-se uma maior quantia de erosões, contabilizando-se até setenta e quatro (74) pontos com ocorrência dos fenômenos. A classe com maior nível de declividade, sendo ela maior que 45% e nomeada como muito forte, aparece com dezoito (18) erosões e o seu pequeno número em comparação à classe forte de declividade é devido ao fato de que a classe com percentagem de 20-45% apresenta uma área maior em declividade quando comparada à classe com mais de 45%.

Figura 12. Mapa de declividade do município de Garanhuns.



Elaborado por: Renilson Pinto da Silva Ramos, 2020.

Figura 13. Gráfico da relação de declividade com pontos dos processos erosivos.



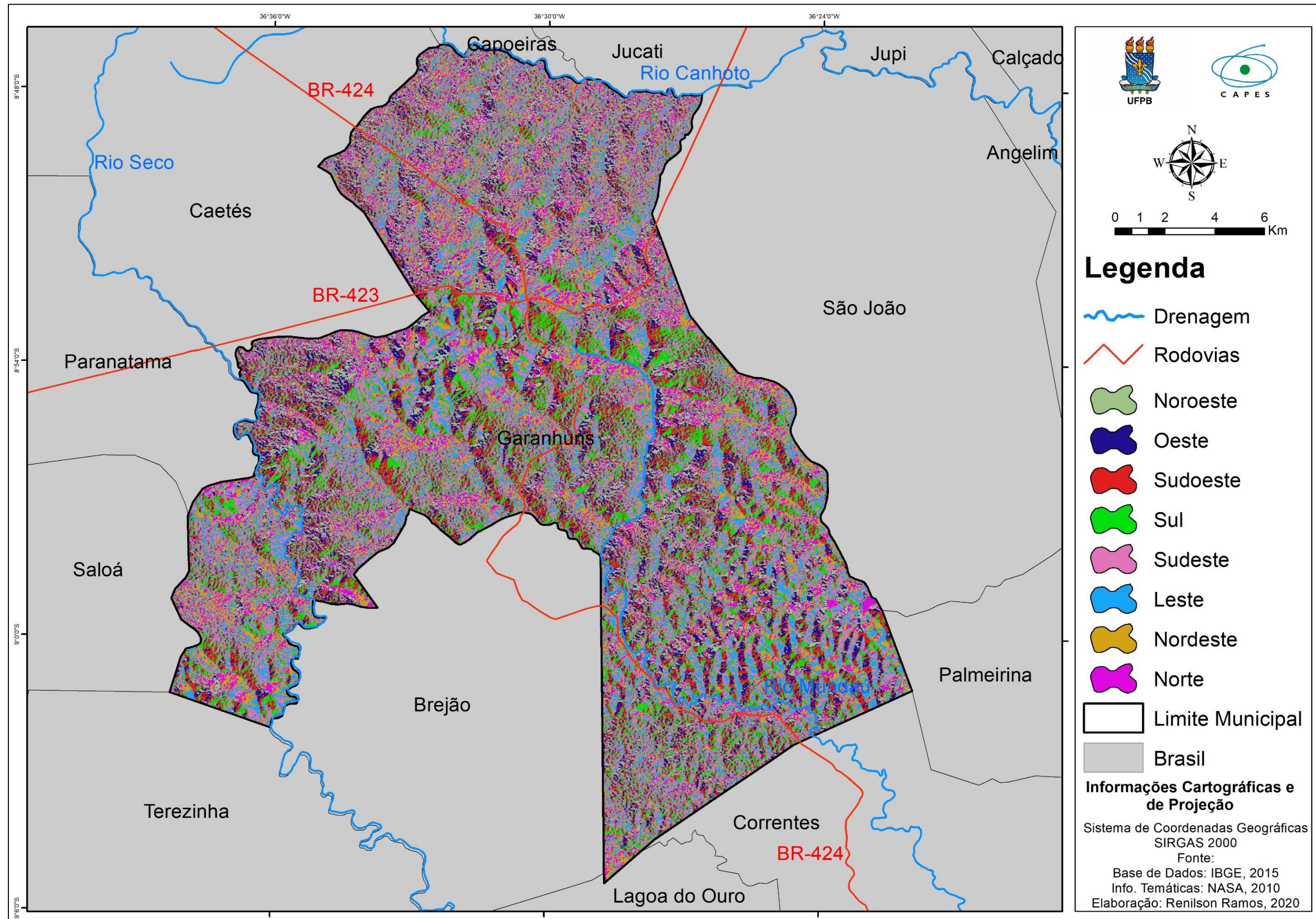
Elaborado por: Renilson Pinto da Silva Ramos, 2020.

A orientação das vertentes é a correspondência entre a inclinação do terreno em sentido descendente com o ângulo azimutal, expressa em graus, que varia de 0 até 360°. A sua importância pode ser encontrada na movimentação de fluxo hídrico através da ação da gravidade, que dependendo da umidade do local pode influenciar no modelado do relevo. Essas ações ocorrem em relação direta da posição da orientação das vertentes com os níveis de declividade que a área possui (VALERIOANO, 2008; RODRIGUES; SILVA, 2018).

Se tratando ainda da orientação das vertentes que podem ser visualizadas no mapa da Figura 14, a orientação ao sul aparece em sua maior parte no centro do município, e a orientação ao oeste pode ser mais facilmente encontrada ao sudeste, enquanto que as outras classes aparecem de forma distribuída em toda área do município.

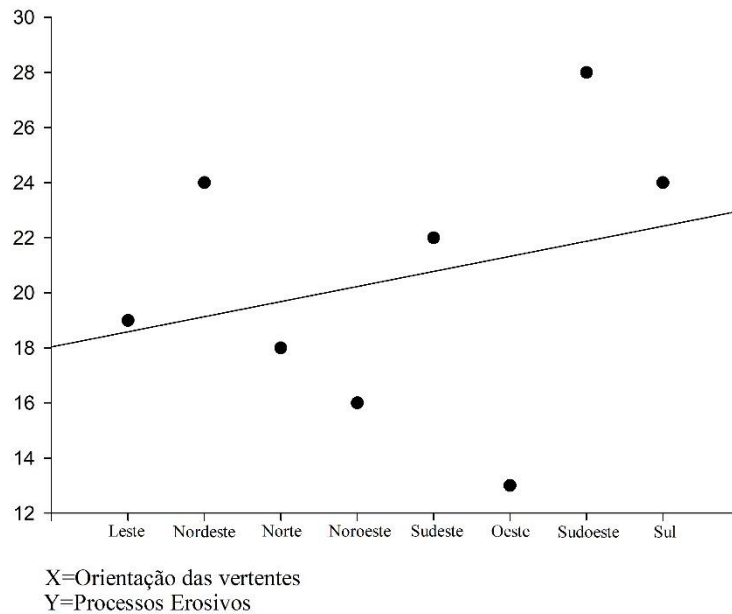
Para se visualizar a distribuição quase que equitativa dos processos erosivos, o gráfico da Figura 15 pode ser consultado. Nele observam-se pequenas variações de uma classe para outra na quantia da ocorrência de fenômenos, ainda que a classe que apresente o maior número de erosões seja a orientação ao sudoeste, enquanto que a orientação ao oeste apresente as menores quantias relativas à ocorrência do fenômeno erosivo.

Figura 14. Mapa da orientação das vertentes.



Elaborado por: Renilson Pinto da Silva Ramos, 2020.

Figura 15. Gráfico comparativo dos processos erosivos nos tipos de orientação das vertentes.

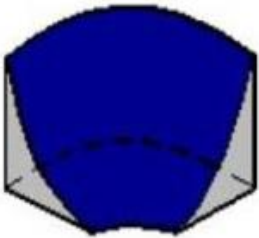
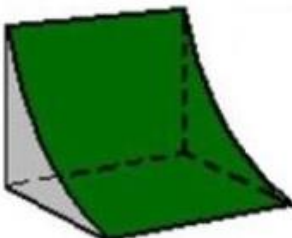
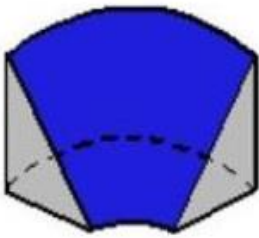
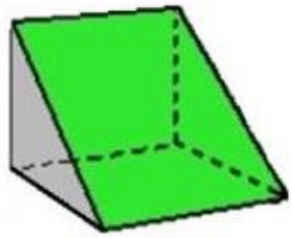
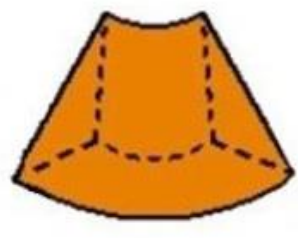
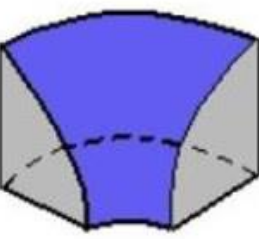
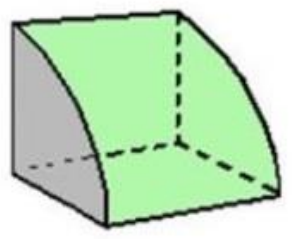
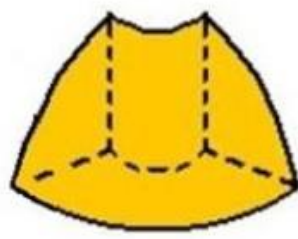


Elaborado por: Renilson Pinto da Silva Ramos, 2020.

A orientação das vertentes contribui para uma melhor compreensão do fluxo hídrico e de sedimentos, permitindo prever os movimentos gravitacionais dos fenômenos ocorrentes nas áreas. Em Garanhuns a predominância das vertentes voltadas sul e do sudeste em conjunção das chuvas advindas dessas áreas contribui para uma maior remoção de sedimentos com direção de fluxo voltados a essas orientações, como pode ser visto um grande número de processos erosivos voltados para essas coordenadas, que em conjunção com as declividades, a orientação das vertentes pode exemplificar a intensidade dessas erosões voltadas a sul e sudeste.

As curvaturas do terreno ajudam a definir a morfologia das variações da estrutura do relevo, que podem ser obtidas através do modelo digital de elevação. A forma do relevo de uma área, que pode ser classificada como convergente, planar e divergente quando trabalhada com a curvatura horizontal, poder ser também classificada como côncava, retilínea e convexa quando se trabalha com a curvatura vertical. Essas formas da superfície de um local têm sua importância ao definir, em conjunto com as outras variáveis, como ocorre o transporte e acúmulo de sedimentos em uma área (TORRES, 2014). As possíveis formas da curvatura de uma vertente podem ser visualizadas na Figura 16.

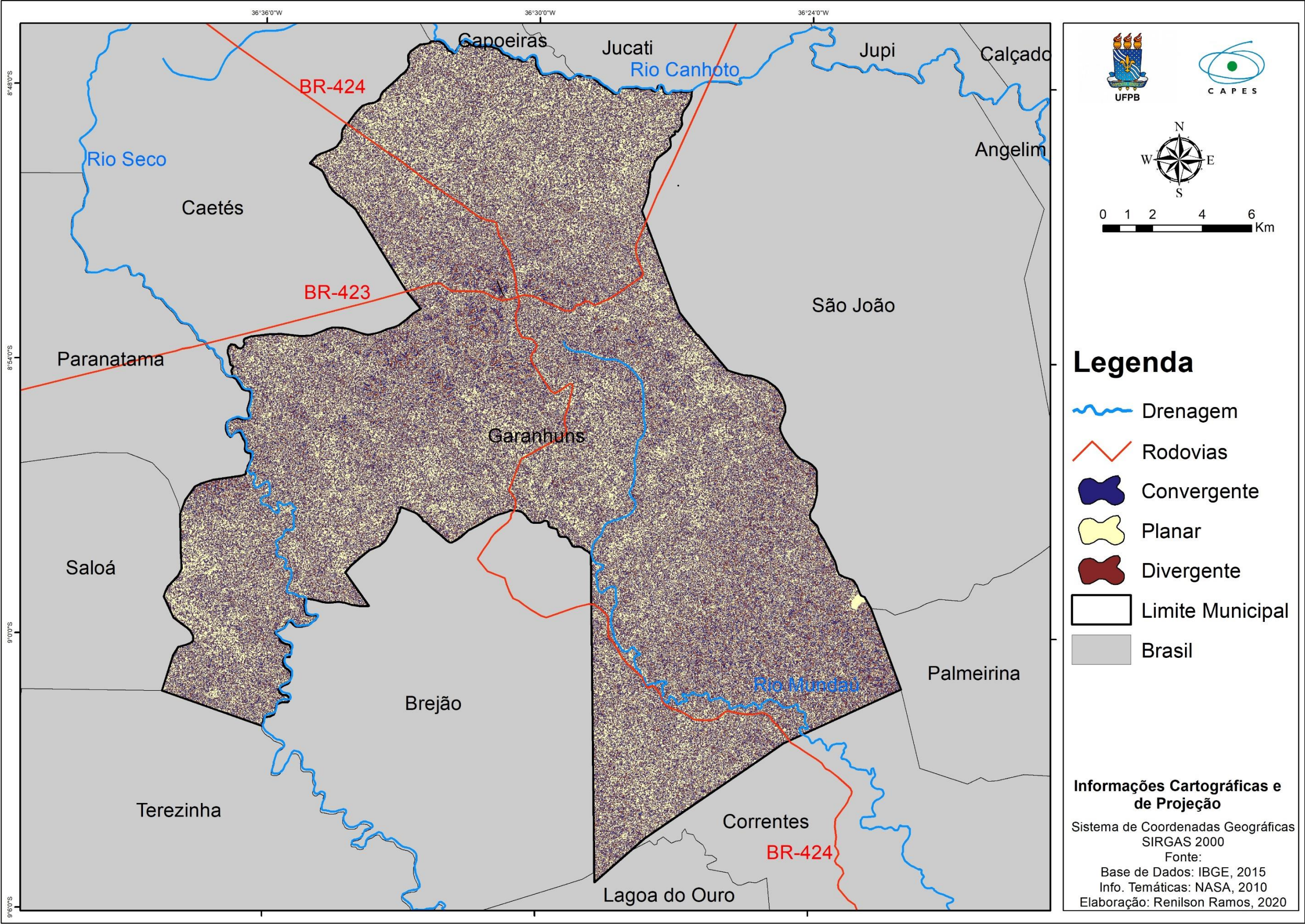
Figura 16. Tipos de curvaturas.

		Curvatura Horizontal		
		Convergente	Planar	Divergente
Curvatura Vertical	Côncava			
	Retilínea			
	Convexa			

Fonte: Torres (2014).

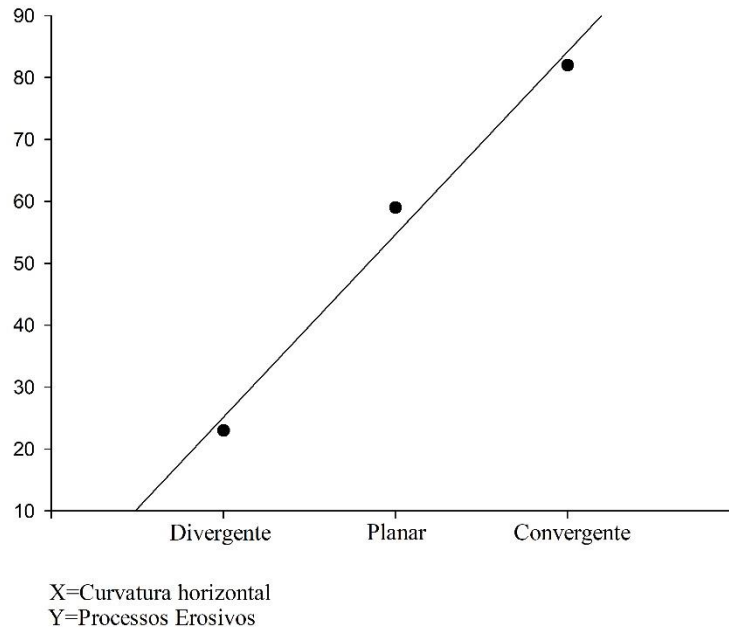
No mapa da Figura 17, pode-se ver como a curvatura horizontal está distribuída em Garanhuns, prevalecendo a forma de curvatura convergente. Nota-se pouca presença das outras duas classes, com ausência de concentração específica. No gráfico na Figura 18, é possível verificar como os processos erosivos se distribuíram nessas classes de curvatura.

Figura 17. Mapa da curvatura horizontal.



Elaborado por: Renilson Pinto da Silva Ramos, 2020.

Figura 18. Relação da curvatura horizontal com os pontos de processos erosivos existentes.



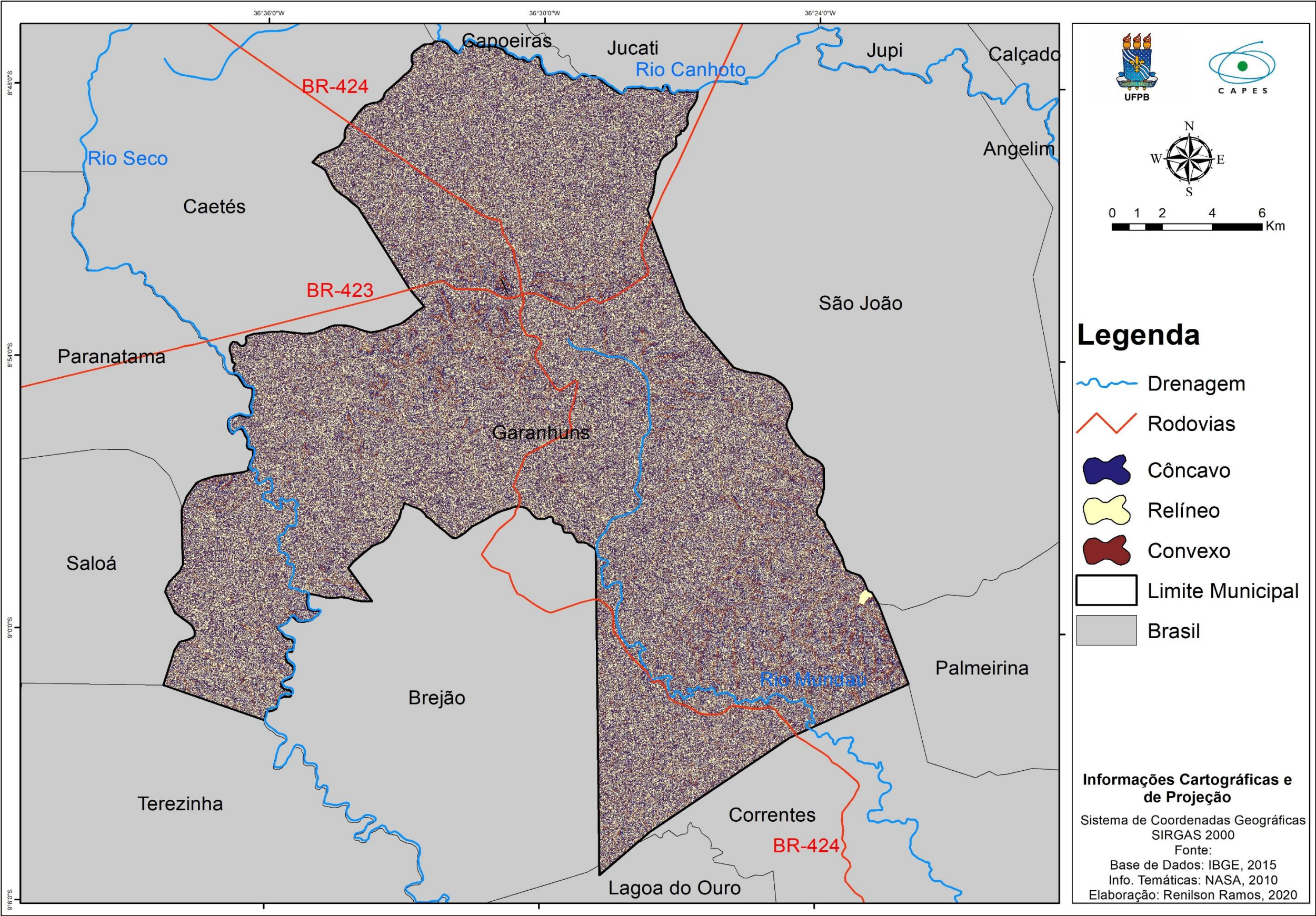
Elaborado por: Renilson Pinto da Silva Ramos, 2020.

Trabalhando na curvatura vertical é possível ver, pelo mapa da Figura 19, que de forma semelhante à curvatura horizontal, não há concentração específica numa área em particular, havendo uma predominância da classe de relevo côncavo. Os pontos de erosões marcados em classe da curvatura vertical e a quantia em relação de uma classe para outra podem ser observados no gráfico da Figura 20.

O Fato de aparecer como predominância do fator convergente, apesar da existência de processos erosivos nessas áreas, representa que no município, nos termos de escoamento e acúmulo, a concentração seja a predominância. Enquanto pequenos pontos existem a curvatura divergente que caracteriza principalmente o escoamento e fluxo hídrico.

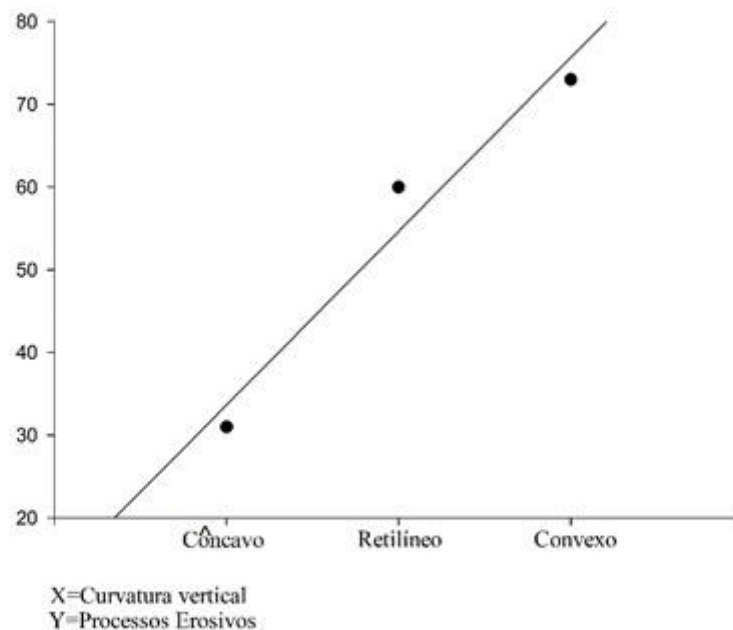
A existência de processos erosivos avançados nessas áreas de acúmulo hídrico, pode representar a existência de paleovoçorocas. Essas processos estativos na paisagem poderiam ter parado de avançar em suas encostas e hoje representar apenas uma área de altas declividades e de concentração de fluxo, contudo os danos ocasionados por elas não podem ser minimizados por esses fatores específicos.

Figura 19. Mapa da curvatura vertical.



Elaborado por: Renilson Pinto da Silva Ramos, 2020.

Figura 20. Relação da curvatura vertical com os pontos de processos erosivos existentes.



Elaborado por: Renilson Pinto da Silva Ramos, 2020.

Se tratando da distribuição dos processos erosivos em relação à curvatura do relevo, na variação horizontal os valores relativos a uma curvatura divergente apresentam uma menor propensão a desenvolver processos erosivos, enquanto os valores convergentes apresentam uma maior. Já na curvatura vertical, são os valores que representam uma curvatura convexa que vão trazer um maior risco à erosão, e as áreas com uma curvatura côncava os menores riscos.

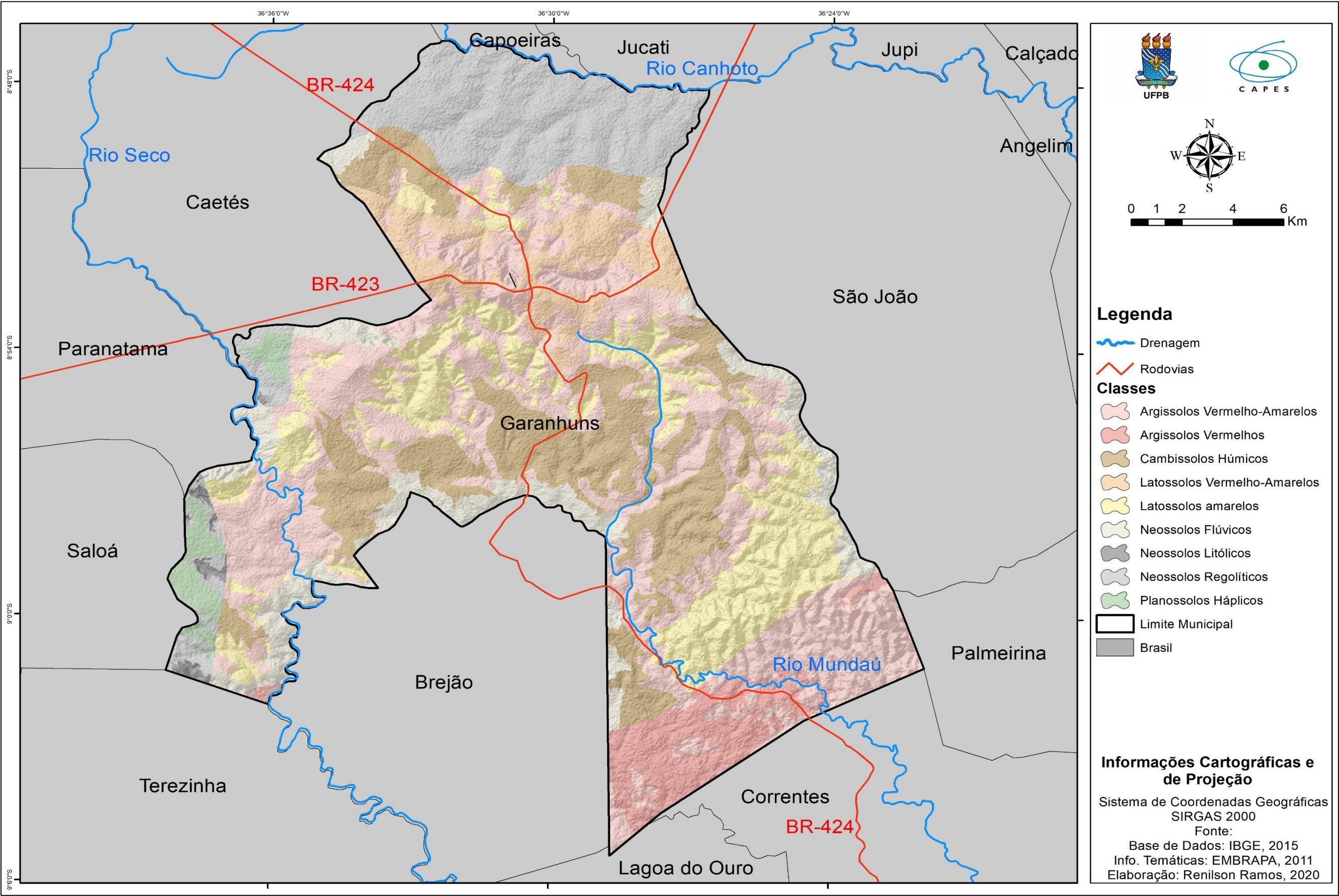
Ao discutir as curvaturas verticais pode-se notar ao observar no mapa que existem uma quase igualdade na distribuição das formas convexas e côncavas. Sendo as curvaturas conexas predominantes no escoamento, enquanto que as côncavas correspondem ao acúmulo seja hídrico ou de sedimentos.

No caso das curvaturas verticais, diferentemente das curvaturas horizontais, a maior concentração de processos erosivos estão nas áreas de denudação, ao invés de deposição. Fazendo assim com que os processos erosivos categorizados como tal ainda sejam classificados como ativados e atuadores na remoção de sedimentos da área. No entanto é importante salientar que existem também alguns processos erosivos avançados contidos nas áreas referentes as curvaturas verticais côncavas, embora seja de um número menor do que a concentração desses processos em sua convexa.

4.1.3. Tipos de solos do município de Garanhuns-PE

Junto a outros fatores de formação como o clima, vegetação, atividade biológica e material parental, os solos também são formados pelo relevo presente na área. A formação morfológica de Garanhuns possibilitou que houvesse o surgimento de solos como: cambissolo húmico, planossolo háplico, neossolo regolítico, neossolo litólico, neossolo flúvico, argissolo vermelho, argissolo vermelho-amarelo, latossolo vermelho-amarelo e latossolo amarelo. Cada uma dessas classes e suas respectivas localizações dentro do perímetro do município podem ser vistas na Figura 21, mapa dos solos do município de Garanhuns.

Figura 21. Mapa dos solos de Garanhuns-PE.



Elaborado por: Renilson Pinto da Silva Ramos, 2020.

Os argissolos apresentam um grande aumento de argila do horizonte A para o B, possuindo o horizonte Bt textural, são solos que variam de profundos para pouco profundos. Os argissolos amarelos apresentam um matiz de 7,5 YR nos primeiros 100 Cm do horizonte B, enquanto que os argissolos vermelho-amarelo são argissolos que não se encaixam nas classes de vermelhos, amarelos, acinzentados e bruno-acinzentados (IBGE, 2007; EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2011).

Os cambissolos são tipos de solo que possuem variada profundidade, geralmente sendo encontrados de forma que um horizonte A esteja sobre um horizonte Bi, geralmente pedregoso. Especificamente os cambissolos húmicos são os que possuem dentro dessa classificação um horizonte A húmico (IBGE, 2007; EMBRAPA, 2011).

O planossolo é um tipo de solo que apresenta uma mudança textural abrupta do horizonte superficial para o próximo horizonte. São caracterizados por serem solos mal drenados e possuírem os mais variados tipos de horizonte. Os planossolos háplicos são os que não apresentam horizonte plânico com caráter sódico abaixo do horizonte A ou E (IBGE, 2007; EMBRAPA, 2011).

Os neossolos são solos com 30cm ou menos, sem nenhum horizonte diagnóstico. Os neossolos litólicos têm horizontes A ou hísticos sobre a rocha ou horizonte C ou Cr, podendo apresentar um horizonte B em início de formação. O neossolo regolítico possui contato lítico com horizontes A de 50cm sobre horizontes C ou Cr, havendo possibilidade de ter um Bi. O caso dos neossolos flúvicos é que eles são formados pela sobreposição de solos de caráter fluvial e que não possuem muita conexão entre si, se formando nas margens de rios e córregos. Apresentam horizonte A acima de horizontes C, que possuem por volta de 150cm de profundidade, existindo também a possibilidade de haver um horizonte Bi de até 10cm e uma ausência de gleização em seus primeiros 50cm (IBGE, 2007; EMBRAPA, 2011).

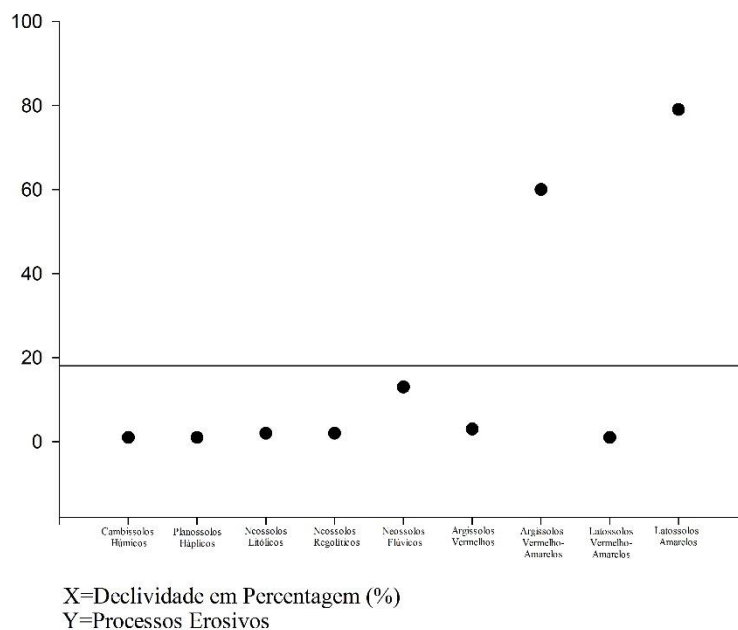
Os latossolos possuem solos bem drenados, profundos, sob intemperismo e com mineralogia caulinítica. Os latossolos amarelos apresentam um matiz de 7,5 por conta da Goethita em sua composição, enquanto que os latossolos-vermelho amarelos possuem uma variação de cor de amarelo a vermelho. Diferenciam-se dos outros tipos de latossolos, sendo solos profundos e bem drenados, os quais dependendo da quantidade argila, podem ser utilizados para o plantio e pastagem (IBGE, 2007; EMBRAPA, 2011).

Os latossolos amarelos em específico ocorrem em localidade com altos índices de declividade, possibilitando assim a sua remoção e a aparição de diferentes tipos de processos erosivos, como é o caso de Garanhuns: a área urbana contém esse tipo de solo, o que ajuda a entender o número de erosões avançadas dentro desse perímetro (IBGE, 2007; EMBRAPA,

2011).

O argissolo vermelho-amarelo, assim como o amarelo, foram classificados como portadores de um médio grau de risco à erosão, enquanto os latossolos amarelos, por sua profundidade e por estarem em posições declivosas no município de Garanhuns, denotam maior risco à erosão. Como pode ser visto na Figura 22, os latossolos amarelos e argissolos vermelho-amarelo possuem 79 e 60 pontos com processos erosivos, respectivamente. Se tratando dos latossolos vermelho-amarelos, cambissolos húmicos e planossolos solódicos, todos com um (1) ponto de ocorrência de erosão cada, pode-se observar não apenas maior resistência à erosão, mas também menor área. Os neossolos flúvicos, neossolos regolíticos, neossolos litólicos e argissolos vermelhos são classes que ficaram com mais de um (1) ponto de processos erosivos cada, embora muito abaixo das quantias que os latossolos amarelos e os argissolos possuem.

Figura 22. Relação dos tipos de solos e quantia de ocorrência de erosões.



Elaborado por: Renilson Pinto da Silva Ramos, 2020.

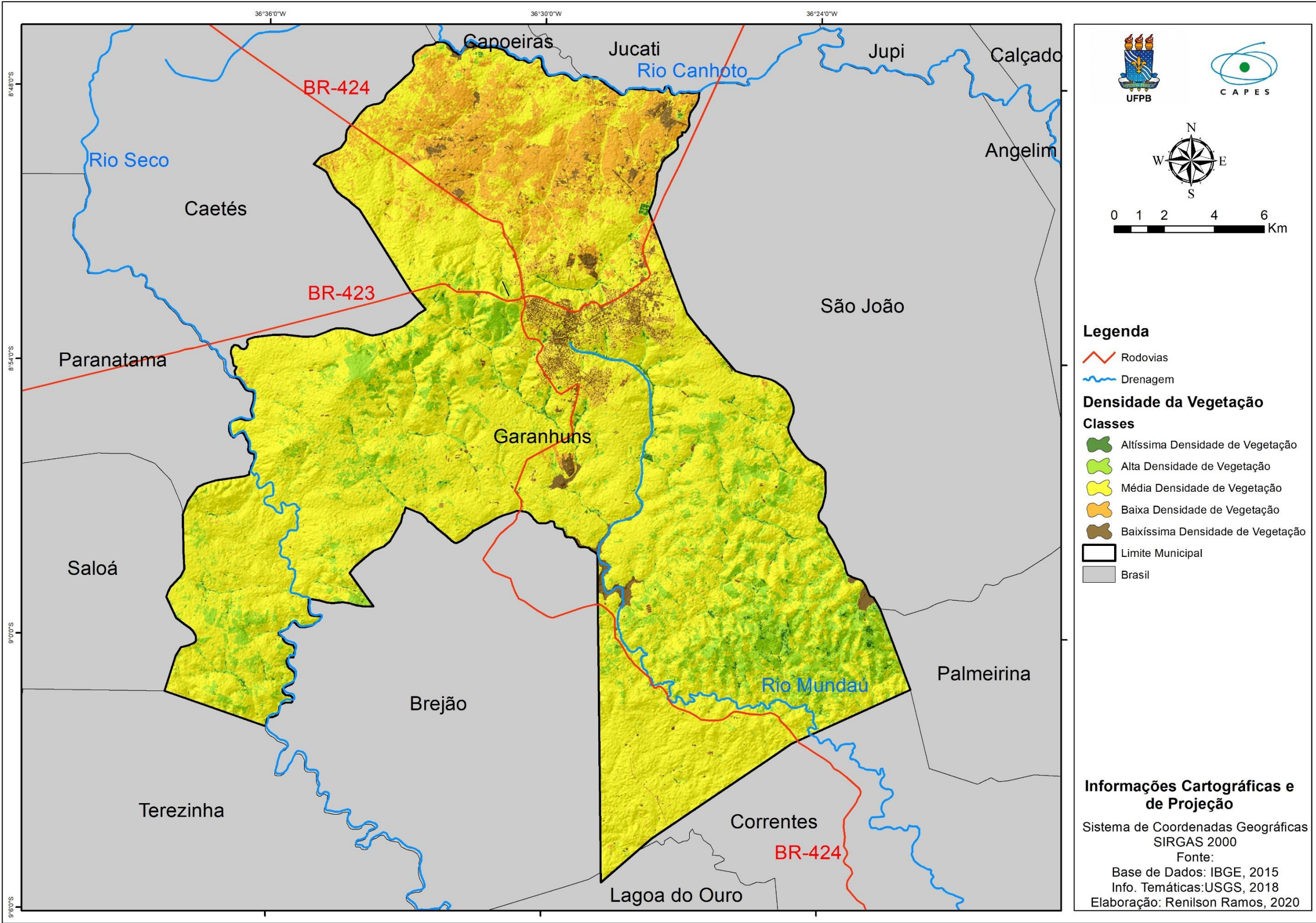
4.1.4. Densidade da vegetação e espécies endêmicas

Um outro fator de formação dos solos é a vegetação, como anteriormente mencionado. Em conjuntos com o restante dos fatores, é o que permite que tenham solos específicos em Garanhuns. A vegetação tem alta relevância na discussão acerca de erosão, uma vez que o

fenômeno é potencializado com a remoção da cobertura vegetal.

Considerando a cobertura vegetal do município, foi confeccionado o mapa utilizando o SAVI, o qual pode ser observado na Figura 23. A definição de classes foi estabelecida em cinco, sendo elas as classes de Altíssima Densidade de Vegetação, Alta Densidade de Vegetação, Média Densidade de Vegetação, Baixa Densidade de Vegetação e Baixíssima Densidade de Vegetação.

Figura 23. Mapa da cobertura vegetal do município de Garanhuns-PE.



Elaborado por: Renilson Pinto da Silva Ramos, 2020.

A vegetação de altíssima densidade se localiza na proximidade dos córregos que são afluentes da bacia hidrográfica do rio Mundaú no município, com um total de 4,10 km² em sua área. A vegetação de alta densidade está principalmente ao sudeste e oeste do município, com um total de 65,51 Km² no total. Já a vegetação de média densidade aparece de maneira dispersa em toda área do município, com um total de 324,87 Km², e pode ser entendida como as áreas com lavoura. A classe de baixa densidade, interpretada como área de caatinga, tem área total de 49,50 Km² e fica ao norte do centro urbano. As localidades com baixíssima densidade são categorizadas como locais não vegetados e de construções antrópicas, em seu total possuem uma área de 14,58 Km².

Para especificar a vegetação endêmica do município de Garanhuns, é possível afirmar que na área existe espécies tais como: *Solanum baturitense*, *Solanum paniculatum*, *Solanum. Stipulaceum*, *Solanum Sp*, *E. revolutum*, *E. polygonoides*, *Lantana câmara*, *L. microphylla*, *Ruellia sp*, *Ruellia*, *geminiflora*, *Tabebuia impetiginosa*, *Caesalpinia echinata*, *Annona muricata*, *Enterolobium contortisiliquum*, *Tabebuia impetiginosa*, *Tapirira guianensis*, *Guatteria australis*, *Vismia brasiliensis*, *Hymenaea courbaril*, *Machaerium hirtum*, *Bowdichia virgilioides*, *Erythrina velutina*, *Casearia sylvestris*, *Byrsonima sericea*, *Miconia minutiflora*, *Myrsine umbellata*, *Myrcia selloi*, *Myrcia bela*, *Zanthoxylum rhoifolium*, *Talisia esculenta*, *Cupania impressinervia*, *Cupania oblongifolia*, *Manilkara sp*, *Cecropia hololeuca* e *Vitex polygama*. São essas algumas das principais espécies nativas que podem ser encontradas na área de estudo (MELO; RODAL, 2003; CHAVES; SOUZA, 2018; JANSEN, 2018).

4.1.5. Níveis de chuva

É consenso que a remoção da vegetação influencia no regime pluviométrico. Em Garanhuns, houve ao decorrer de uma década a remoção de vegetação para a pecuária, como é evidenciado no trabalho de Lima *et al.*, (2015), contudo nos últimos anos tem ocorrido remoção da vegetação nativa para a construção civil, devido à especulação imobiliária no local, como discutido por Melo (2016). Sem essa vegetação existe a possibilidade não só de alteração no comportamento das chuvas, mas também a criação de novas áreas que podem sofrer com erosões avançadas, uma vez que os solos e o regime pluviométrico possibilitam a ocorrência desse fenômeno.

O contato direto da chuva com os solos é um dos principais fatores que tendem a influenciar a evolução dos processos erosivos em uma área, não sendo incomum que existam erosões com o efeito de salpicamento no momento do contato direto das gotas de chuva com os

solos. A remoção dos sedimentos também ocorre tanto através de uma concentração do fluxo hídrico (no caso das erosões lineares) como também de maneira difusa (nas erosões laminares).

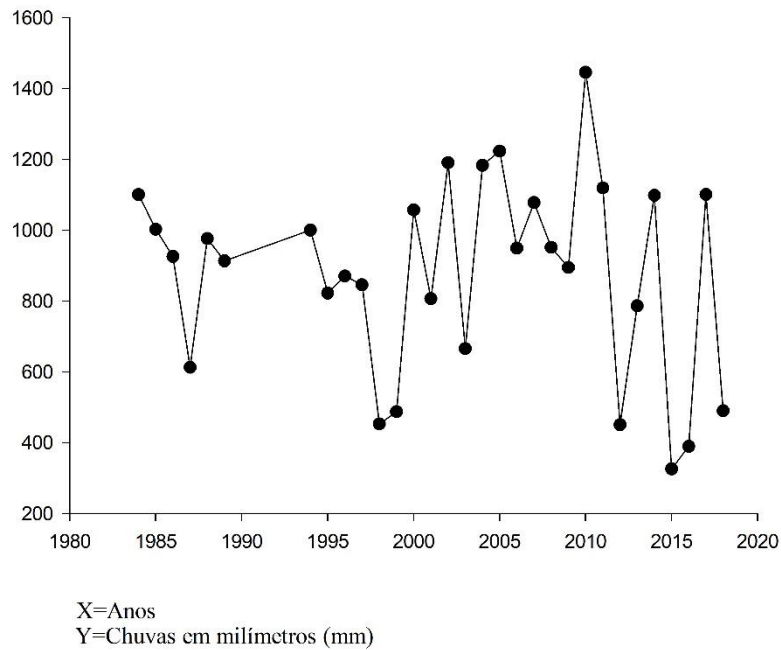
O Instituto Nacional de Meteorologia (2019) diz que especificamente em Garanhuns, no período de abril até agosto, se apresentam chuvas mensais que variam ao redor de 100 mm, mas que podem chegar até 350 mm, enquanto que no período de setembro até março, os meses possuem chuvas com menos de 50 mm.

Nos 34 anos analisados, foi possível definir os totais mensais da pluviometria no município de Garanhuns, o que permite a afirmação de que os meses com o maior volume de chuva se observam a partir de Maio, estendendo-se até o mês de Agosto, com diminuição notável nos meses posteriores a este.

Contudo existem anos que se diferenciam, com chuvas elevadas em apenas um dia, o que faz com que meses como janeiro e fevereiro possuam totais pluviométricos (em mm) comparável a meses como junho e julho, como pode ser visto no Quadro 05.

No gráfico da Figura 24, é possível observar o total anual ao longo desses 30 anos e notar os anos com regime pluviométrico mais intenso, assim como os que apresentaram um total muito inferior ao que comumente se tem no município. Destaca-se o ano de 2010, com um alto volume de chuvas, assim como a partir de 2015 percebe-se uma diminuição drástica no total anual das chuvas que ocorreram no município. No gráfico no qual se apresenta as chuvas máximas e mínimas é possível ver as diferenças entre os meses em que cada ano teve um maior valor em comparação com os meses de pequena quantia de chuvas. Quando discutido o valor anual de chuvas, o desvio padrão é de 277,41 mm.

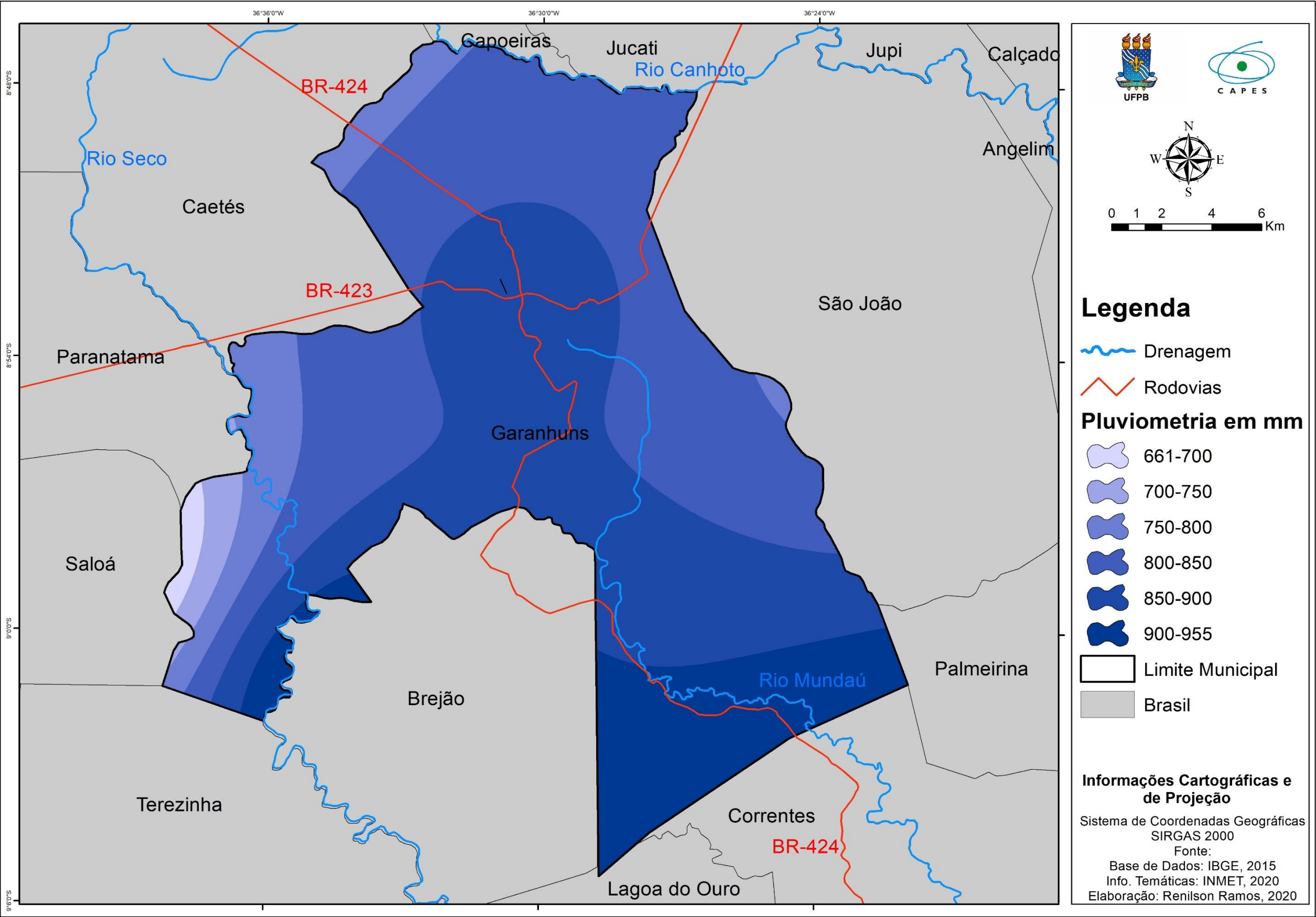
Figura 24. Precipitação total anual para o município de Garanhuns – PE.



Elaborado por: Renilson Pinto da Silva Ramos, 2020.

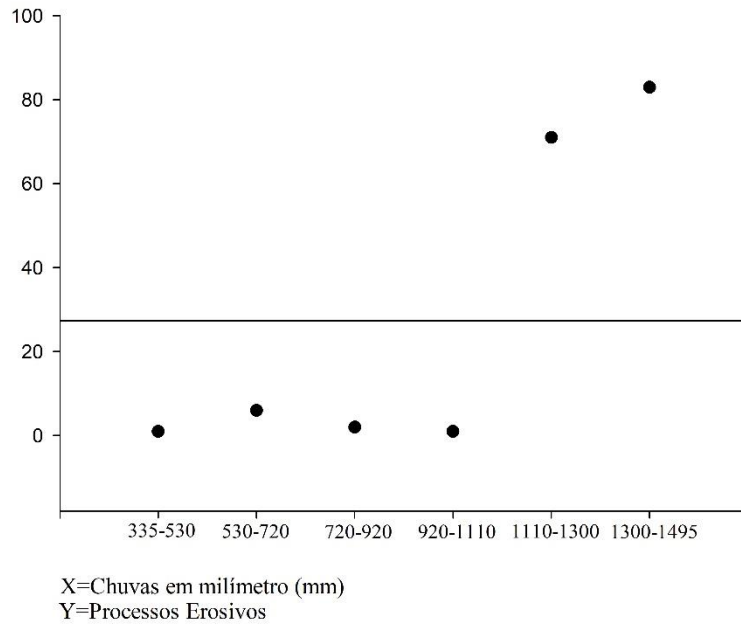
No mapa da Figura 25, é possível observar como ocorreu espacialmente a distribuição de chuvas no município durante a maior parte do ano de 2010. O município majoritariamente ficou dentro das classes de chuva correspondentes de 850 até 955 mm. As áreas com menor regime pluviométrico desse ano específico se encontram nas áreas de proximidade com Caetés e Saloá, com chuvas de 661 até 750 mm. No gráfico apresentado na Figura 26, a distribuição dos processos erosivos dentro das classes pode ser analisada em termos de comparação.

Figura 25. Mapa da Pluviometria do Município de Garanhuns-PE em 2010.



Elaborado por: Renilson Pinto da Silva Ramos, 2020.

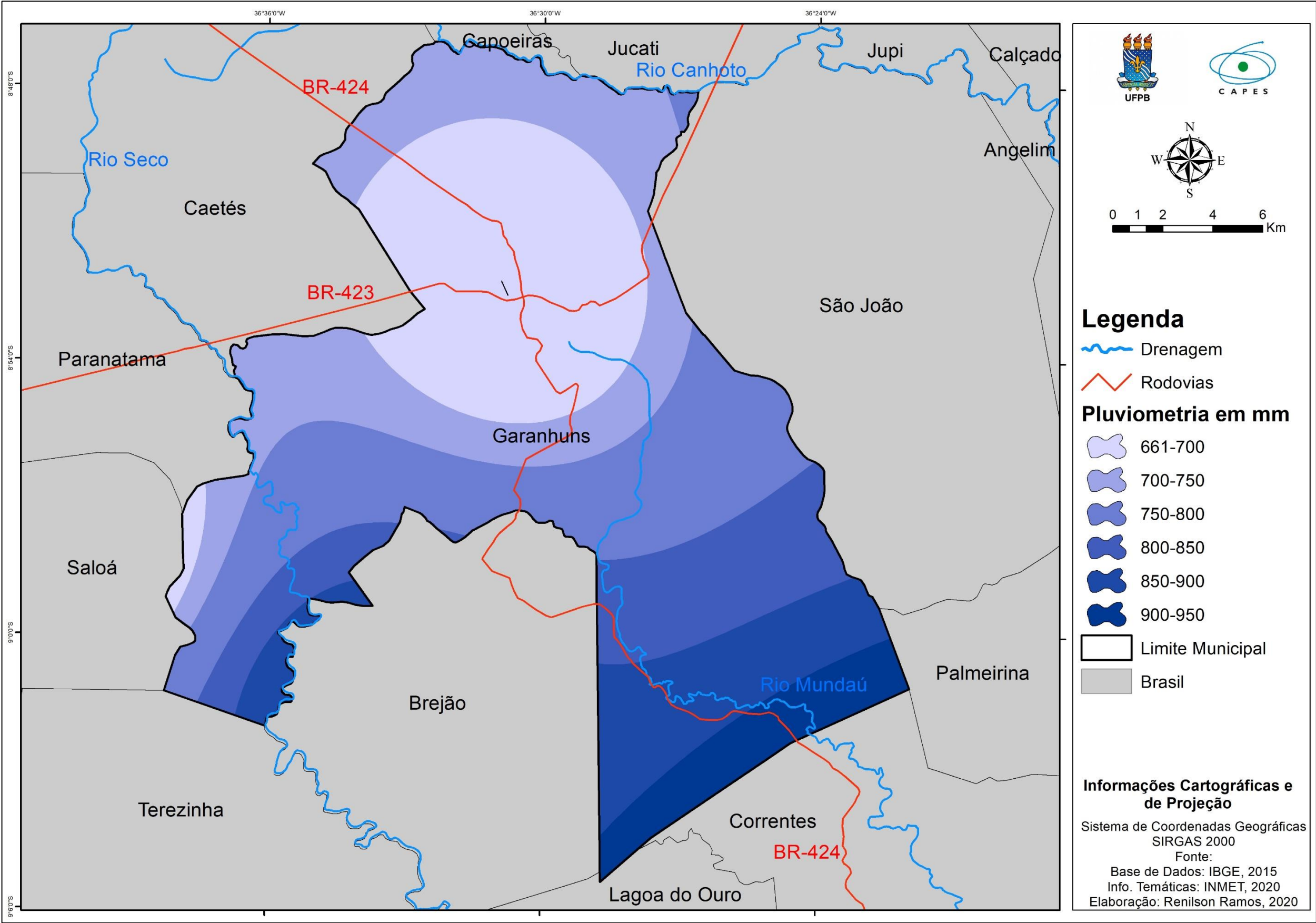
Figura 26. Relação das áreas com processos erosivos com o regime de chuvas em 2010.



Elaborado por: Renilson Pinto da Silva Ramos, 2020.

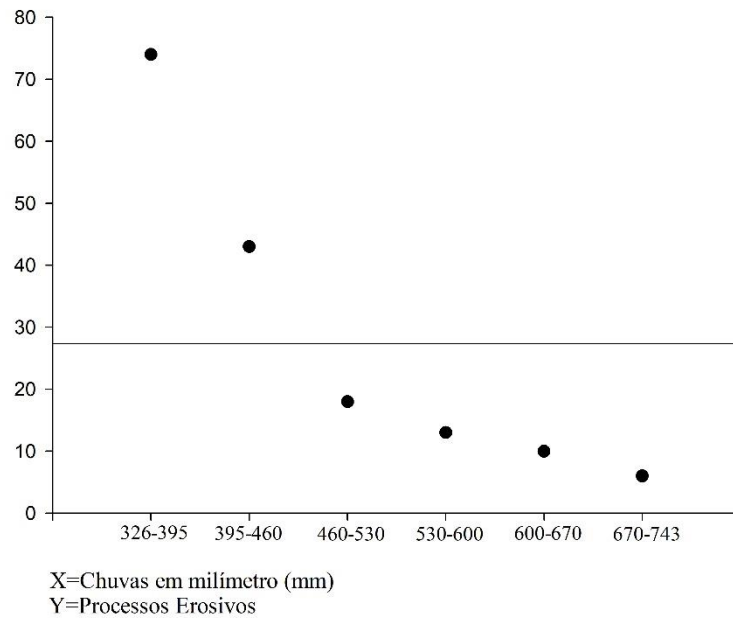
No ano de 2015 houve a menor quantia de chuvas no município de Garanhuns, com volume de até 743 mm nas áreas próximas aos municípios de Brejão e Correntes, enquanto que nas proximidades do centro urbano do município houve uma predominância de chuvas de 395 mm. Devido ao fato das erosões estarem principalmente concentradas nas proximidades do centro urbano, a distribuição dos pontos ficaram contidas nas áreas de menor regime de chuvas, como é verificado na Figura 27. É comparada a distribuição das erosões na Figura 28.

Figura 27. Mapa da Pluviometria do Município de Garanhuns-PE em 2015.



Elaborado por: Renilson Pinto da Silva Ramos, 2020.

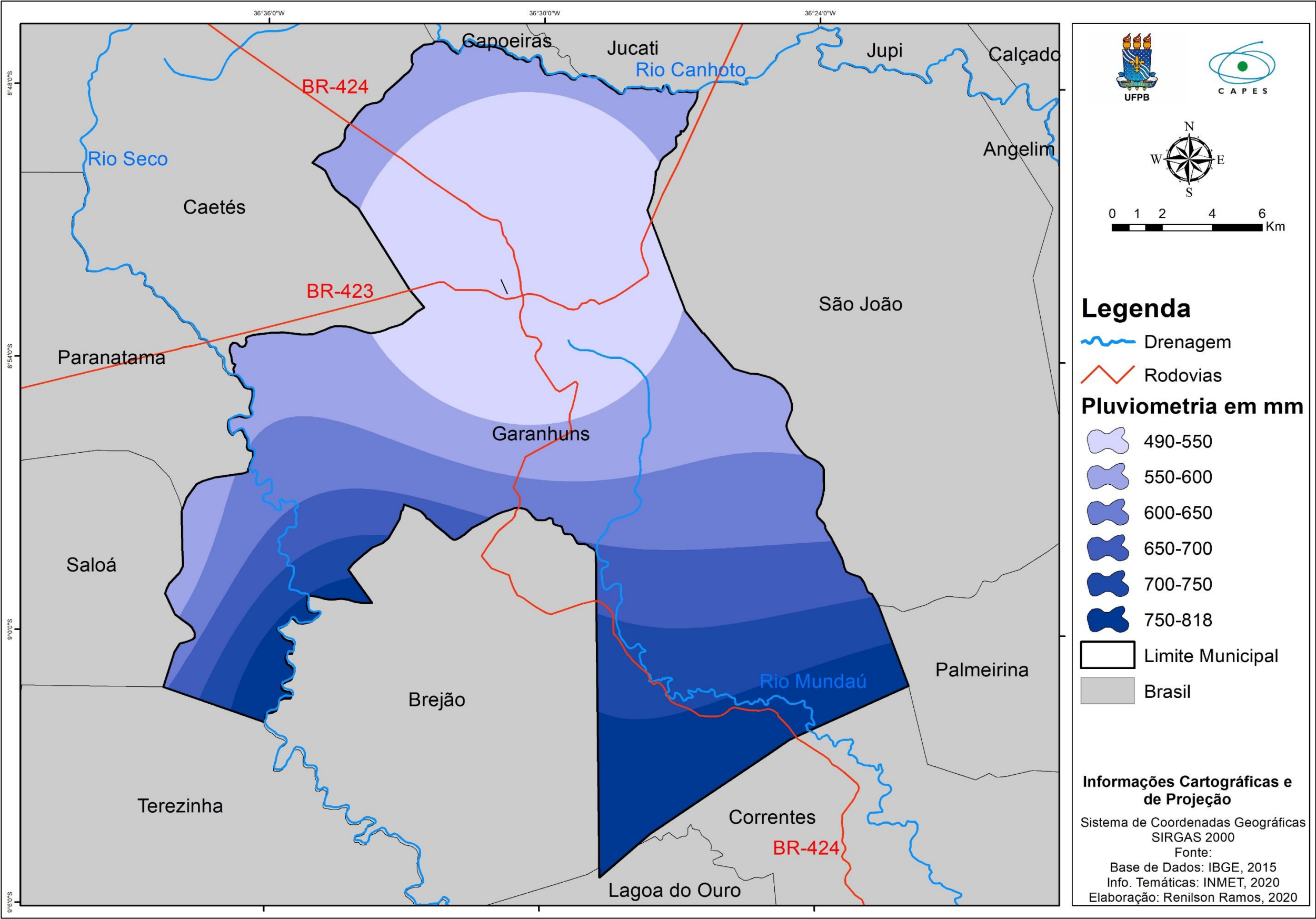
Figura 28. Relação das áreas com processos erosivos com o regime de chuvas em 2015.



Elaborado por: Renilson Pinto da Silva Ramos, 2020.

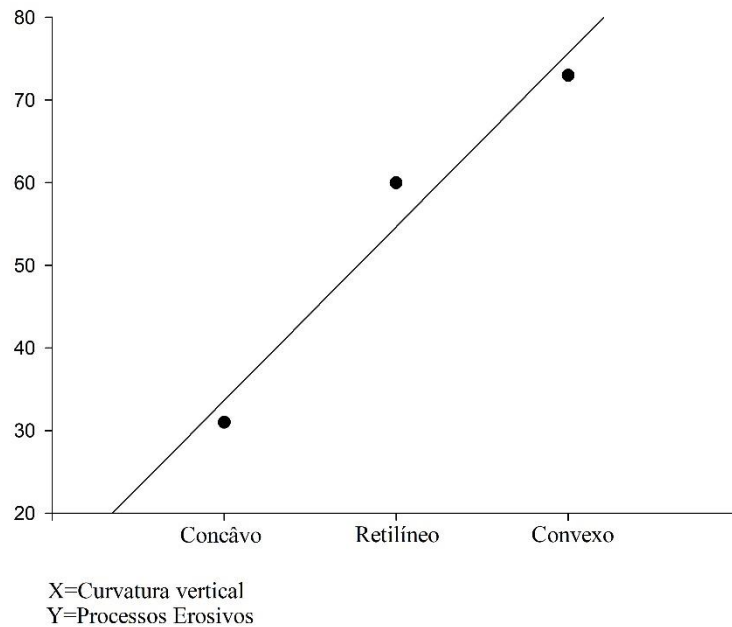
Em 2018 (Figura 29), data mais recente considerada para as análises, apresentou-se um total de chuva anual médio de 818 mm, sendo chuvas concentradas principalmente na região sudeste do município, enquanto que na região do centro urbano foi observado um volume de 490-550 mm. A distribuição dos pontos dos processos erosivos seguiu de forma semelhante aos últimos dois mapas, como conferido na Figura 30.

Figura 29. Mapa da Pluviometria do Município de Garanhuns-PE em 2018.



Elaborado por: Renilson Pinto da Silva Ramos, 2020.

Figura 30. Relação das áreas com processos erosivos com o regime de chuvas em 2018.



Elaborado por: Renilson Pinto da Silva Ramos, 2020.

Nas Figuras 26, 28 e 30 pode-se observar como os pontos com erosões estão distribuídos por anos específicos em áreas com volumes diferentes de chuva. Em 2018, foi possível comparar os dados de uso e cobertura da terra mais recente, enquanto que 2015 e 2010 se apresentam como os anos de menor e de maior regime pluviométrico, respectivamente, nos últimos 34 anos analisados.

Está em evidência que a distribuição de pontos erosivos em relação à espacialização de chuvas no município de Garanhuns indica que em 2010 (Figura 25) a maioria desses pontos localiza-se em áreas de maior volume de chuva. Entretanto, quando se trata de anos com regime pluviométrico de menor intensidade, como no ano de 2015 (Figura 27), as áreas que se encontram um baixo regime pluviométrico são também áreas nas quais se encontram erosões anteriormente influenciadas pela intensidade de chuvas no local.

4.1.6. Análise multitemporal do uso e cobertura da terra

O regime de chuvas de Garanhuns, elevado em comparação aos seus vizinhos, possibilitou através de um processo histórico de ocupação que o espaço do município fosse apropriado para atividades específicas diferente de seu entorno. Como mostrado por Barbosa *et al.* (2016), as chuvas influenciam diretamente nas atividades ocorrentes em Garanhuns, fazendo

com que assim haja uma configuração espacial conectada não só através de seu histórico, mas de suas características físico-naturais.

Contudo, não só as chuvas influenciam no histórico de ocupação do município. A composição litológica da área possibilitou os processos denudacionais, e fatores como ter escapado do último ciclo de sedimentação e ser resíduo de antigos Inselbergs, como apontado por Ab'Saber (1985), auxiliaram Garanhuns na obtenção de uma configuração morfológica que garantiu, no pleistoceno, o avanço da floresta tropical até áreas como esta, que tinham um maior regime pluviométrico que o seu entorno, graças às chuvas orográficas (TABARELLI; SANTOS, 2004). Isso fez com que historicamente Garanhuns fosse ocupado inicialmente como área de fuga e posteriormente como local para agricultura e, mais recentemente, pecuária, o que ocasionou inicialmente a remoção da vegetação. Devido a essa antiga ocupação histórica, o município se tornou centro da microrregião, o que auxiliou na atual configuração local, traduzida no alto nível de especulação imobiliária que pode potencializar ou mesmo iniciar novos fenômenos erosivos (MELO, 2016).

Sem essa vegetação existe a possibilidade não só de alteração no comportamento das chuvas, mas também a criação de novas áreas que podem sofrer com erosões avançadas, uma vez que os solos, a litologia e o regime pluviométrico do município possibilitam a ocorrência desse fenômeno, dando à forma como o espaço é ocupado em relevância no que diz respeito à perda de solos na área. Para representar a apropriação espacial do município de Garanhuns em diferentes datas, mapas de uso e cobertura da terra foram desenvolvidos.

O uso e cobertura da terra é visto por Schlindwein *et al.* (2007) como a síntese das relações humanas com a natureza, a maneira como a humanidade se comporta no meio em que vive e deixa consequências na paisagem. Ocorrendo cada vez mais um aumento da população urbana, há também uma necessidade pela demanda dos recursos básicos para a sobrevivência. Água e alimentos vêm do meio rural para abastecer as necessidades da cidade, o que depende da relação com esse meio. O mapa de uso e cobertura da terra tem o poder de sintetizar essas relações presentes em um dado espaço.

Foram definidas sete classes no mapeamento do uso e cobertura da terra, com auxílio da proposta de legenda do projeto Mapbiomas (Figura 35), do município de Garanhuns. As classes são Águas Continentais, Pastagem, Área Descoberta, Áreas de Vegetação Natural Campestres, Áreas de Vegetação Natural Florestais, Lavoura Temporária e Áreas Urbanizadas para a data de 2018. Os mapas que precedem essa data, nas Figuras 31 e 33, se utilizaram do mesmo sistema de classificação. A distribuição dos processos erosivos sobrepostos em três (3) datas diferentes do uso e cobertura da terra pode ser vista nos gráficos das Figuras 32, 34 e 36.

Neles, é possível notar que nos anos de 2010 e 2015 os processos erosivos são encontrados em áreas que podem ser classificadas como vegetação savânica (que é a caatinga), enquanto que essas áreas vieram a, posteriormente e sem demasiada interferência humana, se alterar de tal forma que em 2018 apareceram sob a classificação de formação florestal.

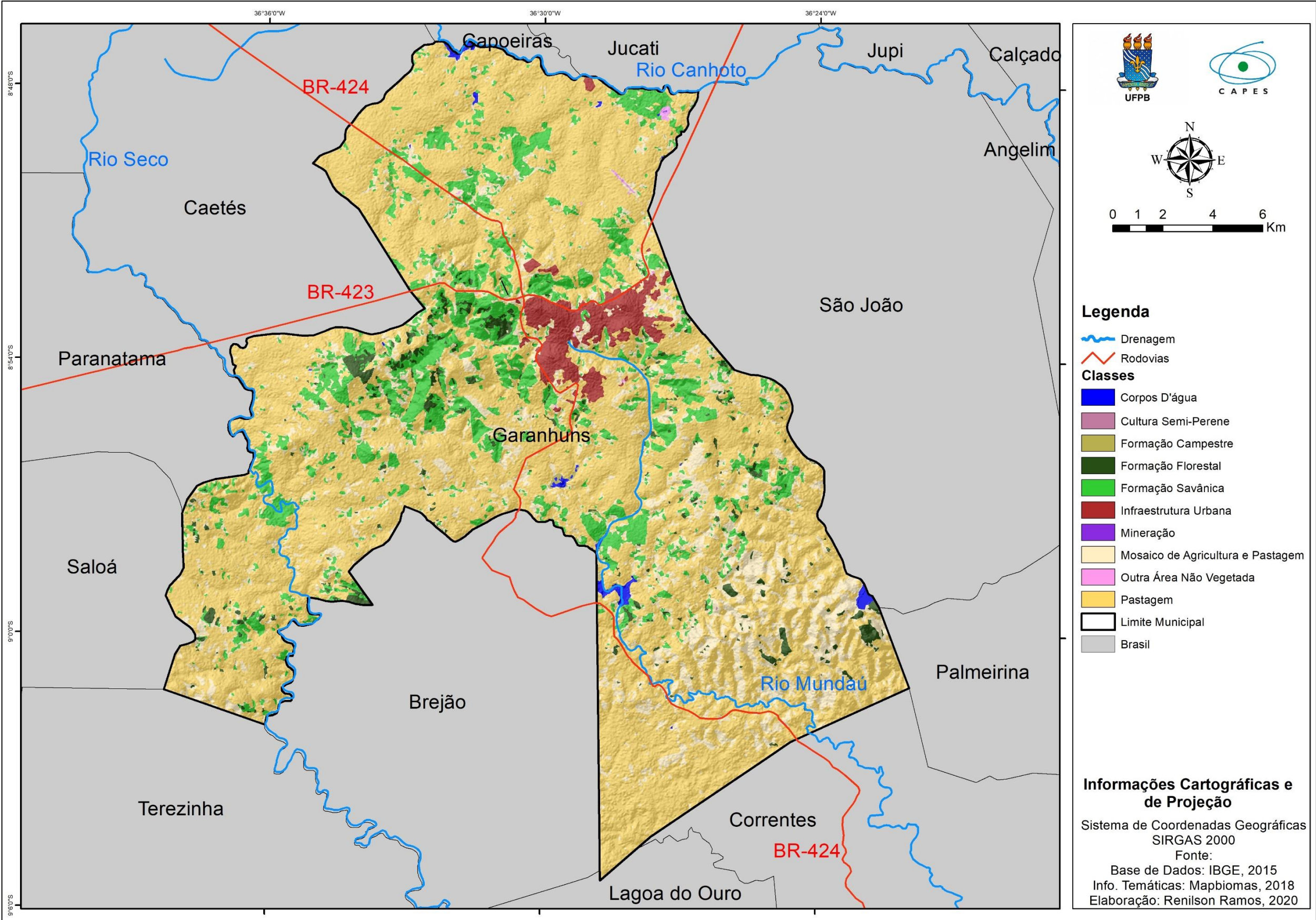
No ano de 2010, a classe afloramento rochoso apontou uma quantia de 0,17 Km², sendo a classe com menor área no município. Os corpos da água, nesse ano específico, apresentaram uma área de 2,29 Km²; os reservatórios de água, que são dois açudes, podem ser observados a sul do centro urbano de Garanhuns. A classe do centro urbano que pode ser encontrada no centro do município possui, no ano de 2010, uma área de 17,11 Km².

Das culturas temporais nesse ano, seu total em Km² foi de 0,0082. A vegetação savânica, que são áreas de caatinga, neste ano é vista distribuída em todo município, mas concentrada principalmente nos arredores do centro urbano, alcançando 63,26 Km² em extensão.

A vegetação campestre, que são áreas relativas à vegetação secundária, obteve um total de 0,34Km², enquanto a vegetação florestal composta principalmente por áreas de preservação permanente possui no presente ano 10,54 Km². A área de mineração composta por áreas de remoção de sedimentos para construção civil tem total em área de 0,019 Km².

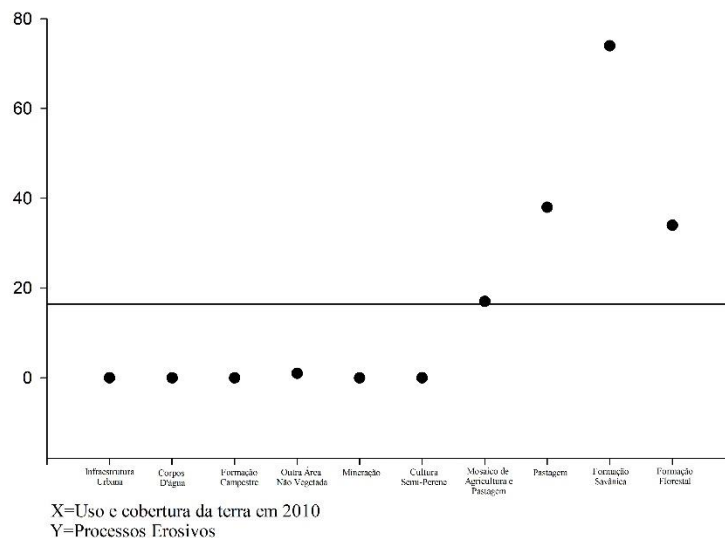
O mosaico de agricultura e pastagem, onde a agricultura do município é praticada, se encontra disperso em todo o município e 62,21 Km² de extensão. A pastagem, que é a área com maior extensão no município, tem sua predominância em 301,33 Km². As culturas anuais representam um total de 1,11 Km², enquanto que a classe de outras áreas não vegetadas, ficando mais ao norte do Município, tem 0,61 Km² de extensão.

Figura 31. Mapa do uso e cobertura da terra do município de Garanhuns-PE em 2010.



Elaborado por: Renilson Pinto da Silva Ramos, 2020.

Figura 32. Uso e Cobertura da terra em 2010 e pontos com processos erosivos.

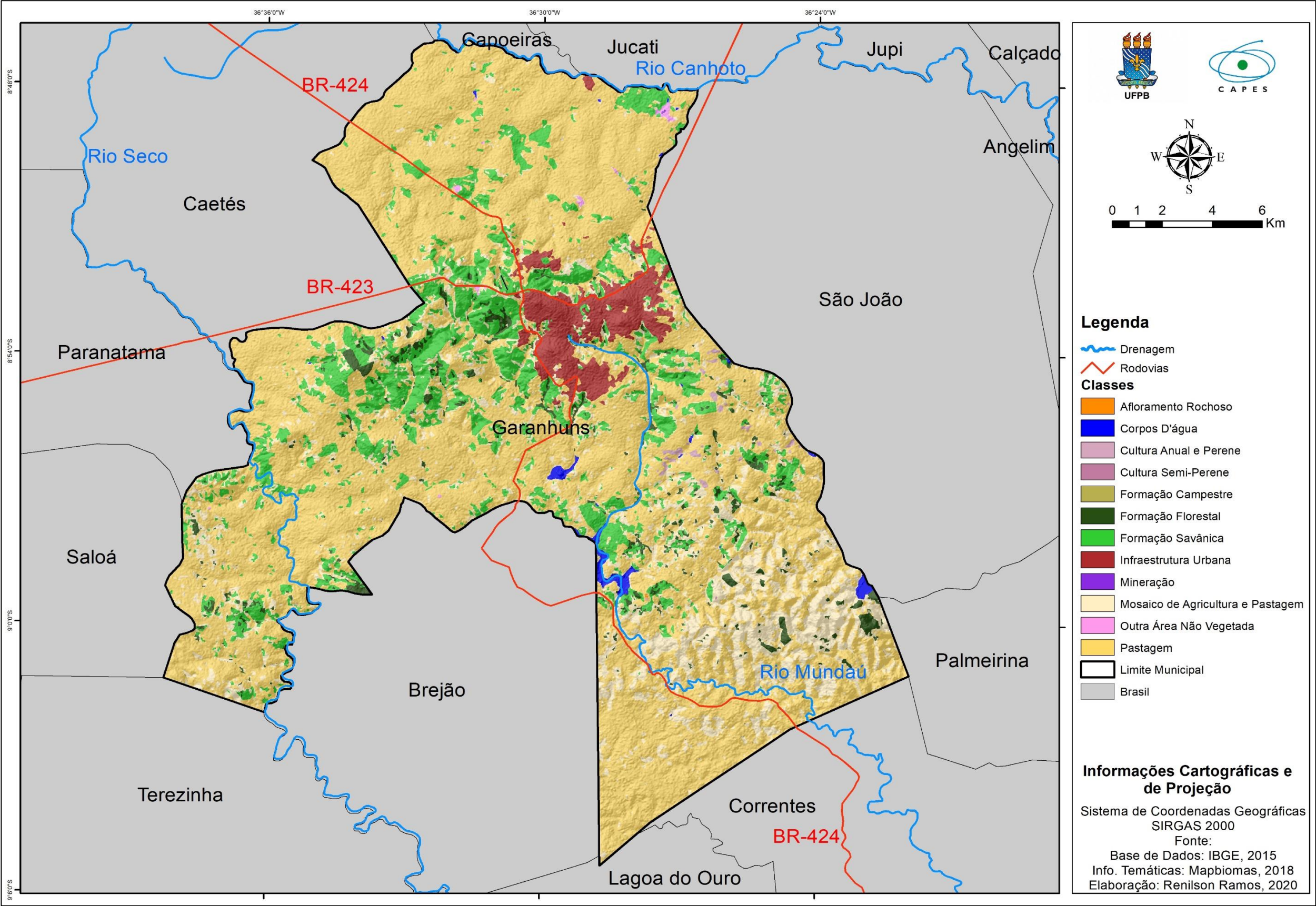


Elaborado por: Renilson Pinto da Silva Ramos, 2020.

Já no ano de 2015 os corpos d'água aparecem com 1,83 Km², um possível reflexo da quantia de chuvas que ocorreram nesse ano no município, sendo ele o ano menos chuvosos dos últimos 34 anos. As culturas temporárias tiveram um total de 0,0083 Km² em sua extensão. A formação campestre ao todo tem um total em área de 0,89 Km².

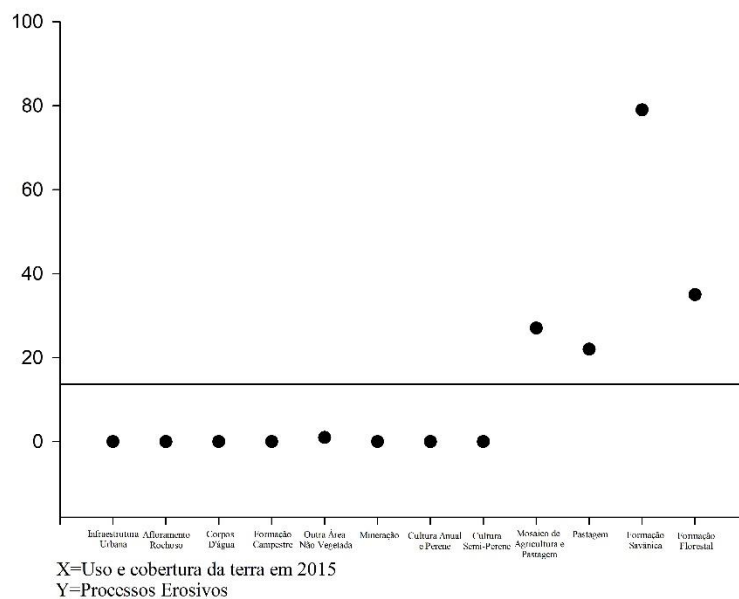
A formação floresta apresentou uma pequena queda em relação ao ano anterior, possuindo 9,48 Km² em área. A vegetação classificada como savânica também teve um decréscimo, possuindo um total de 61,40 Km². O tamanho de área de mineração também caiu, passando a ter no ano 0,012 Km². O mosaico de agricultura e pastagem aumentou em relação à data anterior e passou a ter 69,56 Km². A formação florestal continuou sendo a classe predominante, com 303,36 Km². A classe de outra área não vegetada passou a ter ao todo 0,39 Km².

Figura 33. Mapa do uso e cobertura da terra do município de Garanhuns-PE em 2015.



Elaborado por: Renilson Pinto da Silva Ramos, 2020.

Figura 34. Uso e Cobertura da terra em 2015 e pontos com processos erosivos.



Elaborado por: Renilson Pinto da Silva Ramos, 2020.

Para os corpos d'água mapeados no ano de 2018, foram somados o tamanho da área, obtendo assim um resultado de 2,68 Km². A infraestrutura urbana onde fica principalmente a malha urbana do município tem no total 18,04 Km², mostrando um crescimento de 7 Km² desde o ano de 2010. A classe de outra área não vegetada tem ao todo 0,808 Km². Os afloramentos rochosos têm uma área de 0,63 Km². A classe de mineração alcança 0,007 Km² e é de menor prevalência na área do município de Garanhuns em 2018. As formações florestais possuíram ao todo 26,15 Km², a maior das três datas consultadas. As formações savânicas tiveram no total 76,69 Km². As formações campestres tem ao todo 0,79 Km². A cultura anual e perene possui ao todo 1,99 Km². A classe definida como cultura temporal apresenta ao todo 0,0080 Km². A classe de mosaico de agricultura e pastagem é expressa em 47,33 Km². As pastagens possuem um total de 284,45 Km², reservado para a pecuária no município.

De acordo com o IBGE (2019), existe no município de Garanhuns áreas para a cultura de flores, banana, café, laranja, cana-de-açúcar, feijão, mandioca e milho. Quando se trata do setor pecuário, há áreas para a criação de asininos, galináceos, bovinos, caprinos, equinos, ovinos, muares e suínos.

Tipos específicos de atividades em áreas que já possuem outras características de risco à erosão possibilitam que os processos erosivos sejam intensificados, fazendo com que locais com determinados solos em altos níveis de declividade não suportem a remoção de sua vegetação para a pastagem e agricultura, atividades comuns no município como evidenciado

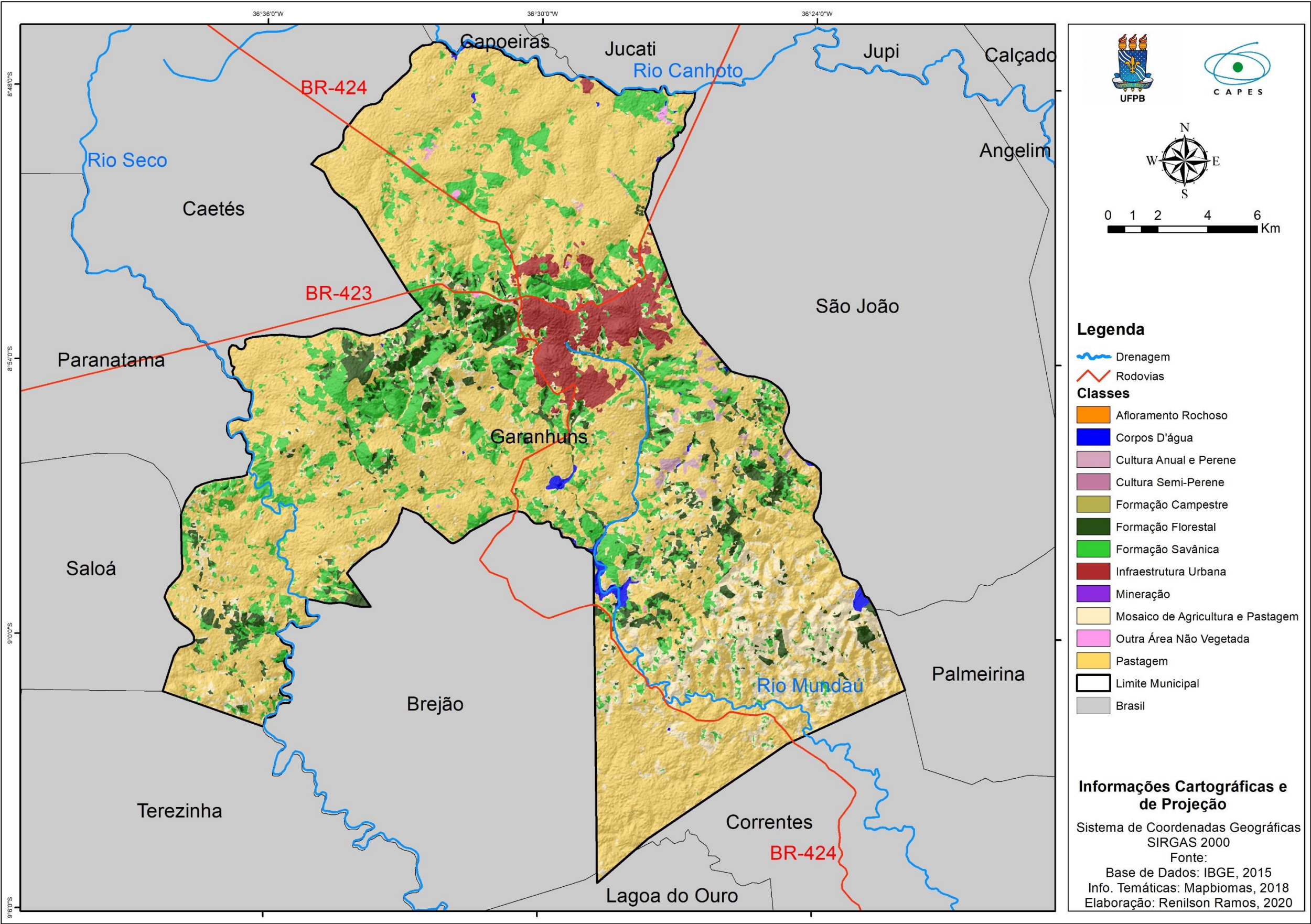
por (AZAMBUJA, 2007; MELO, 2016).

O município estudado está, em termos gerais de delimitação, inserido no semiárido do estado de Pernambuco. Entretanto, quando é realizada uma caracterização mais específica, é possível afirmar que ele ainda está em uma área de transição entre o agreste e o semiárido. Por conta dessas especificidades, somadas à influência do fator altimétrico, que chega até 900 metros acima do nível do mar, o clima de Garanhuns-PE é diferente das áreas em seu entorno, segundo Ab'Saber (1985).

Os impactos das atividades humanas em áreas semelhantes a Garanhuns-PE são discutidos por Ab'Saber (1985) e Tabarelli e Santos (2004), que falam de localidades apropriadas por pessoas vindas de regiões mais secas sem que houvesse um controle, levando à destituição das características naturais da vegetação dessas localidades. Essas formas de ocupação humana fizeram então com que em Garanhuns ocorresse uma intensificação nos processos erosivos, ocasionados pela atividade pluviométrica em solos que tiveram sua vegetação endêmica removida.

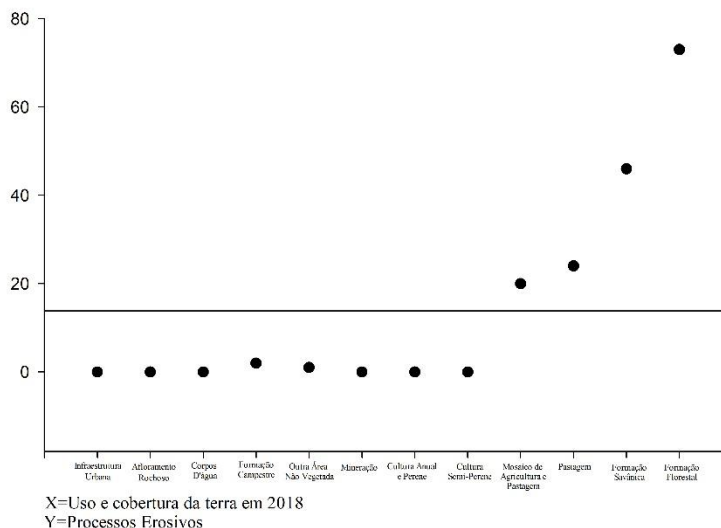
De acordo com o IBGE (2019), os dados provenientes do censo agropecuário indicam que há em Garanhuns um total de 1234 propriedades de agricultura familiar, enquanto apenas 335 propriedades com atividade agrícola não pertenciam a essa atividade. Existem ao todo 5625 plantações para a produção de diversas culturas, as quais se dividem em produções de abóbora, batata-inglesa, cana-de-açúcar, cebola, fava em grãos, feijão, mandioca, melancia, milho, sorgo, tomate e palmas. Existe também uma (1) plantação de eucalipto. No setor de fruticultura existem plantações de frutas como banana, café, goiaba, graviola, jaca, laranja, limão, manga, maracujá, pitia e urucum. Quando se trata de horticultura, no município de Garanhuns encontra-se abobrinha, alcega, alface, alho, batata-doce, berinjela, beterraba, brócolis, cebolinha, cenoura, chuchu, coentro, couve, couve-flor, espinafre, jiló, manjerição, maxixe, milho-verde, nabo, pimenta, pepino, pimentão, quiabo, rabanete, repolho, rúcula, salsa e tomate. Quanto às flores ornamentais, existem cinco (5) plantações dentro da área do município. Nas atividades agropecuárias existem no total 2833 homens e 2034 mulheres trabalhando. Em pecuária, há 3055 hectares de área ao todo, principalmente de bovinos e caprinos.

Figura 35. Mapa do uso e cobertura da terra no município de Garanhuns-PE em 2018.



Elaborado por: Renilson Pinto da Silva Ramos, 2020.

Figura 36. Uso e Cobertura da terra em 2018 e pontos com processos erosivos.



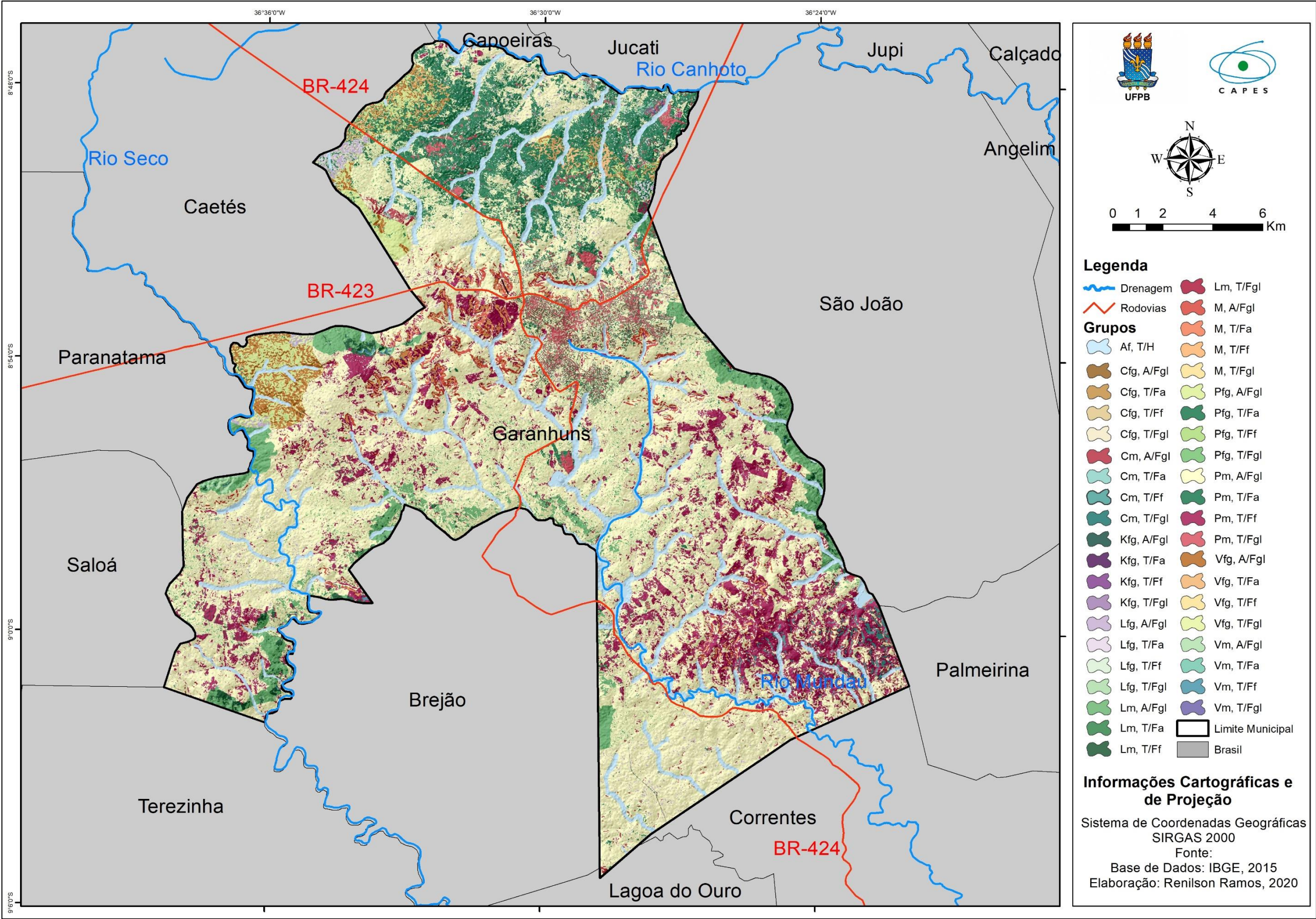
Elaborado por: Renilson Pinto da Silva Ramos, 2020.

Essas atividades conferem a Garanhuns uma diversidade na produção alimentícia gerada em sua área, mesmo não sendo tomadas por áreas de grande extensão, sendo a maior parte do município delegadas às atividades de pecuária. Tudo isso se relaciona com as atividades econômicas que auxiliam na manutenção dessas atividades, que caso não trabalhadas de maneira a prevenir o desgaste dos solos diante das suas particulares fragilidades, podem vir a ocasionar a desestruturação de seus agregados e por conseguinte atuar diretamente nos processos de remoção e transporte dos sedimentos – remoção essa que em grande escala pode vir a ocasionar sérios danos para as atividades humanas nas proximidades ou até mesmo longe dessas áreas.

4.1.7. Aspectos da paisagem

Com os diferentes dados referentes às características físico-naturais de Garanhuns, pode-se obter através de uma análise integrada um mapa da paisagem do município. Nesse mapeamento foi possível delimitar diferentes formas paisagísticas e identificar quais os elementos que ditam a dinâmica ambiental da área. Ao todo foram definidas quarenta e uma (41) classes, as quais possuem características distintas, que por sua vez podem ser conferidas no mapa da Figura 39 e para melhor especificar o que caracteriza cada uma das classes observadas no mapa, o quadro 6 pode ser observado.

Figura 37. Mapa dos grupos paisagísticos do município de Garanhuns-PE.



Elaborado por: Renilson Pinto da Silva Ramos, 2020.

Quadro 6. Grupos paisagísticos.

Grupos Paisagísticos	Substrato	Gênese	Drenagem	Forma	Migração	Rocha	Vegetação
Af, T/H	Areno-Argilosa	Erosivo	Fortemente Drenado	Encosta inferior	Subaquosa	Sedimentar	Média Densidade de Vegetação
Cfg, A/Fgl	Arenoso	Deposicional	Bem Drenado	Topo	Eluvial-Acumulativo	Sedimentar	Média Densidade de Vegetação
Cfg, T/Ff	Arenoso	Deposicional	Bem Drenado	Topo	Eluvial-Acumulativo	Sedimentar	Alta Densidade de Vegetação
Cfg, T/Fa	Arenoso	Deposicional	Bem Drenado	Topo	Eluvial-Acumulativo	Sedimentar	Baixa Densidade de Vegetação
Cfg, T/Fgl	Arenoso	Deposicional	Bem Drenado	Topo	Eluvial-Acumulativo	Sedimentar	Baixíssima Densidade de Vegetação
Cm, A/Fgl	Areno-Argilosa	Erosivo	Bem Drenado	Topo	Eluvial	Cristalino	Média Densidade de Vegetação
Cm, T/Ff	Areno-Argilosa	Erosivo	Bem Drenado	Topo	Eluvial	Cristalino	Alta Densidade de Vegetação
Cm, T/Fa	Areno-Argilosa	Erosivo	Bem Drenado	Topo	Eluvial	Cristalino	Baixa Densidade de Vegetação
Cm, T/Fgl	Areno-Argilosa	Erosivo	Bem Drenado	Topo	Eluvial	Cristalino	Baixíssima Densidade de Vegetação
Kfg, A/Fgl	Arenoso	Deposicional	Fortemente Drenado	Topo	Eluvial-Acumulativo	Sedimentar	Média Densidade de Vegetação
Kfg, T/Ff	Arenoso	Deposicional	Fortemente Drenado	Topo	Eluvial-Acumulativo	Sedimentar	Alta Densidade de Vegetação
Kfg, T/Fa	Arenoso	Deposicional	Fortemente Drenado	Topo	Eluvial-Acumulativo	Sedimentar	Baixa Densidade de Vegetação
Kfg, T/Fgl	Arenoso	Deposicional	Fortemente Drenado	Topo	Eluvial-Acumulativo	Sedimentar	Baixíssima Densidade de Vegetação
Lfg, A/Fgl	Arenoso	Deposicional	Imperfeitamente Drenado	Encosta inferior	Subaquosa	Sedimentar	Média Densidade de Vegetação
Lfg, T/Ff	Arenoso	Deposicional	Imperfeitamente Drenado	Encosta inferior	Subaquosa	Sedimentar	Alta Densidade de Vegetação
Lfg, T/Fa	Arenoso	Deposicional	Imperfeitamente Drenado	Encosta inferior	Subaquosa	Sedimentar	Baixa Densidade de Vegetação
Lfg, T/Fgl	Arenoso	Deposicional	Imperfeitamente Drenado	Encosta inferior	Subaquosa	Sedimentar	Baixíssima Densidade de Vegetação
Lm, A/Fgl	Areno-Argiloso	Erosivo	Imperfeitamente Drenado	Encosta superior	Acumulativa	Cristalino	Média Densidade de Vegetação
Lm, T/Ff	Areno-Argiloso	Erosivo	Imperfeitamente Drenado	Encosta superior	Acumulativa	Cristalino	Alta Densidade de Vegetação
Lm, T/Fa	Areno-Argiloso	Erosivo	Imperfeitamente Drenados	Encosta superior	Acumulativa	Cristalino	Baixa Densidade de Vegetação
Lm, T/Fgl	Areno-Argiloso	Erosivo	Imperfeitamente Drenados	Encosta superior	Acumulativa	Cristalino	Baixíssima Densidade de Vegetação
M, A/Fgl	Areno-Argiloso	Erosivo	Acentuadamente Drenado	Topo	Eluvial	Cristalino	Média Densidade de Vegetação
M, T/Ff	Areno-Argiloso	Erosivo	Acentuadamente Drenado	Topo	Eluvial	Cristalino	Alta Densidade de Vegetação
M, T/Fa	Areno-Argiloso	Erosivo	Acentuadamente Drenado	Topo	Eluvial	Cristalino	Baixa Densidade de Vegetação
M, T/Fgl	Areno-Argiloso	Erosivo	Acentuadamente Drenado	Topo	Eluvial	Cristalino	Baixíssima Densidade de Vegetação
Pfg, A/Fgl	Arenoso	Deposicional	Moderadamente Drenado	Encosta superior	Acumulativa	Sedimentar	Média Densidade de Vegetação
Pfg, T/Ff	Arenoso	Deposicional	Moderadamente Drenado	Encosta superior	Acumulativa	Sedimentar	Alta Densidade de Vegetação
Pfg, T/Fa	Arenoso	Deposicional	Moderadamente Drenado	Encosta superior	Acumulativa	Sedimentar	Baixa Densidade de Vegetação
Pfg, T/Fgl	Arenoso	Deposicional	Moderadamente Drenado	Encosta superior	Acumulativa	Sedimentar	Baixíssima Densidade de Vegetação
Pm, A/Fgl	Areno-Argiloso	Erosivo	Fortemente Drenado	Encosta superior	Transcumalativa	Cristalino	Média Densidade de Vegetação
Pm, T/Ff	Areno-Argiloso	Erosivo	Fortemente Drenado	Encosta superior	Transcumalativa	Cristalino	Alta Densidade de Vegetação
Pm, T/Ff	Areno-Argiloso	Erosivo	Fortemente Drenado	Encosta superior	Transcumalativa	Cristalino	Alta Densidade de Vegetação
Pm, T/Ff	Areno-Argiloso	Erosivo	Fortemente Drenado	Encosta superior	Transcumalativa	Cristalino	Alta Densidade de Vegetação
Pm, T/Ff	Areno-Argiloso	Erosivo	Fortemente Drenado	Encosta superior	Transcumalativa	Cristalino	Alta Densidade de Vegetação
Pm, T/Fa	Areno-Argiloso	Erosivo	Fortemente Drenado	Encosta superior	Transcumalativa	Cristalino	Baixa Densidade de Vegetação
Pm, T/Fgl	Areno-Argiloso	Erosivo	Fortemente Drenado	Encosta superior	Transcumalativa	Cristalino	Baixíssima Densidade de Vegetação
Vfg, A/Fgl	Arenoso	Deposicional	Imperfeitamente Drenado	Topo	Transacumulativa	Sedimentar	Média Densidade de Vegetação
Vfg, T/Ff	Arenoso	Deposicional	Imperfeitamente Drenado	Topo	Transacumulativa	Sedimentar	Alta Densidade de Vegetação
Vfg, T/Fa	Arenoso	Deposicional	Imperfeitamente Drenado	Topo	Transacumulativa	Sedimentar	Baixa Densidade de Vegetação
Vfg, T/Fgl	Arenoso	Deposicional	Imperfeitamente Drenado	Topo	Transacumulativa	Sedimentar	Baixíssima Densidade de Vegetação
Vm, A/Fgl	Argiloso	Erosivo	Mal Drenados	Encosta superior	Transeluvial	Cristalino	Média Densidade de Vegetação
Vm, T/Ff	Argiloso	Erosivo	Mal Drenados	Encosta superior	Transeluvial	Cristalino	Alta Densidade de Vegetação
Vm, T/Fa	Argiloso	Erosivo	Mal Drenados	Encosta superior	Transeluvial	Cristalino	Baixa Densidade de Vegetação
Vm, T/Fgl	Argiloso	Erosivo	Mal Drenados	Encosta superior	Transeluvial	Cristalino	Baixíssima Densidade de Vegetação

Elaborado por: Renilson Pinto da Silva Ramos, 2020.

Cada um dos aspectos paisagísticos foram definidos com base nos dois outros mapeamentos anteriores, sendo eles o dos sítios e dos estados. O mapa da paisagem levou em consideração o substrato rochoso, a gênese dos processos, os níveis de drenagem, a forma da encosta, o tipo de migração dos sedimentos e o tipo da rocha, enquanto que o mapa dos estados levou em consideração a densidade de vegetação. Levando em consideração todos esses dados o mapa final da paisagem é apresentado com uma série de siglas que correspondem a essas características peculiares de cada área do ambiente estudado.

As classes que abrangem uma maior área e relevância para a dinâmica ambiental de Garanhuns são as de Pm, A/Fgl; Lm, A/Fgl; Pm, T/Ff; Af, T/H; Pm, T/Fa, que apresentam áreas em Km² de 243,78 Km², 72,84 Km², 49,19 Km², 40,09 Km² e 34,77Km², respectivamente. As menores classes que foram encontradas no município de Garanhuns são as de: Cfg, T/Fa; Cfg, T/Ff; Cfg, T/Fgl; Kfg, T/Fgl; Kfg, T/Ff, sendo encontradas com áreas em Km² de aproximadamente 0,000021 Km², 0,000128 Km², 0,000211 Km², 0,000407 Km² e 0,00074 Km². As demais classes e seus tamanhos em áreas podem ser vistos no apêndice P.

As classes de menor tamanho estão localizadas predominantemente nas áreas norte e sudeste de Garanhuns. São todas áreas de alta declividade em terrenos arenosos ou franco arenosos, bem drenados, nos quais vegetação da Caatinga pode ser encontrada. As áreas são predominadas por gramíneas, mas formações arbustivas e florestais também podem ser encontradas.

Os dois primeiros grupos paisagísticos citados, que também possuem maior área em Km², Pm, A/Fgl e Lm, A/Fgl, estão ambos em áreas relativamente planas ou suave-onduladas, cuja litologia é cristalina. Especificamente a classe Pm possui áreas mal drenadas, e observando a classe Lm é possível afirmar que a mesma pode ser alagada em determinado período do ano. Ambos possuem vegetação antropicamente modificadas, de formação gramínea, sendo áreas com predominância de pastagem e lavouras e encontrando-se distribuídas por todo o município de Garanhuns.

A classe Af, T/H, compreende áreas formadas pelos afluentes da bacia hidrográfica do Rio Mundaú e sua vegetação ripária do bioma caatinga. Essa classe também pode ser encontrada em todo o município.

Duas classes com características muito próximas, Pm, T/Fa e Pm, T/Ff, estão inseridas em um relevo suavemente ondulado, de substrato rochoso cristalino, com baixos níveis de drenagem. Sua vegetação é do bioma Caatinga, e no presente caso o grupo terminado por Ff corresponde à vegetação de dossel fechado, enquanto que a classe Fa possui vegetação arbórea ou arbustiva. A predominância dessa classe, entretanto, é de espécies vegetais espacialmente

distribuídas de maneira esparsa, e ambas as classes podem ser encontradas em todo o município de Garanhuns.

Três principais grupos paisagísticos foram definidos nas áreas de proximidade com a maioria dos processos erosivos em Garanhuns: Cm, A/Fgl; M, A/Fgl; Cm, T/Ff. Esses complexos estão distribuídos em diferentes pontos na área do município, compreendendo, respectivamente, áreas de 8,671287 Km², 6,227276 Km² e 5,819293 Km². Os três grupos se encaixam em áreas com altos níveis de declividade, com composição de substrato rochoso e altos níveis de drenagem. As duas primeiras classes possuem uma vegetação inserida pelo homem, de porte gramíneo, enquanto o último grupo traz vegetação de Caatinga.

Ao se ter ideia de como se caracteriza esses grupos paisagísticos e quais possuem a maior área no que compreende o município, se pode afirmar que o município se encontra dentro de um sistema ambiental que é caracterizado em sua maior parte por três tipos diferentes predominâncias. Sendo essas um sistema ambiental dentro do semiárido, mas que possui uma amalgama de coexistência entre mata úmida e caatinga, em uma relevo em sua maioria dissecado, com níveis de chuva que em consideração a todo o país é baixo, mas para a região pode ser considerado relativamente elevado (900 mm/anuais), categorizando Garanhuns assim como uma área de exceção dentro do semiárido brasileiro.

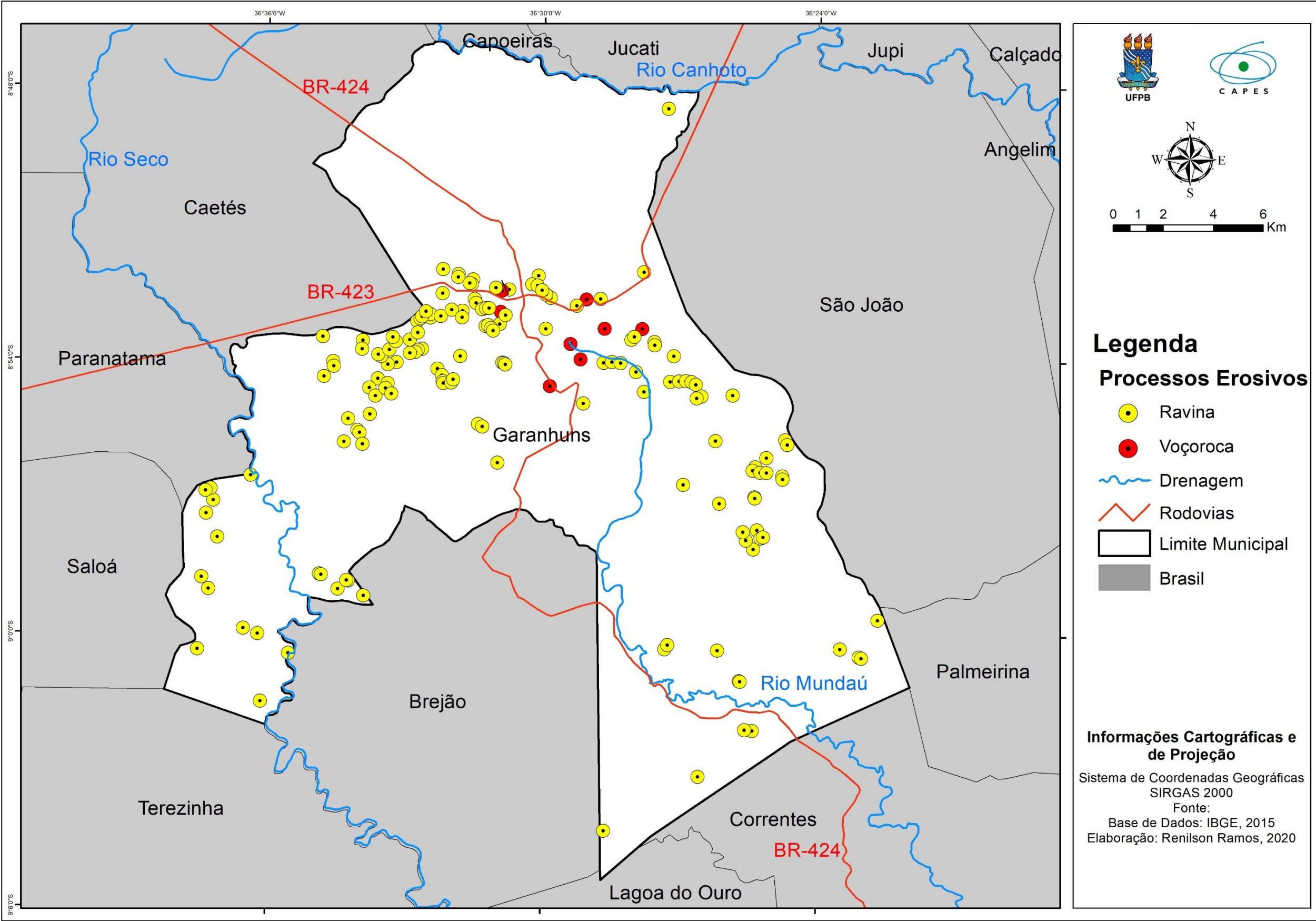
4.2. Mapa das cicatrizes dos processos erosivos

No mapa de cicatrizes (figura 9) desenvolvido com auxílio das imagens provenientes do *Google Earth* e dos sensores a bordo do satélite Sentinel-2 (posteriormente verificado em campo), foi possível constatar um número de 174 processos erosivos avançados no município de Garanhuns.

Essas erosões lineares são, por sua vez, classificadas como processos de ravinamentos e voçorocamentos, sendo que o primeiro fenômeno possui um total de 166 ocorrências, enquanto o segundo tem 8 processos dentro da área de estudo. Dessa forma, pode-se afirmar que as voçorocas, como processos erosivos mais avançados aparecem em sua maioria nas proximidades do meio urbano, enquanto as ravinas podem ser encontradas em todo município.

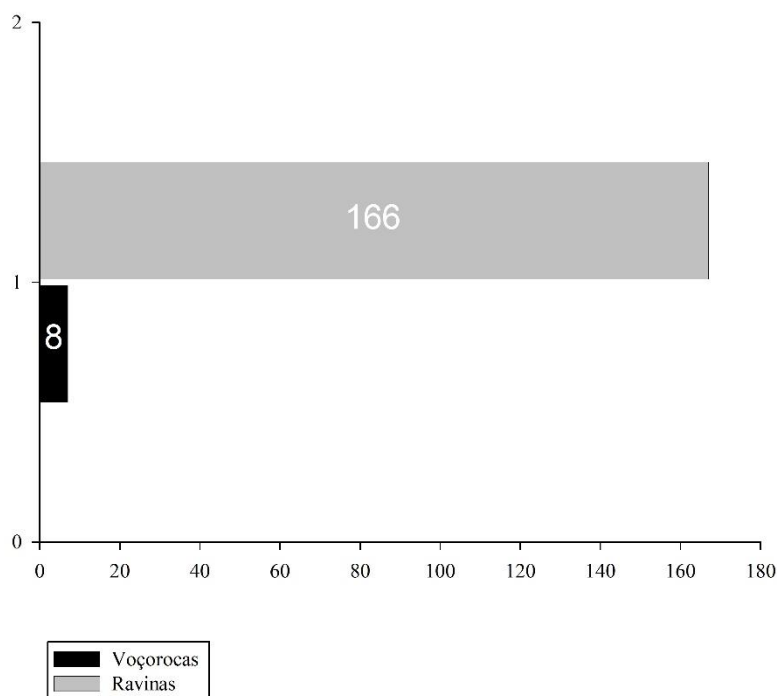
A maioria desses processos aparecem concentrados nas proximidades do perímetro urbano, mas também existem alguns pontos espaçados nas áreas sudeste e sudoeste. Essa distribuição pode ser visualizada espacialmente na Figura 38, e em comparativamente na Figura 39.

Figura 38. Mapa de localização dos processos erosivos.



Elaborado por: Renilson Pinto da Silva Ramos, 2020.

Figura 39. Comparação em quantia dos processos erosivos.



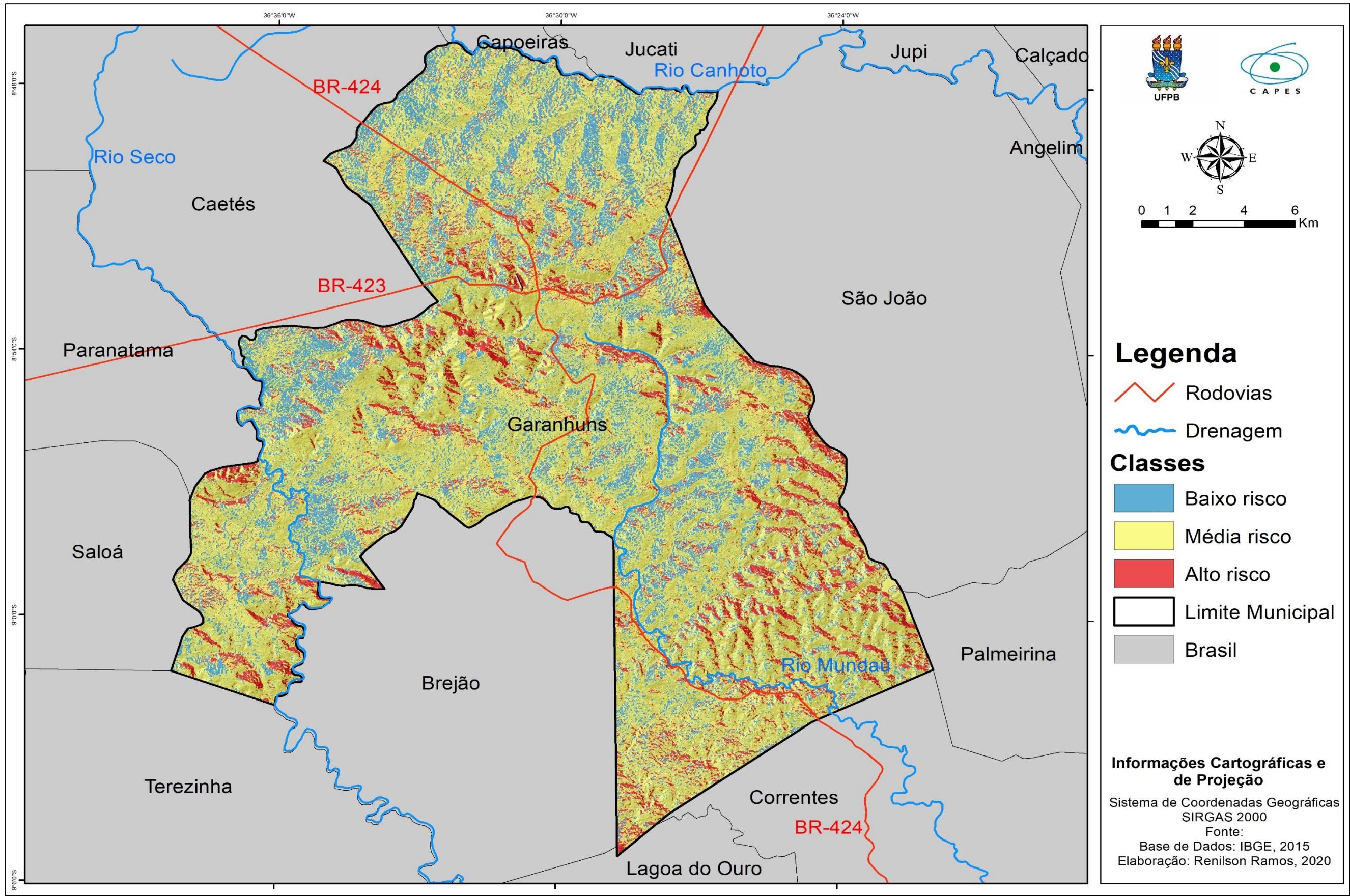
Elaborado por: Renilson Pinto da Silva Ramos, 2020.

4.3. Risco à erosão e perda dos solos por erosão laminar

Foram desenvolvidos três (3) mapas de risco à erosão no município de Garanhuns, referentes a três datas: 2010, representado o ano de maior volume pluviométrico anual no município dos últimos 34 anos; 2015, o ano de menor volume; e 2018, uma data mais recente acerca do uso e cobertura da terra, com dados provenientes do projeto Mapbiomas.

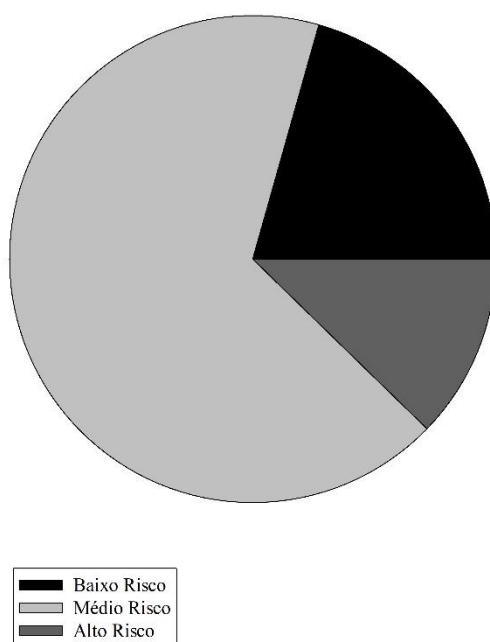
Como pode ser observado nos mapas das Figuras 40, 42 e 44, a espacialização das áreas de risco à erosão diz respeito principalmente às proximidades do perímetro urbano, excetuando algumas pequenas áreas no sudoeste do município com uma menor intensidade. No sudeste da área de estudo aparecem grandes espaços com alto risco de erosão; a parte a sul do centro urbano, assim como a norte, apresentam locais com menor risco à erosão. As localidades com médio risco à erosão se encontram distribuídas de forma fragmentada por todo o município. Uma comparação entre o tamanho de cada uma das classes nos diferentes anos analisados pode ser vista nos gráficos das Figuras 41, 43 e 45.

Figura 40. Mapa de risco à erosão do município de Garanhuns em 2010.



Elaborado por: Renilson Pinto da Silva Ramos, 2020.

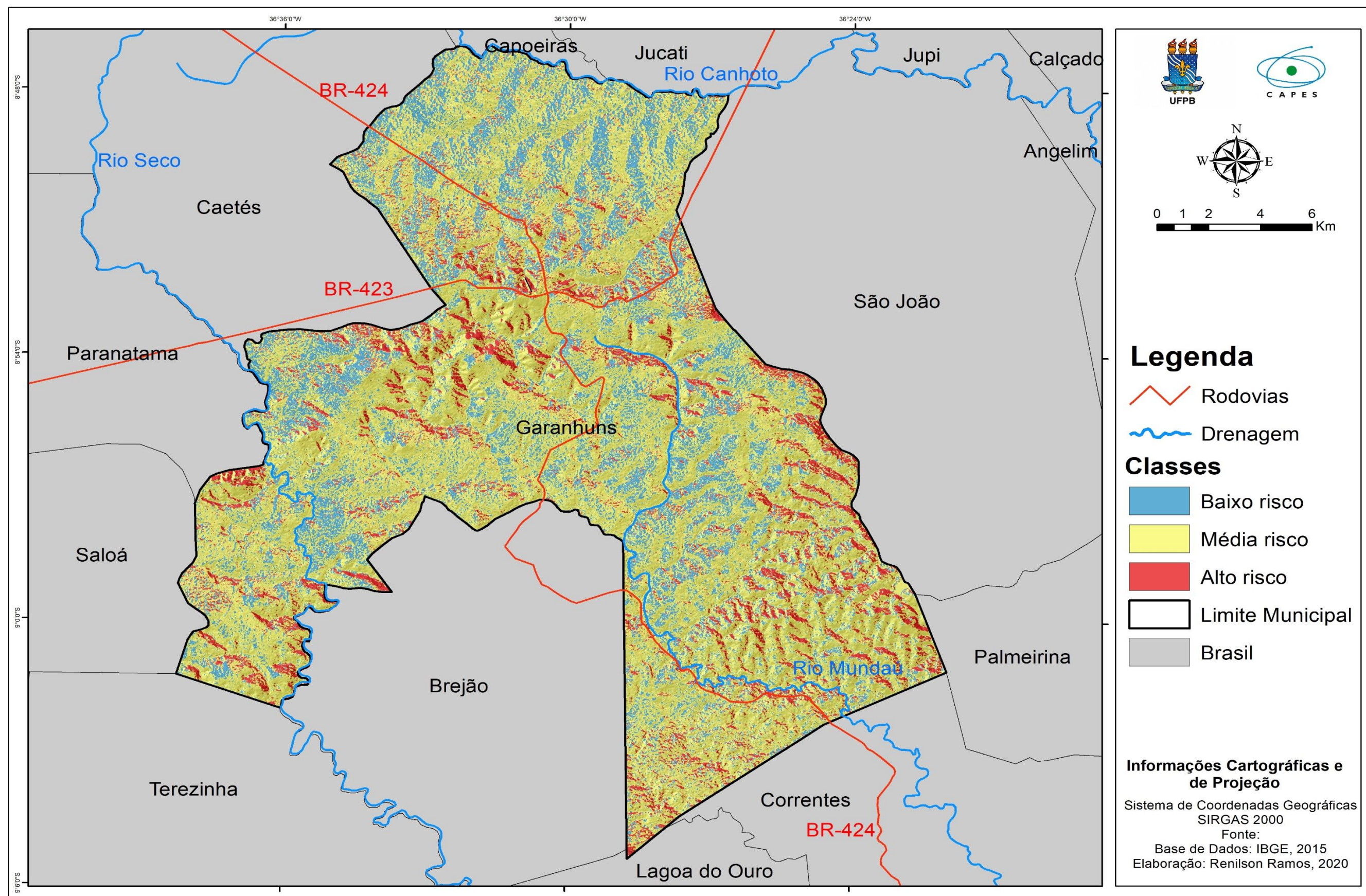
Figura 41. Gráfico comparativo do risco à erosão do município de Garanhuns em 2010.



Elaborado por: Renilson Pinto da Silva Ramos, 2020.

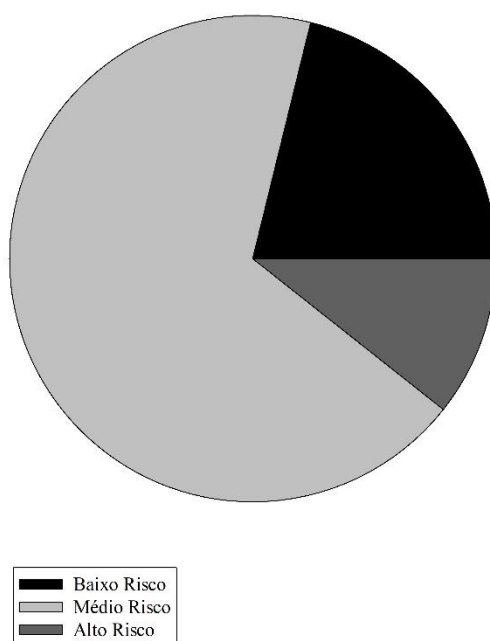
Espacialmente, os três mapas apresentaram resultados semelhantes, apesar de diferentes intensidades que apresentam divergências pelo nível de chuvas ocorridas em cada uma das três datas, assim como no uso e cobertura da terra. A diferença se apresenta em tamanho de área para cada uma das classes, sendo que em 2010 a classe de baixo risco tem 95,09 Km², o médio risco tem 309,56 Km² e a classe de alto risco possui 56,63 Km².

Figura 42. Mapa de risco à erosão do município de Garanhuns em 2015.



Elaborado por: Renilson Pinto da Silva Ramos, 2020.

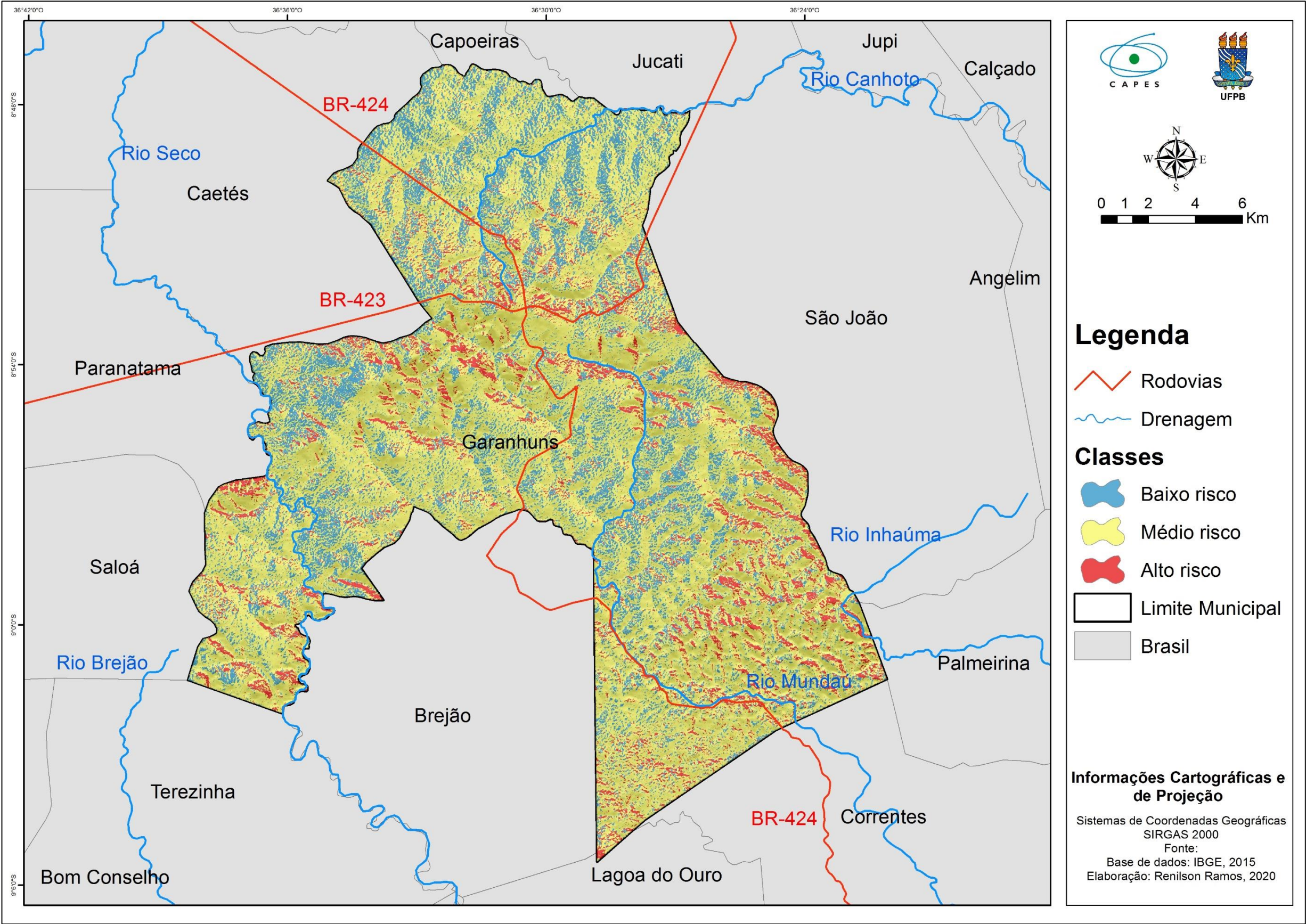
Figura 43. Gráfico comparativo do risco à erosão do município de Garanhuns em 2015.



Elaborado por: Renilson Pinto da Silva Ramos, 2020.

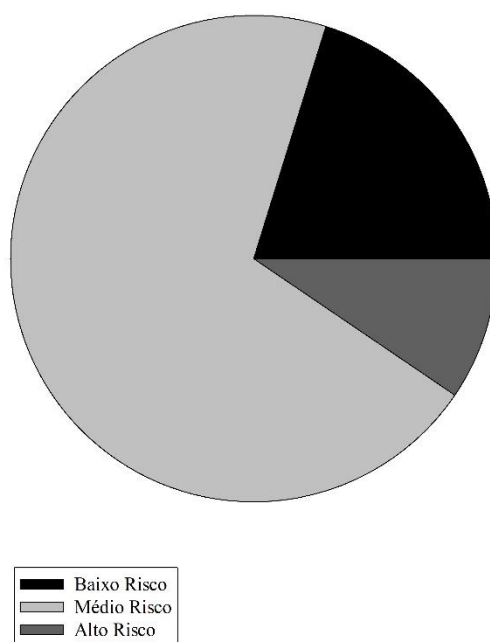
Já no ano de 2015, a classe de baixo risco se apresenta com 96,77 Km², médio risco com 311,80 Km² e o alto risco com 48,71 Km². Tal como em 2010, ano em que se percebe os maiores níveis pluviométrico do histórico em análise, observa-se um acréscimo no alto risco à erosão.

Figura 44. Mapa de risco à erosão do município de Garanhuns em 2018.



Elaborado por: Renilson Pinto da Silva Ramos, 2020.

Figura 45. Gráfico comparativo do risco à erosão do município de Garanhuns em 2018.



Elaborado por: Renilson Pinto da Silva Ramos, 2020.

Em 2018, a classe de baixo risco se apresentou com 92,40 Km², médio risco com 321,62 Km² e a classe de alto risco com 43,40 Km². O alto risco se concentra principalmente na área central do município, coração do centro urbano de Garanhuns. De forma mais sintética as variáveis utilizadas para o mapeamento com os resultados obtidos na análise de risco à erosão estão dispostas no quadro 7.

Quadro 7. Relação dos riscos a erosão com as variáveis utilizadas.

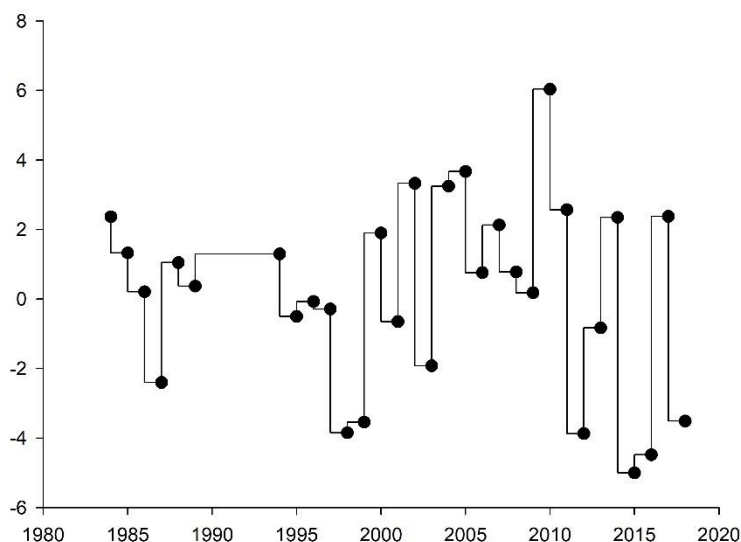
	Alto risco	Médio risco	Baixo risco
Declividade (%)	0-3%/3-8%	8-20%	20-45%/>45%
Unidades geológicas	Belém do São Francisco	Complexo Cabrobó 2 e 3	Complexo Cabrobó 4/Granitoides indiscriminados
Domínios de solos	Argissolo vermelho-amarelo/ Latossolo amarelo/ Neossolo litólico/ Neossolo regolítico	Argissolo amarelo	Planossolo háplico
Uso e cobertura da terra	Mosaico de agricultura e pastagem/ Outra área não vegetada/ Afloramento rochoso/ mineração	Pastagem/ cultura semi-perene/ infraestrutura urbana	Formação florestal/ formação savânica/ formação campestre/ cultura anual e perene/ corpos D'água
Chuvas em mm	700-931	600-700	490-600

Orientação das vertentes	Sul/ sudeste/ leste	Sudoeste/ nordeste	Noroeste/ oeste/ norte
Curvatura horizontal	Convergente	Planar	Divergente
Curvatura vertical	Côncava	Retilínea	Convexa

Elaborado por: Renilson Pinto da Silva Ramos, 2020.

O tamanho das áreas de alto risco à erosão em anos de maior intensidade de chuvas são perceptíveis de maneira espacial, e isso corresponde às quantias em Km² apresentadas em cada uma das classes observadas. Isso pode ser percebido por intermédio do índice de anomalia de chuvas observado no gráfico da Figura 46: nos anos em que são apresentados maiores volumes de chuva, os índices de erosão aumentam.

Figura 46. Índice de anomalia de Chuvas.



Elaborado por: Renilson Pinto da Silva Ramos, 2020.

O gráfico apresentado mostra que durante dezoito anos houve anomalias de chuva positivas na área de estudo, enquanto que no restante dos anos pesquisados na série histórica foi constatado a presença de anomalias negativas. Foram apresentados os três maiores valores nos anos de 2002, 2005 e 2010, com 3,33, 3,68 e 6,04, respectivamente, já os menores valores se encontram nos anos de 2012, 2015 e 2016, com respectivos valores de -3,87, -5,00 e -4,42. Dessa forma, são estes os anos de maior nível de estiagem analisados, sendo tais valores negativos quantias de chuvas que estão abaixo da média esperada.

Essa estiagem de 2015 a 2016 ocorreu devido principalmente à ocorrência do fenômeno ENOS (El Niño-Oscilação Sul), que se somou, possivelmente, às consequências das mudanças climáticas nessa região de Pernambuco. Esse decréscimo no nível pluviométrico implicou na

dinâmica de apropriação espacial do município (PEREIRA *et al.*, 2017; RODRIGUES *et al.*, 2017; ANDRADE *et al.*, 2018; AZEVEDO *et al.*, 2018). Para maiores especificidades acerca da variabilidade pluviométrica de Garanhuns, é possível consultar o Anexo A e o Apêndice A.

O tipo de uso da terra se alterou nos últimos anos devido aos problemas de distribuição de recursos hídricos ocorridos na microrregião de Garanhuns, que levaram a uma diminuição na produção agropecuária, como pode ser observado nos mapas de uso e cobertura da terra nas Figuras 31, 33 e 35, nos quais se destaca uma diminuição considerável das classes de pastagem e de mosaico de agricultura e pecuária, agricultura essa que em sua maior parte tem predominância do modelo familiar (SOUZA *et al.*, 2009; MORAIS; AMADOR, 2011; BALENSIFER, 2015). Essas alterações geraram mudanças que, por sua vez, impactaram no tamanho das áreas classificadas como alto risco à erosão, aumentando ainda as localidades de médio risco. Para melhor visualizar áreas de agricultura e pastagem em Garanhuns é possível observar as Figuras 47, 48 e 49.

Figura 47. Culturas temporárias em relevo plano na área sul do município de Garanhuns.



Fonte: Renilson Pinto da Silva Ramos (Fotografia retirada em novembro de 2019).

Figura 48. Pastagem em relevo suave ondulado área sul do município de Garanhuns.



Fonte: Renilson Pinto da Silva Ramos (Fotografia retirada em novembro de 2019).

Figura 49. Pastagem em relevo suave ondulado na área sudoeste do município de Garanhuns.



Fonte: Renilson Pinto da Silva Ramos (Fotografia retirada em novembro de 2019).

Para visualizar presencialmente as áreas descritas que estão inseridas nas classes de alto risco à erosão, fotografias foram efetuadas nas localidades – essas áreas dizem respeito a um maior risco de agravamento à erosão devido às suas características físico-naturais. As especificidades de Garanhuns que tem relação com as erosões são: altas declividades, potencial

erosivos ocasionado pelas chuvas orográficas, solos que favorecem a ocorrência do fenômeno e, também, curvaturas e orientações de vertentes que conferem um maior cunho de erodibilidade para essas áreas.

Como pode ser observado nos mapas das Figuras 40, 42 e 44, a área mais ao norte do município de Garanhuns não possui áreas expressivas de alto risco à erosão, apresentando uma localidade que predominantemente possui baixo risco à erosão, o que decorre de uma soma de fatores. O regime pluviométrico dessa localidade é afetado graças ao fato da área onde se encontra o centro urbano estar a barlavento, fazendo com que as chuvas que venham de sul/sudeste passem pelo resto do município e parem na sede do mesmo, que possui uma altimetria que pode chegar a 1031m (SOUZA *et al.*, 2010; JANSEN, 2018). Essas cotas altimétricas podem ser observadas no mapa da Figura 11, já a área ao norte do município pode ser visualizada na Figura 50.

Figura 50. Formação campestre em relevo plano na área norte do município de Garanhuns.



Fonte: Renilson Pinto da Silva Ramos (Fotografia retirada em novembro de 2019).

Os solos apresentados na área são os neossolos regolíticos que, apesar de possuírem alta erodibilidade, não estão em local de alto regime pluviométrico e também não possuem altas declividades. Pouco mais ao sul, encontra-se uma mistura de diferentes solos como os cambissolos húmicos, neossolos flúvicos, latossolos amarelos e argissolos vermelho-amarelos, sendo que o primeiro desses citados possui apenas um ponto com erosão, os três tipos de solos restantes possuem uma quantia maior de pontos com processos erosivos identificados, como

revela o comparativo observado no gráfico da Figura 22.

A orientação das vertentes dessa área apresenta principalmente vertentes voltadas ao norte e sudeste, que possuem altos níveis de risco à erosão segundo a metodologia utilizada. Entretanto, devido às demais características locais, esses valores não se provaram relevantes. Dentro do que diz respeito às curvaturas – sejam horizontais ou verticais – notou-se uma dispersão na localidade de curvaturas convergentes e planares para aquela, ao passo que há uma maior parte de curvaturas côncavas e retilíneas para esta.

Quando se trata da forma de apropriação humana desses espaços, os mapas de uso e cobertura da terra mostram que nesse local existe uma predominância de pastagens, apesar de também ser possível encontrar pequenas áreas classificadas como formação savânica pelo projeto que elaborou os dados desse mapeamento, sendo esta a vegetação da caatinga.

A área ao sudeste do município apresenta uma quantidade mista de pontos com baixo, médio e alto risco de erosão, revelando-se como uma área semelhante às proximidades do centro urbano, enquanto que a área localizada ao sudeste, próxima à divisa do município com Brejão, dispõe de uma maior concentração da classe que representa alto riscos à erosão. Parte do que influencia no risco desse local são os tipos de solos que predominantemente ali se encontram, que podem ser classificados como argissolos vermelho-amarelos, apesar da existência de cambissolos húmicos, argissolos vermelhos e neossolos flúvicos, estes aparecendo em expressiva menor proporção que a classe primeiramente citada. Essas áreas podem ser vistas nas Figuras 51 e 52.

Figura 51. Pastagem em relevo ondulado na área sudeste do município de Garanhuns.



Fonte: Renilson Pinto da Silva Ramos (Fotografia retirada em novembro de 2019).

Figura 52. Vegetação arbustiva esparsa em relevo plano na área sudeste do município de Garanhuns.



Fonte: Renilson Pinto da Silva Ramos (Fotografia retirada em novembro de 2019).

Outro fator relevante a ser levado em conta, e que demonstra a possibilidade de haver um maior risco, é a declividade desse terreno. Se observa nele classificações como muito fortes ou fortes. Um fator adicional é o nível de chuvas nessa localidade: a área que faz fronteira com Brejão possui um regime de chuvas maior que o que pode ser encontrado na área norte, nos limites do município com Caetés.

Já quando se trata da área ao sudoeste, notam-se pequenas áreas com uma orientação das vertentes para norte, embora exista uma dispersão de tipos de orientação ao norte e sudeste. A parte ao sudeste do município de Garanhuns possui muitas áreas voltadas ao sudeste, entretanto existe em grande parte orientações voltadas ao sul, principalmente nas áreas com maior nível de declividade e maior risco à erosão.

No que diz respeito às curvaturas, tanto horizontais quanto verticais em ambos os lados sudeste e sudoeste apresentam uma dispersão semelhante das curvaturas convergentes e planares, assim como, respectivamente, côncavas e retilíneas, sem representar uma predominância de algumas dessas classes em relação a outras.

O uso e cobertura da terra tanto na área sudeste sudoeste se apresenta com predominância de pastagens, com algumas pequenas áreas de formação savânica. Entretanto, na área próxima do sudoeste existe presença de formação florestal em maior nível de concentração que nas outras áreas do município, geralmente sendo encontradas em locais de altimetria elevada, podendo ser caracterizadas como áreas de preservação permanente. Essa formação florestal pode ser vista na Figura 53.

Figura 53. Formação florestal em relevo plano na área sudoeste do município de Garanhuns.



Fonte: Renilson Pinto da Silva Ramos (Fotografia retirada em novembro de 2019).

O centro urbano de Garanhuns e suas proximidades são as áreas nas quais existe uma concentração dos processos erosivos. Uma soma de fatores influencia o aparecimento desses processos, como a presença de latossolos amarelos que, como solos porosos, favorecem o escoamento subsuperficial no qual há a remoção de sedimentos. A altimetria dessa área faz com que ocorra chuvas orográficas que potencializam o efeito erosivo, o que somado ao terreno declivoso faz com que os solos sejam facilmente removidos. Todos esses fatores, somados ao fato de que ao longo do histórico do município a vegetação foi constantemente removida, deixando essas áreas expostas e facilitando diferentes processos para transporte de sedimentos, são fundamentais para o entendimento do quadro maior.

Na área de proximidade do centro urbano a orientação das vertentes está em sua maioria voltada para o sul, como pode ser visto no mapa da Figura 14. As curvaturas horizontais dessa área são predominantemente convergentes, enquanto que na curvatura vertical há a predominância de superfícies côncavas que são classificadas como áreas de médio risco à erosão.

No uso e cobertura da terra, a área que compreende o centro urbano de Garanhuns e suas proximidades atualmente apresenta, além da infraestrutura urbana, também locais com caatinga, formação florestal e pastagem, assim como pequenas áreas que se configuram com um mosaico de agricultura e pastagem.

A localidade onde o centro urbano de Garanhuns se encontra representa um divisor de duas diferentes áreas que ocorrem dentro do município. Uma dessas áreas apresenta características de maior umidade, estando na área sul, especificidades essas que são atribuídas

como naturais ao agreste. Na outra localidade, que fica voltada ao norte, é evidenciada a ocorrência de características físico-naturais relativas ao semiárido brasileiro.

Essa diferenciação entre o lado sul e o lado norte é decorrente de cotas altimétricas da área que compreende o centro urbano do município de Garanhuns. Segundo Azambuja (2007), essa área onde o centro urbano está inserido é a linha de cumeada entre duas sub-bacias da bacia hidrográfica do Rio Mundaú, que apresentam características distintas de umidade: a bacia do Rio Canhoto, ao norte, é a maior sub-bacia Mundaú; e a bacia hidrográfica Alto Curso do Mundaú. A bacia do Rio Canhoto tem anualmente, nas áreas próximas ao município de Garanhuns, uma média de chuvas que variam de 658,3 até 730,7 mm, segundo Costa (2018), enquanto a média anual de chuvas na área da bacia hidrográfica do Alto Curso do Rio Mundaú vai de 700 a 1050 mm, de acordo com Alexandre, Candeias e Gomes (2019).

Além dessas diferenças em questões pluviométricas, também são apresentadas diferenciações em diversas outras características físico-naturais aqui antes discutidas ao se tratar das diferenciações dos resultados de risco à erosão dividindo o município de Garanhuns entre norte, centro urbano, sudeste e sudoeste. Essas divisões se tornam mais evidentes quando se explana acerca da separação dessas áreas através da linha de cumeada de duas bacias hidrográficas. Tal compartimentação demonstra que os fenômenos ocorridos na bacia hidrográfica do Alto Curso do Rio Mundaú, ao menos na área que compreende ao município de Garanhuns, apresenta maiores riscos à erosão quando é realizada uma comparação com a bacia do Rio Canhoto. Uma dessas localidades, compreendida como tendo alto risco à erosão, pode ser visualizada na Figura 54.

Figura 54. Voçoracamento no bairro Aluízio Pinto no centro urbano do município de Garanhuns.



Fonte: Renilson Pinto da Silva Ramos (Fotografia retirada em novembro de 2019).

Localizada em área periférica do centro urbano, a voçoroca apresentada na foto ainda é utilizada como área para plantio de culturas temporárias em sua encosta, sendo ela menos declivosa que outros processos erosivos no município. Além de atividades agrárias também é realizada o descarte de resíduos sólidos pelos moradores, bem como de dejetos ligados ao saneamento básico no município (MELO; ALMEIDA, 2013). Essas atividades ocorrem de maneira semelhante ao que se vê em outras localidades na cidade, como pode ser visto nas Figuras 55, 56 e 57.

Figura 55. Proximidades da voçoroca no bairro da Liberdade no centro urbano do município de Garanhuns.



Fonte: Renilson Pinto da Silva Ramos (Fotografia retirada em novembro de 2019).

Figura 56. Resíduos sólidos na voçoroca no bairro da Liberdade no centro urbano do município de Garanhuns.



Fonte: Renilson Pinto da Silva Ramos (Fotografia retirada em novembro de 2019).

Nessas imagens é possível visualizar como as áreas entorno de um dos mais avançados processos erosivos em Garanhuns são tratadas. Na localidade é realizada a remoção da vegetação na encosta e descarte de resíduos sólidos. Além desse tipo de prática, existem moradias na proximidade dessa voçoroca, nas quais o serviço de saneamento básico realiza o descarte de dejetos.

Essa área não tem apenas uma voçoroca, mas também uma das nascentes do Rio Mundaú, estando dentro da sub-bacia do Alto Curso do Rio Mundaú. Nesse caso, além da remoção dos solos que podem ocasionar danos *onsite* para quem mora ao lado das voçorocas (tal como visto na Figura 57), há também a possibilidade de danos *offsite* que essas voçorocas geram para outros municípios que se abastecem na água do rio mundaú, contaminando os recursos hídricos dessa bacia hidrográfica que tem início em Garanhuns-PE e exutório em Maceió-AL (FERREIRA *et al.*, 2012).

Contudo, o abastecimento de águas com os recursos hídricos de uma bacia hidrográfica vai para além dos municípios que se encontram dentro de seu perímetro. As águas da bacia do Mundaú fornecem recursos até mesmo para municípios encontrados para além do entorno da área que compreende ao rio Mundaú. Isso demonstra a gravidade dos danos que esse tipo de atividade ocasiona, ao contaminar os recursos (SILVA *et al.*, 2018).

Figura 57. Residências na proximidade da voçoroca no bairro da Liberdade no centro urbano do município de Garanhuns.



Fonte: Renilson Pinto da Silva Ramos (Fotografia retirada em novembro de 2019).

A Figura anterior mostra a proximidade e a vulnerabilidade socioambiental que os

indivíduos que vivem nas proximidades são submetidos, pois suas residências estão fixadas no limite que a encosta permite. Para uma melhor visualização de como é a extensão dessa voçoroca na qual esses indivíduos residem, pode-se conferir a Figura 58.

Figura 58. Voçoroca no bairro da Liberdade no centro urbano do município de Garanhuns.



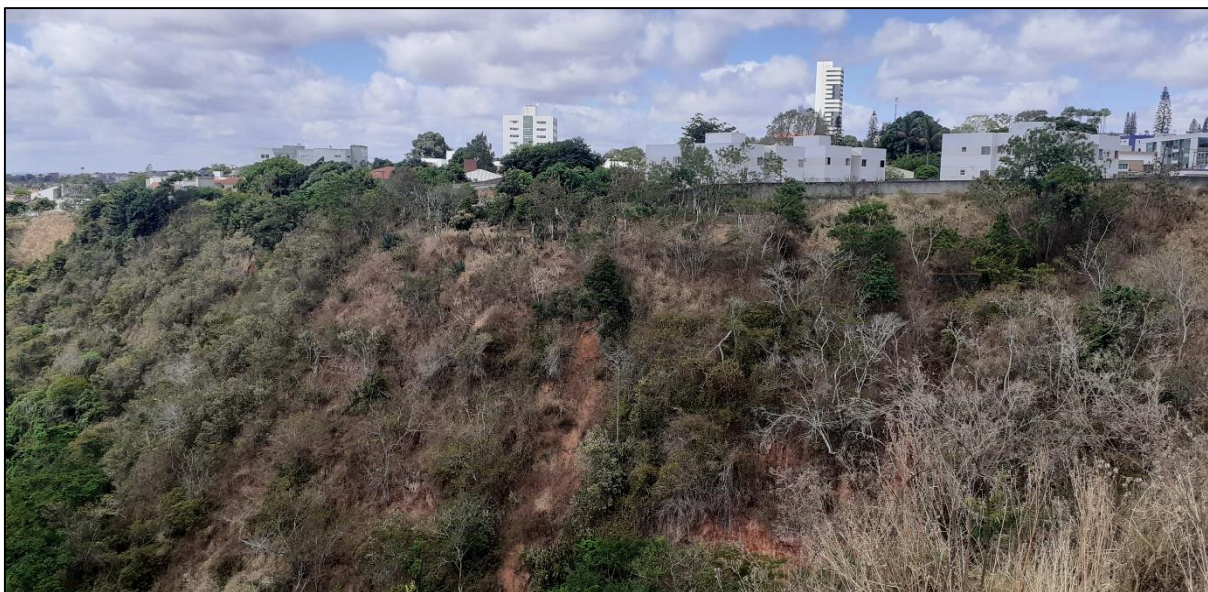
Fonte: Renilson Pinto da Silva Ramos (Fotografia retirada em novembro de 2019).

Na Figura 58, nota-se as extensões desse fenômeno erosivo. Essa voçoroca pode ser definida como uma das mais avançadas que estão localizadas na área de estudo. Nos anos de maior nível pluviométrico, ocasiona movimentos gravitacionais de massa em suas encostas, o que potencializa a vulnerabilidade socioambiental daqueles que vivem em seu entorno (MELO e ALMEIDA, 2013).

Todavia, essa voçoroca dispõe de duas realidades: em um lado, vive uma população de menor poder aquisitivo no bairro da Liberdade, que teve de assentar suas residências nesse local por segregação, em decorrência das relações sociais e econômicas. Esse tipo de apropriação espacial de áreas com riscos ambientais pela população com menor poder aquisitivo é recorrente nas cidades brasileiras, como discute Pfalzgraff (2007), ao fazer referência a esse tipo de uso e ocupação do espaço urbano.

No outro lado da voçoroca, as moradias denotam maior poder aquisitivo se comparadas àquelas no lado contrário. Seus moradores também moram nas proximidades desses processos erosivos avançado, como é visto na Figura 59.

Figura 59. Edifícios nas proximidades da voçoroca no bairro da Liberdade no centro urbano do município de Garanhuns.



Fonte: Renilson Pinto da Silva Ramos (Fotografia retirada em novembro de 2019).

É possível verificar como edifícios e casas foram construídas nas proximidades dessas encostas instáveis, que representam a classe de alto risco nos mapeamentos de risco à erosão (figura 59). Contudo, não é apenas em um bairro da cidade que existe esse tipo de relação na qual a população se assenta ao redor de processos erosivos avançados. Isto é visto em vários outros bairros da cidade, como pode ser visto numa outra localidade da Figura 60:

Figura 60. Proximidades da voçoroca no bairro do parque fênix no centro urbano do município de Garanhuns.

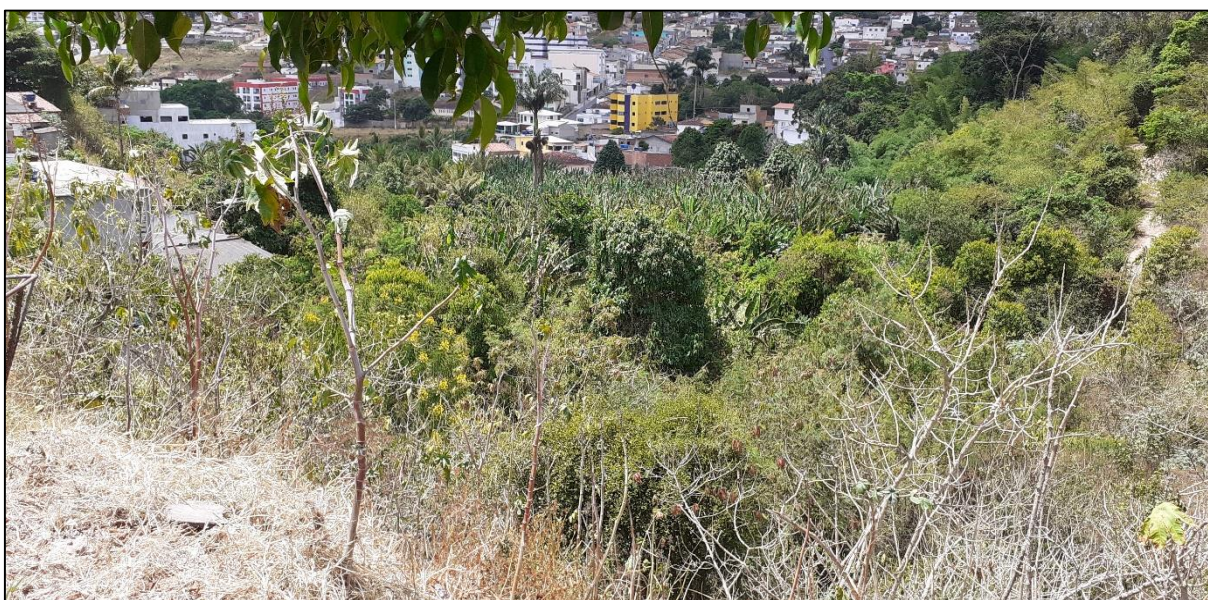


Fonte: Renilson Pinto da Silva Ramos (Fotografia retirada em novembro de 2019).

Ocorrendo de forma semelhante à localidade anterior, depósitos de materiais sólidos ocorrem nessas encostas. A vegetação local é removida na proximidade, diminuindo o escoamento subsuperficial, potencializando assim o risco à erosão pela ação humana através do favorecimento da remoção de sedimentos superficiais.

No centro comercial de Garanhuns também existe uma voçoroca nas proximidades da área em que vivem moradores de maior poder aquisitivo, de forma semelhante à voçoroca da Figura 59. Devido à evolução do centro comercial – que foi o primeiro polo urbano do município e hoje é lar de famílias com maior poder aquisitivo –, nele é possível ver edifícios ao redor de uma voçoroca. Vejamos a Figura 61.

Figura 61. Voçoroca no centro comercial do município de Garanhuns.



Fonte: Renilson Pinto da Silva Ramos (Fotografia retirada em novembro de 2019).

Ao lado dessa erosão existe um parque urbano. Atualmente, apesar da voçoroca apresentada não experimentar depósito de resíduos sólidos como nas demais erosões avançadas que foram citadas anteriormente, ocorre o despejo do saneamento básico, o que pode ajudar a potencializar o comprometimento dos reservatórios de recurso hídricos que se abastecem das águas do Rio Mundaú. Apesar de isso ocorrer predominantemente nos bairros mais antigos, não é apenas neles que são construídas moradias na proximidade de erosões: condomínios em outros locais estão sendo desenvolvidos na proximidade com esses fenômenos, como pode ser visto nas Figuras 62 e 63.

Figura 62. Condômino Vale verde no município de Garanhuns.



Fonte: Renilson Pinto da Silva Ramos (Fotografia retirada em novembro de 2019).

Figura 63. Proximidades do Condômino Vale verde no município de Garanhuns.



Fonte: Renilson Pinto da Silva Ramos (Fotografia retirada em novembro de 2019).

A área das Figuras 62 e 63 é o condomínio vale verde, construído no bairro da Cohab. Nos últimos anos, a especulação imobiliária em Garanhuns ocasionou um acréscimo na expansão urbana. Isso fez com que áreas anteriormente delegadas ao meio rural em atividades como pastagem ou cultivos fossem ocupadas por imobiliárias que agora avançam suas construções para áreas nas quais já existem erosões avançadas, assim como também para locais onde há um alto risco à erosão (AZAMBUJA; CÔRREA, 2015).

O que foi abordado até aqui está dentro do que diz respeito à erosões lineares, ou melhor,

foi elaborado com base em ravinas e voçorocas. Ao se tratar de erosões difusas, foi possível realizar um cálculo que envolve diferentes variáveis e é especificamente desenvolvido para erosões laminares. Foi levada em consideração toda área que compreende o município e sofre com o escoamento superficial ocasionado pela conjuntura de fatores que envolve declividade, níveis pluviométricos, solos e o manejo do uso da terra que ocasiona remoção dos sedimentos de maneira difusa.

Sendo assim, considerando essas diferenciações entre os dois tipos de erosões anteriormente citados, observa-se dentro do perímetro da bacia hidrográfica do Alto Curso do Rio Mundaú que ocorrem processos que, por sua vez, permitem a Garanhuns existir num nível de perda de solos por erosão difusa classificado como muito severo. Esses fatores mostram como os fenômenos erosivos laminares também são relevantes na conjuntura dos aspectos físicos-naturais do objeto de estudo.

Na equação universal de perda de solos, cálculo esse voltado para análises envolvendo as erosões laminares, foi possível identificar a perda de solos anuais na área. Além de áreas com alto risco à erosão, o relevo de Garanhuns, como mostram os mapas das Figuras 40, 42 e 44, apresentam em sua maioria áreas de dissecação nas quais existem a remoção de sedimentos levados até as áreas de acumulação.

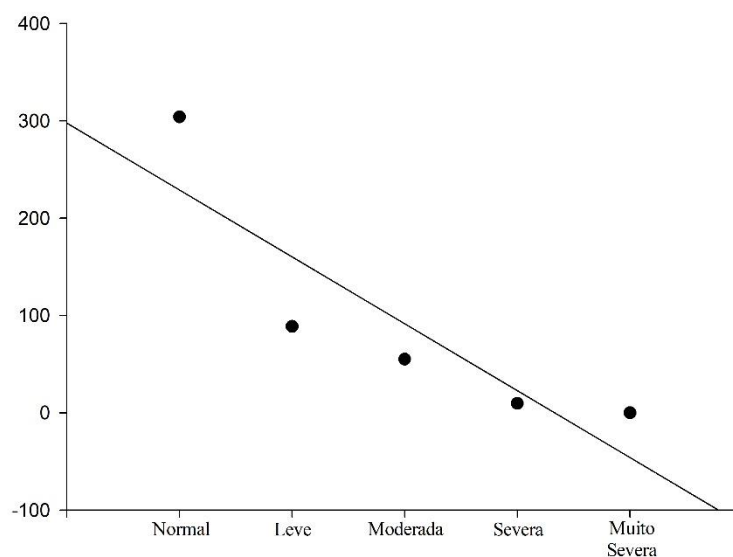
Além das variáveis físico-naturais, como a grande influência da chuva na intempérie do solos localizados em altas declividades, a influência de como o município é espacialmente ocupado e as atividades que nele são realizadas ao longo de sua formação resultam em um impacto que gera altos níveis de risco à erosão e, consequentemente, uma remoção de solos que atinge em média até 128 toneladas anuais. Tal número pode ser maior em anos mais chuvosos: as quantias de perda de solos podem ser observadas na tabela 2. Para melhor observar a comparação entre níveis de perda de solos no município de Garanhuns e tamanho em Km² das áreas, gráficos estão dispostos nas Figuras 64, 65, 66 e 67.

Tabela 2 - Resultados da equação universal de perda de solos do município de Garanhuns.

2010		
Toneladas Anuais	Área Km ²	Nível de Perda de Solos Por Erosão
0-1	274,704414	Normal
1-5	64,60030576	Leve
5-15	66,14324667	Moderada
15-50	48,36115619	Severa
50-197,271	3,301470508	Muito Severa
2015		
Toneladas Anuais	Área Km ²	Nível de Perda de Solos Por Erosão
0-1	305,1004268	Normal
1-5	89,96476024	Leve
5-15	52,42752721	Moderada
15-50	9,76547403	Severa
50-138,967	0,013600767	Muito Severa
2018		
Toneladas Anuais	Área Km ²	Nível de Perda de Solos Por Erosão
0-1	307,5541079	Normal
1-5	93,1212048	Leve
5-15	49,86842818	Moderada
15-50	6,85723886	Severa
50-118,020	0,00078125	Muito Severa
Média		
Toneladas Anuais	Área Km ²	Nível de Perda de Solos Por Erosão
0-1	304,0390182	Normal
1-5	88,72132107	Leve
5-15	55,01230438	Moderada
15-50	9,62687459	Severa
50-128,845	0,002736718	Muito Severa

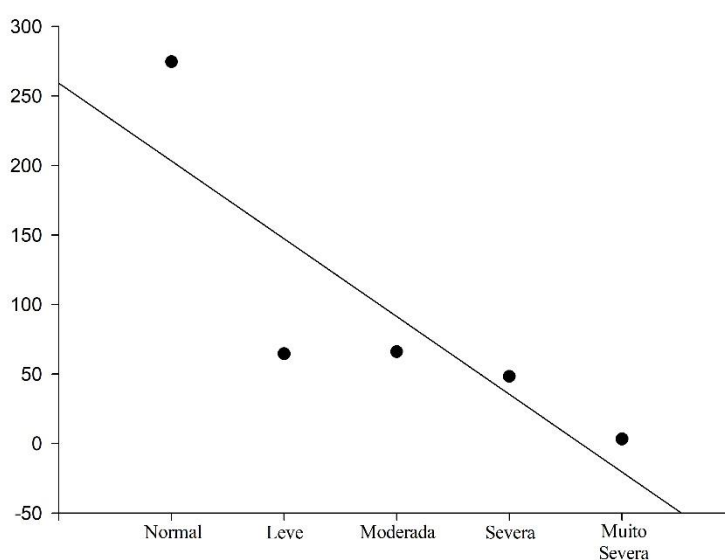
Elaborado por: Renilson Pinto da Silva Ramos, 2020.

Figura 64. Gráfico com resultado da equação universal de perda de solos considerando a média.



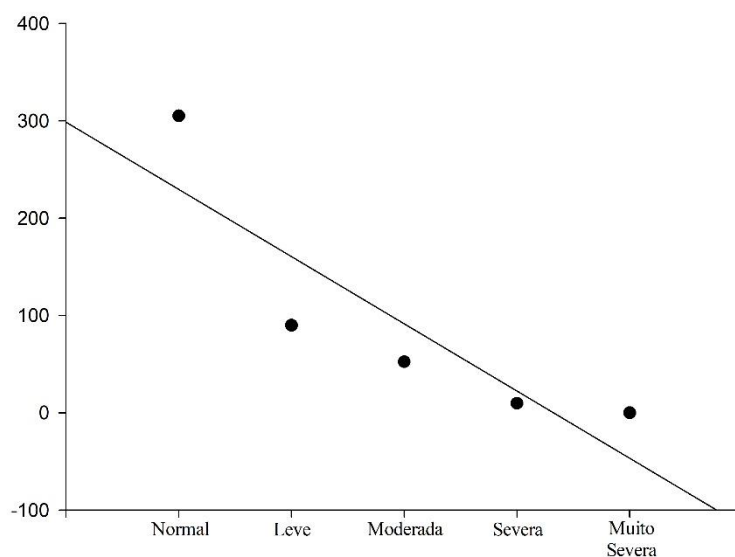
Elaborado por: Renilson Pinto da Silva Ramos, 2020.

Figura 65. Gráfico com resultado da equação universal de perda de solos no ano de 2010.



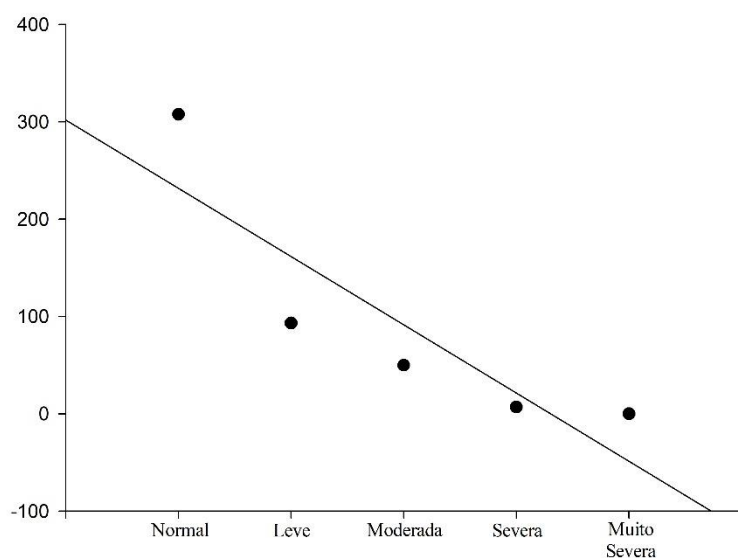
Elaborado por: Renilson Pinto da Silva Ramos, 2020.

Figura 66. Gráfico com resultado da equação universal de perda de solos no ano de 2015.



Elaborado por: Renilson Pinto da Silva Ramos, 2020.

Figura 67. Gráfico com resultado da equação universal de perda de solos no ano de 2018.



Elaborado por: Renilson Pinto da Silva Ramos, 2020.

É possível observar a diferenciação do máximo de toneladas removidas por erosão laminar ao se comparar os anos de menor pluviometria com as datas que apresentam maior nível de chuvas. Ao acompanharmos tabela 2 e o gráfico da Figura 65, torna-se perceptível o

ano que apresenta um maior nível de chuvas como o de 2010, quando o máximo de perda de solos foi de 197,271 toneladas numa área 3,30 Km² de área. Em contrapartida, é possível ver que em 2015 – ano de menor quantia de chuvas –, houve uma remoção de 138,967 toneladas de solos numa área de 0,013 Km².

O ano mais recente observado apresenta uma taxa ainda menor de perda de solos por erosão laminar, o nível de chuvas de 2018 supera a quantia de 2015, contudo a variável que diz respeito ao uso e cobertura da terra se alterou de forma que veio influir no resultado para que ocorresse uma perda de solos muito severa, de 128,85 toneladas numa área de 0,0027 Km².

As áreas com maiores declividades são tidas como as que possuem um maior valor da variável LS, que corresponde aos valores topográficos e chega a um número de 65,88 no grau de influência para a perda de solos.

Quanto ao fator K, cada solo obteve seu valor com base nos trabalhos de Silva *et al.*, (2009), Falcão (2018) e Xavier *et al.*, (2019), que descrevem o grau de fragilidade de cada um dos solos abordados diante dos processos de erosão laminar. Esses valores mostram que nesse tipo de processos de remoção dos solos, os neossolos regolíticos apresentam um menor grau de influência para grandes níveis de erosão laminar, ficando com um número de apenas 0,017, enquanto que os latossolos vermelho-amarelos seguem sendo o segundo em grau de influência, classificados com apenas 0,02. Já os planossolos solódicos, assim como os argissolos vermelho-amarelos, possuem um fator K de 1,284 e 1,074 respectivamente, sendo os dois tipos de solos que mais apresentam características que influenciam os graus de remoção dos solos em Garanhuns.

Tudo que diz respeito ao fator K envolve apenas os solos que, com diferentes agentes em conjunto no que diz respeito aos processos de desagregação dos solos, irão se relacionar para a definição dessas variáveis da equação universal dos solos, valores estes que não serão alcançados sem influência do fator CP. Enquanto que esses valores foram estabelecidos para os solos, o fator CP, que diz respeito ao uso e cobertura da terra, assim como o fator R, que trata dos graus de erosividade causadas pelas chuvas, foram estabelecidos de formas distintas, para os quatro cálculos realizados.

Para o fator CP, os anos de 2010, 2015 e 2018 foram considerados, sendo o ano de 2010 o que possui uma maior quantia de áreas, contendo os fatores que correspondem a altos graus de influência a erosão laminar, denotando localidades classificadas com 0,25 e 0,30. Nos anos seguintes pode ser observado um aumento nas classes baixo valor do fator CP, como as classes 00 e 0,0004. Essa queda nos valores se dá devido à diminuição no tamanho das pastagens em Garanhuns ao longo das datas citadas, o que acarretou uma alteração na apropriação do espaço

rural do município, fazendo com que áreas que eram pastagens em 2010 tenham desenvolvido vegetação típica da caatinga ou formações florestais.

Em 2010 o fator R chegou a marcar um número de no máximo 852 e um valor mínimo de 195; quando comparado ao ano de 2015, o valor mínimo do fator R para essa data foi de 315, contudo o máximo não passou de 588. No ano mais recente analisado, 2018, os valores mínimos foram de 366 e os máximos de 504. Quando se tratando dos valores relativos à média pluviométrica, o município de Garanhuns apresenta uma variação do fator R de no máximo 534 e no mínimo de 380.

A quantidade de sedimentos removidos, assim como para onde e o quanto as erosões lineares avançam, se relacionam diretamente com a forma de como esses fenômenos estão espacialmente localizados, logo possuem relação com a forma que a área do município de Garanhuns é apropriada.

As erosões em Garanhuns se relacionam com as construções civis que tangem as camadas sociais de menor poder aquisitivo e que se apropriam de áreas ao redor desses grandes processos erosivos, por falta de possibilidade de morar em outro local, a ausência de possibilidade de atividades agropecuárias nas proximidades, assim como a dificuldade de locomoção de um ponto a outro dentro do município, impactando em toda forma de transporte na localidade.

Sendo assim, comunidades ainda vivem nas proximidades, em alguns pontos da cidade além de depósito de resíduos sólidos, são realizadas culturas temporárias que proporcionam um maior nível de risco a erosão nas encostas. Isso faz com que a retirada desses solos seja potencializada e que a partir da expansão desses fenômenos erosivos exista uma nova adaptação na forma que essas atividades são realizadas no município, mas com impactos distintos nas camadas sociais atingidas.

Sendo divididos em impactos *onsite* e *offsite*, os processos erosivos avançados em Garanhuns ocasionam ambos. Com esses impactos existe um problema criado para a população local do município, tanto urbana quanto rural, na forma de como se apropriar das áreas que estão submetidas a esses fenômenos.

Há implicações na forma de apropriação desses locais em Garanhuns: o nível de gravidade dos danos *offsite* que são ocasionados por essas ravinas e voçorocas podem ser exemplificados pela contaminação de parte dos recursos hídricos que, segundo Melo (2013), estão contaminadas por altos níveis de bactérias aeróbicas, medidas pelo pequeno nível de oxigênio nas águas, clorofórmios fecais e metais pesados advindos dos resíduos sólidos depositados pelos moradores nas erosões.

Devido ao avanço dessas erosões, indivíduos que moram nas proximidades possivelmente precisarão ser realocados para áreas diferentes. Por isso existe uma necessidade em torno de se realizar atividades que visem mitigar a potencialização do avanço desses processos no município, assim como existe a possibilidade de tentar a reversão de alguns desses fenômenos, sendo isso mais simples que uma readaptação da lógica de apropriação espacial no município. Essas atividades podem ser realizadas com base em indicações baseadas na literatura, as quais buscam tentar diminuir os impactos que as atividades humanas ocasionam em áreas de alto risco à erosão.

No referente às erosões especificamente urbanas, sabe-se de três principais decisões que podem acabar por reduzir o avanço de voçorocas e ravinas, assim como também impedir o aparecimento de novos processos em solos de maior risco: a manutenção do espaço público através da construção de canais de escoamento hídrico nas ruas; realizar um projeto, um traçado planejado de ruas que acompanhe o declive, permitindo que o sistema viário não se torne demasiadamente longo; utilizar da carta topográfica da cidade, de forma a considerar os cursos de drenagem naturais; construir áreas de captação no final de ruas secundárias menores e de média declividade, o que permitiria a captação dessas águas, proporcionando um menor escoamento superficial e evitando o acúmulo excessivo das mesmas (SALOMÃO, 2009; NUNES *et al.*, 2017).

No município de Garanhuns existe a necessidade de se realizar esses procedimentos, considerando que o centro urbano de Garanhuns foi construído em área declivosa e uma vez que existem diversas ruas com diferentes níveis de declividade, tornando preciso a realização de tal infraestrutura.

Para práticas de controle de caráter edáfico, podem ser aplicadas quatro medidas em áreas rurais, na tentativa de melhorar a fertilidade dos solos que consequentemente impactam indiretamente na redução de suas possíveis erosões. Através da adubação verde ou plantio direto, é possível incorporar nitrogênio aos solos através da prática de enterrar vegetação ainda verde; adubação através de materiais químicos; adubação dos solos através de aplicação de material orgânico em áreas de cultivo (que ocorre por meio da aplicação de esterco, que por sua vez auxilia na fertilidade); rotação de culturas com possibilidade na redução de pragas e doenças dos plantios, assim como também sua possível atuação na fertilidade dos solos (SALOMÃO, 2009; ROCHA, 2017; SUTILI *et al.*, 2018; KOUKOLÍČEK, 2018; XIONG; SUN; CHEN, 2018).

As práticas de caráter mecânico visam a possibilitar a infiltração das águas nos solos através da construção de infraestruturas como canais e aterros. A primeira dessas práticas busca

um plantio no contorno de curvas de nível, ocasionando um escoamento nos sulcos dos solos; outra maneira de prevenir a erosão dos solos é por meio da prática de terraceamento, que ocorre através de um tipo particular de sulco ou canal que, por sua vez, possibilita que as águas sejam conduzidas por esse local; a terceira prática que pode ser aplicada é a dos canais escoadouros, que consiste na construção de uma infraestrutura com dimensões apropriadas para cada área (SALOMÃO, 2009; GUERRA *et al.*, 2013; TELLES, 2015; MACHADO, 2018; AJMAL *et al.*, 2018).

Diante dessas afirmações, é possível afirmar que cabe ao poder público, através do aparato do estado, fomentar programas que visem subsidiar esse tipo de prática, assim evitando problemas com o rendimento básico desses indivíduos, reduzindo a probabilidade de ocorrência de erosões e permitindo que haja uma maior disponibilidade de solos cultiváveis à disposição desses indivíduos.

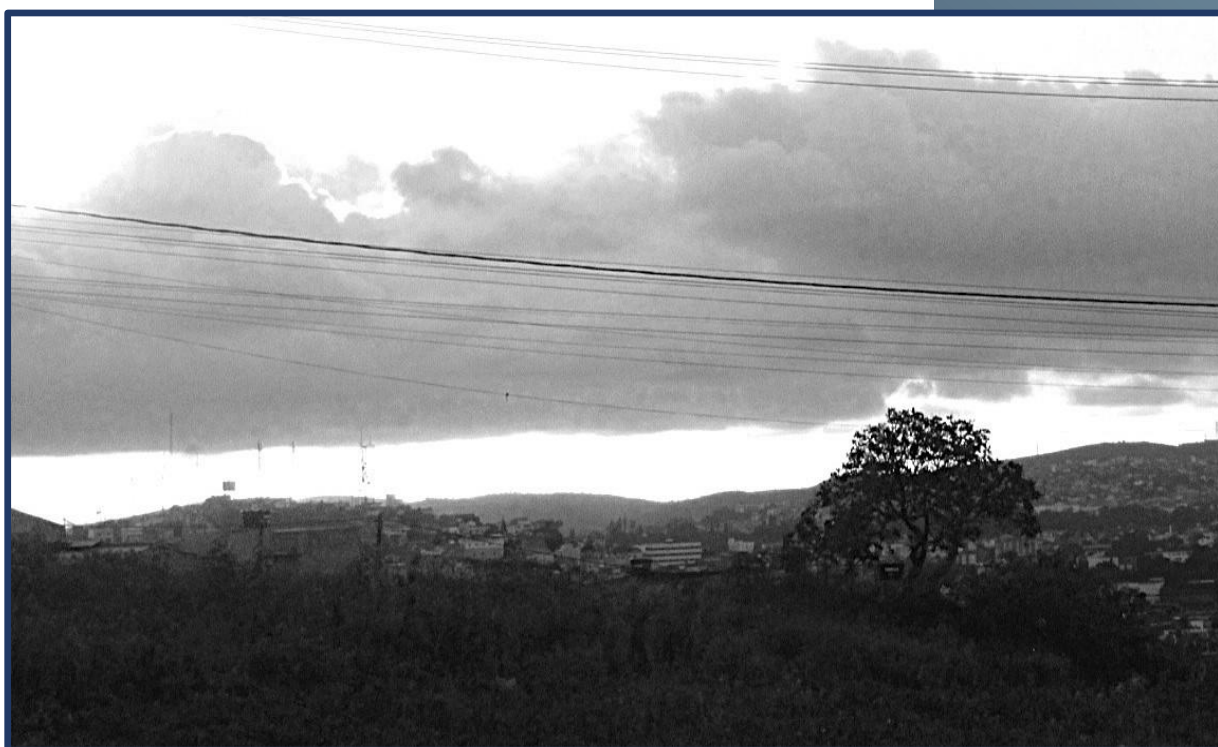
Como grande responsável de erosões em áreas rurais estão os projetos de drenagem que não levam em consideração a estrutura dos terrenos, assim como a falta de infraestrutura que complementa, através de práticas de caráter mecânico, uma maneira de melhor distribuir o escoamento superficial das águas. Isso proporciona, em áreas na proximidade a estradas, o aparecimento de fenômenos erosivos.

Esse tipo de ocorrência também pode ser encontrada em áreas para além dos cortes e aterros das estradas, como jazidas e transposições. Cinco tipos de práticas de controle podem ser aplicadas em áreas de proximidade a estradas. A primeira prática ocorre através da implementação de valetas ou canelas, que por sua vez devem ser construídas de forma que auxiliem na drenagem das águas, principalmente em áreas que ocorra um escoamento concentrado das águas (SALOMÃO, 2009; AVANCINI, 2018).

CAPÍTULO V

“Somos indivíduos livres e nossa liberdade nos condena a tomarmos decisões durante toda a nossa vida. Não existem valores ou regras eternas, a partir das quais podemos nos guiar. E isto torna mais importantes nossas decisões, nossas escolhas”

Jean-Paul Sartre



5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mediante o trabalho construído, foi possível constatar que no município de Garanhuns-PE existe uma série de processos erosivos que já são considerados avançados, como ravinas e voçorocas. Pôde-se constatar durante o desenvolvimento do trabalho a existência de 174 fenômenos, tais como ravinas e voçorocas. Além das áreas já existentes, foi possível verificar que em Garanhuns há um total em área de 43,40 Km² que pode ser considerada de alto risco à erosão na data mais recente analisada, referente ao ano de 2018, enquanto foi contabilizado 92,40 Km² para baixo risco e 321,62 Km² para médio risco.

Esse número, entretanto, tende a variar em Garanhuns com o regime pluviométrico vigente nas datas referentes às coletas de dados, mostrando que parte dos processos erosivos no município vem de uma série de fatores que, em conjunto, atuam na evolução de erosões. Alguns destes são os tipos de solos inseridos em terrenos declivosos, que ao sofrerem impactos de chuva, tendem a ter seus sedimentos removidos de forma a criar novos processos de degradação da paisagem e/ou acentuar as já existentes erosões.

Essas erosões ocorrem de forma dispersa na área do município de Garanhuns, embora mais voltadas para a área sul, local no qual se vê regime de chuvas superior à área norte, que por sua vez apresenta um conjunto de características físico-naturais semelhantes ao restante do semiárido. Na parte central, onde se localiza o centro urbano, verificou-se os fenômenos mais desenvolvidos, em decorrência também de suas altas declividades e chuvas orográficas, que fazem com que os solos dessas áreas sejam constantemente lixiviados e, assim, removidos por problemas de impacto direto da chuva com os solos.

Parte dos processos históricos de Garanhuns podem exemplificar como essa área central foi ocupada e como em épocas pretéritas esse centro urbano já foi uma fazenda, propriedade rural essa que participou da larga exploração no ciclo de café e algodão, tendo se aproveitado do regime de chuvas superior à maior parte de sua região para uma melhor irrigação desse plantio. Atualmente, a maioria das áreas dos processos erosivos mais avançados são ocupados pelos moradores economicamente desfavorecidos, fazendo com que existam comunidades carentes ao redor das voçorocas – uma forma de segregação do espaço urbano, com poucas exceções onde, historicamente, indivíduos de classe social mais elevada se encontram.

Essa população pode viver sob o risco de terem suas residências desapropriadas e levadas por enxurradas por morarem em áreas de proximidades com as encostas. Além disso, as águas que utilizam podem se contaminadas pelos depósitos de resíduos sólidos existentes nas proximidades dos processos erosivos, assim como sua locomoção nas proximidades pode

vir a ser prejudicada.

Contudo, as áreas de alto risco não se encontram exclusivamente no ambiente urbano. Em áreas do meio rural, principalmente ao sudeste de Garanhuns, a declividade de algumas unidades, em conjunto com o regime pluviométrico, criam áreas de alto risco à erosão. Essas localidades são ocupadas por um mosaico de agricultura e pastagem, e caso medidas de práticas de conservação não sejam adotadas, é possível que ravinas evoluam para voçorocas.

Além da questão relativa à erosão linear, em Garanhuns também ocorre erosão de maneira laminar, encontrada principalmente no ambiente rural. O meio rural do município é predominado por pastagens e agricultura familiar, porém existe uma perda de solos anuais que, em anos mais chuvosos, faz com o que o município perca cerca de 190 toneladas de solos, chegando a níveis que são preocupantes e que podem ser considerados como muito altos.

Através de práticas de conservação e modelos de ocupação definidos em mapas, como o de capacidade do uso da terra, existem áreas em Garanhuns que podem ser apropriadas com os devidos cuidados, entretanto em sua grande maioria com problemas complexos de conservação, existindo até mesmo necessidade de empregos de práticas mecânicas, com a construção de infraestrutura para que seja evitado possíveis erosões no futuro.

Para o ambiente urbano, os novos bairros que estão sendo construídos em Garanhuns necessitam se atentar para a construção de uma infraestrutura as quais visem prevenir o aparecimento desse tipo de fenômeno nas proximidades, pois estes acarretam riscos para todos aqueles que irão se apropriar deste espaço. Para as áreas com processos mais avançados são necessárias práticas que visem apenas a contenção da evolução desses fenômenos.

Esses tipos de técnicas necessitam vir de iniciativa do estado em áreas já ocupadas no ambiente urbano, assim como nas que estão sendo utilizadas para agricultura em ambientes rurais, uma vez que os indivíduos residentes de áreas sob risco não dispõem de recursos o suficiente para o investimento em infraestruturas do tipo nos bairros, assim como em ambiente rural, onde a agricultura é realizada predominantemente de maneira familiar. Existe também a previsão desse tipo de atitude do estado por parte da própria legislação, que pode se munir de mapeamentos e sugestões para a realização de atividades que visem a evitar novas erosões avançadas e conservar as já existentes.

Algumas práticas podem ser aplicadas em áreas com alto risco à erosão, de forma que não desenvolvam problemas com os fenômenos erosivos, sendo assim possível também mitigar os danos que os processos já existentes ocasionam. Essas atividades são realizadas de diferentes modos, considerando o meio o qual está sendo considerado, seja urbano ou rurais, e levando-se em consideração os tipos de características físico-naturais desses locais, assim como as

atividades humanas que são realizadas nas mesmas.

Sendo assim, é importante considerar que após as instalações de estruturas de concreto como ruas pavimentadas, casas e edifícios, parte do escoamento superficial é delegado para pequenas áreas. Nesses locais para onde as águas se dirigem, ocorre uma concentração de fluxo do escoamento superficial, favorecendo assim a remoção de solos.

Devido a essa conjuntura de fatores, é possível afirmar que são criadas condições que tornam propício o aparecimento de fenômenos erosivos. Após o aparecimento de erosões, as populações locais tendem a realizar depósito de resíduos sólidos na área como uma tentativa de contenção do avanço das encostas. Todavia, o depósito de resíduos sólidos nas encostas tende a agravar o problema, aumentam os tipos de impactos ambientais os quais o processo erosivo pode ocasionar. Diante desses problemas, é necessário conferir uma maior importância para a elaboração de produtos cartográficos, tais como a carta de risco à erosão para se visualizar as áreas as quais mais necessitam de cuidados, e também ter certeza sobre em quais lugares pode-se realizar atividades que não ocasionem o desenvolvimento de erosões.

Considerando a série de problemas que as erosões em Garanhuns tendem a ocasionar, se torna importante evidenciar medidas que visem a mitigar efeitos de processos já existentes, assim como evitar o aparecimento de novos fenômenos do tipo. Todas essas atividades devem ser munidas do aparato da administração pública, que demanda de recursos suficientes para a tomada de decisões que cabem dentro de uma legislação vigente, existente no presente município abordado sob o atual plano diretor, descrito na lei Nº 3620/2008, em que medidas devem ser tomadas para o controle de problemáticas de cunho ambiental envolvendo processos erosivos.

Existem diversas erosões em áreas apropriadas para os diferentes fins em Garanhuns, sendo estas de moradia ou agropecuária, assim como a construção de novos locais que em alguns anos certamente estarão em processo de erosão. Cabe aos órgãos públicos competentes se utilizarem dos dados e pesquisas disponíveis para desenvolver planos que utilizem de práticas de cuidados específicas no controle e manutenção desses solos, trazendo para Garanhuns uma melhor forma de se apropriar espaço pertencente ao município.

No presente trabalho se predispõe dados que podem ser utilizados para a gestão pública – os mapas foram obtidos através da junção de duas metodologias já existentes com a adição do elemento pluviométrico, todavia sua adequação foi realizada através de estatística bivariada para as especificidades no município de Garanhuns, por intermédio da contabilização de pontos com erosões já existentes. As comparações em ambiente computacional realizadas entre o mapa de risco e áreas com erosões avançadas mostraram a eficácia da metodologia aplicada a

Garanhuns, assim como as visitas a campo puderam atestar a existência dessas erosões através da observação e do registro fotográfico.

Depreende-se, portanto, que a metodologia aplicada nesse trabalho pode ser replicada para diferentes datas no município de Garanhuns, assim como adaptada para outras áreas por futuras pesquisas que visem a aprofundar ainda mais o conhecimento dos estudos sobre o fenômeno das erosões.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A. N. Participação das depressões periféricas e superfícies aplainadas na compartimentação do Planalto Brasileiro – Considerações finais e conclusões. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, vol. 19(1/2), p. 51-69, 1998.

AB'SABER, A. N. Os Sertões: A Originalidade da Terra. **Ciência Hoje**. Rio de Janeiro, vol.3, n.18, 1985.

ALAVINIA, M; SALEH, N. S; ASADI, H. Effects of rainfall patterns on runoff and rainfall-induced erosion. **International Journal of Sediment Research**, Volume 34, Issue 3, June 2019, Pages 270-278.

ALEXANDRE, F. S; CANDEIAS, A. L. B; GOMES, D. D. M. Modelagem Cartográfica para a delimitação das Paisagens da Bacia Hidrográfica do Alto Curso do Rio Mundaú-Pernambuco/Alagoas, Nordeste, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, p. 1-12, 2019.

AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA-APAC. Dados Pluviométricos. Disponível em: <http://www.apac.pe.gov.br>. Acesso em: Abril de 2019.

AJMAL, S; SHA, S. A; IBRAHIM, M; HAQ, Z. U. Farm Households' Willingness to Pay for Forestation Based Soil Conservation Program on Communal Land in Bagh District, Kashmir. **Review of Economics and Development Studies**, vol. 4, no 1, 2018.

ALEXANDRE, F. S; CANDEIAS, A. L. B; GOMES, D. D. M. Modelagem Cartográfica para a Delimitação das Paisagens da Bacia Hidrográfica do Alto Curso do Rio Mundaú – Pernambuco/Alagoas, Nordeste, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, p. 1-12, 2019.

ALMEIDA, N. V; MEDEIROS, I. S; FREIRES, J. L; DANTAS, M. S. Ecodinâmica e Vulnerabilidade Ambiental de uma Sub-Bacia Inserida em uma Área de Proteção Ambiental. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 3, p. 296-309, 2018.

ALVES, H. P. F. Vulnerabilidade socioambiental na metrópole paulistana: uma análise sociodemográfica das situações de sobreposição espacial de problemas e riscos sociais e ambientais. **R. bras. Est. Pop**, São Paulo, v. 23, n. 1, jan./jun. 2006.

AMADOR, M. B. M. A visão sistêmica e sua contribuição ao estudo do espaço pecuário de Venturosa e Pedra no agreste de Pernambuco. **Tese** (Doutorado em Geografia) Faculdade de Geografia, Universidade Federal de Pernambuco. 2008.

AMORIM, R. S. S; SILVA, D. D; PRUSKI, F. F; MATOS, A. T. Avaliação do Desempenho dos Modelos de Predição da Erosão Hídrica USLE, RUSLE e WEPP para Diferentes Condições Edafoclimáticas do Brasil. **Eng. Agríc**, v. 30, n.6, p. 1046-1049, 2010.

ANDRADE, A. R. S; NETO, A. H. G; SILVA, A. F. C; ANDRADE, E. K. P; SANTOS, V. F; SILVA, T. N. P. Geoestatística Aplicada à Variabilidade Espacial e Padrões nas Séries

Temporais da Precipitação no Agreste Pernambucano. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 3, p. 126-145, 2018.

ANGELER, D. G; ALLEN, C. R; GARMESTANI, A; POPE, K. L; TWIDWELL, D; BUNDSCHUH, M. Resilience in Environmental Risk and Impact Assessment: Concepts and Measurement. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 101, p. 543–548, 2018.

ARABAREMI, A; PRADHAM, B; REZAEI, K. Gully Erosion Zonation Mapping Using Integrated Geographically Weighted Regression with Certainty Factor and Random Forest Models in GIS. **Journal of Environmental Management**, v. 232, p. 928–942, 2018.

ARABAMERI, A; PRADHAN, B; REZAEI, K; YAMANI, M; POURGHASEMI, H. R; LOMBARDO, L. Spatial Modelling of Gully Erosion Using Evidential Belief Function, Logistic Regression and a New Ensemble EBF-LR Algorithm. **Land Degradation & Development**, 2018.

ASSCHE, K. V; VERSCHRAEGEN, G; VALENTINOV, V; GRUEZMACHER, M. The Social, the Ecological, and the Adaptive. Von Bertalanffy's General Systems Theory and the Adaptive Governance of Social-Ecological Systems. **Systems Research and Behavioral Science**, 2019.

AUGUSTIN, C. H. R. ARANHA, P. R. A. A Ocorrência de Voçorocas em Gouveia, MG: Características e Processos Associados. **GEONOMOS**, 2006.

AQUINO, A. R. PALLETA, F. C. PALLETA, F. C. ALMEIDA, J. R. **Risco Ambiental**. São Paulo: Blucher, 2017a.

AQUINO, A. R. PALLETA, F. C. PALLETA, F. C. ALMEIDA, J. R. **Vulnerabilidade Ambiental**. São Paulo: Blucher, 2017b.

AVANCINI, T. G. P. Conservação do Solo e Planejamento do Uso da Terra: Uma Proposta de Certificação para Loteamentos em Franjas Urbano-Rurais. **Tese** (Doutorado em Engenharia Civil) Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas. 2017.

AVELAR, A. S.; COELHO NETTO, A. L.; Fraturas e Desenvolvimento de Unidades Geomorfológicas Côncavas no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 22, 1992.

AZAMBUJA, R. N. Análise Geomorfológica em Áreas de Expansão Urbana no Município de Garanhuns-PE. **Dissertação** (Mestrado em Geografia) - Departamento de Ciências Geográficas, Universidade Federal de Pernambuco. 2007.

AZAMBUJA, R. N. CORRÊA, A. C. B. Geomorfologia e áreas de expansão urbana do município de Garanhuns-PE: uma abordagem espaço-temporal dos eventos morfodinâmicos para o planejamento territorial. **Geo UERJ** (2007), v. 1, p. 202-233, 2015.

AZEVEDO, A. C; GOMES, G. F; RAMOS, R. P. S; COSTA, S. O. S. Análise da Variabilidade Pluviométrica no Município de Garanhuns-PE de 2012 até 2016. In:

Associação dos Geógrafos Brasileiros. (Org.). Análise da Variabilidade Pluviométrica no Município de Garanhuns-PE de 2012 até 2016. 19ed. João Pessoa: Associação dos Geógrafos Brasileiros, 2018.

BALENSIFER, P. H. M. Levantamento e Descrição de Métodos Alternativos ou Naturais de Conservação de Sementes da Agricultura Familiar do Município de Garanhuns, Pernambuco. **Cadernos de Agroecologia**, v. 10, p. 1-5, 2015.

BALETA, J; MIKULČIĆ, H; KLEMEŠ, J. J; URBANIEC, K; DUIĆ, N. Integration of Energy, Water and Environmental Systems for a Sustainable Development. **Journal of Cleaner Production**, v. 215, p. 1424-1436, 2019.

BARBOSA, A. F; OLIVEIRA, E. F; MIOTO, C. L; PARANHOS FILHO, A. C. The Application of the Universal Soil Loss Equation by Using Free and Available Softwares. **Anuário do Instituto de Geociências** (UFRJ. Impresso), v. 381, p. 170-179, 2015.

BARBOSA, M. A. B. Hidráulica do escoamento superficial no processo de erosão em sulcos de um argissolo. **Dissertação** (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, 2015.

BARBOSA, V. V; SOUZA, W. M; GALVÍNCIO, J. D; Costa, V. S. O. Análise da Variabilidade Climática do Município de Garanhuns, Pernambuco – Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, 2016.

BARROS, F. M. L. M. Risco, Vulnerabilidade Física à Erosão Costeira e Impactos Sócio-Econômicos na Orla Urbanizada do Município de Maricá, Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. 6. 83-90, 2005.

BASSO, B, T. Estimativa de erosão utilizando a Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS): o caso do alto curso do rio Chopim. **Dissertação** (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências Humanas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2018.

BASTOS, F. H. PEULVAST, J. P. Suscetibilidade à Ocorrência de Movimentos de Massa no Maciço de Baturité- Ceará, Brasil. **Revista do Departamento de Geografia**, V. 32, 2016.

BATISTELLA, M; MORAN, E. F. Geoinformação e ambiente trazendo a ciência espacial para a Terra. In: BATISTELLA, M. MORAN, E. F. **Geoinformação e Monitoramento Ambiental na América Latina**. Senac Editora. 2008.

BEKELE, D; ALAMIREW, T; KEBEDE, A; ZELEKE, G; MELESSE, A. M. Land use and land cover dynamics in the Keleta watershed, Awash River basin, Ethiopia. **Environmental Hazards**, v. 18:3, p. 246-265, 2019.

BELO, J. E. A. Uma Cidade Narrada: Memórias e Representações da Cidade de Garanhuns (PE) na Década de 1950. XXV **Simpósio Nacional de História-Fortaleza**, 2009.

BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. **Caderno de Ciências da Terra**, n. 13, 1971.

BRANDÃO, P. B. Velhas Aplicações e Novas Possibilidades para o Emprego do Método Comparativo nos Estudos Geográficos. **GeoTextos**, vol. 8, n. 1, jul. 2012.

BRASIL. **Lei 6.225** de 14 de julho de 1975. Dispõe sobre discriminação, pelo Ministério da Agricultura, de regiões para execução obrigatória de planos de proteção ao solo e de combate à erosão e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6225.htm>. Acesso em: setembro de 2017.

BISPO, C. O; OLIVEIRA, G. P; SILVA, M. L. G.; SANTOS, A. C; LISTO, F. L. R; GIRAO, O. Diagnóstico de voçorocas na zona periurbana de garanhuns, agreste meridional pernambucano. **Revista de Geografia** (recife), v. 35, p. 322-340, 2018.

BORGES, M. J; PISSARRA, T. C. T; VALERI, S. V; OKUMURA, E. M. Reflorestamento compensatório com vistas à retenção de água no solo da bacia hidrográfica do Córrego Palmital, Jaboticabal, SP. **Scientia Forestalis** (IPEF), Piracicaba, v. 69, n.69, p. 93-103, 2005.

BUI, D. T; HOANG, N. D; PHAM, T. D; NGO, P. T. T; HOA, P. V; MINH, N. Q; TRAN, X. T; SAMUI, P. A New Intelligence Approach Based on GIS-based Multivariate Adaptive Regression Splines and Metaheuristic Optimization for Predicting Flash Flood Susceptible Areas at high-frequency Tropical Typhoon Area. **Journal of Hydrology**, v. 575, p. 314–326, 2019.

CÂMARA, G. ORTIZ, M, J. Sistemas de Informação Geográfica para Aplicações Ambientais e Cadastrais: Uma Visão Geral. **XXVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola** - CONBEA 98, 1998.

CARNEIRO, V. A. Paisagens degradadas do município de Palmelo (Goiás): o estudo das voçorocas via trabalho de campo. **GeoTextos**, vol. 10, n. 1, 2014.

CARPI JUNIOR, S. Processos erosivos, riscos ambientais e recursos hídricos na Bacia do Rio Mogi-Guaçu. **Tese** (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente). Rio Claro: IGCE/UNESP, 2001.

CASTRO, C. M. PEIXOTO, M. N. O. RIO, G. A. P. Riscos Ambientais e Geografia: Conceituações, Abordagens e Escalas. **Anuário de Geociências-UFRJ**. Vol. 28-2 / 2005.

CASTRO, S. S. Micromorfologia de Solos Aplica ao Diagnóstico de Erosão. *In*: GUERRA, A. J. T. SILVA, A. S. BOTELHO, R. G. M. **Erosão e Conservação dos Solos**: Conceitos, Temas e Aplicações. 4. Ed. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil, 2009.

CAVALCANTI, L. C. S; CORRÊA, A. C. B. Da descrição de áreas às sínteses naturalistas: uma abordagem historiográfica sobre a ideia de ‘áreas naturais’. **Espaço e Geografia** (UNB), v. 17, 2014.

CAVALCANTI, L. C. S. Da Descrição de Áreas à Teoria dos Geossistemas: uma Abordagem Epistemológica sobre Sínteses Naturalistas. **Tese** (Doutorado em Geografia) Faculdade de Geografia, Universidade Federal de Pernambuco. 2013.

CAVEDON, A. D; SHINZATO, E; JACQUES, P. D. Projeto Porto Seguro-Santa Cruz Cabralia: Levantamento de reconhecimento de solos, capacidade de uso das terras e uso do solo e cobertura vegetal / organizado por Ari Dêlcio Cavedon, Edgar Shinzato e Patrícia Düringer Jacques. – Salvador: CPRM/SA, 2000.

CETIN, M; ADIGUZEL, F; KAYA, O; SAHAP, A. Mapping of Bioclimatic Comfort for Potential Planning Using GIS in Aydin. **Environ Dev Sustain**, v. 20, p. 361–375, 2018.

CHAVES, C. J; GIORDANO, L. C; REIS, F. A. G. V; AMARAL, A. M. C; CORREA, C. V. S; LUMIATTI, G. Análise dos Procedimentos Metodológicos Aplicados em Simulações de Ondas de Cheia Gerada pela Ruptura Hipotética de Barragem. **Anais do 15o. Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental**, 2015, Bento Gonçalves. Anais do 15o. Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. São Paulo: ABGE, 2015.

CHARTRES, N; BERO, L. A; NORRIS, S. L. A Review of Methods Used for Hazard Identification and Risk Assessment of Environmental Hazards. **Environment International**, v. 123, p. 231–239, 2019.

CHAVES, A. M. S; Melo e Souza, R. Dinâmica Fitogeográfica de Áreas Verdes Públicas da Cidade de Garanhuns, Pernambuco. **Caderno de Geografia**, v. 28, p. 131-151, 2018.

CHEN, H; ZHANG, X; ABLA, M; LÜ; YAN, R; REN, Q; REN, Z; YANG, Y; ZHAO, W; LIN, P; LIU, B; YANG, X. Effects of vegetation and rainfall types on surface runoff and soil erosion on steep slopes on the Loess Plateau, China. **CATENA**, v. 170, p. 141-149, 2018a.

CHEN, W; PENG, J; HONG, H; SHAHABI, H; PRADHAN, B; LIU, J; ZHU, A. X; PEI, X; DUA, Z. Landslide Susceptibility Modelling Using GIS-Based Machine Learning Techniques for Chongren County, Jiangxi Province, China. **Science of the Total Environment**, v. 626, p. 1121–1135, 2018b.

CHEN, W; ZHANG, S; LI, R; SHAHABI, H. Performance Evaluation of the GIS-Based Data Mining Techniques of Best-First Decision Tree, Random Forest, and Naïve Bayes Tree for Landslide Susceptibility Modeling. **Science of the Total Environment**, v. 644, p. 1006–1018, 2018c.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: UNESP; Edgard Blücher, 1999.

CHRISTOFOLETTI, A. L. H. Sistemas dinâmicos: as abordagens da Teoria do Caos e da Geometria Fractal em Geografia. In: Antonio Carlos Vitte; Antonio José Teixeira Guerra. (Org.). **Reflexões Sobre a Geografia Física no Brasil**. 1ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

COHEN, M.J.; SHEPHERD, K.D.; WALSH, M.G. Empirical reformulation of the universal soil loss equation for erosion risk assessment in a tropical watershed. **Geoderma**, v.124, p.235-252, 2005.

COSTA, S. O. S. Identificação das Vulnerabilidades e Potencialidades da Bacia Hidrográfica do Rio Canhoto-PE/AL, com Vistas ao Zoneamento Ambiental. **Dissertação** (Mestrado em Geografia) – Centro de Geociências, Universidade Federal da Paraíba, 2018.

COSTA, C. W; LORANDI, R; DE LOLLO, J. A; IMANI, M; DUPAS, F. A. Surface runoff and accelerated erosion in a peri-urban wellhead area in southeastern Brazil. **Environmental Earth Sciences**, v.77(5), 2018.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS-CPRM. **Cartas de suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações**: 1:25.000 (livro eletrônico): nota técnica explicativa / coordenação Omar Yazbek Bitar. -- São Paulo: IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo; Brasília, DF: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2014.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS-CPRM. Dados litológicos do município de Garanhuns-PE. Disponível em: <https://www.cprm.gov.br>. Acesso em: Março de 2019.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS-CPRM. **Geologia da Folha Garanhuns SC.24-X-B-VI**. São Paulo: IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo; Brasília, DF: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2008.

CORRÊA, A. C. B; TAVARES, B de A. C; MONTEIRO, K. A; CAVALCANTI, L. C. S; LIRA, D. R. Megageomorfologia e Morfoestrutura do Planalto da Borborema. **Revista do Instituto Geológico**, v. 31, p. 35-52, 2010.

CUTTER, S. L. Vulnerability to environmental hazards. **Progress in Human Geography**, 20(4), 529–539, 1996.

DABRAL, P.P; BAITHURI, N; PANDEY, A. Soil Erosion Assessment in a Hilly Catchment of North Eastern India Using USLE, GIS and Remote Sensing. **Water Resour Manage**, 22, 1783–1798, 2008.

DAGNINO, R. CARPI JUNIOR, S. Risco ambiental: conceitos e aplicações. CLIMEP. **Climatologia e Estudos da Paisagem**, v. 2, p. 50-87, 2007.

DIAS, J. E; GOMES, O. V. O; GOES, M. H. B. Áreas de Riscos de Erosão do Solo: Uma Aplicação por Geoprocessamento. **Revista Floresta e Ambiente**, v.8 n.1, p. 1-10. 2001.

DI RAIMO, L. A. L; AMORIM, R. S. S; COUTO, E. G; NÓBREGA, R. L. B; TORRES, G. N; BOCUTI, E. D; ALMEIDA, C. O. S; RODRIGUES, R. V. Spatio-temporal variability of erosivity in Mato Grosso, Brazil. **Revista Ambiente e Água**, v. 13, p. 1-14, 2018.

DUARTE, C. C. Eventos Extremos de Chuva e Análise da Suscetibilidade a Movimentos de Massa no Município de Ipojuca-Pe. **Tese** (Doutorado em Geografia) – Departamento de Ciências Geográficas, Universidade Federal de Pernambuco. 2015.

EAKIN, H; LUERS, A. L. Assessing the Vulnerability of Social-Environmental Systems. **Annual Review of Environment and Resources**, 2006, Vol. 31:365-394.

EICHENBERG, F. O; SILVA, C. A. Análise da atividade turística a partir da Teoria Geral dos Sistemas: a condição sistêmica como paradigma. **Contribuciones a las Ciencias Sociales**, 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. Agência de Informação Embrapa. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: Fevereiro de 2019.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. Manual de Métodos de Análise dos Solos. 2011. Disponível em: www.Embrapa.br. Acesso em Junho de 2019.

FACADIO, A. C. C.; SATO, A. M.; CORREA JUNIOR, L. D. S.; COELHO NETTO, A. L. Reativação de Voçorocas em Resposta a Mudança de Uso Pastoril para Plantio de Eucalipto em Vales de Cabeceiras Adjacentes: Médio Vale do Rio Paraíba do Sul. **Revista Geonorte**, v. 10, 2014.

FALCÃO, C. J. M. K. Suscetibilidade à Erosão Laminar (PNE) em Machados – PE. **Monografia** (Bacharelado em Engenharia Florestal) - Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2018.

FARIA, A. L. L.; SILVA, J. X.; GOES, M. H. B. Análise Ambiental Por Geoprocessamento em Áreas com Suscetibilidade à Erosão do Solo na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Espírito Santo, Juiz de Fora (MG). **Caminhos de Geografia** 4(9)50-65, jun/ 2003.

FARIA, D. G. M. AUGUSTO FILHO, O. Aplicação do Processo de Análise Hierárquica (AHP) no Mapeamento de Perigo de Escorregamentos em Áreas Urbanas. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, 34 (1), 23-44, 2013.

FARIAS FILHO, M. S.; MACEDO, L. T. S.; SANTOS, A. L.; CAMPOS, A. A. C. Processos Erosivos Urbanos e a Qualidade dos Corpos Hídricos em Buriticupu, Maranhão. **Revista Geografia em Atos**, Departamento de Geografia, Faculdade de Ciências e Tecnologia, UNESP, Presidente Prudente, n. 09, v. 02, p. 44-56, mês 03. Ano 2019.

FEIL, A. A.; SCHREIBER, D.; TUNDISI, J. G. A Complexidade do Sistema Ambiental e Humano e sua Relação com a Sustentabilidade. **Sustentabilidade em Debate** - Brasília, v. 6, n. 1, p. 37-52, 2015.

FERREIRA, E. P.; FERREIRA, J. T. P.; PANTALEAO, F. S.; FERREIRA, Y. P. Desafios para a Gestão da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú - Diagnóstico Ambiental de Trechos da Bacia Localizada no Estado de Alagoas. **Enciclopédia Biosfera**, v. 08, p. 1123-1134, 2012.

FERREIRA, M. C. Considerações Teórico-Metodológicas Sobre as Origens e a Inserção do Sistema de Informação Geográfica na Geografia. In: VITTE, Antonio Carlos (org.). **Contribuições à história e à epistemologia da geografia**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

FERREIRA, N. C. Apostila de Sistema de Informações Geográficas. Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás, 2006.

FIERZ, M. A Teoria do Equilíbrio Dinâmico em Geomorfologia. **GEOUSP Espaço E Tempo**, v. 19, p. 605-629, 2015.

FITZ, Paulo Roberto. **Geoprocessamento sem complicações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FONSECA, A. C. Geoquímica dos Solos. In: GUERRA, A. J. T. SILVA, A. S. BOTELHO, R. G. M. **Erosão e Conservação dos Solos**: Conceitos, Temas e Aplicações. 4. Ed. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil, 2009.

GARANHUNS. Lei Nº 3620/2008. Institui o Plano Diretor Participativo do Município de Garanhuns, instrumento da política urbana e ambiental, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.garanhuns.pe.gov.br/wp-content/uploads/2015/02/PLANO-DIRETOR-.pdf>> Acesso em: setembro de 2019.

GAROSI, Y; SHEKLABADI, M; CONOSCENTI, C; POURGHASEMI, H. R; OOST, K. V. Assessing the Performance of GIS- Based Machine Learning Models with Different Accuracy Measures for Determining Susceptibility to Gully Erosion. **Science of the Total Environment**, v. 664, p. 1117–1132, 2019.

GASHAW, T; TULU, T; ARGAW, M. Erosion Risk Assessment for Prioritization of Conservation Measures in Geleda Watershed, Blue Nile basin, Ethiopia. Gashaw *et al.* **Environ Syst Res**, v. 6:1, 2017.

GAYEN, A; POURGHASEMI, H. R; SAHA, S; KEESSTRA, S; BAI, S. Gully Erosion Susceptibility Assessment and Management of Hazard-prone Areas in India Using Different Machine Learning Algorithms. **Science of the Total Environment**, Volume 668, 2019.

GHAFAARI, H; GORJI, M; ARABKHEDRI, M; ROSHANI, G. A; HEIDARI, A; AKHAVAN, S. Identification and prioritization of critical erosion areas based on onsite and offsite effects. **Catena**, v. 156, p. 1–9. 2017.

GHORBANI, N; MAKIAN, H; BREYER, C. A GIS-based Method to Identify Potential Sites for Pumped Hydro Energy Storage - Case of Iran, **Energy**, 2018.

GUERRA, A. J. T. ALMEIDA, J. R. ARAUJO, G. H. S. **Gestão Ambiental de Áreas Degradadas**. 1. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.

GUERRA, A. J. T. BOTELHO, R. G. M. Características e Propriedades dos Solos Relevantes Para os Estudos Pedológicos e Análises dos Processos Erosivos. **Anuário do Instituto de Geociências**. V. 19, 1996.

GUERRA, A. J. T. Experimentos e Monitoramentos em Erosão dos Solos. **Revista do Departamento de Geografia**, 16, 2005.

GUERRA, A. J. T; FULLEN, M. A; JORGE, M. C. O; ALEXANDRE, S. T. Erosão e Conservação de Solos No Brasil. **Anuário Do Instituto de Geociências** - UFRJ, vol. 37, no 1, 2014.

GUERRA, A. J. T; MENDONÇA, J. K. S. Erosão dos Solos e a Questão Ambiental. In: VITTE, Antonio Carlo. GUERRA, Antonio Teixeira. **Reflexões Sobre a Geografia Física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

GUERRA, A. J. T. O Início dos Processos Erosivos. *In*: GUERRA, A. J. T. SILVA, A. S. BOTELHO, R. G. M. **Erosão e Conservação dos Solos**: Conceitos, Temas e Aplicações. 4. Ed. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil, 2009.

GUERRA, A. J. T. Processos Erosivos nas Encostas. *In*: GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia**: uma atualização de bases e conceitos. 3.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. P. 149-209.

GRILO, R. C; ENAMI, L. M. Gestão de Bacias Hidrográficas com o Uso de Modelo Preditivo de Erosão dos Solos e Sistemas de Informação Geográfica. Unar. **Revista Científica do Centro Universitário de Araras** "Dr. Edmundo Ulson", v. 2, p. 21-23, 2008.

GIMENES, F. B. Q. AUGUSTO FILHO, O. Mapas de Fragilidade Ambiental Utilizando o Processo de Análise Hierárquica (AHP) e Sistema de Informação Geográfica (SIG). **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE.

GODOI, W. C. Método de Construção das Matrizes de Julgamento Paritários no AHP - Método do Julgamento Holístico. **Revista Gestão Industrial**, v. 10, p. 474-493, 2014.

GOURFI, A; DAOUDI, L. Effects of Land Use Changes on Soil Erosion and Sedimentation of Dams in Semi-Arid Regions: Example of N'Fis Watershed in Western High Atlas, Morocco. **Journal Earth Science Climatic Change**, v. 10:3, 2019.

GURGEL, F.L.; GURGEL, R.S.; NASCIMENTO, W.M.O.; SOARES, A.C.S. Localização geográfica de acessos do banco ativo de germoplasma de camucamuzeiro (*Myrciaria dubia* H.B.K. McVaugh) da Embrapa Amazônia Oriental. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE.

HEMBRAM, T. K; PAUL, G. C; SAHA, S. Comparative Analysis Between Morphometry and Geo-Environmental Factor Based Soil Erosion Risk Assessment Using Weight of Evidence Model: a Study on Jainti River Basin, Eastern India. **Environ. Process**, v. 6, p. 883–913, 2019.

HUETE, A. R. A Soil-Adjusted Vegetation Index. **Remote Sensing of Environment**. 25: 295-308, 1988.

HU, F; LIU, J; XU, C; WANG, Z; LIU, G; LI, H; ZHAO, S. Soil Internal Forces Initiate Aggregate Breakdown and Splash Erosion. **Geoderma**, v. 320, p. 43–51, 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual Técnico de Geomorfologia**. Manuais técnicos em geociências. 2ª. Ed., Rio de Janeiro: IBGE, 2009. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: Julho de 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual Técnico de Pedologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em: Maio de 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual Técnico**

de Uso da Terra. 2ª Edição. 2006. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em: Maio de 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Plataforma Cidades: Garanhuns. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br>. Acesso em: Abril de 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Produção Agrícola 2018. In: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/home/pnadct/pernambuco>. Acesso em: Novembro de 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA-INMET. Dados Históricos de Garanhuns-PE. Acesso em: www.inmet.gov.br. Acesso em: Fevereiro de 2019.

ISSAKA, S; ASHRAF, M. A. Impact of Soil Erosion and Degradation on Water Quality: a Review. **Geology, Ecology, and Landscapes**, v. 1(1), p. 1–11, 2017.

ISSA, M; LE BISSONNAIS, Y; DÉFARGE, C; TRICHET, J. Role of a cyanobacterial cover on structural stability of sandy soils in the Sahelian part of western Niger. **Geoderma** Volume 101, Issues 3–4, April 2001, Pages 15-30.

JANSEN, D. S. Composição Florística e Fitossociológica de um Remanescente de Vegetação Nativa da Comunidade de Inhumas, Garanhuns – PE. **Monografia** (Bacharelado em Agronomia) - Departamento de Agronomia da Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2018.

KHAZAELI, M; JAVADPOUR, L; ESTRADA, H; TAKBIRI-BORUJENI, A. Assessment of Levee Erosion Using Image Processing and Contextual Cueing. **J Ecosys Ecograph**, n. 9, v. 255, 2018.

KHEIR, R. B; CERDAN, O; ABDALLAH, C. Regional Soil Erosion Risk Mapping in Lebanon. **Geomorphology**. 82. 347-359, 2006.

KLINGEBIEL, A.A. & MONTGOMERY, P.H. **Land Capability Classification**. Washington, USDA, 1961.

KOUKOLÍČEK, J; HEROUT, M; PULKRÁBEK, J; PAZDERŮ, K. Influence of Soil Conservation Practices on Legume Crops Growth. Plant, **Soil and Environment**, vol. 64, no No. 12, 2018.

LANG, S. BLASCHKE, T. **Análise da Paisagem com SIG**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

LEMOES, J. E; SOUZA, B. I; DINIZ, M. T. M. Sistemas, caos e o processo de desertificação no Semiárido Brasileiro: complexidade e interações. **Ateliê Geográfico**, 14(1), p. 136-154, 2020.

LIMA, C. E. S; GOMES, DANIEL DANTAS MOREIA; MORAIS, R. D; COSTA, S. O. S; SANTOS, E. M. Utilização de Dados de Sensoriamento Remoto no Monitoramento da Degradação da Cobertura Vegetal do Município de Garanhuns-PE. **Revista Eletrônica em**

Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 19, p. 923-935, 2015.

LIMA, D. L. S; CORDEIRO, A. M. N; BASTOS, F. H. Agentes condicionantes e desencadeadores de movimentos gravitacionais de massa na vertente úmida do maciço de Uruburetama, Ceará, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, V.08, N.04, 2015.

LIMA, E. M; CORRÊA, A. C. B; FONSECA, D. N. Dinâmica Geomorfológica Quaternária da Cimeira Estrutural Pernambuco-Alagoas, Planalto da Borborema. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 31, p. 142, 2016.

LI, G; LU, D; MORAN, E; DUTRA, L; BATISTELLA, M. Fractional forest cover mapping in the Brazilian Amazon with a combination of MODIS and TM images. **International Journal of Remote Sensing** (Print). v. 32, p. 7131-7149, 2011.

LI, X; CHEN, G; LIU, X; LIANG, X; WANG, S; CHEN, Y; PEI, F; XU, X. A New Global Land-Use and Land-Cover Change Product at a 1-km Resolution for 2010 to 2100 Based on Human–Environment Interactions. **Annals of the American Association of Geographers**, v. 107(5), p. 1040–1059, 2017.

LISBOA FILHO, J; IOCHPE, C. Introdução a Sistemas de Informações Geográficas com Ênfase em Bancos de Dados.XV JAI – Jornada de Atualização em Informática, XVI Congresso da SBC, Recife-PE, 4 a 9 de Agosto de 1996.

LIU, C; LI, Z; CHANG, X; HE, J; NIE, X; LIU, L; XIAO, H; WANG, D; PENG, H; ZENG, G. Soil Carbon and Nitrogen Sources and Redistribution as Affected by Erosion and Deposition Processes: A Case Study in a Loess Hilly-Gully Catchment, China. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 253, p. 11-22, 2018.

LIU, J; MOONEY, H; HULL, V; DAVIS, S. J; GASKELL, J; HERTEL, T; LUBCHENCO, J; SETO, K. C; GLEICK, P; KREMEN, C; LI, S. Systems Integration for Global Sustainability. **Science**, 347, 2015.

LU, D; LI, G; VALLADARES, G, S; BATISTELLA, M. Mapping soil erosion risk in Rondônia, Brazilian Amazonia: using RUSLE, remote sensing and GIS. **Land Degradation and Development**, 15, 499–512, 2004.

LYU, H. M; SUN, W. J; SHEN, S. L; ARULRAJAH, A. Flood Risk Assessment in Metro Systems of Mega-Cities Using a GIS-Based Modeling Approach. **Science of the Total Environment**, v. 626, p. 1012–1025, 2018.

MACEDO, D. R; HUGHES, R. M; KAUFMANN, P. R; CALLISTO, M. Development and Validation of an Environmental Fragility Index (EFI) for the Neotropical Savannah Biome. **Science of the Total Environment**, v. 635, p. 1267–1279, 2018.

MACHADO, B. F. S. A Conservação de Solos em Portugal Continental Centro Experimental de Erosão de Solos de Vale Formoso. **Dissertação** (Mestrado Gestão do Território Área de Especialização em Ambiente e Recursos Naturais) Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Nova Lisboa. 2018.

MAHMOOD, K; UL-HAQ, Z; FAIZI, F; TARIQ, S; NAEEM, M. A; RANA, A. D.

Monitoring Open Dumping of Municipal Waste in Gujranwala, Pakistan Using a Combination of Satellite Based Bio-Thermal Indicators and GIS Analysis. **Ecological Indicators**. v. 107, 2019.

MARANDOLA JR., E; HOGAN, D. J. Vulnerabilidades e riscos: entre Geografia e Demografia. **Revista Brasileira de Estudos de População** (Impresso), São Paulo, v. 22, n.1, p. 29-53, 2005.

MANDAL, D. SHARDA, V. N. Assessment of permissible soil loss in India employing a quantitative bio-physical model. **Current Sci.**, 100, 383–390, 2011.

MANDAL, D. SHARDA, V. N. Appraisal of Soil Erosion Risk in the Eastern Himalayan Region of India for Soil Conservation Planning. **Land Degrad. Dev**, v. 24, p. 430–437, 2013.

MAPBIOMAS. Dados do mapa de uso e cobertura da terra. Disponível em: <https://mapbiomas.org/como-faco-para-citar-os-dados-do-mapbiomas>. Acesso em: Fevereiro de 2019.

MARTINI, L. C. P; UBERTI, A. A. A; SCHEIBE, L. F; COMIN, J. J; OLIVEIRA, M. A. T. Avaliação da Suscetibilidade a Processos Erosivos e Movimentos de Massa: Decisão Multicriterial Suportada em Sistemas de Informações Geográficas. **Geol. USP Sér. Cient.**, São Paulo, v. 6, n. 1, p. 41-52, 2006.

MELLO, G; BUENO, C. R. P; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de perdas de solo, do potencial natural e risco de erosão em áreas intensamente cultivadas. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 315-322, June, 2006.

MELO, F. P; ALMEIDA, J. P. Análise das Feições Geomorfológicas e dos Processos Morfodinâmicos do Sítio Urbano de Garanhuns-PE. **Ambivalências – Revista do Grupo de Pesquisa “Processos Identitários e Poder”** - GEPIIP V. 01, n. 1, jan-jun/2013.

MELO, F. P. Análise das Feições Geomorfológicas e dos Processos Morfodinâmicos na Dinâmica do Sítio Urbano: o caso de Garanhuns-PE. **Dissertação** (Mestrado em Geografia) – Departamento de Geociências, Universidade Federal de Sergipe. 2013.

MELO, F. P. Modelo de Uso e Ocupação da Paisagem no Município de Garanhuns-PE. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 10, p. 2198-2207, 2015.

MELO, F. P. Risco Ambiental e Ordenamento do Território em Garanhuns-PE. **Tese** (Doutorado em Geografia) – Departamento de Geociências, Universidade Federal de Sergipe. 2016.

MELO, J. I. M; RODAL, M. J. N. Levantamento florístico de um trecho de floresta serrana no Planalto de Garanhuns, Pernambuco. **Acta Scientiarum. Biological Sciences** (Online), Maringá, v. 25, n.1, p. 173-178, 2003.

MERINO-SAUM, A; BALDI, M. G; GUNDERSON, I; OBERLE, B. Articulating natural resources and sustainable development goals through green economy indicators: A systematic analysis. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 139, p. 90–103, 2018.

MONTEBELO, L. A; CASAGRANDE, C.A; BALLESTER, M, V. R; VICTORIA, R. L; CUTOLO, A. P. A. Relação entre uso e cobertura do solo e risco de erosão nas áreas de preservação permanente na bacia do ribeirão dos Marins, Piracicaba-SP. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005, Goiânia. **Anais XII SBSR**, 2005. p. 3829-3826.

MONTEIRO, C. A. F. **Geossistemas**, A História de uma Procura. São Paulo, Qeousp 3 - Novas abordagens, Editora Contexto, 2000.

MONTEIRO, K. A. Análise Geomorfológica da Escarpa Oriental da Borborema a partir da Aplicação de Métodos Morfométricos e Análises Estruturais. **Tese** (Doutorado em Geografia) - Departamento de Ciências Geográficas, Universidade Federal de Pernambuco. 2015.

MONTGOMERY, D. R. Soil erosion and agricultural sustainability. **Pnas**, n.33, v. 10, 2007.

MORAES, M. A. M. Pelas Ruas, Escolas, Comércio e Propriedades Rurais: O itinerário dos Integralistas em Garanhuns-PE entre os Anos de 1935 até 1937. **Revista Eletrônica História em Reflexão**: Vol. 6 n 12-UFGD. 2012.

MORAIS, L. V; AMADOR, Maria. B. M. Uso da Terra no Entorno da Represa Cajarana - Distrito de São Pedro em Garanhuns-pe. In: **ANAP**, 2011, Tupã-SP. Fórum Ambiental da Alta Paulista. TUPÃ: ANAP, 2011. v. VII.-----

MOREIRA, F. R; BARBOSA, C; CÂMARA, G; ALMEIDA FILHO, R. Inferência Geográfica e Suporte à Decisão. In. CÂMARA, G. *et al.* **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. Alos DEM data. Disponível em: <https://disasters.nasa.gov/programs/alos-2>. Acesso em: Março de 2019.

NIROUMAND, H; FAIZI, K; NAZI, R; KASSIM, K. A; ADHAMI, B; MOAYEDI, H. Slope Stability and Sheet Pile and Contiguous Bored Pile Walls. **EJEG**, Vol. 17, 2012.

NOVARA, A; PISCIOTTA, A; MINACAPILLI, M; MALTESE, A; CAPOCIDI, F; CERDÀ, A; GRISTINA, L. The Impact of Soil Erosion on Soil Fertility and Vine Vigor. A Multidisciplinary Approach Based on Field, Laboratory and Remote Sensing Approaches. **Science of the Total Environment**, v. 622–623, p. 474–480, 2018.

NOVO, E. **Sensoriamento Remoto**. Princípios e Aplicações. Evelyn M. L. de Moraes Novo. 2010 — 4ª edição.

NUNES, M. S. CRUZ, J. P. M. SANTA. I. L. AZEVEDO, R. J. V. Técnicas de conservação no combate à erosão do solo: estudo da eficiência do muro de Gabiões no bairro Nacional, Contagem/Minas Gerais. Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento, Instituto de Geociências - UNICAMP, 2017.

OLIVEIRA, M. A. T. Processos Erosivos e Preservação de Áreas de Risco de Erosão Por Voçorocas. In: GUERRA, A. J. T. SILVA, A. S. BOTELHO, R. G. M. **Erosão e Conservação dos Solos**: Conceitos, Temas e Aplicações. 4. Ed. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil, 2009.

OLIVEIRA, P. T. S. RODRIGUES, D. B. B. ALVES SOBRINHO, T. PANACHUKI, E. Processo Analítico Hierárquico Aplicado a Vulnerabilidade Natural a Erosão. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 28, n. 4, 2009.

PAIBOONVORACHAT. C. OYANA. T. J. Land-cover changes and potential impacts on soil erosion in the Nan watershed, Thailand. Thailand, **International Journal of Remote Sensing**, 2014, 32:21, 6587-6609.

PANDEY, A; MATHUR, A; MISHRA, S.K. Soil erosion modeling of a Himalayan watershed using RS and GIS. **Environ Earth Sci**, 59, 399–410, 2009.

PANDEY, R; JHA, S. K; ALATALO, J. M; ARCHIE, K. M; GUPTA, A. K. Sustainable Livelihood Framework-Based Indicators for Assessing Climate Change Vulnerability and Adaptation for Himalayan Communities. **Ecological Indicators**, v. 79, p. 338–346, 2017.

PEDRO, F. G; LORANDI, R. Potencial natural de erosão na área periurbana de São Carlos – SP. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, vol. 1, n.56, p. 28-33, 2004.

PEREIRA, L. H. Caracterização da Erosão Hídrica Laminar do Solo em Bacia Hidrográfica com Base na Malha Fundiária, por Meio de Sensoriamento Remoto. **Dissertação** (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. 2010.

PEREIRA, M. L. T; SOARES, M. P. A; SILVA, E. A; MONTENEGRO, A. A. A; SOUZA, W. M. Variabilidade Climática no Agreste de Pernambuco e os Desastres Decorrentes dos Extremos Climáticos. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 2, p. 394-402, 2017.

PFALZGRAFF, P. A. Mapa de Suscetibilidade a Deslizamentos na Região Metropolitana do Recife. **Tese** (Doutorado em Geociências) – Centro de Geotecnologias Geociências, Universidade Federal de Pernambuco. 2007.

PHINZI, K; NGETAR, N. S. The Assessment of Water-Borne Erosion at Catchment Level Using GIS-Based RUSLE and Remote Sensing: A Review. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 7, p. 27–46, 2019.

PUPIM, F. N; BIERMAN, P. R; ASSINE, M. L; ROOD, D. H; SILVA, A; MERINO, E. R. Erosion rates and landscape evolution of the lowlands of the Upper Paraguay river basin (Brazil) from cosmogenic ¹⁰Be. **Geomorphology** (Amsterdam), p. 151-160, 2015.

PREISE, R; BIGGS. R; ALTA, V; FOLKE, C. Social-Ecological Systems as Complex Adaptive Systems: Organizing Principles for Advancing Research Methods and Approaches. **Ecology and Society**, v. 46, 2018.

REIMANN, L; VAFEIDIS, A.T; BROWN, S; HINKEL, J; TOL, R. S. J. Mediterranean UNESCO World Heritage at risk from coastal flooding and erosion due to sea-level rise. **Nat Commun**, v. 9, n. 4161, 2018.

RELLINI, I. C; SCOPESE, S; OLIVARI, S; FIRPO, M; MAERKER, M. Assessment of Soil

Erosion Risk in a Typical Mediterranean Environment Using a High Resolution RUSLE approach (Portofino promontory, NW-Italy). **Journal of Maps**, v. 15, n. 2, p. 356–362, 2019.

RIBEIRO, A. S; MINCATO, R. L; CURI, N; KAWAKUBO, F. S. Vulnerabilidade ambiental à erosão hídrica em uma sub-bacia hidrográfica pelo processo analítico hierárquico. **Revista Brasileira de Geografia Física**. V. 09 N. 01 (2016) 016-031.

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento**: Tecnologia transdisciplinar. Editora do autor, 2009.

ROCHA, L. H. Erosão, Degradação e Manejo para Conservação do Solo no Município de Tenente Portela – RS. **Monografia** (Bacharelado em Desenvolvimento Rural) - Faculdade de Ciências Econômicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2017.

RODRIGUES, L. I. C; SILVA, R. M. N. Uso do VANT no Aterro de Resíduos Sólidos do Jangurussu-Fortaleza, CE-para Fins de Análise de Risco Potencial à Erosão. **Monografia** (Bacharelado em Geologia) - Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará. 2018.

RODRIGUES, L. O; SOUZA, W. S; COSTA, V. S. O; PEREIRA, M. L. T. Influência dos Eventos de El Niño e La Niña no Regime de Precipitação do Agreste de Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10.6, p. 1995-2009, 2017.

RUDORFF, F. M; BONETTI, J. Avaliação da Suscetibilidade à Erosão Costeiras de Praia de Ilha de Santa Catarina. **Braz. J. Aquat. Sci. Technol.** 2010.

SAATY, T.L. 1980. **The Analytic Hierarchy Process**. McGraw Hill, New York.

SALOMÃO, F. X. T. Controle e Prevenção dos Processos Erosivos. In: GUERRA, A. J. T. SILVA, A. S. BOTELHO, R. G. M. **Erosão e Conservação dos Solos**: Conceitos, Temas e Aplicações. 4. Ed. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil, 2009.

SANCHES, F. O; VERDUM, R; FISCH, G. O Índice de Anomalia de Chuva (IAC) na avaliação das precipitações anuais em Alegrete/RS (1928-2009). **Caminhos da Geografia** (UFU. Online), v. 15, p. 73-84, 2014.

SATO, A. M; FACADIO, A. C. C.; SILVA, A. P. A.; NETTO, A.L.C.: COELHO-NETTO, A.L.; AVELAR, A. S. Relação entre a Implantação de Plantios de Eucalipto e o Desenvolvimento de Voçorocas: Bacia do Rio Sesmaria, Médio Vale do Rio Paraíba do Sul. In: IX Simpósio Nacional de Geomorfologia, 2012. **Anais do IX Simpósio Nacional de Geomorfologia**, 2012.

SCHARSICH, V; OTIENO, D. O; BOGNER, C. Climbing up the hills: expansion of agriculture around the Ruma National Park, Kenya. **Journal International Journal of Remote Sensing**, Volume 40, 2019.

SCHILINDWEIN, J. R; DURANTIL, R. R; CEMIN, G; FACALDE, L; AHLERT, S. Mapeamento de Uso e Cobertura do Solo do Município de Caxias do Sul (RS) através de imagens do Satélite CBER. XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007, Florianópolis. **XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, p. 1102-1107.

SEMENOV, Y. M. Landscape Planning: The Applied Branch in Complex Physical Geography. **Geography and Natural Resources**, vol. 38, no. 4, 2017.

SHEKHAR, S; XIONG, H. **Encyclopedia of GIS**. New York: SpringerScience+Buisness Media, LLC, 2007.

SHRESTHA, D. P; JETTEN, V. G. Modelling erosion on a daily basis, an adaptation of the MMF approach. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**. V. 64, 2018.

SILVA, A. S; ROSA, R. Mapa de Capacidade e Potencial do Uso da Terra do Município de Catalão (GO). **Caderno de Geografia**, v. 29, p. 954-977, 2019.

SILVA, C. A; PEREZ FILHO, A. Geografia, Turismo e Análise Sistêmica. In: VITTE, Antonio Carlos (org.). **Contribuições à história e à epistemologia da geografia**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

SILVA, F. G. B; MINOTTI, R. T; NETO, F. L; PRIMAVESI, O; CRESTANA, S. Previsão da perda de solo na Fazenda Canchim – SP (EMBRAPA) utilizando geoprocessamento e o USLE 2D. **Eng Sanit Ambient**, v. 15, n.2, p. 141-148, 2010.

SILVA, S. A; CANDEIAS, A. L. B; GOMES, D. D. M; SOUZA, W. M. Variabilidade Espaço-Temporal da Precipitação na Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú (PE/AL). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 23, p. 453-475, 2018.

SILVA, R. M; PAIVA, F. M. L. LIMA, F; SANTOS, C. A. G. Análise do Grau de Erodibilidade e Perdas de Solo na Bacia do rio Capiá Baseado em SIG e Sensoriamento Remoto. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 2, p. 26-40, 2009.

SILVEIRA, C. T; FIORI, A. P; SHILIPACK, P; DIAS, S. M. Mapeamento Preliminar da Suscetibilidade Natural a Movimentos de Massa da Serra do Mar Paranaense Apoiada na Análise Digital do Relevo. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 15, nº 1, 2014.

SOTCHAVA, V. - O estudo de geossistema. Trad. Monteiro e Romariz, São Paulo, IGEOG/USP, **Série Métodos em Questão**, 16:1-52,1977.

SOUCHÈRE, V; MILLAIR, L; BOUSQUET, F; PAGE, C; ETIENNE, M. Co-constructing with stakeholders a role-playing game to initiate collective management of erosive runoff risks at the watershed scale. **Environmental Modelling & Software**. Volume 25, Issue 11, November 2010, Pages 1359-1370.

SOUZA, F. G; MELO, V. F; ARAUJO, W. F; ARAUJO, T. H. C. Perdas de solo, água, carbono orgânico e nutrientes por erosão hídrica em diferentes cultivos e savana natural no norte da Amazônia. **Revista Ambiente e Água**, vol.14, n.1, 2019.

SOUZA, H. B; SOUZA JÚNIOR, J. P; CARVALHO, D. M; SANTOS, A. B; PIMENTEL, J. L; VILAÇA, L. F. Mecanismos de Comercialização na Agricultura Familiar em Miracica-PE. In: **IX Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão da Universidade Federal Rural de Pernambuco**, 2009, Garanhuns. Anais do IX JEPEX, 2009.

SOUZA, J. C; SALES, J. C. A; LOPES, E. R. N; ROVEDA, J. A. G; ROVEDA, S. R. M. M; LOURENÇO, R. W. Valuation methodology of laminar erosion potential using fuzzy inference systems in a Brazilian savanna. **Environ Monit Assess**, v. 191, n. 624, 2019.

SOUZA, J. O. P. Catenas e Detalhamento Expedito dos Solos da Bacia do Riacho do Saco - Serra Talhada/Pernambuco. **Geosul** (UFSC), v. 28, p. 163-182, 2013.

SOUZA, R. V. C. C; RIBEIRO, M. R; SOUZA JUNIOR, V. S; CORRÊA. M. M; ALMEIDA, M. C; CAMPOS, M. C. C; RIBEIRO FILHO, M. S; SCHULZE, S. M. B B. Caracterização de Solos em uma Topoclimossequência no Maciço de Triunfo - Sertão de Pernambuco. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, vol.34, n.4, 2010.

STEPHESON, W. J; KIRK, R. M; HEMMINGSEN, M. A. Forty three years of micro-erosion meter monitoring of erosion rates on shore platforms at Kaikōura Peninsula, South Island, New Zealand. **Geomorphology**, Volume 344, 1 November 2019, Pages 1-9.

SUMNER, P; NEL, W; RUGHOOPUTH, S; BOOJHAWON, R; DDHURMEA, K; LE ROUX, J; ANDERSON, R. Rainfall Erosivity and Soil Erosion Risk Assessment in Tropical Island Environments: A Case Study of Mauritius. In: Meadows M., Lin JC. **Geomorphology and Society. Advances in Geographical and Environmental Sciences**. Springer, Tokyo, 2016.

SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. Nova delimitação Semiárido. Resolução CONDEL nº 107, de 27/07/2017 e nº 115, de 23/11/2017.

SUTILI, F. J; DORNELES, R. S; VARGAS, C. O; KETTENHUBER, P. L. W. Avaliação da Propagação Vegetativa de Espécies Utilizadas na Estabilização de Obras de Terra com Técnicas de Engenharia Natural. **Ciência Florestal**, vol. 28, no 1, abril de 2018

TABARELLI, M. SANTOS, A. M. M. Uma Breve Descrição Sobre a História Natural dos Brejos Nordestinos. In: PORTO, Katia, C. CABRAL, J. J. P. TABARELLI, M. **Brejos de altitude em Pernambuco e Paraíba: história natural, ecologia e conservação**. — Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004.

TELLES, T. S. Conservação dos Solos e Preços de Terras Agrícolas no Brasil. **Tese** (Doutorado em Desenvolvimento Econômico) Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas. 2015.

TOLEDO, M. C. M; OLIVEIRA, S. M. B; MELFI, A. J. Da rocha ao solo: Intemperismo e Pedogênese. In: Teixeira, W. (Org.). **Decifrando a Terra**. 2ed.São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009.

TORRES, F. S. M. Carta de Suscetibilidade a Movimentos de Massa e Erosão no Município de Ipojuca-Pe. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco. 2014.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro, IBGE, Diretoria Técnica, SUPREN, 1977.

TROPPEMAIR, H; GALINA, M.H. Geossistemas. **Mercator**. 5, n.10. 2006.

UBIRAJARA, C. R. C. Garanhuns-PE, Ações Educativas e Dinâmica Socioespacial: Uma Análise Geohistórica das Relações Estabelecidas entre Religião, Estado e Educação. **Tese** (Doutorado em Geografia) – Centro de Humanidades, Universidade Estadual do Ceará. 2015.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. Dados do Satélite Sentinel-2. Disponível em: <https://www.usgs.gov>. Acesso em: Maio de 2019.

VALERIANO, M. M. TOPODATA: Guia para Utilização de Dados Geomorfológicos Locais. São José dos Campos: Inpe, 2008.

VICH, G; MARQUET, O; MIRALLES-GUASCH, C. Green Exposure of Walking Routes and Residential Areas Using Smartphone Tracking Data and GIS in a Mediterranean City. **Urban Forestry & Urban Greening**, 2018.

VITAL, S. R. O; FERREIRA, B; GIRÃO, OSVALDO; SANTOS, C. L; NUNES, F. C; SILVEIRA, T. A. Base Cartográfica Digital Como Instrumento Para a Identificação de Áreas Suscetíveis a Erosão e Movimentos de Massa em João Pessoa (PB), Brasil. **Revista Geográfica de América Central**, vol. 2, núm. 57, 2016.

WANG, Y; RAN, L; FANG, N; SHI, Z. Aggregate stability and associated organic carbon and nitrogen as affected by soil erosion and vegetation rehabilitation on the Loess Plateau. **CATENA**, v. 167, p. 257–265, 2018.

WISCHMEIER, WH. Use and misuse of the universal soil loss equation. **J. Soil Water Conserv.** Ankeny, 31:5-9, 1976.

WOLDEMARIAM, G. W; IGUALA, A. D; TEKALIGN, S; REDDY, R. U. Spatial Modeling of Soil Erosion Risk and Its Implication for Conservation Planning: the Case of the Gobebe Watershed, East Hararghe Zone, Ethiopia. **Land**, 2018, 7, 25.

XAVIER, J. P. S; BARROS, A. H. C; WEBBER, D. C; ACCIOLY, L. J. O; MARQUES, F. A; ARAUJO FILHO, J. C.; SILVA, A. B. Estimativa da Erosividade da Chuva por Diferentes Métodos e seu Impacto na Equação Universal de Perdas de Solo, no Semiárido Pernambucano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, p. 859-875, 2019.

XIONG, M; SUN, R; CHEN, L. Effects of Soil Conservation Techniques on Water Erosion Control: A Global Analysis. **Science of The Total Environment**, vol. 645, 2018.

XU, Q. X; WANG, T. W; CAI, C. F; LI, Z. X; SHI, Z. H. FANG, R. J. Responses of runoff and soil erosion to vegetation removal and tillage on steep lands. **Pedosphere**. 23(4): 532–541, 2013.

ZABIHI, M; MIRCHOOI, F; MOTEVALLI, A; DARVISHAN, A. K; POURGHASEMI, H. R; ZAKERI, M. A; SADIGHI, F. Spatial Modelling of Gully Erosion in Mazandaran Province, Northern Iran. **Catena**, v. 161, p. 1–13, 2018.

ZHANG, L; XIAO, T; HE, J. Erosion-based analysis of breaching of Baige landslide dams on the Jinsha River, China, in 2018. **Landslides** 16, 1965–1979, 2019.

ZHANG, H; ZHUANG, L. The impact of soil erosion on internal migration in China. **PLoS ONE**, 14(4): e0215124, 2019.

ZONEAMENTO AGROECOLÓGICO DO ESTADO DE PERNAMBUCO-ZAPE. Dados referentes ao ZAPE. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/4697/zoneamento-agroecologico-do-estado-de-pernambuco-zape>. Acesso em: Maio de 2019.

ZUAZO, V. H. D; PLEGUEZUELO, R. R. Soil-erosion and runoff pre-vention by plant covers. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, Springer Verlag (Germany), , 28 (1), 2008.

ANEXOS

Anexo A -Totais Pluviométricos

Anos	Total Mensal											
	Meses											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1984	36	4,1	168,2	237,8	178,8	81	196,7	131,1	52,8	11,8	2,7	0
1985	32,1	108,3	79,5	207	19,8	140,3	211,9	137,6	25,3	17,4	2,7	21,1
1986	11,5	65,3	167	159,4	64,7	140,2	122	57,9	97,1	7,3	12	21,8
1987	2,8	11,2	125,6	91,3	27,3	171,2	115,4	56,5	17	13,7	0	0
1988	6,3	46,7	162,4	50,9	28,9	118,3	268,6	105,9	58,2	8	37,1	85,5
1989	15,4	6,1	27	143,6	199,6	114,4	179,7	82,4	32,5	17,7	12,7	82,5
1994	4	52,9	31	26,8	168,2	298,7	167,7	121,4	88,8	10,6	18,6	12,1
1995	0	16,5	46,4	106,4	136,5	175,9	144,9	50	31	2,4	84,7	28
1996	10,8	52,7	9,6	161	138,1	160,5	128,9	138,9	21,9	9,2	37,6	1,9
1997	78	64	83,2	130,8	137,3	55,7	124	108,3	9,6	0	8,5	46,9
1998	6,5	13,1	15,8	49,7	69,9	80,1	110,4	77,1	26,3	3,6	0,7	0
1999	1,2	21,9	1,8	14,6	81,1	41,6	94	67,9	27,1	92,4	0	44,7
2000	85,3	46,1	31,4	75,4	85	181,2	153,3	166,1	135,1	6,8	10,9	81
2001	14,8	0,7	81,1	36,7	10,5	225,8	146,5	101,7	21,4	123	2,9	42
2002	216,4	15,4	75,9	83,8	171,3	170,6	109,9	124,4	16	19	15,3	172,9
2003	28,9	43,9	67,7	55,7	56,9	103,4	116,7	51,7	80,1	19	9,1	18,8
2004	191,8	115,8	62,3	59,6	81,5	247,7	204,5	91,3	113,2	4,3	5,4	6,3
2005	19,7	69	195,6	49,2	191,9	325,3	125,4	146,6	39,9	2,3	0,4	58,6
2006	4,1	37,5	115,8	72,8	148	212,9	161,1	88,9	62,7	8,7	36,7	0,3
2007	17,8	133,4	79,8	78,2	110,3	194,6	134,6	198,4	102,3	5,1	15	8,8
2008	2,8	25,8	240,1	70,3	203,9	84,7	144,8	92,9	19,2	17,7	0	49,6
2009	17,3	61	9	146,9	165,9	131,3	102,8	153,1	9,9	32,2	15,8	50
2010	110	44,8	119,9	220,7	43,6	427,5	147,5	112,9	123,6	83,7	1,7	10,4
2011	64,1	78,8	150,9	120,8	206,6	140,7	208,5	82,6	101,1	13,6	32,1	0
2012	16,6	24,6	3,8	37	64,8	72,7	90,1	115,5	11	7,5	1,4	6
2013	13,6	4,5	14,4	114,5	66,3	117,8	177,5	97,9	21,5	58,8	25,8	74,3
2014	13,8	20,9	62,1	152,8	176,5	120,8	144,7	131,3	68,4	173,6	16,1	17,9
2015	5,6	71,9	15,9	4,2	40,5	122,8	0	74,7	9	0	0	17,6
2016	87	49,2	35,2	12,7	63	34	45,1	34	15,5	10,4	3	0,8
2017	4	0,8	2	50,9	340,5	144,5	339,7	145,2	20,6	18,1	4	31,2
2018	34	0	42,6	105,7	141,1	44	51,8	24,3	3,8	1,8	6,2	35,2

APÊNDICES

Apêndice A - IAC Anual

Ano	Total Anual	Índice de Anomalia de Chuvas
1984	1101	2,369835461
1985	1003	1,326481433
1986	926,2	0,508832563
1987	613	-2,403779388
1988	976,8	1,047543928
1989	913,6	0,374687045
1994	1000,8	1,3030592
1995	822,7	-0,504531896
1996	871,1	-0,066174344
1997	846,3	-0,290787304
1998	453,2	-3,851083867
1999	488	-3,535901164
2000	1057,6	1,907778677
2001	807,1	-0,645820693
2002	1190,9	3,326953083
2003	665,9	-1,924665452
2004	1183,7	3,250298502
2005	1223,9	3,678286582
2006	949,5	0,756895306
2007	1078,3	2,128160599
2008	951,8	0,781382187
2009	895,2	0,178792003
2010	1446,3	6,046061436
2011	1119,8	2,56998909
2012	451	-3,87100921
2013	786,9	-0,828771572
2014	1098,9	2,347477874
2015	326,2	-5,001319591
2016	389,9	-4,424390334
2017	1101,5	2,375158695
2018	490,5	-3,513258729

Apêndice B - Matriz de Comparação

	Declividade	Uso	Solos	Pluviometria	Geologia	Horizontal	Vertical	Orientação
Declividade	1	3.0	4.0	4.0	6.0	8.0	8.0	8.0
Uso	0.333	1	2.0	3.0	5.0	6.0	6.0	6.0
Solos	0.25	0.5	1	2.0	4.0	5.0	5.0	5.0
Pluviometria	0.25	0.333	0.5	1	6.0	7.0	7.0	7.0
Geologia	0.167	0.2	0.25	0.167	1	5.0	5.0	5.0
Horizontal	0.125	0.167	0.2	0.143	0.2	1	1.0	1.0
Vertical	0.125	0.167	0.2	0.143	0.2	1.0	1	1.0
Orientação	0.125	0.167	0.2	0.143	0.2	1.0	1.0	1

Apêndice C -Pesos das Variáveis Utilizadas

Declividade	0.349
Uso	0.199
Solos	0.14
Pluviometria	0.15
Geologia	0.08
Horizontal	0.027
Vertical	0.027
Orientação	0.027

Apêndice D - Pesos da Variável de Declividade

Percentagem	Peso
0-3%	1
3-8%	1
8-20%	2
20-45%	3
>45%	3

Apêndice E - Pesos da Variável de Unidades Geológicas

Nome das Unidades	Peso
Belém do São Francisco	3
Complexo Cabrobó - Unidade 2	2
Complexo Cabrobó - Unidade 3	2
Complexo Cabrobó - Unidade 4	1
Granitóides indiscriminados	1

Apêndice F - Pesos da Variável de Solos

Domínio	Peso
Planossolo haplico	1
Argissolo amarelo	2
Argissolo vermelho-amarelo	3
Latossolo amarelo	3
Neossolo litólico	3
Neossolo regolítico	3

Apêndice G - Pesos da Variável de Uso e Cobertura da Terra

Classe	Peso
Formação Florestal	1
Formação Savânica	1
Formação Campestre	1
Pastagem	2
Cultura Anual e Perene	1
Cultura Semi-Perene	2
Mosaico de Agricultura e Pastagem	3
Infraestrutura Urbana	2
Outra Área Não Vegetada	3
Afloramento Rochoso	3
Mineração	3
Corpos D'água	1

Apêndice H - Pesos da Variável de Pluviometria

Classe em mm	Peso
490-600	1
600-700	2
700-931	3

Apêndice I - Pesos da Variável de Orientação das Vertentes

Classe	Peso
Noroeste	1
Oeste	1
Norte	1
Sudoeste	2
Nordeste	2
Sul	3
Sudeste	3
Leste	3

Apêndice J - Pesos da Variável de Curvatura Horizontal

Classe	Peso
Divergente	1
Planar	2
Convergente	3

Apêndice K - Pesos da Variável de Curvatura Vertical

Classe	Peso
Convexa	1
Retilínea	2
Côncava	3

Apêndice L - Fator Cp

2010		2015		2018	
CLASSES	CP	Classes	CP	Classe	Fator_CCP
Corpos d'Água	0,0	Formação Florestal	0,00004	Formação Florestal	0,00004
Cultura Semi-Perene	0,25	Formação Savânica	0,01	Formação Savânica	0,01
Formação Campestre	0,01	Formação Campestre	0,01	Formação Campestre	0,01
Formação Florestal	0,00004	Pastagem	0,10	Pastagem	0,10
Formação Savânica	0,01	Cultura Anual e Perene	0,25	Cultura Anual e Perene	0,25
Infraestrutura urbana	0,0	Cultura Semi-Perene	0,25	Cultura Semi-Perene	0,25
Mineração	0,30	Mosaico de Agricultura e Pastagem	0,25	Mosaico de Agricultura e Pastagem	0,25
Mosaico de Agricultura e Pastagem	0,25	Infraestrutura Urbana	0,0	Infraestrutura Urbana	0,00
Outra área não vegetada	0,30	Outra Área não vegetadas	0,30	Outra Área Não Vegetada	0,30
Pastagem	0,10	Afloramento Rochoso	0,0	Afloramento Rochoso	0,00
		Mineração	0,30	Mineração	0,30
		Corpos D'água	0,0	Corpos D'água	0,00

Apêndice M - Fator Ls

Declividade Percentagem	Fator LS
0 - 2,63	0,03 - 1,32
2,63 - 5,25	1,32 - 3,13
5,25 - 7,69	3,13 - 5,19
7,69 - 10,51	5,19 - 7,26
10,51 - 13,51	7,26 - 9,58
13,51 - 16,89	9,58 - 12,17
16,89 - 20,83	12,17 - 15,00
20,83 - 26,27	15,01 - 18,62
26,27 - 47,84	18,62 - 65,88

Apêndice N - Fator K

Classes	Fator_K
Neossolos Regolíticos	0,0171
Argissolos Vermelho-Amarelos	1,074
Latossolos Vermelho-Amarelos	0,02
Cambissolos Húmicos	0,06
Latossolos amarelos	0,028
Neossolos Flúvicos	0,0475
Neossolos Litólicos	0,035
Planossolos Háplicos	1,284
Argissolos Vermelhos	0,964

Apêndice O - Fator R

Pontos	Média	2010	2015	2018	Fator R	R2010	R2015	R2018
Garanhuns	864,80625	1446,3	326,2	490,5	469,507	857,0218	339,5011	369
São João	743,74	1059	526,5	554,5	405,257	751,0847	407,831	338
Saloá	581,4451613	0	293,7	507,3	337,5892	0	251,7425	407
Correntes	1186,190909	1248,5	1149,6	1141,6	635,1061	838,5419	862,977	616
Caetés	732,3636364	1116,9	400,2	564,6	403,2358	600,9869	300,5315	378
Brejão	984,578125	1605	703,9	847,6	560,832	922,8541	612,2624	516

Apêndice P - Grupos Paisagísticos

Grupos	Área em Km²
Af, T/H	40,09355577
Cfg, A/Fgl	0,02497268
Cfg, T/Fa	2,05304E-05
Cfg, T/Ff	0,000128383
Cfg, T/Fgl	0,000210916
Cm, A/Fgl	8,671287435
Cm, T/Fa	0,153165702
Cm, T/Ff	5,819293045
Cm, T/Fgl	0,04869171
Kfg, A/Fgl	1,313991512
Kfg, T/Fa	0,075061071
Kfg, T/Ff	0,000739747
Kfg, T/Fgl	0,000407412
Lfg, A/Fgl	17,4936666
Lfg, T/Fa	3,946215301
Lfg, T/Ff	2,745950356
Lfg, T/Fgl	0,78546002
Lm, A/Fgl	72,83577166
Lm, T/Fa	4,30699963
Lm, T/Ff	11,23263994
Lm, T/Fgl	1,44483282
M, A/Fgl	6,227275765
M, T/Fa	0,091372617
M, T/Ff	3,715346023
M, T/Fgl	0,04581527
Pfg, A/Fgl	11,9999718
Pfg, T/Fa	5,005876506
Pfg, T/Ff	0,284054901
Pfg, T/Fgl	0,411472377
Pm, A/Fgl	243,7766142
Pm, T/Fa	34,76935159
Pm, T/Ff	49,19300014
Pm, T/Fgl	9,895840193
Vfg, A/Fgl	5,528048068
Vfg, T/Fa	2,726123788
Vfg, T/Ff	0,212827196
Vfg, T/Fgl	0,179076957
Vm, A/Fgl	1,126048752
Vm, T/Fa	0,201812163
Vm, T/Ff	0,279497098
Vm, T/Fgl	0,090053586