

UFRRJ

INSTITUTO DE AGRONOMIA

INSTITUTO MULTIDISCIPLINAR

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

DISSERTAÇÃO

**Mapeamento geoecológico da suscetibilidade a enchente
associada à dinâmica de uso cobertura da terra na
bacia hidrográfica do Rio da Guarda- RJ**

Pâmela Suelen Pereira Mendanha Lopes Pereira

2021



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
INSTITUTO MULTIDISCIPLINAR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA



**MAPEAMENTO GEOECOLÓGICO DA SUSCETIBILIDADE A
ENCHENTE ASSOCIADO À DINÂMICA DE USO E COBERTURA DA
TERRA NA BACIA HIDRGRÁFICA DO RIO DA GUARDA-RJ**

PÂMELA SUELEN PEREIRA MENDANHA LOPES PEREIRA

Sob a Orientação do Professor
Gustavo Mota de Sousa

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestra em Geografia, no Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFRRJ, Área de Concentração em Espaço, Questões Ambientais e Formação em Geografia

Seropédica, RJ
04/2021

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico
Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

P436m

Suelen Pereira Mendanha Lopes Pereira, Pâmela, 1988- Mapeamento geocológico da suscetibilidade a enchente associada à dinâmica de uso cobertura da terra na bacia hidrográfica do Rio da Guarda- RJ / Pâmela Suelen Pereira Mendanha Lopes Pereira. - Rio de Janeiro, 2021. 96 f.

Orientador: Gustavo Mota de Sousa. Dissertação (Mestrado). -- Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em geografia (PPGGEO), 2021.

1. Inundações. 2. Morfometria. 3. Cartografia Geocológica. 4. Geoprocessamento. 5. SIG. I. Mota de Sousa, Gustavo , 1977-, orient. II Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Programa de Pós Graduação em geografia (PPGGEO) III. Título.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA



HOMOLOGAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 8 / 2021 - PPGGEO (12.28.01.00.00.00.35)

Nº do Protocolo: 23083.010708/2021-34

Seropédica-RJ, 12 de fevereiro de 2021.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA / INSTITUTO MULTIDISCIPLINAR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
PÂMELA SUELEN PEREIRA MENDANHA LOPES PEREIRA

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestra em Geografia**, no Programa de Pós-graduação em Geografia, área de concentração em Espaço, Questões Ambientais e Formação em Geografia.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 12/02/2021.

Conforme deliberação número 001/2020 da PROPPG-UFRRJ, de 30/06/2020, tendo em vista a implementação de trabalho remoto e durante a vigência do período de suspensão das atividades acadêmicas presenciais, em virtude das medidas adotadas para reduzir a propagação da pandemia de Covid-19, nas versões finais das teses e dissertações as assinaturas originais dos membros da banca examinadora poderão ser substituídas por documento(s) com assinaturas eletrônicas. Estas devem ser feitas na própria folha de assinaturas, através do SIPAC, ou do Sistema Eletrônico de Informações (SEI) e, neste caso, a folha com a assinatura deve constar como anexo ao final da tese / dissertação.

Gustavo Mota de Sousa. (Dr.) UFRRJ

(Orientador, presidente da banca)

Monika Richter. (Dra.). UFF

(membro da banca)

Mônica dos Santos Marçal. (Dra.). UFRJ

(membro da banca)

(Assinado digitalmente em 12/02/2021 23:50)
GUSTAVO MOTA DE SOUSA
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DeGEOIA (11.39.39)
Matrícula: 1766120

(Assinado digitalmente em 13/02/2021 09:17)
MONICA DOS SANTOS MARÇAL
ASSINANTE EXTERNO
CPF: 136.342.162-04

(Assinado digitalmente em 12/02/2021 20:42)
MONIKA RICHTER
ASSINANTE EXTERNO
CPF: 014.557.977-82

Para verificar a autenticidade deste documento entre em
<https://sipac.ufrj.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: **8**, ano: **2021**,
tipo: **HOMOLOGAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**, data de emissão: **12/02/2021** e o
código de verificação: **c254fa4069**

Eu andei nessa longa estrada para a liberdade. Tentei não vacilar, eu cometi erros ao longo do caminho. Mas eu descobri o segredo que depois de escalar um grande morro, só se descobre que há muitas mais montanhas para escalar. Tomei um momento aqui para descansar, para roubar uma visão da gloriosa vista que me rodeia, para olhar para trás na distância que eu percorri. Mas eu posso descansar apenas por um momento, pois com a liberdade vem a responsabilidade, e eu não me atrevo a perder, pois minha longa caminhada ainda não terminou.

Nelson Mandela- Long Walk to Freedom

Dedico este trabalho a minha família, Clayton, Nathan e Ágatha que tiveram seus dias de convívio roubados e ainda assim me proporcionaram o apoio e compreensão que tanto precisava.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por tudo que tem feito na minha vida e por ter me dado forças para persistir e chegar até aqui, e ter me proporcionado a oportunidade de fazer o mestrado neste Programa de Pós-Graduação.

A Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, onde me foi propiciado um grande aprendizado e troca de saberes.

Ao corpo docente do curso de Geografia e o de Pós-Graduação em Geografia (PPGGEO) da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ (Intra - Campi), pois foi com meus professores que consegui aprender a linda ciência que é a Geografia e pude compreender toda dinâmica que se arrola no espaço.

Ao grupo de pesquisa Geocart da Universidade Federal do Rio de Janeiro- UFRJ. Neste grupo aprendi mais sobre o desenvolvimento da minha pesquisa, a selecionar e tratar dados primários e desenvolvi grande parte dos mapas e resultados dispostos nesta pesquisa.

Ao meu orientador, Gustavo Mota, pela paciência, dedicação e amizade que foi construída ao longo deste trabalho.

A professora Mônica Richter por ter me dado todo apoio necessário para que eu ingressasse e concluísse o mestrado, além de ser uma grande incentivadora que eu siga a carreira acadêmica e por ser essa mãezona que está sempre disposta a me ajudar e auxiliar.

Aos meus amigos e companheiros de curso de Graduação e Pós-Graduação que me deram força e apoio durante a caminhada: Laís, Thaís, Michella, Elizabeth, Fernanda, Gilson, Bruna e Isabella.

Ao meu marido maravilhoso, Clayton. Ele que foi tão paciente, atencioso, amigo e companheiro, principalmente nos momentos mais difíceis durante a minha gravidez e o nascimento da pequena Ágatha.

Aos meus maiores amores, Nathan e Ágatha, vocês são minha inspiração, minha razão de viver e é de onde tiro forças para continuar minha caminhada. Tudo que faço é pensando em vocês meus amores!

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001- This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001.

RESUMO

PEREIRA, Pâmela Suelen Pereira Mendanha Lopes. Mapeamento geológico da suscetibilidade a enchente associado a dinâmica de uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Rio da Guarda-RJ. 2021. 96p Dissertação (Mestrado em Geografia). Instituto de Agronomia, Departamento de Geografia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2021.

A bacia hidrográfica do Rio da Guarda, localizada a nordeste da Baía de Sepetiba faz parte da Região Hidrográfica II, sendo monitorada pelo Comitê de Bacias Hidrográficas do Guandu. Ela está localizada nos municípios de Seropédica, Itaguaí e Rio de Janeiro constituintes da Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro. A área de estudo possui um sistema hidrogeomorfológico, onde a substituição da cobertura vegetal deu lugar a áreas antrópicas com destaque para as feições urbanas e áreas de pastagem que modificaram profundamente o comportamento hidrológico. A presente pesquisa desenvolveu três análises para identificar dados relacionados a fragilidade ambiental da área de estudo com a produção de um mapa geológico da suscetibilidade ao risco dos processos de enchente e inundação. Para tanto, a primeira análise desenvolvida foi sobre os parâmetros morfométricos da bacia, onde foram produzidos dados sobre a análise linear, areal e hipsométrica da bacia hidrográfica do Rio da Guarda para indicar a suscetibilidade a enchente e inundação. Na segunda análise foram produzidos mapas temáticos temporais no período de 33 anos sobre o uso e ocupação do solo, a fim de identificar as modificações ocorridas sobre as classes existentes na bacia hidrográfica ao longo dos anos de 1985 até 2018. A terceira análise consistiu na metodologia analítica-integrativa do mapeamento geológico, onde foram produzidos dados sobre acumulação das águas, infiltração e permeabilidade, estes que quando combinados resultaram no mapa de suscetibilidade a enchente e inundação. Os resultados demonstram que na análise morfométrica de ordem linear e areal a bacia hidrográfica não apresenta suscetibilidade a enchente em períodos normais de precipitação, entretanto a análise hipsométrica proporciona resultados altos que quando combinados aos dados de declividade demonstram a suscetibilidade a inundação. Os mapas temporais mostraram nitidamente que a classe “formação florestal” apresentou um crescimento de 14, 57% e só foi possível por causa da Unidade de Conservação (Flona). Já a classe de pastagem que representa uma grande área dentro da bacia tem sido suprimida para dar lugar a áreas urbanas, estas que modificaram drasticamente o sistema hidrológico. O mapa de suscetibilidade revela claramente que os dados de acumulação das águas, infiltração e permeabilidade apresentam uma alta suscetibilidade no baixo curso, média suscetibilidade no médio curso e baixa suscetibilidade no alto curso.

Palavras-chaves: Inundações, Morfometria, Cartografia Geológica, Geoprocessamento e SIG

ABSTRACT

PEREIRA, Pâmela Suelen Pereira Mendanha Lopes. Geocological mapping of flood susceptibility associated with land use and land cover dynamics in the river basin of Rio da Guarda-RJ. 2021. 96p Dissertation (Master in Geography). Instituto de Agronomia, Departamento de Geografia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2021.

The hydrographic basin of Rio da Guarda, located northeast of Sepetiba Bay is part of Hydrographic Region II, being monitored by the Guandu Watershed Committee. It is located in the municipalities of Seropédica, Itaguaí and Rio de Janeiro that make up the Metropolitan Region of the State of Rio de Janeiro. The study area has a hydrogeomorphological system, where the replacement of vegetation cover has given way to anthropic areas with emphasis on urban features and pasture areas that have profoundly modified the hydrological behavior. The present research developed three analyzes to identify data related to the environmental fragility of the study area with the production of a geocological map of the susceptibility to the risk of the flood and flood processes. For this, the first analysis developed was on the morphometric parameters of the basin, where data were produced on the linear, sandy and hypsometric analysis of the hydrographic basin of Rio da Guarda to indicate the susceptibility to flooding. In the second analysis, thematic temporal maps were produced over a period of 33 years on land use and occupation, in order to identify the changes that occurred in the classes existing in the hydrographic basin from 1985 to 2018. The third analysis consisted of the analytical-integrative methodology of geocological mapping, where data on water accumulation, infiltration and permeability were produced, which when combined resulted in the flood susceptibility map. The results demonstrate that in the linear and sandy morphometric analysis the hydrographic basin does not show susceptibility to flooding during normal periods of precipitation, however the hypsometric analysis provides high results that when combined with the declivity data demonstrate the susceptibility to flooding. The temporal maps clearly showed that the class “forest formation” showed a growth of 14, 57% presented a growth of 14, 57% due to the Conservation Unit. The class of pasture that represents a large area within the basin has been suppressed to make way for urban areas, which have drastically modified the hydrological system. The susceptibility map clearly reveals that water accumulation, infiltration and permeability data show high susceptibility in the low course, medium susceptibility in the medium course and low susceptibility in the high course.

Key words: Floods, Morphometry, Geocological Cartography, Geoprocessing and GIS

LISTA DE FIGURAS

Figura 1a - Localização da bacia hidrográfica do Rio da Guarda.....	6
Figura 1b - Imagem de satélite da bacia hidrográfica do Rio da Guarda.....	7
Figura 2 - Ciclo hidrológico global.....	11
Figura 3 - Ciclo hidrológico terrestre.....	13
Figura 4 - Efeitos da urbanização sobre o ciclo hidrológico.....	14
Figura 5 - Fluxograma decorrente dos processos de urbanização e impactos.....	15
Figura 6 - Perfil esquemático dos processos hidrológicos.....	16
Figura 7 - Perfil esquemático de enchente, inundação e alagamentos.....	17
Figura 8 - Fluxograma do Geossistema.....	19
Figura 9 - Fluxograma sobre riscos ambientais.....	23
Figura 10 - Fluxograma da metodologia sobre morfometria.....	26
Figura 11 - Fluxograma da metodologia do Sensoriamento Remoto.....	32
Figura 12 - Fluxograma do mapeamento geocológico.....	33
Figura 13 - Legenda da construção do mapa de infiltração.....	35
Figura 14 – Localização da cobertura classe “Outra área não vegetada.....	36
Figura 15 - Comparação entre áreas com cobertura da classe “Outra área não vegetada.....	36
Figura 16 – Hierarquia Fluvial do Rio da Guarda.....	40
Figura 17 - Modelo Digital do Terreno da bacia hidrográfica do Rio da Guarda.....	44
Figura 18 - Curva Hipsométrica da bacia hidrográfica do Rio da Guarda.....	46
Figura 19 - Curva Hipsométrica: frequência e altitude.....	46
Figura 20 - Mapa de declividade da bacia hidrográfica do Rio da Guarda.....	48
Figura 21 - Mapa de uso e ocupação do solo 1985.....	50
Figura 22 - Mapa de uso e ocupação do solo 1996.....	51
Figura 23 - Mapa de uso e ocupação do solo 2007.....	55
Figura 24 - Mapa de uso e ocupação do solo 2015.....	53
Figura 25 - Mapa de uso e ocupação do solo 2018	54
Figura 26 - Comparação dos mapas de uso e ocupação.....	55
Figura 27 – Mapa de acumulação em altitude (metros).....	59
Figura 28 – Mapa de acumulação declividade (%)	60
Figura 29 – Mapa de acumulação das águas.....	62
Figura 30 – Tipos de solo na bacia hidrográfica do Rio da Guarda.....	64

Figura 31 – Permeabilidade da bacia.....	65
Figura 32 – Infiltração da bacia hidrográfica.....	66
Figura 33 – Mapa de suscetibilidade da bacia hidrográfica do Rio da Guarda.....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Principais conceitos da Geoecologia e seus autores.....	22
Tabela 2- Classificação da Densidade de Drenagem.....	29
Tabela 3- Classes de declividade.....	32
Tabela 4: Permeabilidade do solo.....	37
Tabela 5- Análise Linear da bacia hidrográfica do Rio da Guarda.....	42
Tabela 6- Análise Areal da bacia hidrográfica do Rio da Guarda.....	43
Tabela 7- Análise Hipsométrica da bacia hidrográfica do Rio da Guarda.....	44
Tabela 8- Faixas altitudinais da bacia hidrográfica do Rio da Guarda.....	46
Tabela 9- Classes de declividade da bacia hidrográfica do Rio da Guarda.....	48
Tabela 10: Sínteses dos dados de uso e ocupação do solo (1985 a 2018)	57
Tabela 11: Composição das classes de acumulação.....	62
Tabela 12: Suscetibilidade da bacia hidrográfica do Rio da Guarda.....	69

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	XVIII
LISTA DE TABELAS.....	X
INTRODUÇÃO	1
Justificativa	3
OBJETIVOS	5
• Objetivo geral	5
• Objetivos específicos	5
1. ÁREA DE ESTUDO	6
1.1 Características físicas.....	7
1.2 Dinâmica de ocupação espacial.....	8
2. REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1 Bacia hidrográfica.....	10
2.2 Conceitos de Enchentes, Inundação, enxurradas e Alagamentos.....	16
2.3 Morfometria de bacia hidrográfica	17
2.4 Geossistemas	18
2.4.1 A bacia hidrográfica em uma abordagem geossistêmica	20
2.5 Geoecologia.....	21
2.6 Conceitos de Risco, Vulnerabilidade, Fragilidade e Suscetibilidade	23
3. METODOLOGIA.....	26
3.1 Levantamento bibliográfico, cartográfico e de sensores remotos	26
3.2 Morfometria.....	26
3.2.1 Análise linear	27
3.2.2 Análise Areal	28
3.2.3 Análise hipsométrica.....	30
3.3 Geoprocessamento	32
3.4 Mapa de suscetibilidade a enchente e inundação	33
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	39
4.1 Característica física da bacia hidrográfica	39
4.1.1 Análise linear	41
4.1.2 Análise Areal	41
4.1.3 Análise hipsométrica.....	43
4.2 Uso e ocupação da terra	49
4.3 Geoecologia e o mapa de suscetibilidade a enchente e inundação.....	57
5. CONCLUSÕES FINAIS	73
6. REFERÊNCIAS	75

INTRODUÇÃO

Os problemas ambientais afloram com as modificações das paisagens, sobretudo nas áreas urbanas com as constantes modificações antrópicas que são intrínsecas a estes ambientes. Estas modificações acarretam em impactos negativos à natureza, especialmente aqueles com grande capacidade de degradação.

As enchentes e inundações são processos naturais que ocorrem em geoambientes suscetíveis ao fenômeno, entretanto na bacia hidrográfica do Rio da Guarda, todos os anos, em especial no período úmido e chuvoso do verão, as chuvas torrenciais que atingem a bacia geram diversos transtornos para a população por conta dos episódios recorrentes de enchentes.

Sendo assim, a presente pesquisa desenvolveu uma investigação sobre os aspectos físicos, a dinâmica histórica e socioespacial decorrente do modelo de uso e cobertura da terra e o mapeamento geoecológico para identificar a suscetibilidade aos eventos enchentes e inundação nessa bacia de drenagem.

A bacia hidrográfica do Rio da Guarda, localizada em Seropédica e Itaguaí, pertencente à Região Metropolitana do Rio de Janeiro (CEPERJ, 2014) passou por um longo período de modificação (ALONSO 1960; GOES, 1994; AMADOR, 1997; SAMADS 2001). As obras de modificações dos canais ocorrem desde o período colonial, causando modificações irreparáveis sobre a rede de drenagem na área de estudo.

Segundo Alonso (1960), Goes (1994) e Amador (1997), o Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS) entre o período de 1930 a 1940 foi o responsável por grandes modificações no sistema de drenagem com a abertura de canais, retificação e canalização de rios, assim como os cortes para abertura de estradas e rodovias. Essas modificações na região com intuito do desenvolvimento econômico e habitacional, associadas à mineração de areia por volta de 1950 incentivou a urbanização de forma desorganizada, causando grandes impactos para o sistema físico ambiental da bacia hidrográfica do Rio da Guarda (SEMADS, 2001).

O processo de urbanização foi acompanhado por uma modificação no perfil de equilíbrio dos rios, como explicado por Christofolletti (1980, p.7), que “materiais, processos e a geometria do modelado, compõem um conjunto autorregulador, sendo que toda forma é o produto de ajustamento entre materiais e processos”, sendo assim, o equilíbrio de um sistema é representado pelo ajustamento das variáveis internas condicionado a variáveis externas. As condições biogeográficas, climatológicas e litológicas vão condicionar a estruturação de determinada rede de drenagem, criando assim um perfil de equilíbrio que somente será modificado se ocorrer alterações nas variáveis condicionantes (CHRISTOFOLETTI, 1980).

A deterioração física é uma realidade nas bacias hidrográficas brasileiras -salvo as localizadas em área de preservação ambiental-, em condições naturais essas bacias hidrográficas estariam em equilíbrio, mas as intervenções antrópicas resultam em processos não naturais no sistema, procedendo em impactos ambientais que tornam essas áreas antes naturais, frágeis e suscetíveis ao fenômeno, e isso coloca a população local em risco.

Cerri (1999) afirma que para “uma situação de risco, é necessário que exista a possibilidade de ocorrência de um determinado processo em certo local, bem como que tal resultar em perdas e danos para ao homem”. As áreas urbanas onde há uma concentração populacional maior, a preocupação com os riscos é maior, pois a ocupação desordenada modifica o sistema físico-ambiental podendo intensificar processos até então de caráter natural.

O conceito que se relaciona com o de risco é o de suscetibilidade, sendo este a possibilidade de ocorrência de um evento (fenômeno relacionado a perdas e danos ao ser humano) em determinada área, com determinado fenômeno (ZANELLA *et al.*, 2018). Dessa forma, a suscetibilidade pode ser definida por características naturais da área e ser intensificada

devido a atuação humana no processo de transformação do espaço, como por exemplo, a impermeabilização do solo que pode contribuir significativamente na alteração da dinâmica hídrica natural (GUASSELI, *et al.*, 2013).

Assim, torna-se extremamente importante trabalhos que apresentem a fragilidade e suscetibilidade ambiental e a proposta deste estudo é gerar um mapa de suscetibilidade aos processos de enchentes e inundação com base em análise morfométrica e com auxílio da dinâmica temporal do uso e ocupação do solo. Trabalhos como este ajudam na prevenção e mitigação desses processos.

Justificativa

A maioria dos rios da Região Hidrográfica II possui seu baixo curso bastante modificado decorrente do processo histórico, isto pode ser observado pelas enchentes e inundações constantes na região por conta da topografia plana. Dessa maneira, diversos tipos de intervenções antrópicas foram realizados na área de estudo com o passar dos anos como: retificação, dragagem, canalizações e junção de dois ou mais rios.

Os primeiros dados referentes à ocupação e modificação na bacia hidrográfica do Rio da Guarda remontam desde 1616 até 1759 com os padres jesuítas (ALONSO, 1960 e SEMADS, 2001). Entretanto as obras que ocasionaram maiores modificações da drenagem foram realizadas pela Diretoria de Saneamento da Baixada Fluminense que no ano de 1940, incorporou-se ao DNOS - Departamento Nacional de Obras e Saneamento. A atuação deste órgão se dava na retificação de corpos hídricos, dragagem de áreas alagadiças, abertura de canais e construção de diques, precursores das obras de drenagem na região, efetuando serviços de abertura de valas, construção de pontes e diques marginais, com o objetivo de atenuar o problema das enchentes nos pastos e irrigar os campos e as fazendas (GOES, 1994; ALONSO, 1960).

Assim, com diversas obras de saneamento, modificações de canais, aberturas de estradas e rodovias as terras que antes consideradas insalubres foram ganhando formas para a habitação e o desenvolvimento econômico, entretanto, tais modificações corroboraram com a intensificação dos processos, antes naturais, de enchentes e inundações.

As inundações, de acordo com Amaral e Ribeiro (2012, p. 41), “são eventos naturais que ocorrem com periodicidade nos cursos d’água, frequentemente deflagrados por chuvas fortes e rápidas ou chuvas de longa duração”. Segundo Tucci (2005, p. 42) este é um processo natural que ocorre quando a precipitação é intensa, causada por eventos chuvosos, em que o solo perde a capacidade de infiltração, aumentando o escoamento superficial que rapidamente alcança os cursos d’água.

Christofoletti (2002) esclarece que por meio da ocupação e estabelecimento de suas atividades, os seres humanos usufruem o potencial e modificam o meio ambiente, eles se inserem como agentes modificadores da paisagem visual, assim como nos fluxos de matéria e energia, alterando o equilíbrio natural dos geossistemas. A ocupação da bacia hidrográfica tem promovido diversos problemas urbanos decorridos pela forte urbanização e densidade de construções como edifícios, casas e rodovias para atender a demanda populacional que cresce nos últimos tempos de forma expressiva, essas ocupações modificam os sistemas físicos. Dessa forma, a demanda pela água aumenta, porém a impermeabilização do solo e as modificações no sistema drenagem reduz o escoamento superficial e diminui o tempo de concentração na bacia o que acarreta os problemas de enchentes urbanas que proporciona um desequilíbrio ambiental.

Os problemas gerados por conta da ocupação indisciplinada na bacia hidrográfica e as modificações no sistema de drenagem tem resultado em impactos de ordem ambiental e social, onde em muitas das vezes resultam em desastres como no caso das enchentes urbanas. O mapeamento de áreas suscetíveis a inundação pode contribuir como uma técnica de análise quantitativa entre as relações hidrológicas, fisiográficas e antrópicas para planejar a ocupação e mitigar os problemas ambientais existentes.

A bacia hidrográfica do Rio Guarda tem a justificativa da pesquisa por estar em uma área que sofreu com alterações em seus canais desde o início da colonização no Brasil, além disso, apresentou grande crescimento populacional nas últimas décadas, resultante do processo de expansão urbana. No que se refere à inundação (embora seja um processo natural), no que diz respeito à urbanização, ela pode ocorrer em áreas nunca atingidas anteriormente ou em áreas

não suscetíveis à inundação, mas que se tornaram suscetíveis devido à ocupação da bacia (SOUZA, 1996).

Sendo assim, a presente pesquisa por se tratar de um estudo que leva em consideração os agentes causadores de inundação, principalmente na área urbana, devido à ação antrópica relacionado ao planejamento ambiental (análise da suscetibilidade ambiental), torna-se fundamental, pois levantar parâmetros físicos da bacia hidrográfica, desenvolver uma análise temporal de uso e ocupação do solo e gerar um mapa geocológico por meio da técnica analítico-integrativa (COELHO NETTO *et al.*, 2000) para gerar o mapa de suscetibilidade e identificar as áreas que possuem maior suscetibilidade a enchentes e inundações auxiliará na mitigação da suscetibilidade.

OBJETIVOS

- **Objetivo geral**

O objetivo desta pesquisa é realizar um mapeamento da suscetibilidade a enchente, bem como a análise das características físicas e de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Rio da Guarda para contribuir para sua caracterização e análise de condição a enchentes.

- **Objetivos específicos**

- ✓ Criar mapas de uso e ocupação do solo para área de estudo com os dados disponibilizados pelo Mapbiomas nos anos de 1985, 1996, 2007 e 2018;
- ✓ Selecionar e quantificar os parâmetros morfométricos para caracterização física da bacia hidrográfica por meio das análises linear, areal e hipsométrica;
- ✓ Construir um mapa de suscetibilidade a enchente a partir de um mapeamento geológico com os dados de uso e ocupação do solo, declividade, hipsometria e geomorfologia com técnicas de geoprocessamento em ambiente SIG.

1. ÁREA DE ESTUDO

A Bacia Hidrográfica do Rio da Guarda (BHRG) está localizada a nordeste da Baía de Sepetiba com uma área de 334,54 Km². Esta bacia faz parte da Região Hidrográfica II juntamente com as bacias hidrográficas do Rio Guandu e Rio Guandu Mirim, sendo monitorada pelo Comitê de Bacias Hidrográficas do Guandu. Ela está localizada nos municípios de Seropédica, que ocupa a maior parte da bacia, Itaguaí e Rio de Janeiro, na Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro (RMRJ) (CEPERJ, 2014). O principal rio da bacia é o mesmo que lhe dá nome, o rio da Guarda, está inserido na Classe 2/Classe 2 Salobra (ANA, 2007). As suas nascentes estão situadas na Serra do Couto, Serra do Mazomba, Serra do Piloto e Serra da Calçada; todos esses nomes locais são para se referir ao trecho da Serra do Mar, localizadas nos municípios de Itaguaí e Seropédica (figura 1a e 1b).



Figura 1a: Localização da bacia hidrográfica do Rio da Guarda

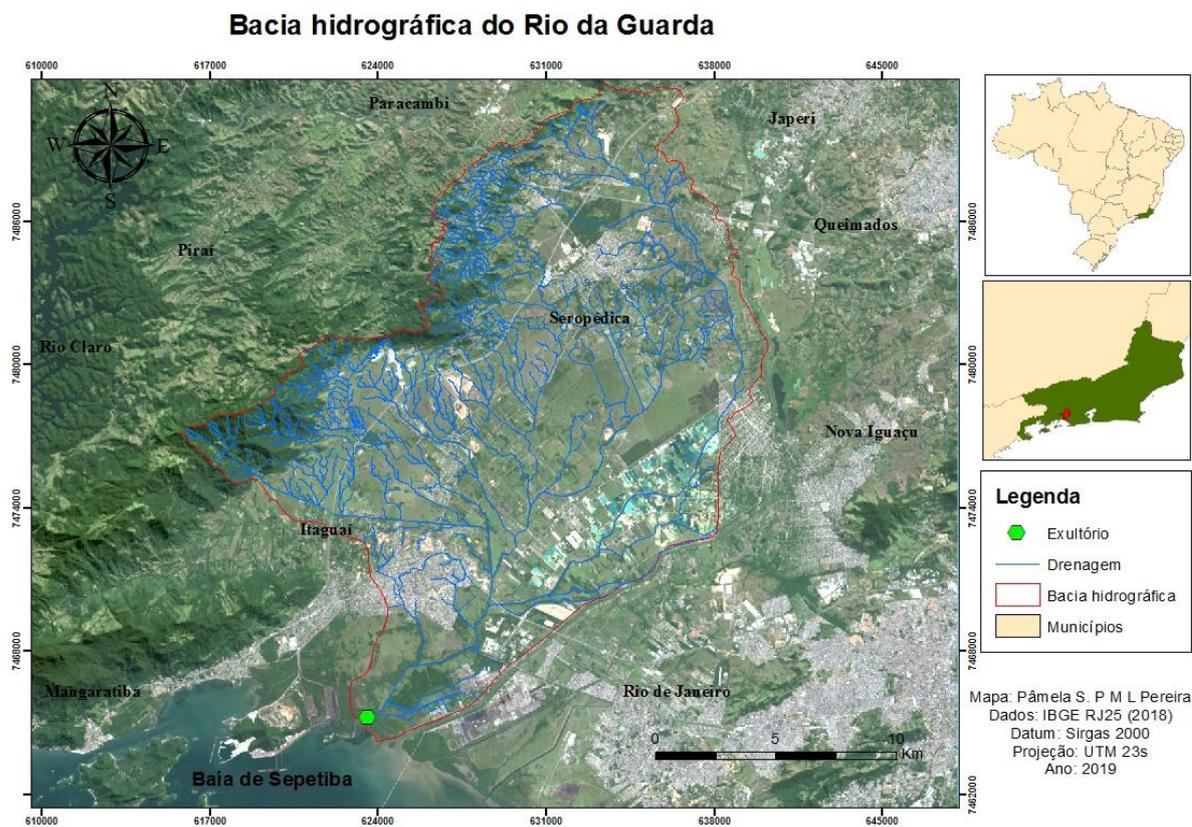


Figura 1 b: Imagem de satélite da bacia hidrográfica do Rio da Guarda

1.1 Características físicas

Na Bacia Hidrográfica do Rio da Guarda (BHRG) localiza-se no domínio geoambiental da Faixa litorânea, assim como o da Região Serrana (CPRM, 2000a).

A Faixa Litorânea corresponde a um extenso domínio heterogêneo, balizado pelo sopé da Serra do Mar e formado por baixadas e colinas isoladas. Os maciços integram o Planalto da Região Serrana, domínio composto por serras alinhadas e escarpas serranas. As áreas em questão, que estão inseridas na Região Metropolitana do Rio de Janeiro localizam-se nas proximidades das seguintes unidades geoambientais: Baixadas (Sepetiba), Colinas Isoladas, Serras Alinhadas e Escarpas Serranas, CPRM (2000a).

Na área de estudo são encontrados dois conjuntos fisiográficos distintos: Domínio Serrano representado por montanhas e escarpas da vertente oceânica da Serra do Mar e o Domínio da Baixada, representado por uma extensa planície flúvio-marinha (SILVA, 2002).

No domínio da baixada encontram-se colinas isoladas decorrentes de feições residuais das rochas do embasamento pré-cambriano pertencentes à unidade do Rio Negro. O embasamento da BHRG está constituído, em sua quase totalidade, por rochas do pré-cambriano representadas pela unidade Rio Negro, que é uma associação de gnaisses-granitóides, migmatitos e gnaisses, ocorrendo do Oeste, localmente conhecida como serras da Mazomba e do Couto, para o norte (TUPINAMBÁ 1999). Na porção SW, esta unidade encontra-se em contato com os granitóides e migmatitos que constituem o batólito da Serra das Araras, e a NE com as rochas de composição granítica-granodiorítica do batólito da Serra dos Órgãos (MARQUES, 2006). Segundo Hasui *et al.* (1984), as rochas Pré-Cambrianas do substrato da bacia fazem parte do que se denomina Região de Dobramentos do Sudeste, e foram intensamente

retrabalhadas no Ciclo Brasileiro com feições tectônicas indicada pelo forte o lineamento estrutural SW-NE que pode ser observado pela drenagem da região.

Goes (1994) diz que até o fim do Cretáceo foi desenvolvido o peneplano superior concomitantemente com o conjunto embrionário riftiano da Serra do Mar, Maciços Costeiros e Bacias Marginais, consolidados somente no Quaternário inferior, a partir do qual foi gerado gradativamente o Complexo Serrano- Baixada.

Registros importantes da Era cenozoica estão representados na área pelo magmatismo alcalino, na porção centro ocidental do *rift* da Guanabara, como apontados por Ferrari (1990), por quatro *stocks* correspondentes aos corpos de Tanguá, Itaúna, Tinguá e Mendanha, provocados pela dinâmica de eventos tectônicos em blocos normais e justapostos, instalados nas margens continentais em reativação que perduraram até o final do Terciário. Assim, favoreceu a geologia local, formada por depósito aluvionar, onde se observa sedimentos e areia característica do distrito areeiro de Seropédica e Itaguaí, localizado à estrada de Piranema (GÓES, 1994).

O clima predominante em toda área da bacia é classificado como Tropical com Chuvas de Verão (Aw) (KÖPPEN, 1931), com a predominância de estações chuvosas no verão com chuvas torrenciais e estações secas no inverno.

Segundo Amador (1997, p. 43) a região sudeste tem a predominância de três correntes de circulações perturbadas que causam instabilidade e fortes mudanças de temperatura, causando grande instabilidade e acarretando em chuvas na região, sendo estes: “Sistema de Correntes Perturbadas do Sul, Sistema de Correntes Perturbadas de Oeste e Sistema de Correntes Perturbadas de Leste”. Além disso, a topografia favorece a precipitação, devido à baixada estar localizada entre maciços costeiros e a Serra do Mar, favorecendo a ocorrência de chuvas orográficas na base dos topos das montanhas, no sentido de aumentar a turbulência do ar pela ascendência orográfica, em especial durante a passagem de correntes perturbadas (AMADOR, 1997).

1.2 Dinâmica de ocupação espacial

A maioria dos rios da Região Hidrográfica II possui seu baixo curso bastante modificado decorrente do histórico inundações constantes na região por conta da topografia plana. Dessa maneira, diversos tipos de intervenções antrópicas foram realizadas na área de estudo com o passar dos anos como: retificação, dragagem, canalizações, seus cursos unidos e à valões.

Os primeiros dados referentes à ocupação e modificação na bacia hidrográfica do Rio da Guarda remontam desde o período da monarquia com os padres jesuítas entre os anos de 1616 até 1759. Eles iniciaram obras de saneamento em seu latifúndio, que compreendia as planícies de Itaguaí, do Guandu e nas serras - na Fazenda Santa Cruz- antes de serem expulsos por conta da política de Marques de Pombal, foram utilizados conhecimentos sobre obras de engenharia que resultaram na abertura da Vala do Itá e a Vala de São Francisco para extravasar as águas do Rio Guandu (ALONSO, 1960; SEMADS, 2001).

Na mesma época, com o objetivo de minimizar os problemas recorrentes das cheias nas áreas agricultáveis e nos pastos, e ao mesmo tempo irrigar os campos das fazendas, existiam tentativas de se promover sistema de drenagem, com a abertura de canais e as construções de obras de arte de pontes e diques marginais, (GOES, 1994).

Após a expulsão dos jesuítas todas as obras foram abandonadas até a criação da Comissão de Estudos de Saneamento da Baixada do Estado do Rio de Janeiro em 1894 com a finalidade de realizar obras de saneamento básico, (SEMADS, 2001).

Em 1933 a "Comissão de Saneamento da Baixada Fluminense", concentrou-se no estudo dos aspectos físicos da Baixada Fluminense, focado na possibilidade de desenvolvimento econômico da região (ALONSO, 1960). O estudo apontou à necessidade de combate à malária, tendo sido decidido à drenagem da região e retificação do leito dos rios. Para tanto foi criada a

Diretoria de Saneamento da Baixada Fluminense que no ano de 1940, incorporou-se ao DNOS - Departamento Nacional de Obras e Saneamento. A atuação deste órgão se dava na retificação de corpos hídricos, dragagem de áreas alagadiças, abertura de canais e construção de dique, precursores das obras de drenagem na região, efetuando serviços de abertura de valas, construção de pontes e diques marginais, com o objetivo de atenuar o problema das enchentes nos pastos, e irrigar os campos das fazendas (GOES, 1994).

O Departamento Nacional de Obras de Saneamento realizou diversas obras como a conclusão de quilômetros de canais, valetas e diques. Contudo, essas obras causaram significativos impactos ambientais como a eliminação ou drástica redução das áreas de várzeas alagadas e, conseqüentemente, as matas paludosas e a vegetação herbácea aluvial (SEMADS, 2001).

Alonso (1960) aponta uma importante obra realizada pelo DNOS que utilizou os dois canais que antes foram abertos pelos jesuítas; o Canal do Itá e o Canal do São Francisco para tentar conter as inundações decorrentes do Rio Guandu, entretanto os dois foram ineficientes para tentar conter as águas em período de cheias, ocasionando constantes inundações em Itaguaí.

Assim, com diversas obras de saneamento, modificações de canais, aberturas de estradas e rodovias as terras que antes consideradas insalubres foram ganhando formas para a habitação e o desenvolvimento econômico.

Alonso (1960) destaca que a região começou a ter aumento de seu contingente populacional após a década de 1940 com a vinda dos imigrantes japoneses e alemães por conta das obras de saneamento para desenvolver a agricultura e o comércio local. Itaguaí em 1940 melhorou seu espaço urbano e obteve um aumento populacional de 872 habitantes para 2.923 pessoas em 1950 conforme o censo demográfico (ALONSO, 1960).

Na era Vargas em 1950 foi o período ao qual a região iniciou a exploração mineira de areia. O surgimento de pequenas áreas extrativas mineiras teve sua expansão nesta época, principalmente pela ausência sistemática de um controle ambiental (fiscalização, monitoramento e ordenação espacial), ocupando antigas áreas planejadas para o uso agrícola (GOES, 1994).

O fracasso da agricultura associado a restrições sofridas pela mineração de areia no leito do rio Guandu, neste mesmo período, propiciou o início da mineração em cavas de extração na região de Itaguaí e Seropédica, que contribuiu com o crescimento urbano da cidade do Rio de Janeiro. Com a perda dessas áreas destinadas à agricultura houve o avanço das atividades de extração de areia.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Com intuito de esclarecer o tema da presente dissertação, faz-se necessário a apresentação, assim como a discussão de conceitos que permeiam a temática sobre Bacia hidrográfica, Geossistema, Geoecologia e Sensoriamento Remoto

2.1 Bacia hidrográfica

A água é o principal agente modelador do relevo, podendo assumir diferentes estados, e possui uma incrível força capaz de modelar toda a superfície terrestre. Dessa maneira, age com fundamental importância na bacia de drenagem, pois essa compreende toda área de captação de água, onde a drena junto com sedimentos e partículas em suspensão para um canal comum, contendo como componentes os divisores de drenagem, os canais principais e afluentes, assim como sua foz. Segundo Coelho Netto (2013),

A bacia de drenagem é uma área da superfície terrestre que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos para uma saída comum, num determinado ponto de um canal fluvial. O limite de uma bacia de drenagem é conhecido como divisor de drenagem ou divisor de águas. Uma determinada paisagem pode conter um certo número de bacias drenando para um reservatório terminal comum, como os oceanos ou mesmo um lago. (COELHO NETTO, 2013, p. 97-98).

A bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída. A bacia hidrográfica compõe-se de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único, seu exultório (TUCCI, 2013).

Tendo em vista que a água um elemento importante para uma bacia de drenagem, logo se pode afirmar que tem uma relação intrínseca com o ciclo hidrológico e essa relação deve estar em perfeita harmonia, pois a bacia de drenagem é um sistema hidrogeomorfológico aberto e muito sensível a qualquer mudança.

Grotzinger e Jordan (2013) especificam que a água na superfície terrestre circula dentre vários reservatórios e o movimento cíclico que ela faz entre o oceano e a atmosfera, logo após a superfície por meio de chuvas abastecendo rios, aquíferos, oceanos e lagos devido ao escoamento superficial e retornando ao oceano, denomina-se ciclo hidrológico.

O sol aquece a superfície terrestre ocasionando a evaporação da água dos rios, lagos e oceanos, assim como a evapotranspiração dos animais. Após chegar à atmosfera o vapor condensa formando as nuvens, que se precipitam e voltam à superfície terrestre alimentando rios por meio do escoamento superficial e subsuperficial, abastecendo lençóis freáticos, rios, lagos, oceanos e picos nevais. Então, há o término desse ciclo e outro se inicia a seguir (Figura 2).



Figura 2- Ciclo hidrológico global

Fonte: USG, disponível em <https://water.usgs.gov/edu/watercycleportuguese.html> acesso 27/10/19

Tucci (2013) destaca que o ciclo hidrológico é estudado com maior interesse na fase terrestre, pois o elemento fundamental de análise é a bacia hidrográfica, pois a precipitação que cai sobre a vertente se infiltra no solo até a saturação deste, onde começa a decrescer as taxas de infiltração e surgem crescentes escoamentos superficiais, e se a precipitação persistir pode ser interpretado como uma produção de água para escoamento rápido, sendo assim uma fonte produtora.

O comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica tem relação direta com suas características geomorfológicas (forma, relevo, área, geologia, rede de drenagem, solo, etc.) e do tipo da cobertura vegetal existente (LIMA, 2008). Assim, as características físicas e bióticas têm importante ação nos processos do ciclo hidrológico, influenciando a infiltração e quantidade de água produzida como deflúvio, a evapotranspiração, o escoamento superficial e subsuperficial. Além disso, o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica também é afetado por ações antrópicas, uma vez que, ao intervir no meio natural, o homem acaba interferindo nos processos do ciclo hidrológico (TONELLO, 2005).

Qualquer estresse que ocorra em uma bacia de drenagem pode alterar o equilíbrio natural que ocorre em um rio e causar uma modificação na paisagem causando grandes prejuízos para todo o meio ambiente. De acordo com Botelho (2011, p. 77),

Os cursos d'água, independentemente da interferência humana, realizam três processos geomorfológicos básicos: erosão, transporte e deposição, construindo, dessa forma seu próprio perfil de equilíbrio. Sua extensão, sua largura, sua profundidade, a velocidade de suas águas e seu padrão de canal resultam da atuação daqueles processos, estando a eles adaptados e ao mesmo tempo os influenciando e alterando ao longo do tempo, evoluindo dinamicamente e equilibradamente. (BOTELHO, 2011. P.77).

Todos os eventos que acontecem na bacia de drenagem refletem, direta ou indiretamente, nos rios. As condições climáticas, cobertura vegetal e litologia são fatores que repercutem diretamente nos rios controlando a morfogênese das vertentes e o padrão de descarga de detritos fornecida pelos mesmos (CHRISTOFOLETTI, 1969).

“O conceito de equilíbrio dinâmico na Geomorfologia significa que materiais, processos e a geometria do modelado compõem um conjunto autorregulador, sendo que toda forma é o produto do ajustamento entre materiais e processos” (CHRISTOFOLETTI, 1980, p.7). O equilíbrio de um sistema concebe a acomodação de variáveis internas as condições externas, sendo assim as formas e os valores se modificam de acordo com as influências.

Christofoletti (1980) classifica a bacia de drenagem como um sistema não-isolado aberto, pois tem a permuta de matéria e energia, tanto recebendo como perdendo. Assim, a bacia hidrográfica pode ser considerada um sistema físico.

TUCCI (2013) observa que a bacia hidrográfica pode ser considerada um sistema físico onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo exultório, considerando-se como perdas intermediárias os volumes evaporados e transpirados e também os infiltrados profundamente.

A bacia hidrográfica pode ser então considerada um sistema hidrogeomorfológico, pois há os balanços de entrada, proveniente da chuva, e saída de água através do exultório.

Lima (2008) acrescenta uma abordagem sistêmica ao conceito geomorfológico de bacia hidrográfica. Para o autor, as bacias hidrográficas são sistemas abertos, que recebem energia através de agentes climáticos e perdem energia através do deflúvio, podendo ser descritas em termos variáveis interdependentes que oscilam ao longo de padrão ou média. Assim, qualquer modificação no recebimento ou na liberação de energia, ou modificação na forma do sistema, acarretará em uma mudança compensatória que tende a minimizar o efeito da modificação e restaurar o estado de equilíbrio dinâmico. A bacia hidrográfica, mesmo quando não perturbada, se encontra em contínua flutuação, em um estado de equilíbrio transacional ou dinâmico. Em outras palavras, a adição de energia, e a perda de energia do próprio sistema, encontra-se em delicado balanço.

- **Bacia hidrográfica urbanizada**

Os estudos arrolados sobre sistemas fluviais sempre possuíam papel relevante na Geomorfologia e a análise da rede hidrográfica pode levar à compreensão de várias questões geomorfológicas, pois os cursos d'água se constituem em processo morfogenético dos mais ativos na esculturação da paisagem terrestre, pois todo modelado tem influência direta na bacia hidrográfica (CHRISTOFOLETTI, 1980).

A água é principal agente modelador e modificador da paisagem, sua entrada nos sistemas terrestres perpassa pela biosfera, litosfera, pedosfera e a própria hidrosfera, na forma de precipitação, desencadeia uma série de processos e possíveis trajetória que dependem das características físicas da precipitação e dos tributos geológicos, geomorfológicos e climáticos por onde irá circular, Botelho (2011).

Considerando a circulação dessa água nos canais de drenagem, de acordo com Cunha e Guerra (2012) o rio tem seu desenvolvimento longitudinal bem específico com uma constante busca pelo equilíbrio entre descarga líquida, erosão, transporte e deposição de sedimentos. Todos esses processos naturais fazem com que o rio esteja em equilíbrio com a paisagem, porém as atividades humanas ocorridos em um trecho do rio podem alterar a dinâmica do equilíbrio em diferentes formas de escalas de intensidade, como exemplo podem citar as obras de engenharia decorridas pelo processo de urbanização com construções de reservatórios, canalizações e a substituição da mata ciliar por terras cultivadas.

Tucci e Mendes (2006) observam que os processos hidrológicos naturais na bacia hidrográfica se realizam em duas direções predominantes no fluxo da bacia: vertical e longitudinal. O vertical acontece por meio dos processos de precipitação, evapotranspiração, umidade e fluxo no solo, já os longitudinais pelo escoamento na direção dos gradientes de canais da superfície (escoamento superficial) e do subsolo (escoamento subterrâneo) (Figura 3). Entretanto, todos esses processos e diversidades de caminhos do sistema natural realizados pela água em áreas urbanizada ficam reduzido ao binômio escoamento e infiltração, entretanto o escoamento tem maior predominância em ambientes urbanos, por conta da pouca ou até inexistência da cobertura vegetal (Figura 4).

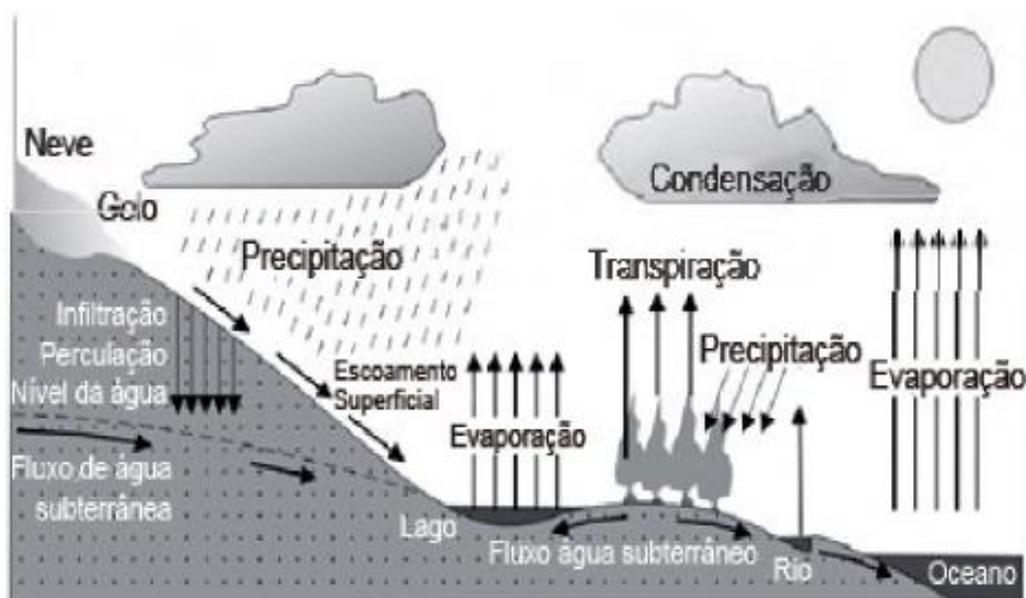


Figura 3- Ciclo hidrológico terrestre

Fonte: IGBP, 1993 *apud* TUCCI e Mendes 2006.

Cunha e Guerra (2012) enfatizam que as mudanças advindas no interior das bacias de drenagem podem ser relacionadas às causas naturais, entretanto, nos últimos anos, o “homem” tem participado como um agente acelerador dos processos modificadores e de desequilíbrios da paisagem. Botelho (2011) ressalta que novos elementos são adicionados a paisagem pelo homem nas áreas urbanas, como edificações, pavimentação, canalização, e retificação dos rios. Essas modificações reduzem de forma agressiva a infiltração e favorecem o escoamento das águas que acabam atingindo seus reservatórios mais rapidamente, gerando o aumento da frequência de enchentes. Tucci e Mendes (2006) observam que a alteração da superfície da bacia hidrográfica gera impactos sobre o escoamento. Esse normalmente é marcado quanto ao efeito que gera no comportamento das enchentes, em vazões mínimas e médias, assim como nas condições ambientais locais e à jusante. “Na busca de novos espaços de ocupação e, principalmente, na solução do problema das enchentes, o homem alterou profundamente os rios, tornando-os urbanos” (BOTELHO, 2013. P. 76). Essas alterações contribuíram para recorrentes episódios de enchentes.

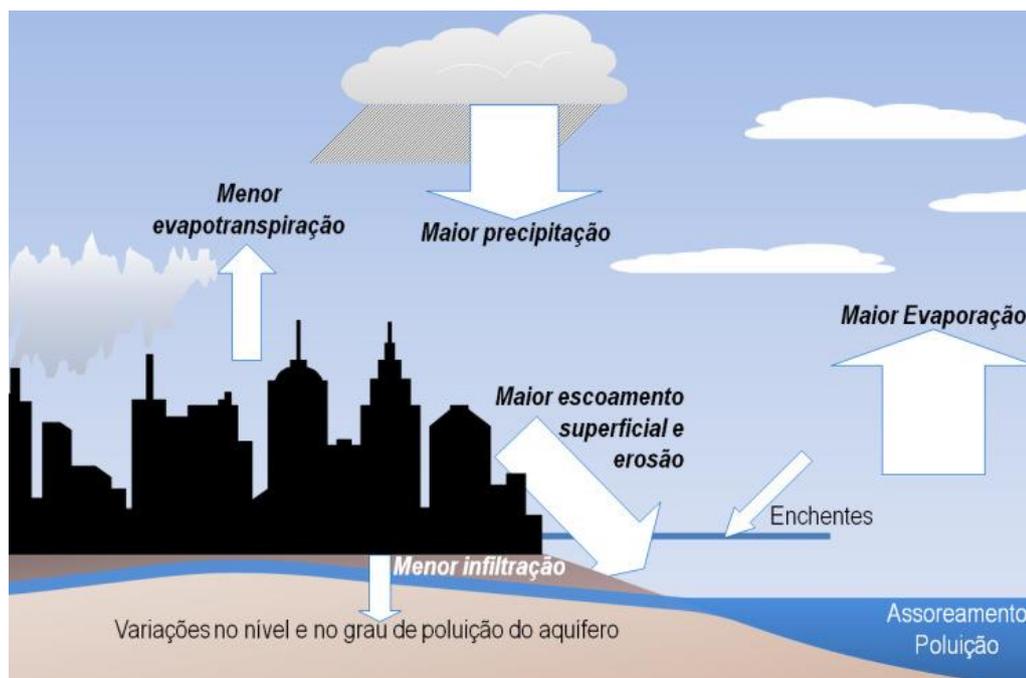


Figura 4- Efeitos da urbanização sobre o ciclo hidrológico

Fonte: Sodré (2012) disponível em https://www.researchgate.net/figure/259931943_fig1_Figura-1-Efeitos-da-urbanizacao-sobre-o-ciclo-hidrologico acesso 27/10/2019

Essa situação pode ser agravada por outros fatores. Segundo Cunha e Guerra (2012), chuvas concentradas, associadas aos fortes declives, aos espessos mantos de intemperismo e ao desmatamento podem designar áreas possíveis para erosão e de movimento de massa que fornecem sedimentos para os leitos fluviais, ocasionando mudanças na dinâmica fluvial que podem promover o desmatamento ou aumento das áreas urbanas, pois o crescente escoamento superficial, gera a erosão hídrica nas encostas e abastece maior volume de sedimentos para a calha fluvial podendo resultar no assoreamento do leito e enchentes na planície de inundação. O volume de precipitação anual e o número de dias chuvosos refletem a influência do relevo, já que os valores de precipitação aumentam em direção às áreas mais montanhosas das bacias hidrográficas e tendem a aumentar a vazão jusante diminuindo o tempo de concentração na bacia, Cunha e Guerra (2012).

Christofolletti (2002) esclarece que por meio da ocupação e estabelecimento de suas atividades, os seres humanos usufruem o potencial e modificam o meio ambiente, eles se inserem como agente modificadores da paisagem visual, assim como nos fluxos de matéria e energia, alterando o equilíbrio natural dos geossistemas. A ocupação da bacia hidrográfica tem promovido diversos problemas urbanos decorridos pela forte urbanização e densidade de construções como edifícios, casas, rodovias para atender a demanda populacional que cresce nos últimos tempos de forma expressiva, essas ocupações modificam os sistemas físicos. Dessa forma, a demanda pela água aumenta, porém a impermeabilização do solo e as modificações no sistema drenagem reduz o escoamento superficial e diminui o tempo de concentração na bacia o que acarreta os problemas de enchentes urbanas que proporciona um desequilíbrio ambiental (Figura 5).

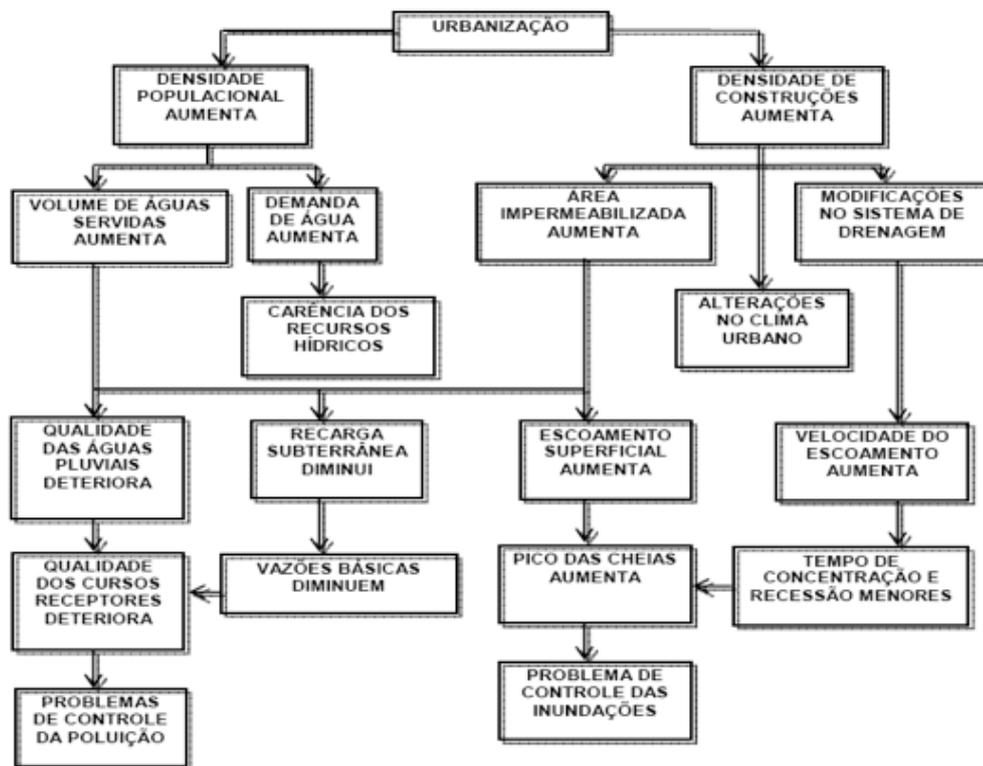


Figura 5- Fluxograma decorrente dos processos de urbanização e impactos

Fonte: Hall 1984 *apud* TUCCI 2013.

Segundo Porto *et al* (2013),

A ocupação da bacia hidrográfica tende a ocorrer no sentido de jusante para montante, devido as características do relevo. Quando o poder público não controla a urbanização indisciplinada das cabeceiras da bacia ou não amplia a capacidade da macrodrenagem, a frequência das enchentes aumenta significativamente, provocando a desvalorização de propriedades e prejuízos periódicos. Nesse processo, a população localizada a jusante, sofre as piores consequências, em razão da ocupação a montante. (PORTO *et al.*, 2013. P. 809)

Os problemas gerados por conta da ocupação indisciplinada na bacia hidrográfica e as modificações no sistema de drenagem tem resultado em impactos de ordem ambiental e social, onde em muitas das vezes resultam em desastres como no caso das enchentes urbanas. O estudo morfométrico pode contribuir como uma técnica de análise quantitativa entre as relações hidrológicas, fisiográficas e antrópicas para planejar a ocupação e mitigar os problemas ambientais existentes. Além desta análise o mapeamento geoecológico pode identificar áreas com fragilidade ambiental e a suscetibilidade ao risco de enchente e inundação.

2.2 Conceitos de Enchentes, Inundação, enxurradas e Alagamentos

É fato que durante o período chuvoso a bacia hidrográfica do Rio da Guarda sofre com diversos episódios de enchente e inundações, fatos estes que são divulgados muitas vezes de forma equivocada pela mídia. A escrita sobre os fenômenos de inundações, enchentes e alagamentos está presente na mídia escrita, falada e televisionada, mas é preciso entender os conceitos para melhor aplica-los, pois embora parecidos, são eventos nem sempre corretamente descritos, havendo um grande desentendimento por parte da população em geral, passível de confusões até mesmo no meio acadêmico.

Com intuito de melhor esclarecer os conceitos sobre enchentes, inundações, enxurradas e alagamentos foi criado o presente capítulo com a finalidade do esclarecimento sobre esses fenômenos hidrológicos.

Valente (2009) descreve os processos hidrológicos a partir de um perfil desenvolvido pelo mesmo (Figura 6) neste perfil há o exemplo para regiões montanhosas e regiões planas.

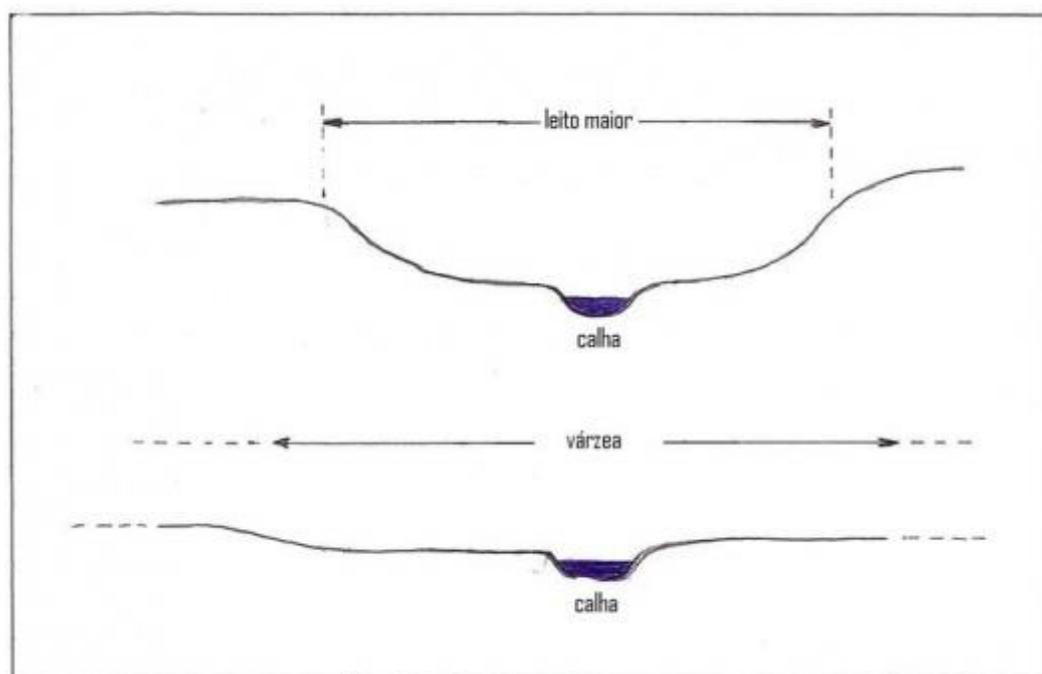


Figura 6: Perfil esquemático dos processos hidrológicos

Fonte: Valente 2009

Nas regiões montanhosas a calha (canal), canal por onde circula d'água, o leito maior que utilizado pelo rio para expansão em épocas de chuvas intensas. Em regiões planas o autor destaca que o leito é menos definido, tendo as várzeas como área predominante, estas que também são áreas de expansão, quando o aumento das cheias fica restrito a calha, segundo o autor há as cheias, já quando essas águas extravasam ocupando o leito maior há as enchentes (VALENTE, 2009).

Já a Proteção e Defesa Civil de São Bernardo do Campo (2015) define enchente como o aumento temporário do nível d'água no canal de drenagem por conta do aumento da vazão, atingindo a cota máxima sem transbordamento; a inundação é definida pelo transbordamento das águas de um canal de drenagem, atingindo as áreas marginais (planície de inundação ou área de várzea) e o alagamento consiste no acúmulo de águas nas ruas e no perímetro urbano por problemas de drenagem (Figura 7).

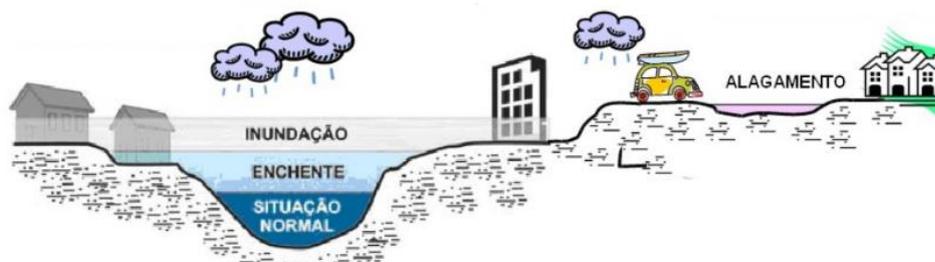


Figura 7: Perfil esquemático de enchente, inundação e alagamentos

Fonte: Defesa Civil de São Bernardo do Campo/SP, 2015

a Superintendência de Proteção e Defesa Civil do estado da Bahia (2015) afirma que há dois tipos de inundações: as repentinas, bruscas ou enxurradas que ocorrem em relevo acentuado e montanhoso e as inundações lentas ou de planícies. A primeira ocorre devido a grande quantidade de água em um curto espaço de tempo, já a segunda ocorre as águas se acumulam de forma lenta, mantém a situação de cheia por um tempo e escoam gradativamente. Os alagamentos ocorrem devido o sistema ineficiente de drenagem que dificulta a vazão das águas acumuladas

Ministério das Cidades/IPT (2007) define as inundações como o transbordamento das águas de um curso d'água atingindo a planície de inundação ou área de várzea; As enchentes ou cheias são definidas pela elevação do nível d'água no canal de drenagem devido ao aumento da vazão, atingindo a cota máxima do canal, porém, sem extravasar; o alagamento como um "acúmulo momentâneo de águas em uma dada área por problemas no sistema de drenagem, podendo ter ou não relação com processos de natureza fluvial" e as enxurradas um escoamento superficial concentrado, com alta energia de transporte, podendo ou não estar associado aos processos fluviais.

Diante das leituras dessas definições, conclui-se que existe uma diversidade de interpretações sobre os conceitos de enchentes, inundações, alagamentos e enxurradas, diante disto o presente estudo adotará as terminações realizadas pelo Ministério das Cidades/IPT (2007) para fundamentar esses conceitos.

2.3 Morfometria de bacia hidrográfica

A análise morfométrica de bacia hidrográfica é uma análise quantitativa e sistêmica da configuração e agentes que compõe o modelado terrestre. O pioneiro nos estudos morfométricos foi o engenheiro hidráulico Robert E. Horton (1945 *apud* Christofolletti, 1969) com estudos que procuraram estabelecer as leis do desenvolvimento dos rios e suas bacias. E efetuou a interpretação quantitativa e analítica com leis fundamentais que marcou o ponto de partida nos estudos da composição da drenagem, as quais serviram de base para estudos nessa área. Após a revolucionária pesquisa de Horton diversos pesquisadores se empenharam em aprofundar a discussão acerca do tema proposto e importantes trabalhos foram publicados: Strahler (1952) com a hierarquia dos canais; Miller (1953) propondo a relação do índice de circularidade com o formato da bacia; Shumm (1956) com estudos sobre relevo; e Melton (1957), com estudos sobre o índice de rugosidade.

Christofolletti (1696; 1980) agrupou as variáveis morfométricas de acordo com os aspectos lineares, areais e hipsométricos. As variáveis lineares correspondem às medições ao longo da linha de escoamento; as variáveis areais envolvem medições planimétricas, além de

medições lineares e as variáveis hipsométricas envolvem relações existentes entre unidades lineares, planimétricas e suas interações com as variações altimétricas.

As características físicas de uma bacia compõem elementos importantes para avaliação de seu comportamento hidrológico, pois ao se estabelecerem relações e comparações entre elas e os dados hidrológicos avaliados, pode-se determinar indiretamente os valores hidrológicos em locais em que esses dados são desconhecidos (VILLELA E MATTOS, 1975).

Lima (2008) observa que a área da bacia hidrográfica tem influência sobre a quantidade de água produzida como deflúvio. A forma e o relevo, por outro lado, atuam sobre a taxa ou sobre o regime da produção de água, assim como a taxa de sedimentação. O caráter e a extensão dos canais (padrão de drenagem) afetam a disponibilidade de sedimentos, bem como a taxa de formação do deflúvio. Muitas dessas características físicas da bacia hidrográfica, por sua vez, são em grande parte controladas ou influenciadas pela sua estrutura geológica (LIMA, 2008).

O estudo morfométrico de bacias hidrográficas é definido como a análise quantitativa das relações entre a fisiografia da bacia e a sua dinâmica hidrológica (NUNES *et al.*, 2006). A análise de parâmetros morfométricos tem grande importância nesses estudos, pois por meio da abordagem quantitativa, pode-se ter uma melhor noção do comportamento hidrológico, uma vez que os parâmetros morfométricos são bons indicadores da capacidade de escoamento superficial (NUNES *et al.*, 2006).

De acordo com Machado e Torres (2012), levantar parâmetros morfométricos de várias bacias hidrográficas ou de sub-bacias de uma dada região permite identificar aquelas que apresentam maior vulnerabilidade ambiental, ou seja, aquelas que são mais suscetíveis à ocorrência de processos erosivos e inundações, permitindo assim orientar o uso racional e menos impactante a ser implantado em tais áreas.

Antonelli e Thomaz (2007), afirmam que a combinação dos vários dados morfométricos consente a distinção de áreas homogêneas. Esses parâmetros podem expor indicadores físicos específicos para um determinado local, de forma a qualificarem as alterações ambientais.

2.4 Geossistemas

A palavra sistema no vocabulário é entendida como um conjunto de elementos, concretos ou abstratos, intelectualmente organizados. Esta palavra possui um conhecimento amplo com uma compreensão muito difusa, até mesmo no pensamento científico.

A teoria Geossistêmica teve as inspirações inicial pautadas na Teoria Geral dos Sistemas (TGS) proposta por Ludwig von Bertalanffy, apresentada durante o seminário de Filosofia de Charles Morris, na Universidade de Chicago em 1937.

De acordo com Bertalanffy (1973) A Teoria Geral dos Sistemas tem por finalidade identificar as propriedades e princípios dos sistemas gerais, independente de cada um, da natureza de seus elementos e as relações entre eles. Ele entende como sistema um complexo de elementos em interação.

Gregory (1985) explica que o procedimento de inclusão da abordagem sistêmica na Geografia Física estendeu-se por 35 anos, tendo início em 1935 com a formulação do conceito de ecossistema pelo ecólogo-botânico A. G. Tansley e recebendo o coroamento definitivo com a publicação a obra *Physical Geography: a system approach* de Chorley e Kennedy no ano de 1971. Desde então, a postura sistêmica é uma das principais temáticas discutidas. Segundo Chorley e Kennedy (1971)

Um sistema é um conjunto estruturado de objetos e/ou atributos. Esses objetos e atributos consistem de componentes ou variáveis (isto é, fenômenos que são passíveis de assumir magnitude variáveis) que exibem relações discerníveis um com os outros e operam conjuntamente como um todo complexo. (CHORLEY e KENNEDY, 1971 *apud* CRISTOFOLETTI 1999)

A Teoria dos Geossistemas surge do conceito da Teoria Geral dos Sistemas apresentada por Bertalanffy e Chorley e Kennedy, este conceito traz um aporte teórico-metodológico com potencialidades para trabalhar uma nova Geografia, esta que antes utilizava-o de forma desconexa. Após 1960 com a sistematização apresentada por Sotchava, este que foi pioneiro na discussão do Geossistemas, e, posteriormente Bertrand com as categorias da paisagem trouxeram um olhar geográfico e integrador.

O conceito de Geossistemas foi trabalhado na Escola Soviética por Viktor Sotchava em 1962, ele traz o conceito sob ótica das especulações sistêmicas discutidas no período. Para ele o conceito corresponde a área homogênea elementar, cujo estabelecimento é o primeiro procedimento para sua classificação.

As áreas homogêneas similares unem-se na fácies, ainda também segundo o princípio da homogeneidade. Daí para as generalizações, às classes superiores vão se superpondo (grupos e classes de fácies, geomas, etc.) até formarem em sua totalidade a classificação da fileira dos geômeros (SOTCHAVA, 1977, p. 06).

Geossistema é uma classe especial de sistemas dirigidos, sendo o espaço terrestre de todas as dimensões, onde os componentes individuais da natureza se encontram numa relação sistêmica uns com os outros e, com uma determinada integridade, interatuam com a esfera cósmica e com a sociedade humana (SOTCHAVA, 1978).

Segundo Sotchava (1977, p. 5), “os geossistemas são uma classe peculiar de sistemas dinâmicos, abertos e hierarquicamente organizados” dessa maneira eles são fenômenos naturais que são afetados por fatores sociais e econômicos presentes naquele meio, o que altera sua estrutura e balanço de energia por meio de suas conexões.

Para Bertrand (2004) A paisagem é o resultado da combinação dinâmica entre elementos físicos, biológicos e antrópicos que fazem dela um conjunto único em constante evolução. A análise da paisagem sob perspectiva de uma Geografia Física Global requer o uso da escala para categorias de análise.

Bertrand (2004) apresenta o conceito de Geossistemas como categoria de análise na unidade da paisagem que resulta da combinação de fatores de potencial ecológico (Geomorfológicos, climático e hidrológico) e a exploração biológica (vegetação, solo e fauna) (Figura 8). O geossistemas se define como por um certo tipo de exploração biológica do espaço.

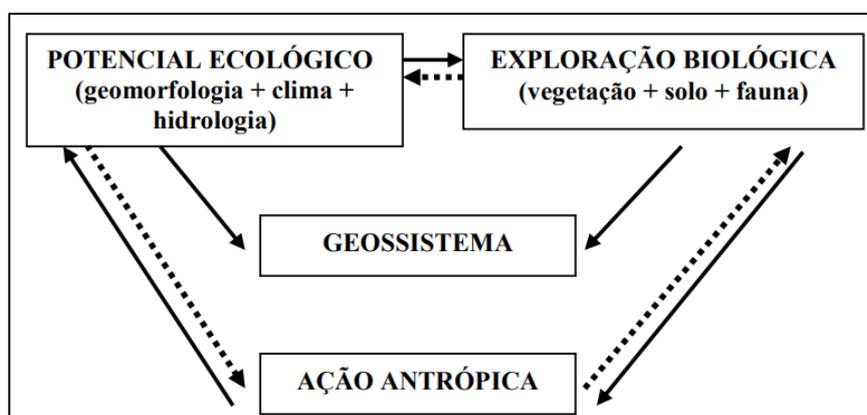


Figura 8: Fluxograma do Geossistema

Fonte: Bertrand, 2004.

Os geossistemas não apresentam grande homogeneidade fisionômica, em grande parte é formado por paisagens diferentes em estágios evolutivos diversos, sendo dinâmico, mesmo em um espaço-tempo breve. Além disso, potencial ecológico e a ocupação biológica são dados instáveis que variam no tempo e no espaço. (BERTRAND, 2004).

2.4.1 A bacia hidrográfica em uma abordagem geossistêmica

A Geografia física se apresenta como um subconjunto da disciplina de Geografia e se preocupa com a organização espacial dos sistemas ambientais físicos, estes também conhecidos como Geossistemas. Este se apresenta em uma expressão concreta na superfície terrestre, podendo ser analisados por conta de documentos como fotos aéreas, imagens de radar, satélites e outros documentos. Nesse se deve também distinguir as fontes fornecedoras de energia e matéria que são responsáveis por toda a dinâmica do sistema. (CHRISTOFOLETTI, 1999). Christofolletti (2002), diz que:

Os geossistemas, também designado como sistemas ambientais físicos, representam a organização espacial resultante da interação dos elementos físicos e biológicos da natureza (clima, topografia, geologia, águas, vegetação, animais e solos). É o campo de ação da Geografia Física. Os sistemas ambientais físicos possuem uma expressão espacial na superfície terrestre, funcionando através da interação areal dos fluxos de matéria e energia entre seus componentes. (CHRISTOFOLETTI, 2002, p. 129)

Como Geossistemas há elementos que preenches tais requisitos, sendo a topografia, os solos e as águas, o clima embora não seja perceptível contribuí significativamente, pois é através deste que perpetua há entrada de energia com a incidência solar e matéria com as precipitações. Segundo Christofolletti (1999),

O Geossistema resultaria da combinação de um potencial ecológico (geomorfologia, clima e hidrografia), uma exploração biológica (vegetação, solo, fauna) e uma ação antrópica, não representando, necessariamente, uma homogeneidade fisionômica, e sim um complexo essencialmente dinâmico. (CRISTOFOLETTI, 1999, p.42).

Assim o Geossistema seria uma combinação ecológica e de exploração biológica combinados a ação antrópica, sendo necessário o conhecimento individual sobre determinadas áreas, assim como a sabedoria de interrelacioná-las, pois tais elementos no geossistema possui uma relação intrínseca que não pode ser analisado somente de forma individual (BERTRAND, 2004). Segundo Christopherson (2012) um sistema é todo e qualquer conjunto ordenado e inter-relacionado com seus atributos, sendo ligados por fluxos de energia e matéria. Em um sistema terrestre tanto a matéria quanto a energia são armazenadas e recuperadas.

Quando se analisa uma bacia hidrográfica como um Geossistema, pode-se caracterizá-la como um sistema aberto, pois há permuta de matéria e energia, onde a entrada (*input*) é o volume da precipitação e a saída (*output*) é volume escoado para o exultório, assim como a taxa que se perde por evaporação e infiltração.

2.5 Geoecologia

No aspecto histórico a Geografia e a Ecologia foram as ciências mais importantes para um referencial no estudo da paisagem, pois foram perspectivas norteadoras nos campos conceitual e analítico para o estudo dos sistemas ambientais (CHRISTOFOLETTI, 1999). Mesmo partindo de referenciais teóricos distintos (ecossistema e geossistema), ambas destacaram aspectos estruturais, funcionais e dinâmicos para compreensão de sistemas.

O conceito Geoecologia é trabalhado pela escola alemã, e Ecologia da Paisagem um conceito trabalhado pela escola americana, estes conceitos se apresentam em uma disciplina que realiza a interface entre a geografia e a ecologia de forma interdisciplinar.

Ao final da década de 30, Carl Troll introduziu a Ecologia da paisagem como disciplina, criando uma ciência sobre os complexos naturais, constituindo as paisagens naturais como as relações entre os seres vivos e seu ambiente. A disciplina Ecologia da paisagem teve seu nome alterado para Geoecologia em 1966 pelo mesmo (RODRIGUEZ e SILVA, 2013).

De acordo com Sousa (2009) o alemão Carl Troll (1939) usou o termo geoecologia em seu estudo sobre fotointerpretação de paisagens na Savana da África Ocidental. Neste estudo ele combinou a abordagem geográfica com relacionamentos espaciais dos fenômenos naturais com a abordagem dos ecologistas no estudo de um sítio pré-definido. Em 1950, Carl Troll refina a definição de geoecologia “como o estudo dos relacionamentos físico-biológicos, que governam as diferentes unidades espaciais de uma área geográfica” (SOUSA, 2009, p. 21)

Na década de 80 há um resgate dos conceitos estabelecidos por Troll pelos biólogos, entretanto há uma predileção na utilização do conceito Ecologia da Paisagem ao invés de Geoecologia. Entretanto a escola americana na mesma década com enfoque para a geoecologia (SOUSA, 2009).

A tabela a seguir mostra como diversos autores, tanto geógrafos, quanto biólogos que são os principais estudiosos da paisagem trabalharam o conceito de geoecologia. Os biólogos privilegiaram as análises voltadas para ecologia e os geógrafos privilegiaram as análises voltadas para a paisagem.

Tabela 1: Principais conceitos da Geoecologia e seus autores

Autor	Ano	Formação	Conceito
TROLL	1939	Geógrafo	Estudo dos relacionamentos físico-biológicos, que governam as diferentes unidades espaciais de uma área geográfica
ZONNEVELD	1972	Geógrafo	Estabelece que a ecologia da paisagem é a subdivisão crucial da ciência de estudo da paisagem, a geografia, abordando-a como uma entidade holística, composta de diferentes elementos, cada um influenciando os demais
KLINK	1974	Geógrafo	Estudo das massas naturais, quantidades de energia e suas variações, de uma paisagem, qualitativa e quantitativamente, determinadas através de ciclos ecológicos
RISSER <i>et al</i>	1984	Biólogo	Desenvolvimento e a dinâmica da heterogeneidade espacial. Considera dessa forma, as interações espaciais e temporais, as alterações nas paisagens heterogêneas e as influências dessa heterogeneidade sobre os processos bióticos e abióticos, bem como o próprio gerenciamento da heterogeneidade espacial
FORMAN E GODRON	1986	Biólogos	Ciência que estuda a estrutura, funções e alterações em uma área heterogênea, composta por ecossistemas que interagem entre si
NAVEH E LIEBERMAN	1993	Biólogos	Ramificação da moderna ecologia, que trata dos relacionamentos entre o homem e paisagens, sejam elas urbanas ou não urbanas.

Fonte: Menezes (2000) organizado por Sousa (2009).

Os estudos de cunho geocológico têm se feito crescente desde seu surgimento e para realizar a análise geocológica é necessária uma diversidade de informações (dados) que precisam ser sobrepostos para realizar esse estudo, sendo assim torna-se imprescindível a utilização dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para o processamento dos dados, o SIG como ferramenta metodológica auxilia na síntese e análise desses elementos. Sendo assim, a Cartografia Geoecológica toma destaque.

Menezes e Coelho Netto (2001) destacam que a Cartografia Geoecológica estará mais próxima do mapeamento de fenômenos e elementos da paisagem, assim como de funções e funcionalidades. Ela tem o objetivo de visualizar situações de conflito, risco ou impactantes, e promover soluções para possíveis impactos causados por ações antrópicas sobre o ambiente (MENEZES E COELHO NETTO, 2001).

Nesse estudo foi utilizada a Cartografia Geoecológica para identificar as áreas suscetíveis a enchentes e inundação, através da interação de dados físicos-ambiental sobre a paisagem da bacia hidrográfica do Rio da Guarda.

2.6 Conceitos de Risco, Vulnerabilidade, Fragilidade e Suscetibilidade

As transformações promovidas pelas atividades humanas em ambientes naturais têm causado consequências graves para sociedade e a natureza, problemas ambientais como enchente e inundação são eventos que ocorrem de forma natural, geralmente após um grande volume de precipitação em áreas suscetíveis aos fenômenos, entretanto as modificações em decorrência das atividades antrópicas têm intensificado esses eventos.

Os conceitos de Risco, Vulnerabilidade, Suscetibilidade e Fragilidade são extremamente importantes para o desenvolvimento de pesquisas associadas a prevenção e mitigação de desastres.

Eventos como enchente, inundação, terremotos, movimentos de massa, furacões, vendavais, alagamentos, entre outros, são eventos naturais, mas se configuram como desastres, quando podem ser definidos como impactos de fenômenos naturais que atingem áreas sociais, causando sérios danos e prejuízos, impedindo a comunidade local de conviver com eles (TOBIN e MONTZ, 1997).

CPRM (2017) apresenta o conceito de risco ambiental como o precursor de todos os outros conceitos que envolve os desastres. Em seu fluxograma, figura 9, é possível observar que eles podem ser divididos em riscos tecnológicos, riscos sociais e riscos naturais, sendo todos ligados direta ou indiretamente com o campo de estudos da Geografia, entretanto para a presente dissertação se encaixa nos riscos naturais de cunho físico e hidrológico.

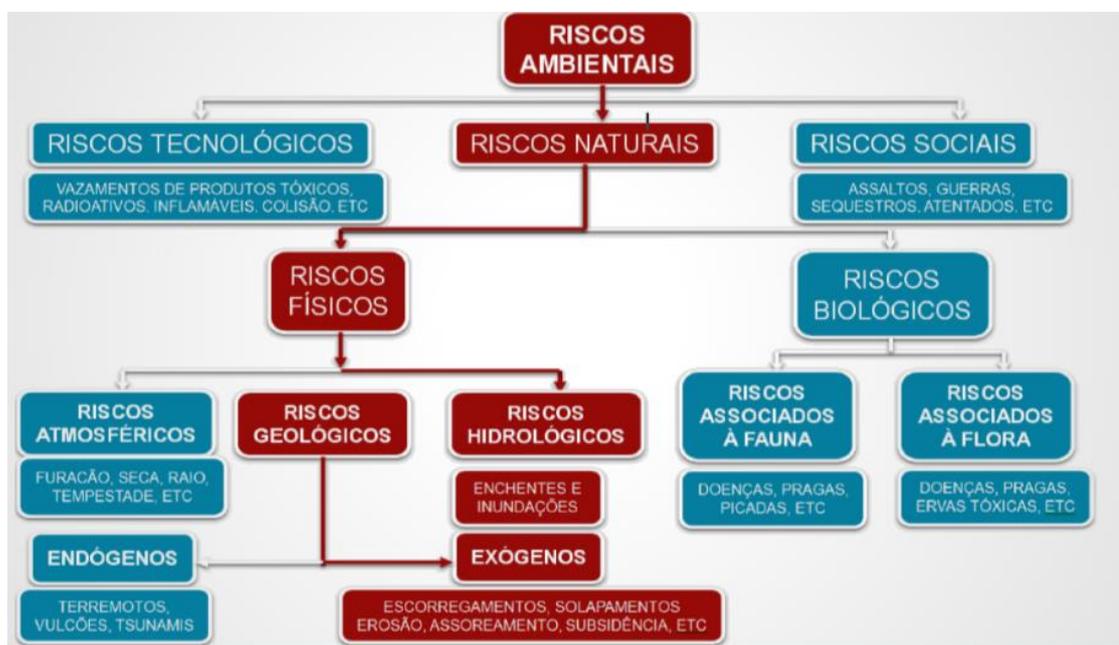


Figura 9: Fluxograma sobre riscos ambientais.

Fonte: CPRM (2017)

O CPRM (2017) coloca o conceito de risco ambiental como tema central e precursor aos outros conceitos. Dessa maneira, temos a “vulnerabilidade como grau de perda para um dado elemento ou grupo dentro de uma área passível de ser afetada por um determinado processo”; (CPRM, 2017 p. 14) “a suscetibilidade como a predisposição ou propensão dos terrenos ao desenvolvimento de um fenômeno ou processo do meio físico, podendo ser expressa segundo classes de probabilidade de ocorrência” (CPRM, 2017 p. 16) e o “risco como a

probabilidade de ocorrer um efeito adverso de um processo sobre um elemento. Relação entre perigo e vulnerabilidade, pressupondo sempre a perda” (CPRM, 2017 p. 18).

Os riscos estão diretamente ligados a existência da sociedade, entretanto já é comprovado cientificamente que a maior exposição aos riscos se dá de acordo com as condições físicas e de vulnerabilidade. Tricart (1977) afirma que o homem participa efetivamente dos ambientes onde vive, modificando-os, permanentemente, para atender seus anseios e necessidades. Observa-se, portanto, que os riscos só existem quando há um conjunto de variáveis naturais e sociais em ambientes suscetíveis ao fenômeno.

O arcabouço teórico para definição do conceito de risco é muito amplo, pois a palavra vem sendo amplamente discutida pelo homem, possibilitando uma ampla fonte de pesquisa sobre o termo.

Ao nos depararmos com o dicionário Aurélio a palavra risco significa exposição ao perigo ou algo inconveniente (FERREIRA, 1999). Segundo Girão *et al.* (2018) o conceito de risco está relacionado com ao sentido de imprevisibilidade ou probabilidade de algo acontecer, e a constante associação do conceito a palavra perigo traz ao conceito uma conotação de exposição ao dano, ao ruim e ao severo.

Dentro da Geografia o conceito de risco é abordado por diversos autores, como Castro *et al.* (2005) que verifica nas Geociências o risco nos processos de estudos catastróficos e rápidos, já Veyret (2007) assinala o risco intrínseco nas relações natureza/sociedade voltado para abordagem ambiental que fazem parte da geográfica.

Veyret (2007) apresenta uma análise do conceito de risco dentro da abordagem zonas de risco que “são definidas por formas e superfícies variáveis, mapeáveis em diferentes escalas espaciais e temporais”. As interações entre as variáveis ambientais das zonas de risco e fora dela são de grande complexidade para análise do conceito.

A suscetibilidade é vista por Souza (2005) “como o grau de probabilidade que os atributos naturais têm em condicionar, induzir ou acelerar a ocorrência de um determinado perigo”. Esse entendimento do conceito foi pensado em seu trabalho sobre a suscetibilidade morfométrica de bacias de drenagem a processos de inundações em áreas costeiras, através de fatores geológicos, geomorfológicos e hidrológicos. Já Fernandes e Amaral (2012) entendem a suscetibilidade como características (intrínsecas) das formações, independente da interação com elementos externos (ação antrópica).

Sousa (2009) esclarece que a modelagem da análise de risco é uma simplificação da realidade, sendo assim, o fenômeno é abstraído conforme as informações complexas são concluídas, construindo assim o processo de representação dos riscos. Dessa maneira, para realizar a avaliação dos riscos são necessários conhecimentos do perigo presente na vulnerabilidade da população.

O conceito de vulnerabilidade e fragilidade estão intimamente ligados, Girão *et al.*; (2018) explicam que os conceitos de vulnerabilidade e fragilidade são inter-relacionados e entendido como a condição ou característica que expõe o elemento/sujeito ao risco de ocorrência de eventos indesejados como os desastres ambientais, tornando-o suscetível.

Zanella *et al.* (2013) traz o conceito de vulnerabilidade em uma noção multidimensional que pode surgir em decorrência de fenômenos múltiplos, a partir de causas diversas afetando variados grupos sociais ou elementos naturais, e a dimensão da interferência se dará na medida da estrutura socio-natural do afetado e a intensidade do perigo.

A fragilidade ambiental tem como finalidade analisar os componentes ambientais de forma integrada, ela está sustentada em concepções teóricas e metodológicas que consideram o funcionamento físico e as interferências advindas por meio antrópico, dentre estas metodologias se destacam Tricart (1977), Christofolletti (1999) e Ross (1994, 2006).

Ross (2012) afirma que para a análise da fragilidade ambiental ocorrer é necessário um extensivo levantamento bibliográfico e cartográfico, envolvendo atividades de campo e a

tabulação dos estudos sobre o relevo, solo, subsolo, uso do território, do clima e a geomorfologia. Com base nesses dados, são gerados produtos de relatórios técnicos e mapeamento (ROSS, 1994). Dentre os resultados desses dados de fragilidade o mapa geomorfológico integrado ganha destaque.

Diversos estudos da geografia física têm utilizado os conceitos de vulnerabilidade, susceptibilidade ou fragilidade dos sistemas relacionados aos eventos de enchente e inundação, estes em sua totalidade apresentam origem antrópica que são os potencializadores dos riscos.

No trabalho em questão será utilizado o conceito de fragilidade ambiental por conta da análise integrada dos componentes ambientais com a ação antrópica conforme demonstrado por Ross (2012) que utiliza os padrões geomorfológicos e de uso do solo e a suscetibilidade ao risco conforme explicado por CPRM (2017), pois a pesquisa analisa a propensão da bacia hidrográfica do Rio da Guarda -RJ às enchentes e inundações, tendo como resultado os mapas de suscetibilidade que expressam a probabilidade desta ocorrência.

3. METODOLOGIA

3.1 Levantamento bibliográfico, cartográfico e de sensores remotos

A pesquisa foi desenvolvida com base em um levantamento bibliográfico, teórico e conceitual acerca da temática morfometria de bacias hidrográficas, bem como a classificação do uso e cobertura da terra com as bases disponíveis no Mapbiomas, o mapeamento de suscetibilidade a enchente e a caracterização físico-ambiental e histórica. Outros levantamentos foram necessários para caracterizar a área de estudo tais como: mapa de declividade com base na classificação realizada pela Embrapa em (1979) e mapa de localização geográfica com os arquivos do IBGE do projeto RJ 25- 1:25.000 do ano de 2018.

3.2 Morfometria

A análise morfométrica foi realizada com dados dispostos no IBGE sobre Drenagem 1:25.000 do ano de 2018 e área da Bacia 1:50.000, bem como o Modelo Digital do Terreno 1:25.000 conforme demonstrado no fluxograma da figura 10.

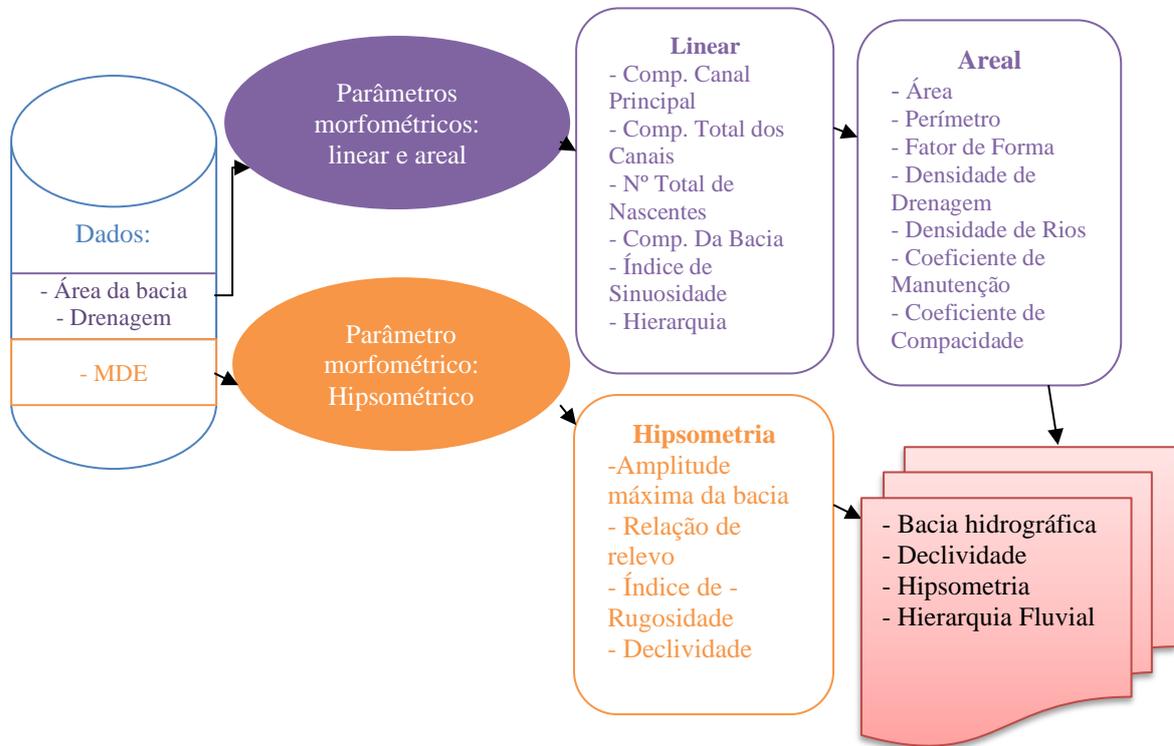


Figura 10- Fluxograma da metodologia sobre morfometria

A análise dos parâmetros morfométricos se baseou em estudos elaborados por Christofolletti (1980; 1969), que apresenta metodologia de análises linear, areal e hipsométrica, assim como os estudos realizados por Villela e Mattos (1975).

3.2.1 Análise linear

Consiste na análise dos índices e relações sobre a rede hidrográfica, cujas medições são realizadas ao longo das linhas de escoamento (CHRISTOFOLETTI, 1980). Os parâmetros de análise linear foram extraídos da seguinte maneira: Com base nos arquivos da área da bacia e a drenagem e utilizando o conjunto de ferramentas *Spatial Analyst tools* foi possível quantificar os parâmetros: Comprimento do canal principal (STRAHLER, 1952), Comprimento total dos canais (STRAHLER, 1952), número total de nascentes (STRAHLER, 1952), Comprimento da bacia, Distância vetorial, Ordem dos cursos d'água e Índice de sinuosidade.

- **Hierarquia dos canais**

É o processo em que se estabelece a classificação de determinado curso d'água em consideração a área da bacia hidrográfica Christofolletti (1980). Diversos pesquisadores propuseram métodos de análise para bacias de drenagem. Horton (1945 *apud* Christofolletti, 1980) propõe que canais de primeira ordem não possuem tributários, os de segunda ordem recebem tributários de primeira ordem, os de terceira ordem recebem os de segunda ordem. Assim como os de primeira ordem, os de quarta ordem recebem de terceira, mas também os de ordem inferior e assim por diante. Para Arthur N. Strahler, os canais sem tributários são considerados de primeira ordem, os de segunda ordem resultam da confluência de dois canais de primeira ordem e só recebem tributários de primeira ordem, os de terceira ordem resultam da confluência de dois canais de segunda ordem, porém esse pode conter afluentes de primeira e segunda ordem, seguindo essa lógica sucessivamente (STRAHLER, 1952 *apud* Christofolletti, 1980). Na análise de Sheidegger (1965 *apud* Christofolletti, 1980) é elaborado o método de ordenação dos canais uniformes, pois a ordem é estabelecida de acordo com as conexões ou ligamentos fluviais em trechos de canais longos nos quais não há nenhuma junção, toda confluência que ocorre em segmento altera a numeração. O método apresentado por Shreve (1966; 1967 *apud* Christofolletti, 1980, p. 109) “estabelece a magnitude de um ligamento é igual ao número total de nascentes que lhe são tributários”.

- **Comprimento total dos canais**

É definido pela soma do comprimento dos canais da rede de drenagem da bacia hidrográfica, apresentando-se esse valor em quilômetros (km) (CHRISTOFOLETTI, 1999).

- **Índice de Sinuosidade**

Relação entre o comprimento do rio principal e o comprimento de um talvegue que se denomina sinuosidade de um curso d'água e que é um fator controlador da velocidade do escoamento no canal (VILELLA e MATTOS, 1975). Pode ser calculado pela equação: $Sin = \frac{L}{Lt}$

$$\frac{L}{Lt}$$

- ✓ Sin = Sinuosidade do rio
- ✓ L = Comprimento do rio principal
- ✓ Lt = Comprimento de um talvegue

Conforme Christofolletti (1980), canais que exibem índices de sinuosidade maior ou igual a 1.5, são classificados como meândricos.

- **Comprimento do canal principal**

É definido pela extensão do rio principal, compreendendo o percurso da foz até uma determinada nascente (CHRISTOFOLETTI, 1980). De acordo com Tucci (2013), o canal principal é aquele que drena a maior área na bacia hidrográfica.

A problemática desse método consiste em se determinar qual é o canal principal, sendo assim, é necessário utilizar-se de um dos métodos de hierarquia fluvial anteriormente proposto por Horton (1945), Strahler (1952), Sheidegger (1965) e Shreve (1966: 1967) para estabelecer o canal principal.

- **Comprimento total dos canais**

É definido pela soma do comprimento dos canais da rede de drenagem da bacia hidrográfica, apresentando-se esse valor em quilômetros (km) (CHRISTOFOLETTI, 1999).

- **Índice de Sinuosidade**

Relação entre o comprimento do rio principal e o comprimento de um talvegue que se denomina sinuosidade de um curso d'água e que é um fator controlador da velocidade do escoamento no canal (VILELLA e MATTOS,1975). Pode ser calculado pela equação: $\boxed{Sin = \frac{L}{Lt}}$

- ✓ Sin = Sinuosidade do rio
- ✓ L = Comprimento do rio principal
- ✓ Lt = Comprimento de um talvegue

Conforme Christofolletti (1980), canais que exibem índices de sinuosidade maior ou igual a 1.5, são classificados como meândricos.

3.2.2 Análise Areal

“Na análise areal das bacias hidrográficas estão englobados vários índices nos quais intervêm medições planimétricas, além de medições lineares” (CHRISTOFOLETTI, 1980, p. 113).

- **Área**

Consiste em toda área drenada pelo conjunto fluvial pertencente à bacia hidrográfica, sendo apresentada em um plano horizontal. Pode ser feita por diversas técnicas, desde ao uso do computador, com auxílio do Geoprocessamento, até a delimitação com papel milimetrado (CHRISTOFOLETTI, 1980).

- **Perímetro**

Corresponde à extensão da linha que limita a bacia de drenagem, ou seja, o comprimento dos limites estabelecidos pelos divisores de água, podendo ser apresentado em metro (m) ou quilômetro (km) (CHRISTOFOLETTI, 1980).

A relação de alongamento (Re) quando se aproxima do valor 1, significa que esta tem uma forma mais próxima de um círculo.

- **Densidade hidrográfica**

A densidade hidrográfica foi primeiramente abordada por Horton (1945 *apud* Christofoletti, 1969) estipulando a frequência dos rios e, posteriormente, definida por Freitas (1952 *apud* Christofoletti, 1969) como a relação entre o número de rios e a área da bacia. Sua competência compreende em comparar as frequências dos cursos d'água em uma área padrão, como por exemplo, o km² Christofoletti (1980). O cálculo é realizado pela fórmula: $D_r = N/A$.

- ✓ Dr = Densidade dos rios
- ✓ N = Número total de rios ou cursos d'água
- ✓ A = Área da bacia

Segundo Christofoletti (1980, p. 115), “o cálculo da densidade de rios é importante porque representa o comportamento hidrológico de determinada área. Em um dos seus aspectos fundamentais: a capacidade de gerar novos cursos d'água”.

- **Densidade de drenagem**

Correlaciona o comprimento total dos canais com a área da bacia, sendo está inicialmente apresentada por Horton (1945 *apud* Christofoletti, 1980), geralmente expressa em Km/Km² e calculada pela equação: $D_d = L_t / A$

- ✓ Dd= Densidade de drenagem
- ✓ Lt= comprimento total dos canais
- ✓ A= Área da bacia

Esse parâmetro é muito importante para as análises morfométricas, pois apresenta uma relação inversa ao com o comprimento dos rios. Na proporção em que o valor numérico deste aumento há uma diminuição dos componentes fluviais na bacia hidrográfica (CHRISTOFOLETTI, 1980).

O comportamento das rochas no ambiente climático é apresentado claramente na densidade de drenagem, pois este vai repercutir diretamente neste padrão. Nos ambientes com rochas onde há uma infiltração limitada há um maior escoamento superficial ocasionando facilidade na esculturação de canais fluviais permanentes e consecutivamente uma densidade de drenagem elevada (CHRISTOFOLETTI, 1969). O autor apresenta um quadro classificativo com valores médios expressos em quilômetros por quilômetros quadrado (km/km²).

Vilella e Matos (1975) definem uma variação entre 0,5, em bacias hidrográficas consideradas fracas, até 3,5 ou mais, quando são consideradas excepcionalmente bem drenadas.

Tabela 2- Classificação da Densidade de Drenagem

Valor (Dd)	Classificação
Menor que 7,5	Baixa densidade de drenagem
Entre 7,5 e 10,0	Média densidade de drenagem
Maior que 10,0	Alta densidade de drenagem

Fonte: Adaptado de Christofoletti (1969)

- **Coefficiente de manutenção**

Proposto por Schumm (1956), esse índice fornece a área mínima necessária para a manutenção de um metro do canal de escoamento. Tal autor o considera um dos valores mais importantes para a caracterização do sistema de drenagem, o cálculo pode ser mensurado pela fórmula:

$$\mathbf{Cm = 1/Dd . 1000}$$

- ✓ Cm = Coeficiente de manutenção
- ✓ Dd = Valor da densidade de drenagem expressa em metros

- **Fator de Forma**

Conforme Villela e Matos (1975), representa a relação entre a largura média e comprimento da foz até o ponto mais longínquo da bacia, podendo ser calculado pela fórmula: $\mathbf{Kf=A/L^2}$

- ✓ Kf= Fator de forma
- ✓ A= Área
- L²= Largura média da bacia

- **Coefficiente de Compacidade**

Segundo Villela e Matos (1975), o Coeficiente de Compacidade ou Coeficiente de Gravelius (Kc) é a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de círculo de área igual ao da bacia que faz referência à largura média da bacia hidrográfica e o comprimento axiforme. O seu cálculo pode ser realizado pela fórmula:

$$\mathbf{Kc= 0,28 P/\sqrt{A}}$$

- ✓ Kc= Coeficiente de Compacidade
- ✓ P= Perímetro
- ✓ A= Área
- ✓ 0,28= número adimensional que varia de acordo com a forma da bacia, independentemente de seu tamanho.

- **Relação de Circularidade (Rc)**

De acordo com Miller (1953 *apud* PANDEY, 2011) (Rc) é a proporção da área da bacia para a área de um círculo com a mesma circunferência que o perímetro da bacia. Esse parâmetro tem a influência do comprimento, da frequência de fluxos, geologia, cobertura e uso da terra, clima, assim como declividade da bacia. O cálculo é realizado com base na fórmula:

$$\mathbf{Rc= 4\pi A/P^2}$$

- ✓ Rc= Relação de Circularidade
- ✓ A= Área da Bacia
- ✓ P= Perímetro

3.2.3 Análise hipsométrica

A hipsometria tem o intuito de estudar as relações existentes em faixas altitudinais, obtendo assim estudos mais detalhados sobre relevo. Strahler (1952) sintetizou os princípios das análises hipsométricas para estudos em bacias hidrográficas e após Frédéric Fournier (1960), partindo do pressuposto em curvas de níveis, definiram-se o coeficiente de massividade do relevo e o coeficiente orográfico, ambos citados por Christofolletti (1980).

- **Altitude máxima da bacia**

Também conhecido como relevo máximo da bacia hidrográfica, tem o intuito de estabelecer a diferença altimétrica entre a desembocadura e a altitude do ponto mais alto no divisor topográfico (CHRISTOFOLETTI, 1980).

A problemática desse conceito consiste em determinar em qual ponto mais alto será feita a análise, pois em alguns casos o ponto com a maior cota pode ser em uma montanha ou escarpa qualquer, onde a bacia hidrográfica possui pouquíssimos canais, dessa maneira acaba influenciando na análise final dos resultados (CHRISTOFOLETTI, 1980). Afim de se obter um melhor resultado foi proposto extrair a média entre os dez pontos mais altos próximos as nascentes da bacia hidrográfica.

Esse parâmetro é muito importante para a análise hipsométrica, pois é a partir desses dados que serão analisados todos os outros parâmetros topológicos, como relação de relevo e índice de rugosidade.

- **Relação de relevo**

Proposto inicialmente por Shumm (1956) considera a relação entre a amplitude altimétrica máxima e a maior extensão da mencionada bacia, medida paralelamente a principal linha de drenagem. Expresso pela equação:

$$Rr = Hm / Lh$$

- ✓ Rr = Relação de Relevo
- ✓ Hm = Amplitude topográfica máxima
- ✓ Lh = Comprimento da bacia

Apresenta-se como um índice comparativo entre o relevo relativo e o comprimento da bacia hidrográfica. No entanto, o trabalho de campo acaba apresentando diversas questões a se pensar, pois é levado em consideração o relevo máximo da bacia e esse muitas vezes acaba sendo determinado por um ponto onde há uma serra ou montanha com poucos canais da bacia hidrográfica, o que leva divergência das informações na pesquisa, logo se faz de fundamental importância o reconhecimento do lócus da pesquisa. A fim de eliminar a subjetividade dessa análise, Christofolletti (1969, p.45) apresenta dois métodos de análise para o referido parâmetro morfométrico:

A) A cota máxima seria a média resultante dos pontos mais elevados entre os canais de primeira ordem do trecho superior da bacia considerada. Deve-se no mínimo, recolher dez pontos cotados.

B) Calcular a superfície das faixas altimétricas cimeiras na bacia hidrográfica, tomando como ponto máximo a média entre as cotas máxima da bacia e a cota inferior da faixa que representa (incluídas as faixas superiores) pelo menos 10% da área total da bacia hidrográfica. (CHRISTOFOLETTI, 1969, p.45)

- **Índice de rugosidade**

Nesse parâmetro combinam-se qualidades de declividade das vertentes, assim como seu comprimento com a densidade de drenagem, com base em estudos realizados inicialmente por Melton (1957 *apud* Christofolletti, 1980) a fim de expressar um dos aspectos dimensionais da topografia. Realizado pelo cálculo: $I_r = H \cdot Dd$

- ✓ Ir = Índice de rugosidade

- ✓ H = Amplitude altimétrica
- ✓ Dd = Densidade de drenagem

- **Declividade**

Tem o objetivo de analisar a relação da morfologia do terreno com o escoamento, de acordo com classes de declividade sugeridas pela EMBRAPA (1979), onde:

Tabela 3- Classes de declividade

Classes de declividade (%)	Classificação do Relevo
0-3	Plano
3-8	Suave
8-20	Ondulado
20-45	Forte Ondulado
45-75	Montanhoso
> 75	Escarpado

Fonte: EMBRAPA (1979) adaptado.

3.3 Geoprocessamento

A metodologia disposta nesta fase de produção e análise de dados necessitou das imagens matriciais sobre o uso e classificação do solo do MapBiomias para serem processadas em ambiente SIG, utilizando técnicas de geoprocessamento. Para apresentar a metodologia utilizada na pesquisa foi organizado um fluxograma, conforme apresentado na figura 11.

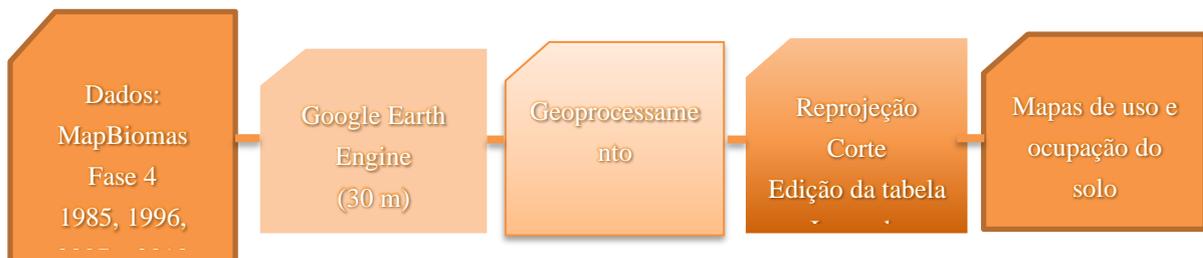


Figura 11: Fluxograma da metodologia do Geoprocessamento

Para o desenvolvimento da pesquisa foram utilizadas as imagens da classificação do Mapbiomas, fase 4 em sua série histórica que vão dos anos de 1985 até 2018, das imagens do Landsat, com resolução de 30 metros, adquiridas gratuitamente na página Google Earth Engine. Todas as cenas adquiridas são da Região Metropolitana do Rio de Janeiro referente às datas 1984 (Criação do Porto de Itaguaí), 1996 (Emancipação de Seropédica), 2007 (data intermediária entre 1996 e 2018) 2018 (Dias atuais).

Foram utilizadas técnicas de geoprocessamento para extração dos dados referentes a área de estudo, haja vista que o Mapbiomas realiza a classificação de uso e ocupação do solo para todo o Brasil, entretanto na página do Google Earth Engine é possível selecionar sua área de interesse e realizar o download da mesma.

Os procedimentos em ambiente SIG envolveram a reprojeção cartográfica; o corte por camada máscara; edição da tabela de atributos com a identificação das classes pelo número digital conforme a legenda especificada pela instituição; o join, para adicionar os dados da legenda na tabela de atributos; a categorização das classes e o layout.

3.4 Mapa de suscetibilidade a enchente e inundação

Nesta etapa da pesquisa foram utilizados os dados sobre hipsometria do Modelo Digital de Elevação com escala de 1:25.000 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), dados de declividade extraídos a partir do MDE- IBGE, dados de pedologia adquiridas pelo Banco de Dados de Informações Ambientais (BDIA- IBGE), dados foram produzidos ao longo de 20 anos como herança metodológica dos dados RADAM/BRASIL e dados sobre uso e ocupação do solo do Mapbiomas (figura 12).

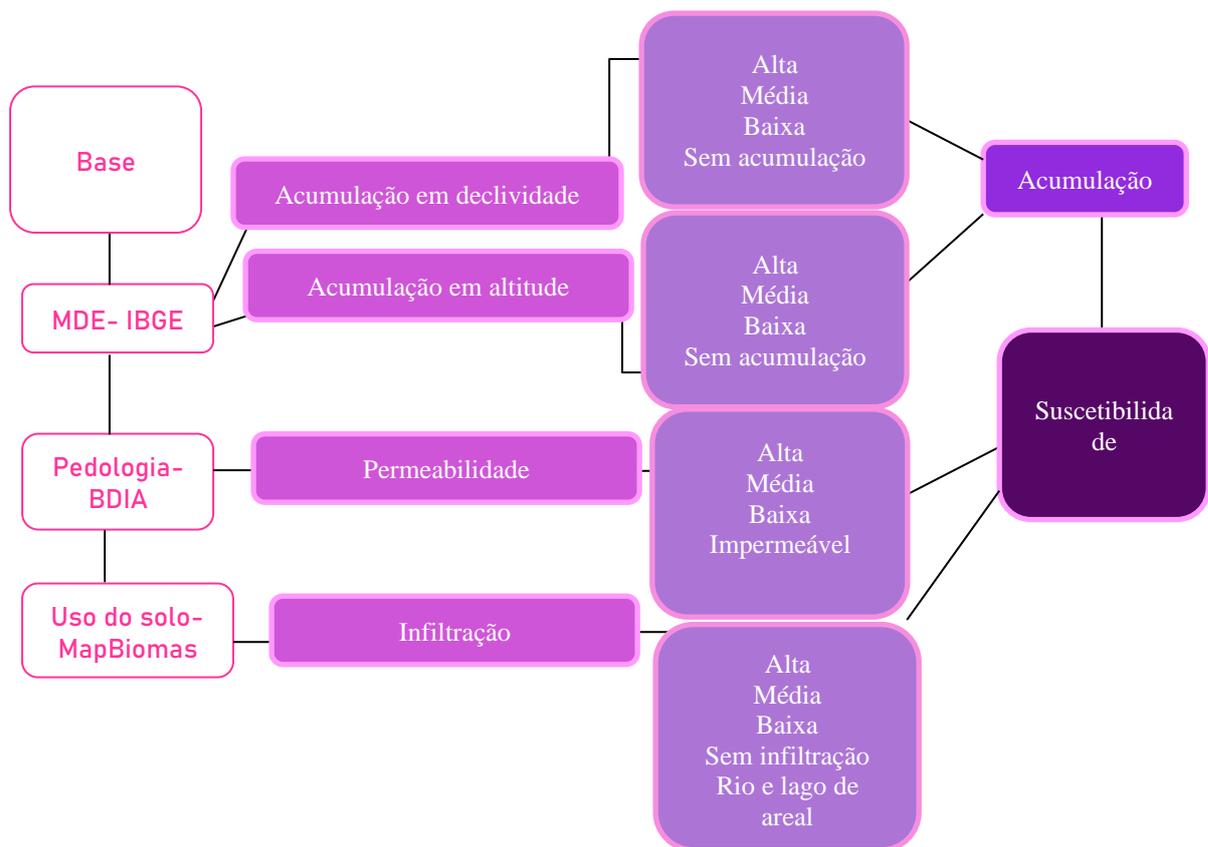


Figura 12: Fluxograma do mapeamento geológico

A metodologia para realização da pesquisa foi pautada no método analítico-integrativo proposto por Coelho Netto, et al. (1993) e refinado por Sousa (2009), onde foram considerados as etapas:

- a) seleção de variáveis a serem utilizadas de acordo com a temática;

b) seleção dentro dos mapas temáticos das características que influenciam o tema principal abordado através da aglutinação de classes de comportamento semelhante, relativo ao tema;

c) sobreposição das informações de acordo com a análise dos mapas gerados (redefinindo fatores, temas e pesos);

d) nova sobreposição;

e) validação dos resultados utilizando dados de campo e de fontes confiáveis.

Dentre os produtos gerados com o MDE, foram trabalhados com os mapas de hipsometria e declividade para obtenção dos dados sobre as áreas propensas para acumulação de águas.

A declividade seguiu os critérios apresentados pela Embrapa (1979) no que diz respeito a classificação da declividade, entretanto estes dados foram reclassificados por meio da quebra natural do histograma com 4 classes distintas (alta, média, baixa e sem acumulação), por meio do programa ArcGIS 10.4 para união das classes 0-3 (relevo plano) e 3- 8 (relevo suave) e de 45 – 75 (montanhoso) e maior que 75 (escarpado) que resultou no mapa de acumulação em declividade:

0 – 8 = Acumulação alta

8 – 20 = Acumulação média

20 – 45 = Acumulação baixa

45- > 75 = Sem acumulação

Esses dados foram combinados com os dados de hipsometria para gerar um mapa das áreas de acumulação de água, pois quanto maior a altitude, menor será o risco de ocorrer enchentes e inundação devido a ação da gravidade e a declividade que atua no terreno e o escoamento, pois áreas com maiores declividades possuem um relevo mais íngreme o que impossibilita a acumulação das águas.

A reclassificação da hipsometria também utilizou a quebra natural do histograma com 4 classes, onde as áreas com até 50 metros de altitudes representam o relevo suave e ondulado, sendo considerado uma área de alta acumulação, já em áreas com até 200 metros representam o relevo ondulado com média acumulação e as áreas de 600 até 1010 são áreas de relevo montanhoso até o escarpado (EMBRAPA, 1979), áreas onde não há acumulação devido a ação da gravidade, com base nesses dados foi criado o mapa de acumulação em declividade no Arcgis, resultando no mapa de acumulação em altitude, tendo como resultado a altitude:

0 – 50 m = Acumulação alta

50 – 200 m = Acumulação média

200 – 600 m = Acumulação baixa

600 – 1010 m = Sem acumulação

Tretin e Robaina (2005) fazem importantes observações sobre a energia do relevo, pois o mapa hipsométrico demonstra o comportamento rochoso da bacia hidrográfica indicando condições mais propícias a dissecação para as áreas de maior altitude e de acumulação para as áreas de menor altitude.

A declividade, um dos parâmetros mais importantes na análise das vertentes, porque vertentes com altas declividades estão mais sujeitas a processos de movimentos de massa e erosão, já as vertentes com pouca ou nenhuma declividade estão mais sujeitas a processos de enchentes e inundação. (TRETIN e ROBAINA, 2005)

Os dados referentes ao uso e ocupação do solo foram reclassificados conforme as classes de infiltração, pois áreas com maior infraestrutura urbana e as áreas de pastagem tem maior probabilidade de ocorrer episódios de enchentes por conta das áreas impermeáveis e a exposição e compactação do solo, ao contrário do que ocorre em área com cobertura florestal que favorece a infiltração e reduz a erosão.

A reclassificação das classes de uso e cobertura do solo para a legenda do mapa de infiltração foi desenvolvida com base nas imagens observadas pelo Google Earth Pro (utilizando a barra do tempo para 2018 - ano da imagem trabalhada) na finalidade de identificar a classe “Outra área não vegetada”, devido à falta de informação do MapBiomas- fase 4, além das leituras realizadas no decorrer da pesquisa que apontam classes com maior ou menor escoamento superficial e subsuperficial. O esquema ilustrativo demonstrado na figura 13 evidencia a metodologia utilizada para a produção deste mapa de infiltração.

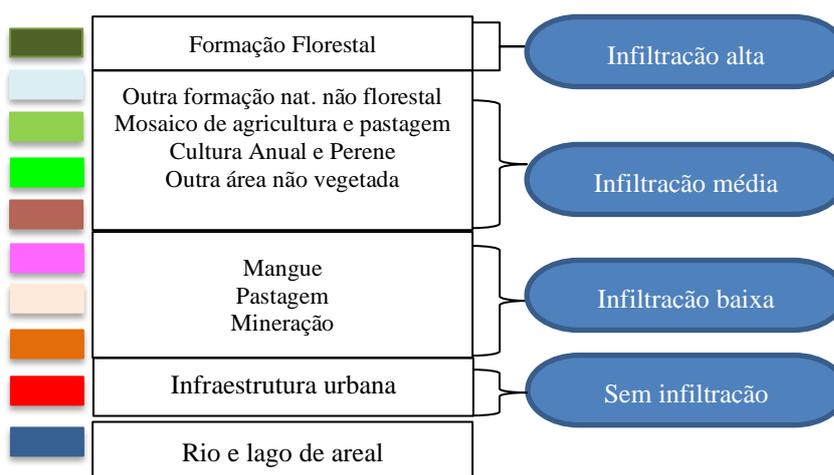


Figura 13: Legenda da construção do mapa de infiltração

Afim de identificar a classe que gerou dúvidas quanto sua infiltração, as imagens da linha do tempo no Google Earth ajudou a identificar a classe “Outra área não vegetada” como uma infiltração média, pois tratam-se de áreas de solo exposto e próximas aos lagos de areais, não sendo uma área urbanizada, tão pouco área de pastagem (que possuem baixa infiltração), essa área também não representa área de vegetação (infiltração alta), logo, esta classe se enquadra na infiltração média. (Figuras 14 e 15).



Figura 14: Localização da cobertura classe “Outra área não vegetada”



Figura 15: Comparação entre áreas com cobertura da classe “Outra área não vegetada”

Já os dados de pedologia foram classificados conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de solos, (Embrapa, 2018) em que a especifica a permeabilidade e as características dos solos, conforme apresentado na tabela 4, onde:

Tabela 4: Permeabilidade do solo

Alta permeabilidade	Média permeabilidade	Baixa permeabilidade	Impermeável I
Cambissolos Gleissolos	Organossolos	Planossolos Argissolos	Área urbana

A partir dessa classificação foi possível desenvolver o mapa de permeabilidade, tendo como principal característica a capacidade de permeabilidade de cada classe, tendo as características dos:

- **Cambissolos-** Solo encontrado em área de várzea que ocupa posições superiores e de melhor drenagem que os Gleissolos. Possui a pedogênese pouco avançada, evidenciada pelo aumento do solo com a alteração do material de origem, desenvolvidos em sedimentos aluviais. Este solo na área estudada parece indicar os rios e lagos de areal que possuem em sua grande área locais para extração de areia e materiais diversos carregados pela força dos rios.
- **Planossolos-** Essa classe apresenta a presença de um tipo especial de horizonte B textural com a presença de argila no horizonte A para o Horizonte B, associada a cores acinzentadas ou escurecidas que reflete uma baixa permeabilidade. Na bacia hidrográfica do Rio da Guarda essa classe corresponde a grandes áreas de pastagem e parte das áreas urbanizadas.
- **Gleissolos-** Caracterizam-se por apresentar um horizonte com cores cinzentas, imediatamente abaixo do horizonte A. A cor cinza é um indicativo de formação em ambiente de redução devido à saturação por água durante um longo período do ano. Esse solo em questão na área de estudo é encontrado em altas altitudes, o que pode explicar as áreas de acumulação de água neste local.
- **Organossolos-** Faz parte do grupamento **de solos** orgânicos com a preponderância dos atributos dos constituintes orgânicos sobre os dos constituintes minerais. Tem seu desenvolvimento em áreas de condições de saturação por água, permanente ou periódica, ou saturados com água por apenas poucos dias durante o período chuvoso, como em ambientes de clima úmido. Essa classe na bacia estudada localiza-se no baixo curso com a presença de formação vegetal e mosaico de agricultura e pastagem, o que explica a área verde encontrada nesta área.
- **Argissolos-** compreendem solos constituídos por material mineral, que têm como características diferenciais a presença de horizonte B textural de argila. São solos constituídos por material mineral com argila de atividade baixa, ou atividade alta com profundidade variável, desde forte a imperfeitamente drenados, de cores avermelhadas ou amareladas e mais raramente brumadas ou acinzentadas. A textura varia de arenosa

a argilosa no horizonte A e de média a muito argilosa no horizonte Bt, sempre havendo aumento de argila daquele para este.

- **Área urbana** – Áreas com maior impermeabilidade por conta da estrutura urbana que tende a acumular mais água em superfície por causa da impermeabilização do solo, ao contrário do que ocorre em solos com cobertura florestal que favorece a infiltração das águas.

O solo impermeável corresponde a área urbana, que por sua vez possui áreas impermeabilizadas por conta da estrutura urbana, os solos com alta permeabilidade correspondem aos solos encontrados em área de várzea e solos enxarcados, os de média permeabilidade são os que tem matéria orgânica e possuem o tempo de escoamento mais demorado, permitindo assim a infiltração no solo, já os de baixa permeabilidade são solos argilosos que demoram para a água infiltrar por conta da textura e o material encontrado nesses ambientes, pois a argila demora para absorver a água.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

No presente capítulo serão apresentados os resultados e discussões obtidos com o desenvolvimento do estudo, tendo como organização as análises de ordem linear, areal e hipsométrica sobre as características físicas da bacia, a classificação do uso e cobertura da terra relacionado imagens dos anos de 1985, 1996, 2007 e 2018 obtidas pelo Mapbiomas e os resultados sobre a suscetibilidade da bacia por meio do mapeamento geocológico.

4.1 Característica física da bacia hidrográfica

Na análise da hierarquia fluvial do Rio da Guarda, pode-se se concluir que o rio principal (Rio da Guarda ou Rio Itaguaí) é de sexta ordem (Figura 16). Considerando os rios afluentes da margem esquerda, existe um imponente rio de quarta ordem chamado de Valão dos Bois. Entre os afluentes da margem direita, existem quatro rios de quarta ordem: Rio Cai Tudo, Rio Sebastião, Valão do Meio Dia e Valão do Brejo, conforme a classificação proposta por Strahler (1952).

Hierarquia dos canais da bacia hidrográfica do Rio da Guarda

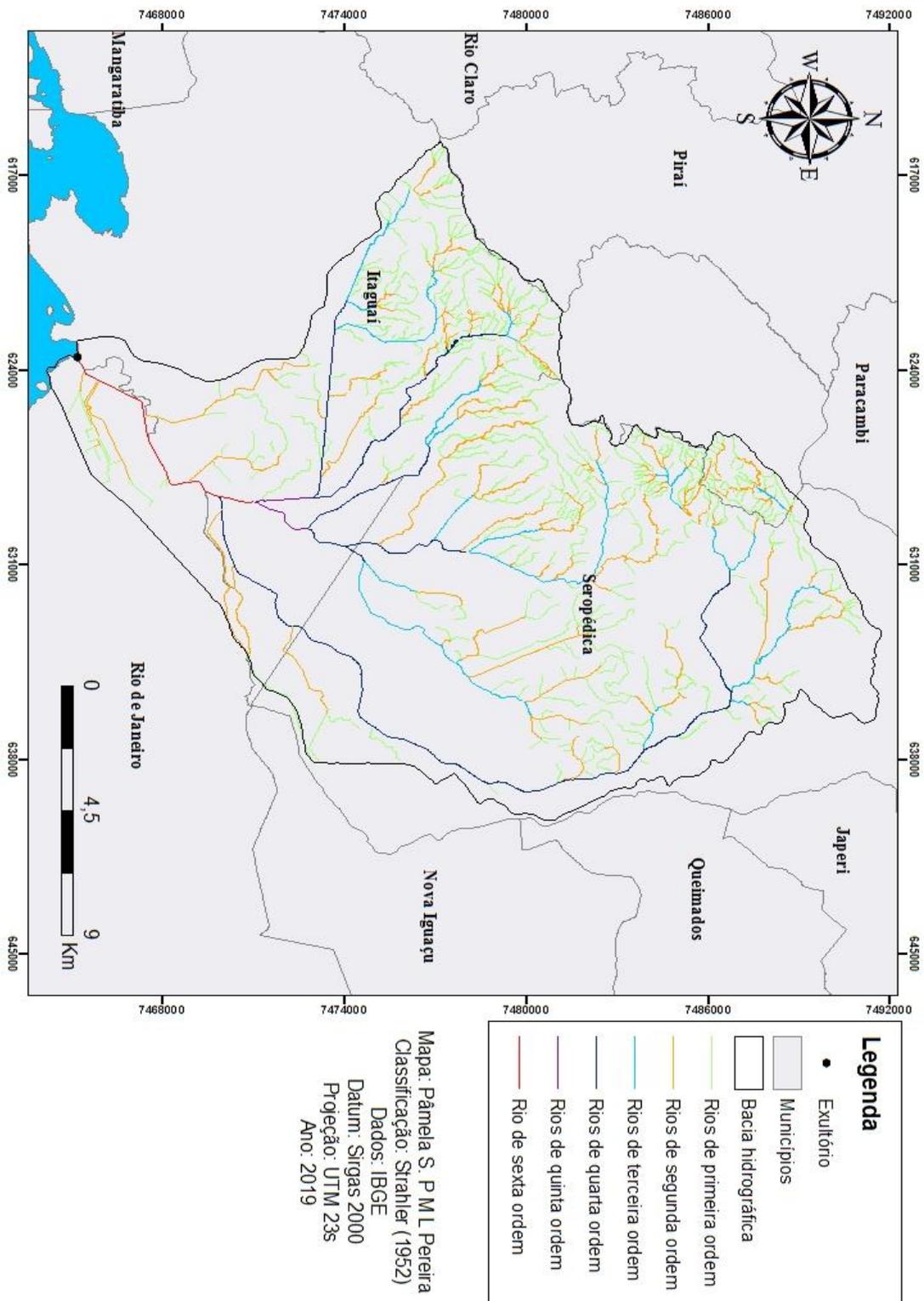


Figura 16: Hierarquia Fluvial do Rio da Guarda

4.1.1 Análise linear

A pesquisa apresenta o resultado de análise linear da rede hidrográfica com medições realizadas ao longo da linha de escoamento fluvial demonstradas na tabela 5.

Tabela 5- Análise Linear da bacia hidrográfica do Rio da Guarda

ANÁLISE LINEAR	
Comprimento do canal principal (Lp)	8,9 km
Comprimento total dos canais (Lt)	634,0 km
Número total de nascentes	565
Comprimento da bacia (L)	28,6 km
Distância vetorial (Dv)	7,8 km
Índice de sinuosidade (Is)	1,14
Ordem dos cursos d'água	6 ^a

O **Índice de sinuosidade** de 1,14 indica que o canal é retilíneo e possui baixa sinuosidade, o que influencia diretamente a velocidade do escoamento (VILELLA E MATTOS, 1975), pois aumentam a vazão, assim como a capacidade de transporte de sedimentos, sendo mais suscetível a ocorrência de cheias. Segundo Moura (2013), valores próximos a 1 indicam que o canal tende a ser mais retilíneo, os valores superiores a 2 indicam canais tortuosos e valores intermediários sugerem formas transicionais, regulares e irregulares. A sinuosidade dos canais é influenciada pela descarga dos sedimentos e estrutura geológica, sendo canais retilinizados mais propícios à ocorrência de cheias. Alves e Castro (2003) explicam que a sinuosidade dos canais é influenciada pela carga de sedimentos, compartimentação litológica, estrutura geológica e pela declividade dos canais, resultados que apresentam $Is = 1$ o canal tende a ser retilíneo, enquanto que $Is > 2$ apresentam canais tortuosos.

4.1.2 Análise Areal

Os resultados apresentados na análise areal correspondem aos cálculos morfométricos sobre medições planimétricas, lineares e de área realizados no campo de estudo que estão dispostos na tabela 6.

Tabela 6- Análise Areal da bacia hidrográfica do Rio da Guarda

ANÁLISE AREAL	
Área (A)	334,546 km ²
Perímetro (P)	93,2378 km
Densidade da drenagem (Dd)	1,90 km/km ²
Densidade de Rios (Dh)	1,68 canais/km ²
Fator de forma (Kf)	0,41
Coefficiente de Manutenção (Cm)	527,65 m ²
Coefficiente de Compacidade (Kc)	1,43
Relação de circularidade (Rc)	0,48

A **Densidade de Drenagem (Dd)** é de 1,90 Km/Km², demonstrando uma capacidade de drenagem de valor baixo, segundo Christofolletti (1969). Hiruma e Ponçano (1994) atribuíram valores de 1,25 km/km² < Dd < 2,50 km/km² como- valores intermediários, devido ao fato de relevo pouco dissecado. Na área de estudo a Dd parece indicar especialmente a influência das coberturas sedimentares quaternárias, especialmente das planícies fluviais da Baixada da Guanabara (CPRM, 2002), pois permitem melhor condição de infiltração por se tratar de um terreno arenoso, contribuindo para recarga dos lençóis freáticos.

A **Densidade de Rios (Dh)** foi calculada com base no número total de nascente devido à classificação dos rios estar baseada em Strahler (1952), pois o número de canais representa à quantidade de rios de primeira ordem (CHRISTOFOLETTI, 1980). A finalidade desse parâmetro é comparar a frequência ou a quantidade de cursos d'água existente na bacia (CHRISTOFOLETTI, 1980). O resultado foi de 1,68 canais/km², o que indica que a boa capacidade de gerar novos cursos d'água, já que o índice está relacionado à magnitude de canais na bacia.

O resultado do **Coefficiente de Manutenção (Cm)** resultou ser necessário 527,65m² para manter ativo 1 metro de canal de escoamento, sendo considerado um tamanho significativo. Quanto maior o tempo de concentração, menor a vazão máxima de enchente, se mantidas constantes as outras características (VILELLA E MATOS, 1975). Pissara *et al.* (2004) afirmam que o Coeficiente de Manutenção diminui à medida que o relevo se torna mais movimentado. Isso revela que a área mínima necessária para a manutenção de um metro do canal de drenagem e o comprimento médio do percurso das águas da chuva são menores, o que contribui para o aumento da escavação vertical dos vales, criando superfícies mais inclinadas.

O **Fator de Forma (Kf)** resultou em 0,41 indicando um valor baixo, pois não corrobora para enchente e processos erosivos. Cardoso *et al.* (2006) observam que em bacias com forma circular, há maiores possibilidades de chuvas intensas ocorrerem simultaneamente em toda a sua extensão, concentrando grande volume de água no tributário principal. Estudos realizados por Ferreira *et al.* (2010) verificaram que a bacia do Açude Cachoeira II, em Serra Talhada - PE, com (Kf) igual a 0,35, o que classifica a bacia como estreita e alongada. Por sua vez Apollo *et al.* (2012) afirmaram que valores de (Kf) próximos a 0,4 indicam tendência para conservação

da bacia, enquanto que valores próximos a 1, são referentes a bacia sujeita a enchentes, permitindo a degradação, devido suas características físicas.

Coefficiente de Compacidade (Kc) ou Índice de Gravelious (K) resultou em 1,43 sendo, portanto, uma área menos propensa a enchentes em condições normais de precipitação. De acordo com Villela e Mattos (1975), esse coeficiente é um número adimensional que varia com a forma da bacia, independentemente de seu tamanho. Quanto mais irregular for à bacia, maior será o coeficiente de compacidade. Um coeficiente mínimo igual à unidade corresponderia a uma bacia circular e, para uma bacia alongada, seu valor é significativamente superior a 1. Villela e Matos (1975) ao estudarem a bacia Ribeirão Lobo (sub-bacia do Paraná-Tietê, SP) encontraram o valor (Kc) de 1,47 classificando-a como não sujeita a enchente. O mesmo resultado foi observado no estudo de Apollo *et al.* (2012).

O parâmetro de Relação de Circularidade (Rc) resultou em 0,48, o que favorece o processo de escoamento por ter uma forma mais alongada. Alves e Castro (2003) apresentaram classificações referentes ao Índice de circularidade, tais como: IC = 0,51 - escoamento moderado e pequena probabilidade de cheias; > 0,51 - bacia circular que favorece os processos de enchentes (cheias rápidas); e $I_c < 0,51$ - bacia mais alongada favorecendo o escoamento. Schum (1956) afirma que bacias com o valor da circularidade menor que 0,51 sugere que a bacia tende a ser mais alongada. Soares *et al.* (2016) observam que bacias com a circularidade próxima do valor 1 possuem sua forma mais circular, enquanto que as que se afastam desse resultado tendem a ser mais alongadas.

4.1.3 Análise hipsométrica

A análise de ordem hipsométrica apresentada na tabela 7 destaca o comportamento topográfico e sua distribuição na bacia hidrográfica estudada. Em uma análise hipsométrica é possível mensurar a maneira que o volume rochoso abaixo da superfície topográfica se encontra distribuído até sua foz (CHRISTOFOLETTI, 1980). O Modelo digital do Terreno (Figuras 17) demonstra que grande parte da bacia varia suas faixas altitudinais entre 0 a 50 metros.

Tabela 7- Análise Hipsométrica da bacia hidrográfica do Rio da Guarda

ANÁLISE HIPSONÉTICA	
Amplitude altimétrica máxima da Bacia (Hm)	833,46 m
Relação de relevo (Rr)	29,16
Índice de rugosidade (Ir)	1583,57

MDT- Bacia hidrográfica do Rio da Guarda

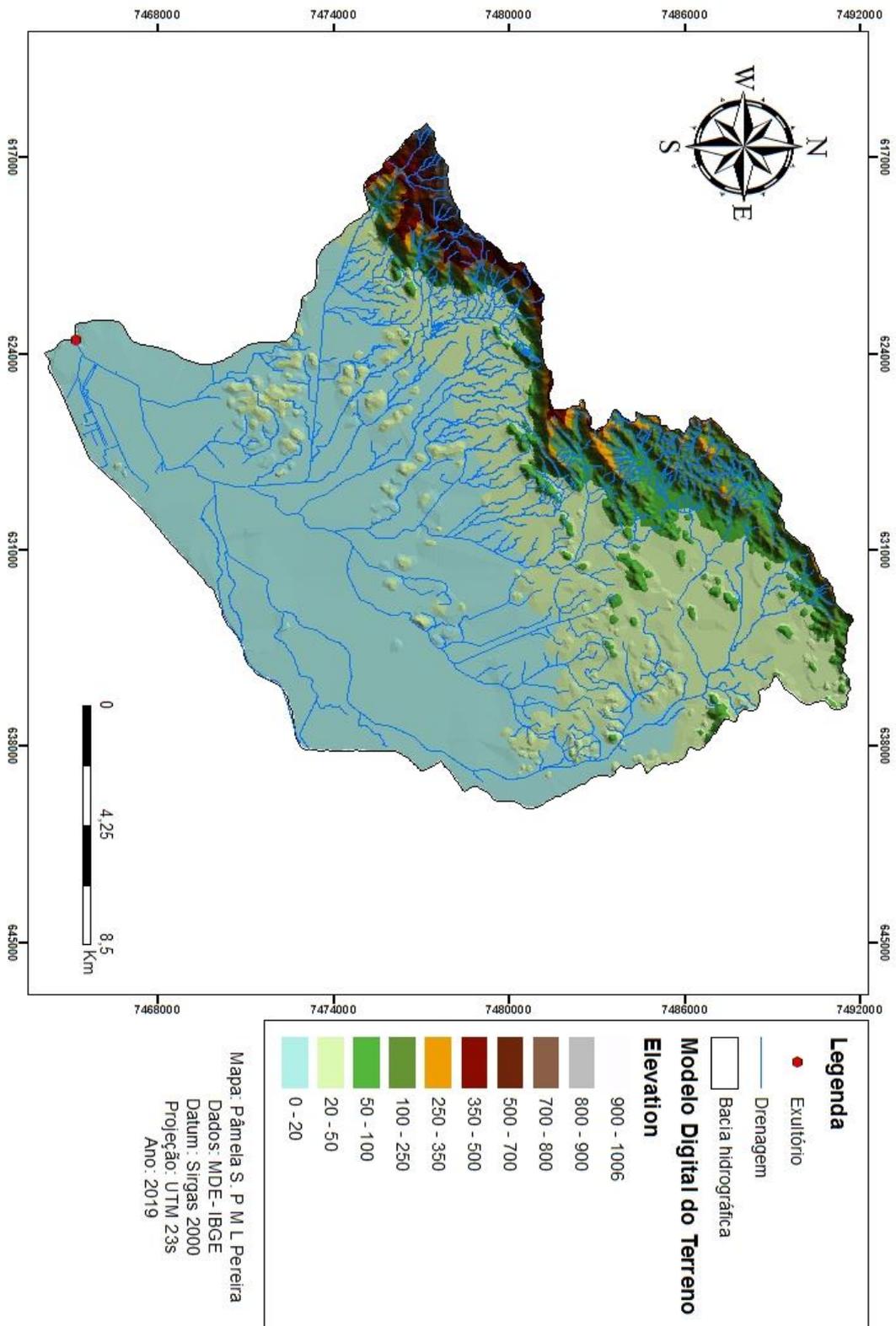


Figura 17: Modelo Digital do Terreno da bacia hidrográfica do Rio da Guarda

Os resultados da **Relação de Relevo (Rr)** (29,16) e o **Índice de Rugosidade (Ir)** (1.583,57) demonstram a energia do relevo, Almeida *et al.*, (2016) apresentam o valor de 1.036,6 para o Índice de Rugosidade na sub-bacia do Alto Rio Coco em Tocantins, sendo considerado um valor alto que indica um elevado escoamento superficial. Cherem (2008) afirma que bacias hidrográficas com índice de rugosidade alto têm maior potencial para cheias, pois são bacias hidrográficas com muita energia (maior amplitude altimétrica) ou com grande transmissividade fluvial, convertendo o fluxo da vertente em fluxo fluvial em menor tempo. Trentin e Robaina (2005) observam a importância da análise hipsométrica na medida em que contribui para a análise da energia do relevo, indicando condições mais propícias a dissecação para as áreas de maior altitude e de acumulação para as áreas de menor altitude, além de influenciar as condições climáticas. Conforme Christofolletti (1980).

Se a Dd aumenta enquanto o valor de H permanece constante, a distância horizontal média entre a divisória e os canais adjacentes será reduzida, acompanhada de aumento na declividade das vertentes. Se o valor de H aumenta enquanto a Dd permanece constante, também aumentarão a declividade e as diferenças altimétricas entre o interflúvio e os canais. Os valores extremamente altos do índice de rugosidade ocorrem quando ambos os valores (Dd e H) são elevados, isto é, as vertentes são longas e íngremes (CHRISTOFOLETTI, 1980, p.121).

A área de estudo apresenta a densidade de drenagem baixa e amplitude altimétrica alta, sendo assim há um aumento da declividade e na diferença altimétrica entre o interflúvio (cabeceira) e as áreas mais rebaixadas no fundo dos vales.

O Índice de rugosidade mostra a relação entre a declividade e o comprimento dos canais, sendo que quanto maior for o índice implica em relevo mais colinoso e dissecado (maiores declividades) e canais mais entalhados (CASTRO e CARVALHO, 2009). Segundo Macuzzo *e al.* (2011), bacias com o índice de rugosidade elevado tendem a ter maior potencial para ocorrência de cheias, pois são bacias de alta energia. A alta energia do Rio da Guarda está relacionada com sua Amplitude Altimétrica que foi de 833,46 m, o que contribui para o escoamento das águas para o curso do rio principal da bacia.

A análise da tabela 8 e as figuras 18 e 19 permitem analisar com mais detalhamento o comportamento topográfico. As faixas altitudinais encontradas na bacia com uma variação de 0 a 50 metros representam 276, 52 km², sendo um total de 82,65% da bacia espacializada em um relevo plano e suave.

Tabela 8- Faixas altitudinais da bacia hidrográfica do Rio da Guarda

Nº Ordem	Cota Min	Cota Max	Área Parcial (km ²)	Área Acumulada (km ²)	Área deixada na superfície (km ²)
1	0	20	177,58	177,58	334,55
2	20	50	98,94	276,52	156,97
3	50	100	19,38	295,90	58,03
4	100	250	21,32	317,22	38,65
5	250	400	8,21	325,43	17,33
6	400	550	3,90	329,33	9,12
7	550	700	2,90	332,23	5,22
8	700	1001	2,32	334,55	2,32

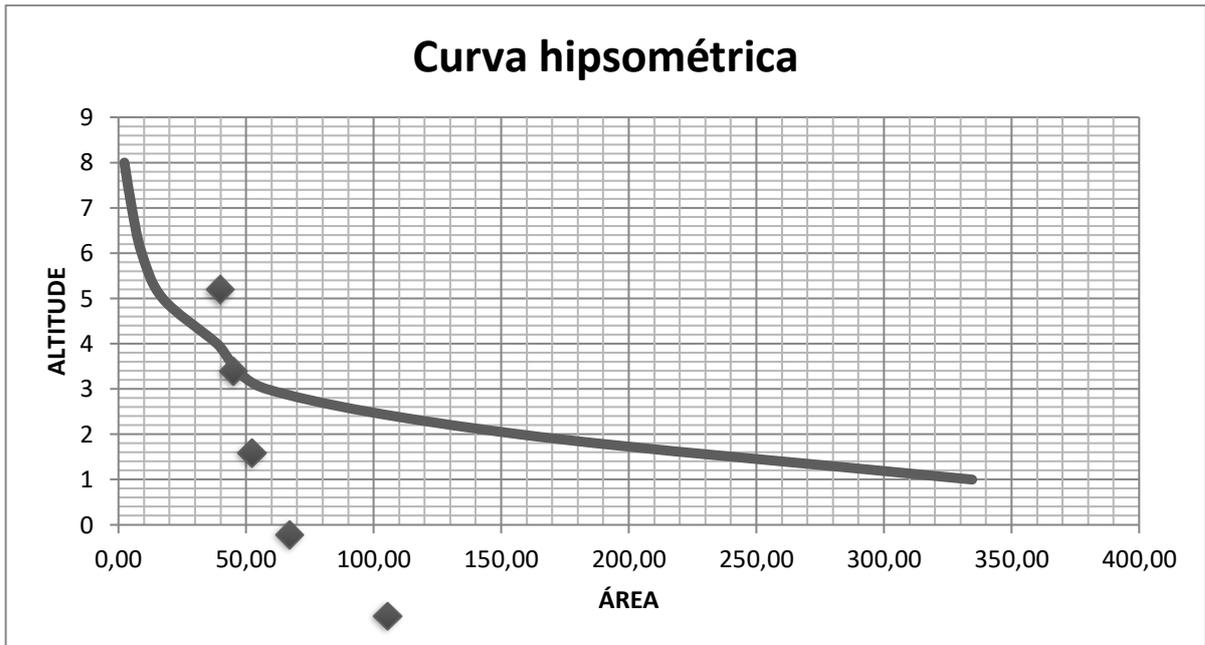


Figura 18- Curva Hipsométrica da bacia hidrográfica do Rio da Guarda

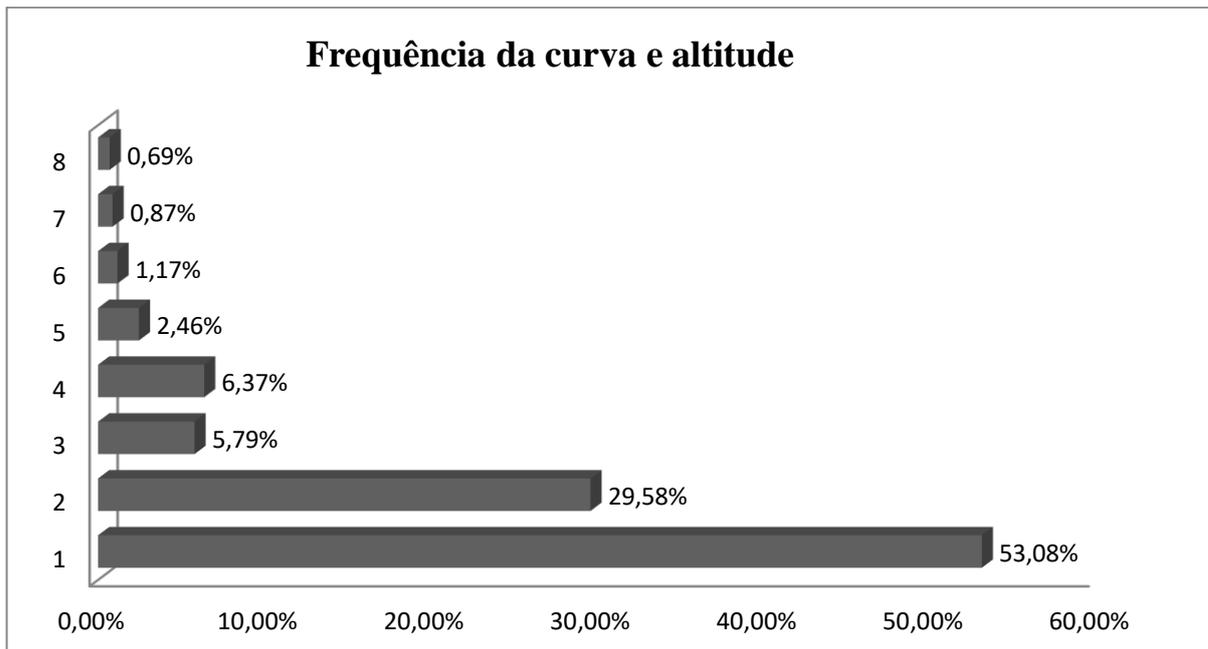


Figura 19- Curva Hipsométrica: frequência e altitude

- **Declividade**

A declividade do terreno é expressa como a variação de altitude entre dois pontos do terreno, em relação à distância que os separa. O Modelo Digital do Terreno (MDT) organizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) foi utilizado como base para a geração do mapa de declividade. As classes de declividade apresentadas na tabela 9 foram reclassificadas em seis intervalos distintos, conforme EMBRAPA (1979).

Tabela 9- Classes de declividade da bacia hidrográfica do Rio da Guarda

Classificação Embrapa 1979		
Declividade	Área km²	Porcentagem
1 3	253	75,62
3 8	23,6	7,05
8 20	20,7	6,19
20 45	31,5	9,42
45 75	5,7	1,7
Maior que 75	0,05	0,02
	334,55	100

Tretin e Robaina (2005) observam que um dos parâmetros mais importantes na análise de vertentes é a declividade, pois representa a inclinação das vertentes e sua amplitude em distância vetorial entre a base e o topo. O mapeamento da declividade, indica que 62% da bacia encontra-se com gradientes entre 0% e 3% (Figura 20 e Tabela 9), o que a caracteriza como um relevo plano (EMBRAPA, 1979).

Segundo Tonello *et al.* (2006), a declividade de uma bacia hidrográfica é importante no planejamento, tanto para com o cumprimento da legislação quanto para garantir a eficiência das intervenções do homem no meio. A ausência de cobertura vegetal associada à intensidade de chuvas conduzirá maior velocidade de escoamento, menor quantidade de água armazenada no solo e resultará em enchentes, conduzindo a bacia à degradação. Sendo assim, a magnitude dos picos de enchentes, a baixa taxa de infiltração e suscetibilidade à erosão dos solos dependem da rapidez com que ocorre o escoamento superficial e este está relacionado com o relevo.

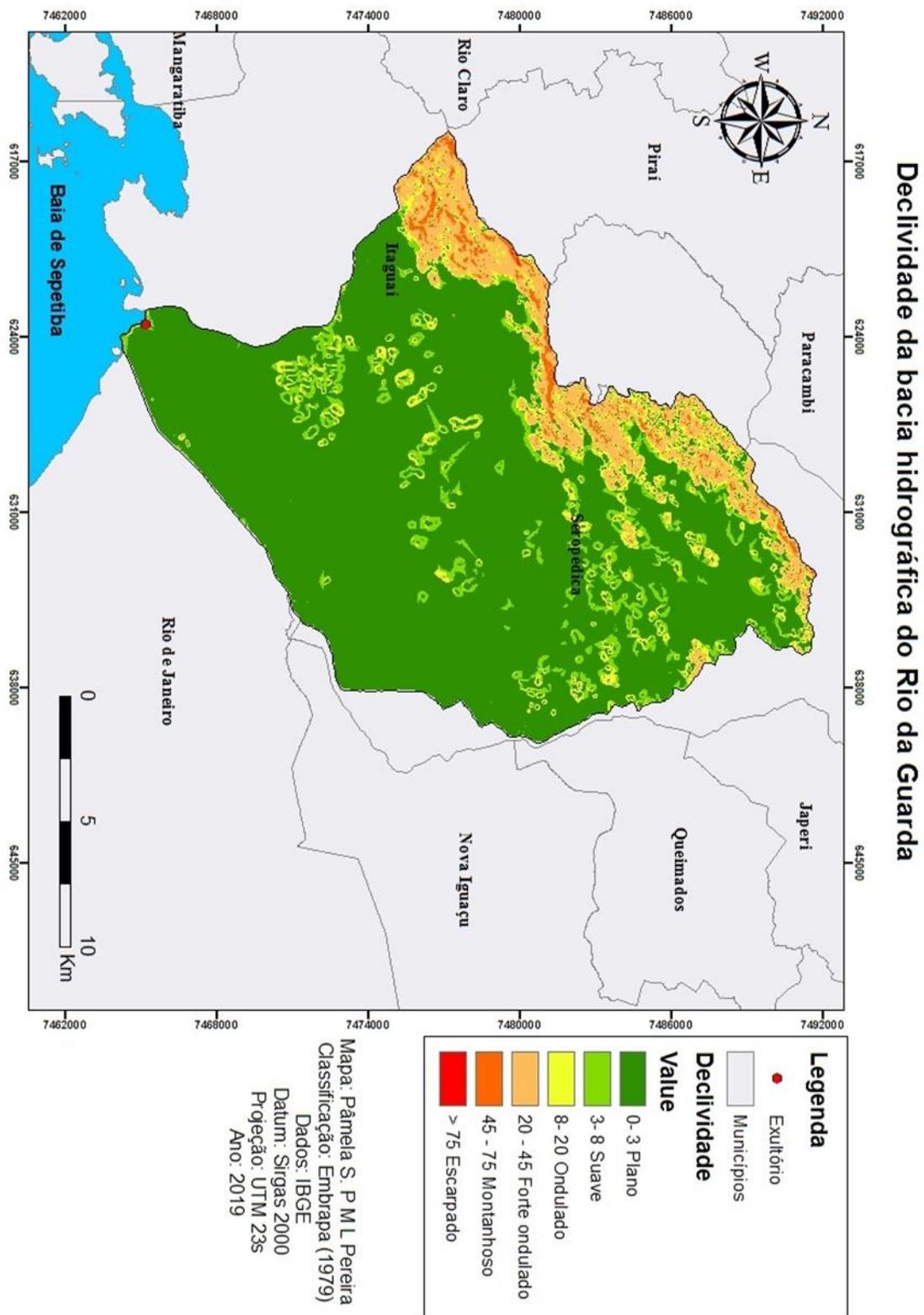


Figura 20: Mapa de declividade da bacia hidrográfica do Rio da Guarda

4.2 Uso e ocupação da terra

Estudos relacionados a análise temporal de uso e ocupação da terra trazem muitas contribuições em prol das análises de avaliação de impactos ambientais devido a importância do acompanhamento das modificações antrópicas e do efeito desordenado que podem causar no ambiente. Monteiro (2008) chama atenção para esse instrumento de análise espacial que faz a ligação entre o meio físico e o socioeconômico, indispensável nos estudos ambientais e no auxílio da tomada de decisões sobre o planejamento territorial e na política de recursos hídricos.

No estudo em questão, esta análise irá permitir avaliar as modificações que ocorreram na bacia hidrográfica do Rio da Guarda, podendo então avaliar os impactos que sucederam no sistema de drenagem.

A bacia hidrográfica do rio da Guarda apresenta uma notável modificação em sua totalidade das classes apresentadas na tabela 13, como observado por (ALONSO 1960; GOES, 1994; AMADOR, 1997; SAMADS 2001) em seus textos que deixam claro que a área estudada passou inúmeras modificações no decorrer do tempo, mas em especial a partir de 1960 com o Departamento Nacional de Obras e a continuação da modificação do uso e ocupação do solo nos anos posteriores.

Com intuito de analisar as modificações da paisagem e identificar as mudanças que ocorreram na bacia hidrográfica do Rio da Guarda, foram desenvolvidos os mapas respectivos aos anos de 1985 (Data próxima a criação do porto de Itaguaí, este que foi inaugurado em 07-05-1982), 1996 (Emancipação de Seropédica em 12-10-1995), 2007 (data intermediária entre a Emancipação e a criação do Arco Metropolitano), 2015 (inauguração do Arco Metropolitano em 11-10-2015) e 2018 (classificação dos dias atuais). Essas datas foram selecionadas conforme fatos importantes que ocorreram na área de estudo que podem ter fomentado a ocupação e a alteração de diversas classes, que podem ser observadas nas imagens 21, 22, 23, 24, 25 e 26.

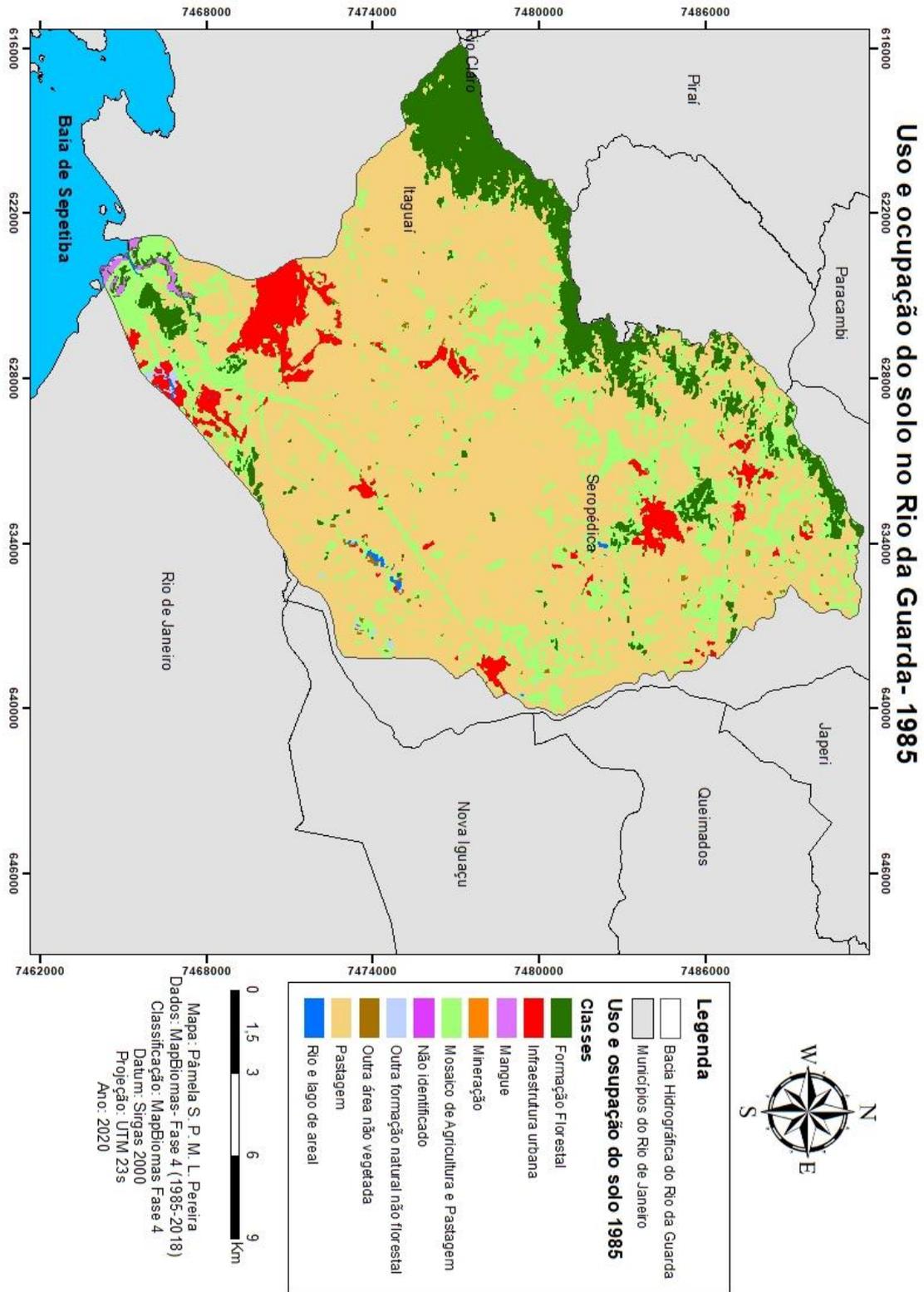


Figura 21- Mapa de uso e ocupação do solo 1985

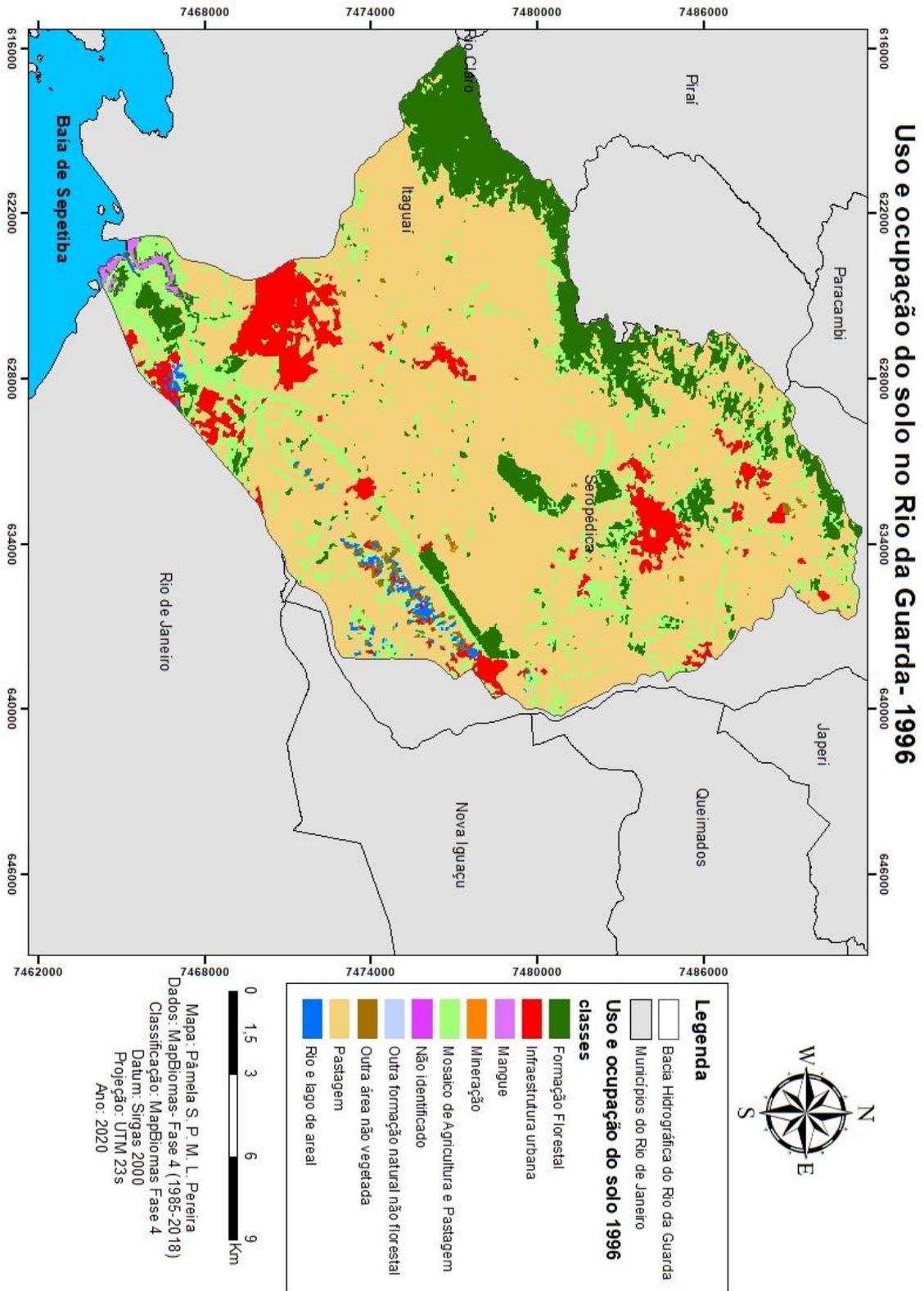


Figura 22- Mapa de uso e ocupação do solo 1996

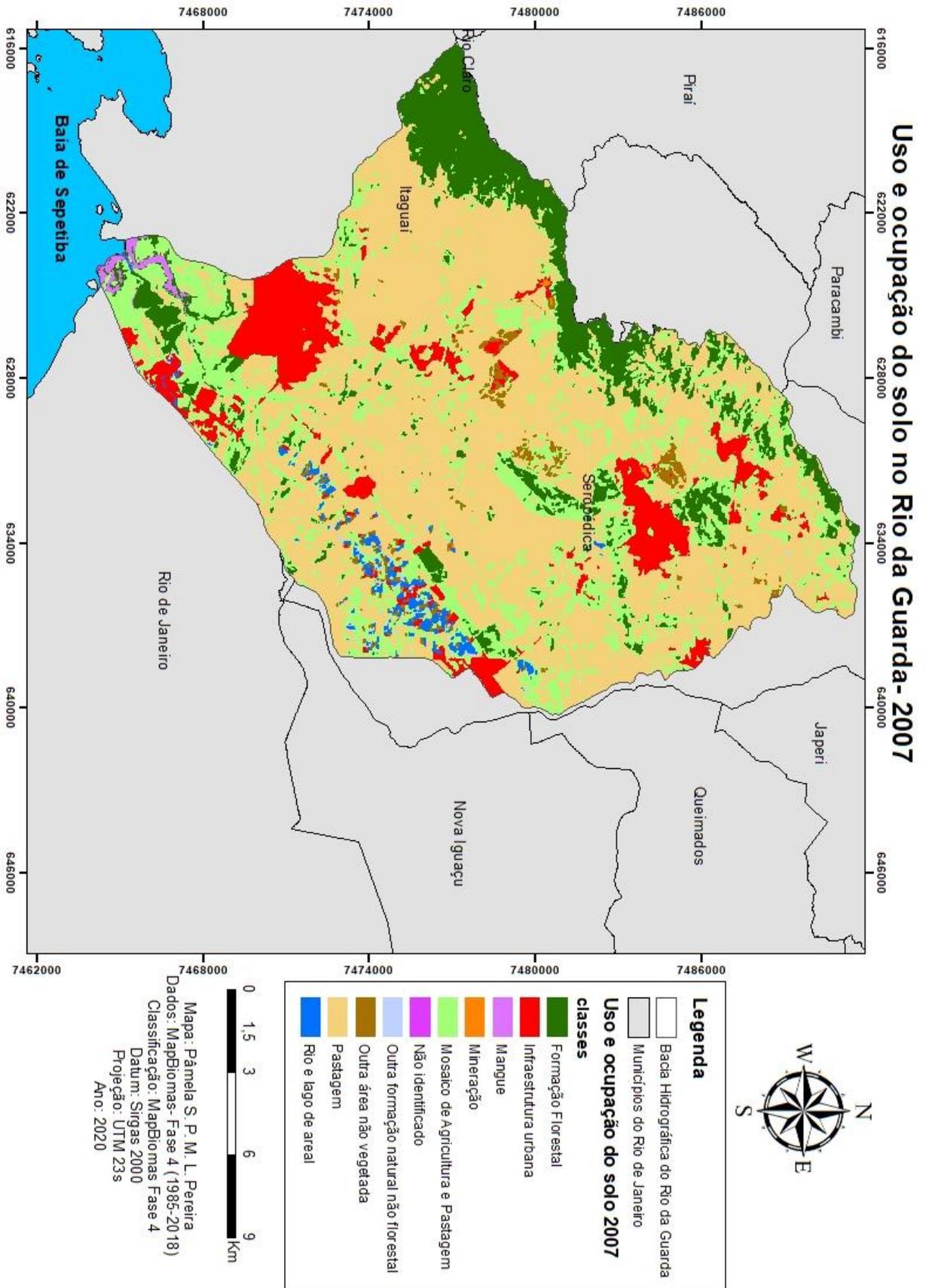


Figura 23- Mapa de uso e ocupação do solo 2007

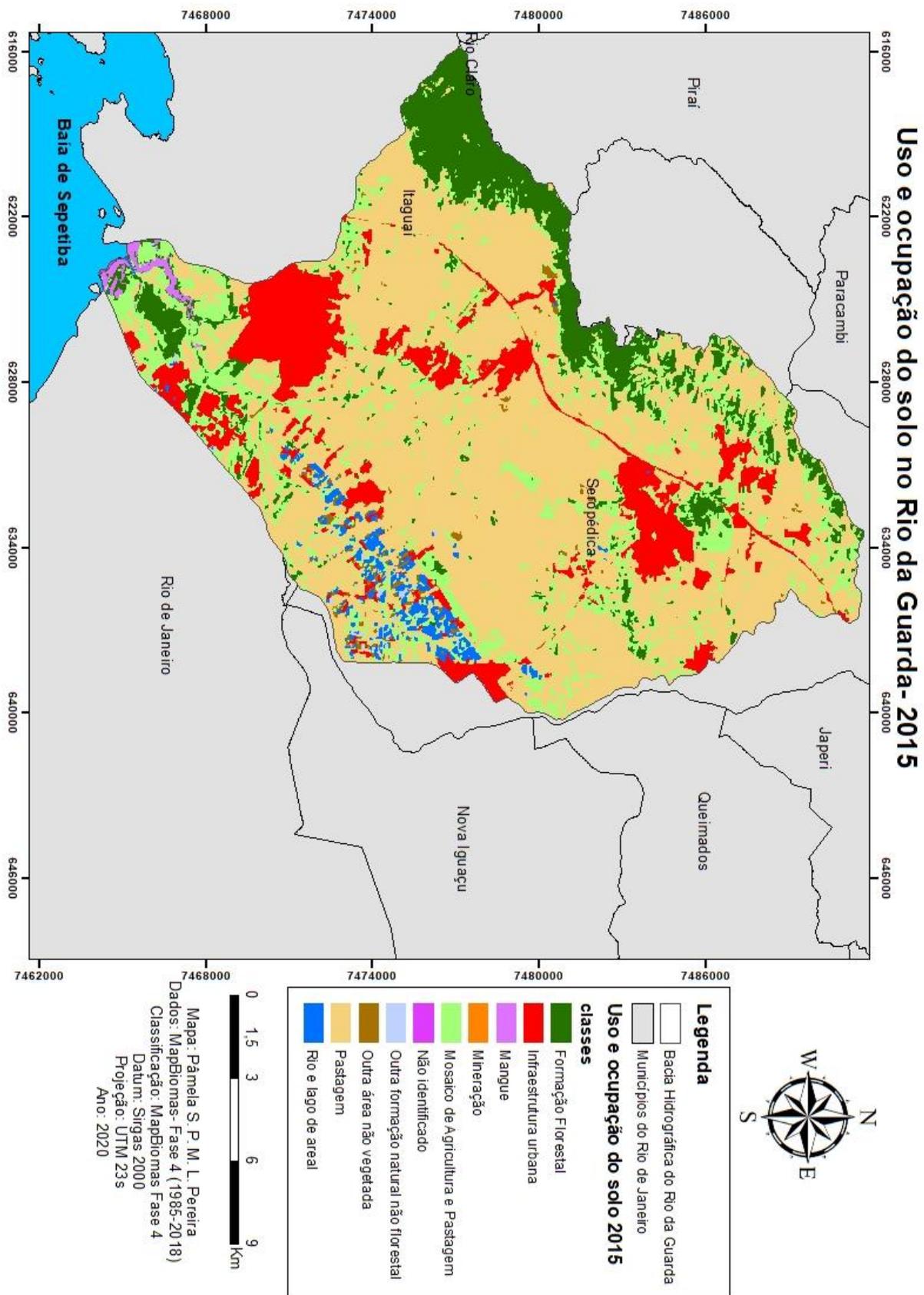


Figura 24- Mapa de uso e ocupação do solo 2015

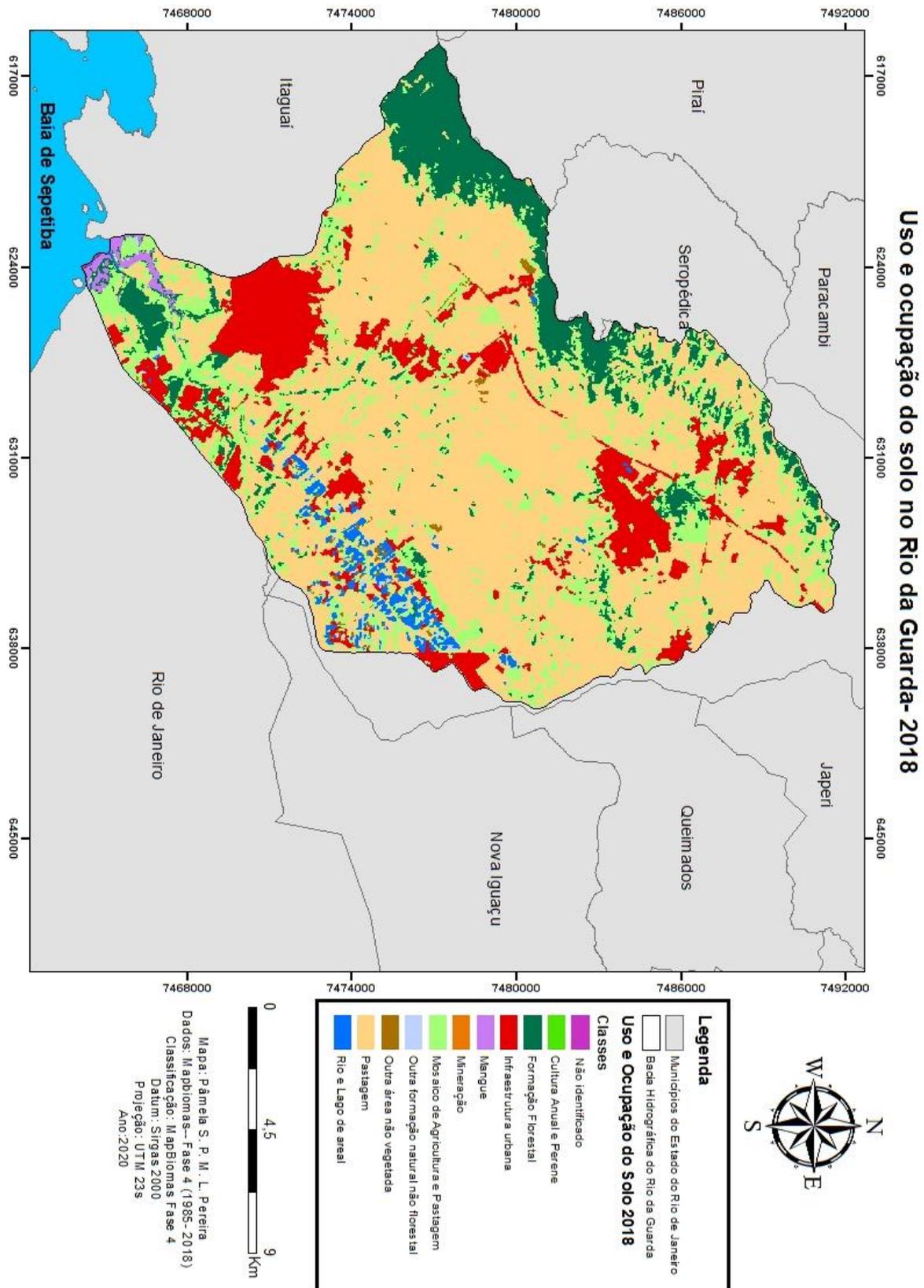


Figura 25- Mapa de uso e ocupação do solo 2018

A tabela 13 apresenta a síntese dos resultados sobre a análise temporal do uso e cobertura do solo, além de mostrar a variação percentual das classes. Nesta podemos observar uma variação temporal dentro do período de 33 anos (1985-2018), a classe infraestrutura urbana obteve um crescimento de 167,559%, é possível perceber que esta classe cresceu suprimindo a pastagem e algumas áreas do mosaico de agricultura e pastagem.

Tabela 13: Sínteses dos dados de uso e ocupação do solo (1985 a 2018)

Classes	Área em 1985	Área em 1985	Área em 1996	Área em 1996	Área em 2007	Área em 2007	Área em 2015	Área em 2015	Área em 2018	Área em 2018	Variação (Km²)	Variação (%)
	(Km²)	(%)	1985 - 2018	1985 - 2018								
Não identificado	0,055	0,016	0,061	0,018	0,059	0,018	0,062	0,018	0,065	0,019	0,01	1,818
Cultura Anual e Perene	0	0	0	0	0	0	0	0	0,007	0,002	0,007	Sem dado
Formação Florestal	34,186	10,22	42,318	12,651	41,566	12,427	38,076	11,383	39,167	11,707	4,981	14,57
Infraestrutura urbana	15,394	4,602	21,617	6,462	29,301	8,76	41,254	12,333	41,188	12,312	25,794	167,559
Mangue	1,037	0,31	1,183	0,354	1,571	0,47	1,823	0,545	1,958	0,585	0,921	88,81
Mineração	0,006	0,002	0,06	0,018	0,181	0,054	0,038	0,011	0,028	0,008	0,022	366,66
Mosaico de Agricultura e Pastagem	57,201	17,1	47,393	14,168	68,748	20,553	50,364	15,056	56,059	16,757	1,142	-1,996
Outra área não vegetada	1,634	0,488	2,914	0,871	5,81	1,737	3,647	1,09	2,327	0,695	0,693	42,411
Outra formação natural não florestal	0,676	0,202	0,601	0,18	0,888	0,265	1,196	0,357	1,164	0,348	0,488	72,189
Pastagem	223,802	66,906	216,141	64,616	182,33	54,509	191,935	57,379	186,315	55,692	37,487	-16,75
Rio e Lago de areal	0,513	0,153	2,212	0,661	4,038	1,207	6,11	1,826	6,267	1,873	5,754	1.121,64
	334,504		334,5		334,492		334,505		334,545			

Fórmulas para o cálculo da variação dos índices de 1985 a 2018
Valor maior para o menor =
$(\text{maior} - \text{menor}) * 100 / \text{maior}$
Valor menor para maior =
$(\text{maior} - \text{menor}) * 100 / \text{menor}$

É importante destacar que a classe formação florestal apesar de ter um crescimento de 14,57% dentro de 33 anos, ao longo desse período ela sofreu constantes variações. De 1985 até 2007 essa classe obteve um aumento de 7,380 Km², representando um total de 7% da área total e após ela foi reduzida entre 2007 e 2018 em 2,399 Km² com a variação percentual de 21,594%. Esse aumento de 14,57% só foi possível por causa da Unidade de Conservação Ambiental Floresta Nacional Mário Xavier que foi legalmente criada em 1986 pelo Decreto Federal nº 93.369 de 08 de outubro de 1986 e abrange uma área de 495,99 hectares (ICMBio).

A classe pastagem apresenta uma redução de 37,487 Km² no período de 33 anos, representando uma variação de -16,75% e a classe de Agricultura e pastagem com redução 1,142 km² com -1,996%. Esses dados comumente seriam satisfatórios, pois a classe de pastagem em uma bacia hidrográfica provoca a compactação do solo por meio do pisoteio do gado, gerando um maior escoamento superficial e diminuição da infiltração da água e recarga dos lençóis freáticos. Entretanto, essa redução, neste caso está ocorrendo devido a expansão da classe infraestrutura urbana que representa alterações drásticas no sistema de drenagem.

Além disso, a exposição do solo (área de pastagem) sem a presença de uma cobertura vegetal contribui para a lavagem dos sais minerais. Isto pode levar a lixiviação, que é um processo que ocorre quando o solo fica excessivamente exposto (por causa de desmatamento, queimadas ou pastoreio) e, com a ação das chuvas tem seus minerais básicos carregados para o lençol freático, empobrecendo assim o solo e podendo torná-lo infértil (LEPSCH, 2011).

As bacias hidrográficas urbanizadas apresentam especificidades, pois os fatores antrópicos assumem grande importância no sistema hidrológico, principalmente a ocupação intensa e desordenada e a inadequação do sistema de drenagem. Dentre as modificações

destacam-se a impermeabilização de grandes áreas por meio da pavimentação que impede a infiltração e aumenta o escoamento superficial (BOTELHO, 2011)

O aumento da classe infraestrutura urbana foi a que obteve um aumento significativo em comparação com as outras classes, isso se deve ao modelo de desenvolvimento econômico adotado por gestores que consideram urbanização como sinônimo de desenvolvimento, dessa maneira, eles incentivam a ocupação. Monteiro e Mendonça (2003) chama atenção para a concentração de população que pode acabar gerando convergências populacionais e isso causa impacto sobre a qualidade de vida.

“concentradora de população, estruturada socialmente, produzindo economicamente e, pelas suas funções e múltiplos serviços, núcleo de polarização e organização do espaço, e tudo o mais que daí decorre, a cidade é, também, o lugar de mais efetiva interação entre o Homem e a Natureza. A partir da organização primitiva da segunda, o primeiro promove, de maneira concentrada, uma série infundável de derivações que se aglutinam na massa de edificações urbanas ao cabo de que as primitivas condições geológicas do sítio vão sendo derivadas por acréscimos. [...] Tudo isso, aliado à própria dinâmica da população aí concentrada, circulando e desempenhando variadas atividades e serviços, faz com que as cidades sejam - por excelência - os lugares onde as resultantes ambientais configuram-se como obra conjunta de uma natureza retrabalhada e afeiçoada aos propósitos do viver humano.” (MONTEIRO e MENDONÇA, 2003, p.10)

Com a crescente urbanização sem planejamento que encontramos na bacia hidrográfica, o que se pode notar nessas áreas são aglomerações com carência de infraestrutura básica. Além disso, como já evidenciado, as áreas de pastagem têm se tornado com o passar dos anos áreas de infraestrutura urbana, que agravará ainda mais o quadro ambiental da bacia hidrográfica.

Outro elemento importante nesta análise é a Rodovia Raphael de Almeida Magalhães, popularmente conhecida como Arco Metropolitano, pois a partir do ano de 2015 é possível observar um crescimento urbano nas proximidades da rodovia.

As rodovias são as grandes responsáveis pelo aumento demográfico, pois trazem uma grande quantidade de pessoas e produtos. Além disso, é alvo de grandes indústrias, pois uma fábrica nessas proximidades reduz o custo e aumenta a logística de transporte.

Outra classe que se destaca é a de lagos de areais que representa um crescimento de 1.121,64%, pois esta classe refere-se aos lagos artificiais, fruto da extração de areia que ocorre na região. De acordo com os dados SIGMINE, o Sistema de Informações Geográficas da Mineração (DNPM, 2012), foi realizado licenciamentos e concessões de lavras para exploração de areia em Seropédica, o que resultou na criação de lagos artificiais. Tubbs *et al.* (2011) em seu estudo sobre os lagos artificiais compararam os teores das águas dos lagos artificiais e das águas subterrâneas e concluiu que a atividade de extração de areia desencadeia mudanças químicas na água ocasionando um ambiente peculiar devido sua acidificação. Além disso, pode contaminar os poços próximos aos areais que são utilizados para consumo humano com elementos químicos como alumínio, manganês e ferro.

4.3 Geocologia e o mapa de suscetibilidade a enchente e inundação

O mapeamento geocológico é realizado pelo método analítico-integrativo (Coelho Netto *et al.*, 2000), necessitando de diversas informações cartográficas sobre a paisagem e meio ambiente. Dessa maneira, ressalta-se a importância para a fonte confiável de obtenção dos dados para que seja possível realizar o mapeamento sistêmico com a possibilidade de inserir novas informações.

A metodologia utilizada nesta pesquisa, visa integrar diversas informações relacionadas a suscetibilidade e atuação de variáveis diversas que existem no ambiente e propiciam os

fenômenos de enchente e inundação na bacia hidrográfica do Rio da Guarda. Para tanto o presente estudo se valeu dos dados de declividade, altitude, uso e ocupação do solo e pedologia para gerar os dados de acumulação, permeabilidade e infiltração, e assim desenvolver um mapa analítico-integrativo por meio da álgebra de mapas, processado no ArcGis por meio da ferramenta combine.

Os dados referentes ao mapa de acumulação em altitude (Figura 27) revela que a bacia hidrográfica do rio da Guarda tem grande parte de seu relevo em áreas que variam de 0 a 50 metros de altitude, sendo considerada áreas propensas para acumulação de águas que já foi observado pela análise hipsométrica no primeiro subcapítulo 4.1.3.

Os dados de acumulação em declividade são oriundos do mapa de declividade (Embrapa, 1979), entretanto os dados foram reclassificados e o relevo plano e suave aglutinados em uma única classe, além desse tipo de relevo, também houve a aglutinação do relevo montanhoso e escarpado. Esses dados foram combinados e gerou o mapa de acumulação, conforme a figura 29 e a tabela 10.

O resultado do mapa de acumulação em declividade (Figura 28) demonstra que 82,67% da bacia encontra-se com gradientes entre 0% e 8%, o que já havia sido evidenciado pela análise hipsométrica com o mapa de declividade (tabela 9) (figura 20). Esse resultado é muito expressivo, visto que essas áreas são mais prováveis a acumulação de águas.

Tretin e Robaina (2005) chamam atenção para o comprimento da vertente, pois ela apresenta relação direta com o tempo maior de escoamento e pode ser um fator importante para a erosão superficial, pois um maior volume de água poderá se juntar na descida da vertente até chegar ao curso d'água. Além disso, quanto maior for a vertente, maior será a capacidade de infiltração, pois quanto maior for a vertente o percurso percorrido será maior, possibilitando a infiltração desta água.

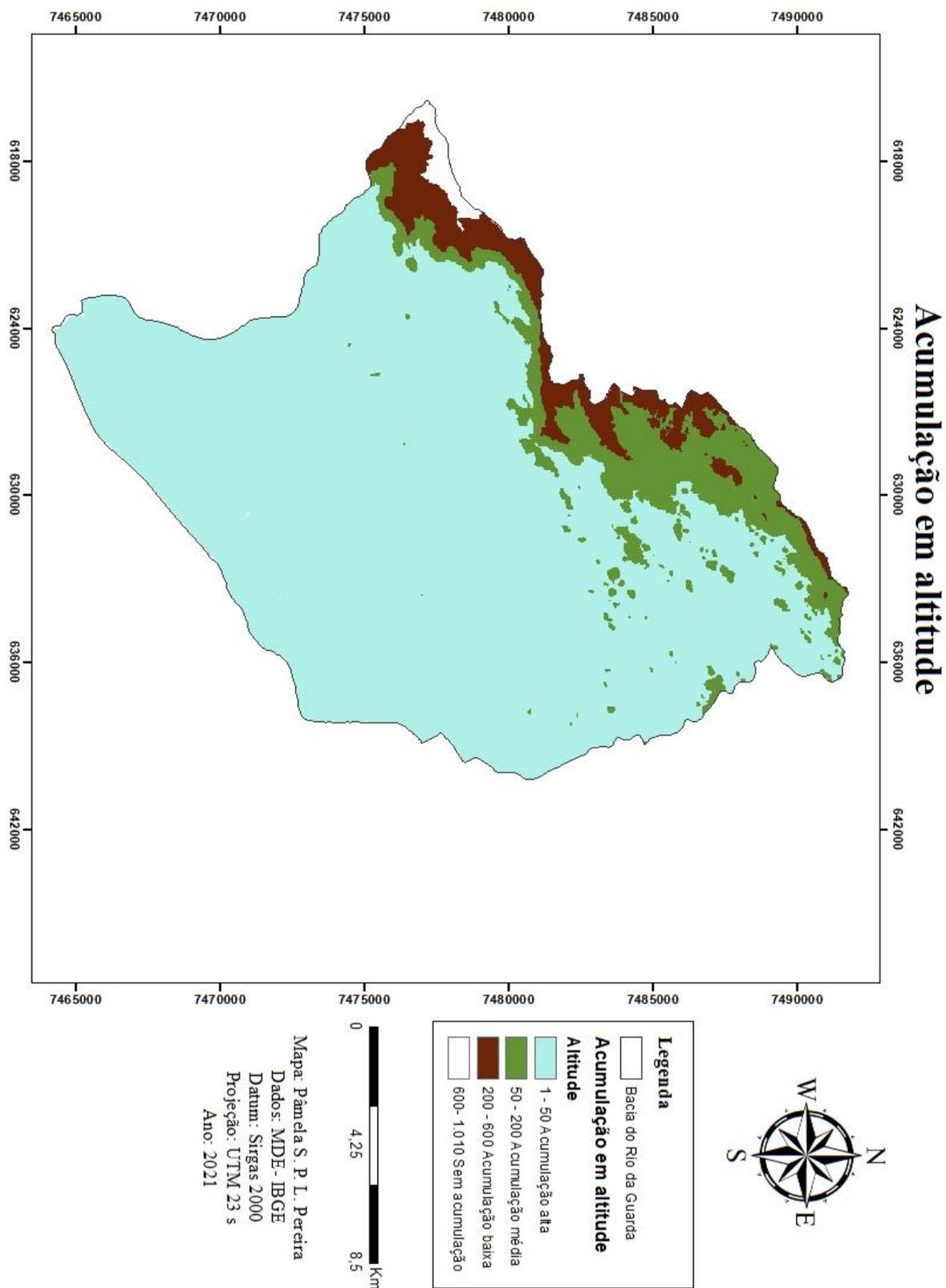


Figura 27: Mapa de acumulação em altitude (em metros)

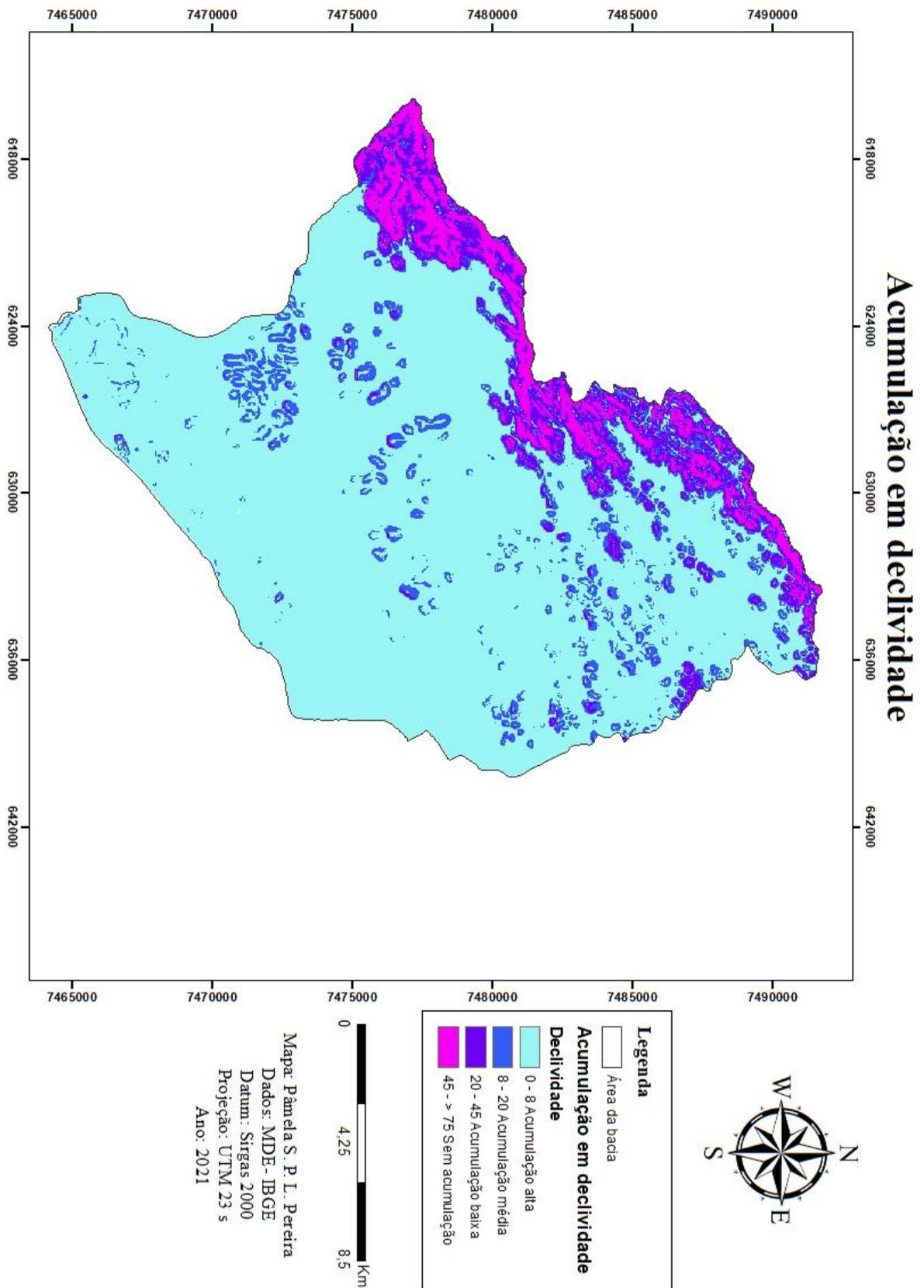


Figura 28: Mapa de acumulação em declividade (%)

Tabela 10: Composição das classes de acumulação

Acumulação em declividade	Acumulação em altitude	Acumulação da água
Alta	Alta	Alta
Alta	Média	Alta
Alta	Baixa	Média
Alta	Sem acumulação	Média
Média	Alta	Alta
Média	Média	Média
Média	Baixa	Média
Média	Sem acumulação	Média
Baixa	Alta	Média
Baixa	Média	Baixa
Baixa	Baixa	Baixa
Baixa	Sem acumulação	Sem acumulação
Sem acumulação	Alta	Sem acumulação
Sem acumulação	Média	Baixa
Sem acumulação	Baixa	Sem acumulação
Sem acumulação	Sem acumulação	Sem acumulação

O mapa de acumulação das águas (Figura 29) apresenta a divisão da bacia hidrográfica do Rio da Guarda em seu alto curso com uma grande área sem acumulação, outra com acumulação baixa e uma pequena área com acumulação média; já no médio curso a classe que se destaca é a acumulação baixa, tendo pequenos mosaicos desarticulados sem acumulação e com acumulação alta e baixo curso tem a predominância da acumulação alta com pequenas áreas de acumulação média.

Os resultados indicam que a bacia tem maior acumulação do fluxo em áreas com relevo rebaixado e a declividade baixa, local onde a precipitação tende a gerar a acumulação da água e corroborar com processos de enchente e inundação. De acordo com Tretin e Robaina (2005) “Áreas planas em baixas altitudes na bacia estão mais sujeitas a inundações, enquanto área com elevadas declividades podem apresentar uma dinâmica superficial associada a movimentos de massa”.

Outro resultado interessante é acumulação alta em área onde a declividade varia entre o relevo escarpado e montanhoso com altitude acima de 600 metros. Essa área naturalmente indicaria área com baixa ou nenhuma acumulação por conta da gravidade associada a altitude, entretanto há áreas com alta e média acumulação.

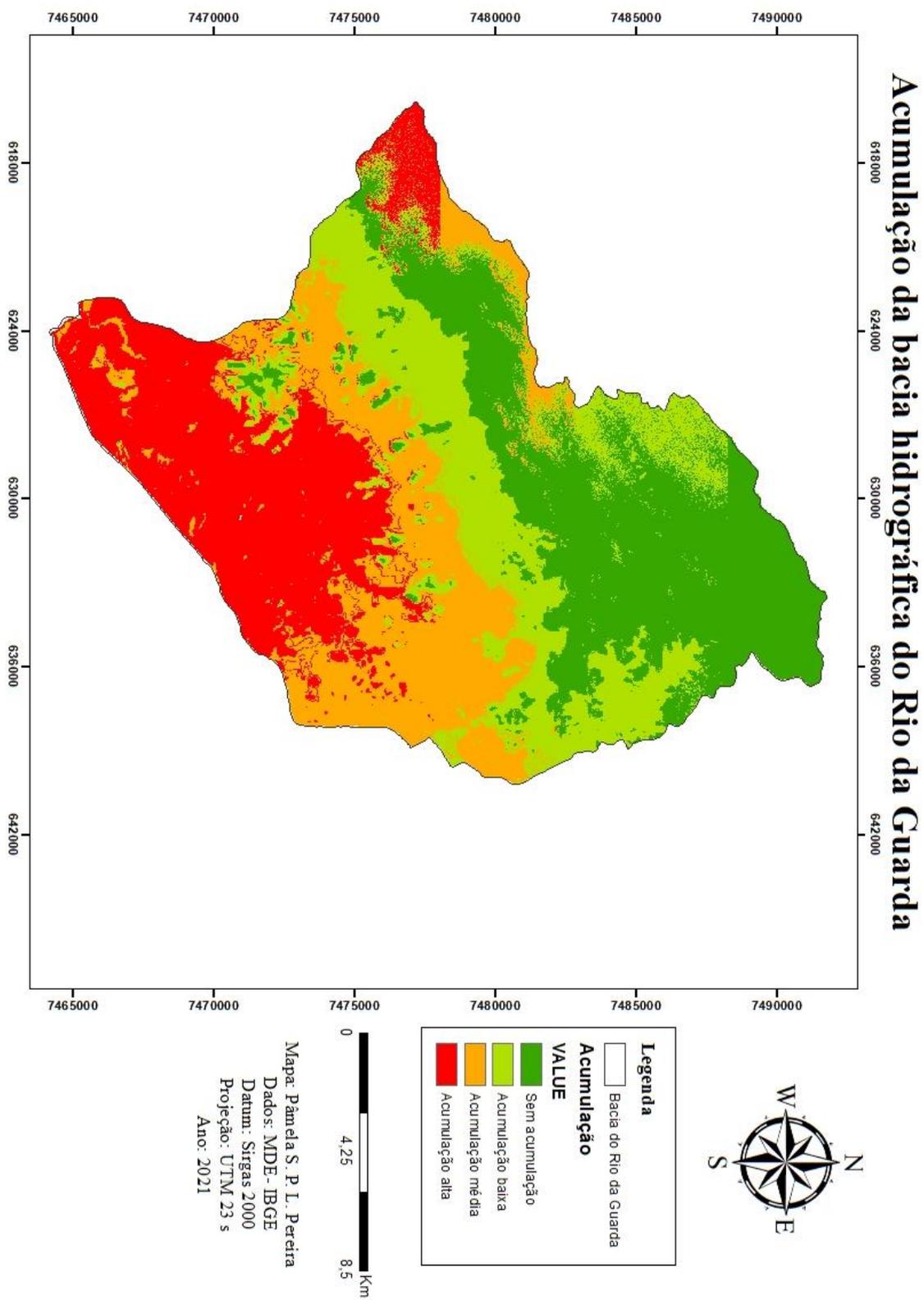


Figura 30: Mapa de acumulação das águas

Para analisar a permeabilidade de uma bacia hidrográfica a pedologia se apresenta como uma análise fundamental (Figura 30), pois a composição do solo, a textura, o tipo de material e granulometria encontrada na área de estudo permite realizar a classificação e por meio do geoprocessamento a reclassificação, tendo como resultado o mapa de permeabilidade.

A bacia hidrográfica do Rio da Guarda possui as classes dos Cambissolos, Planossolos, Gleissolos, Organossolo, Argissolo e Área Urbana. O sistema Brasileiro de Classificação solos, desenvolvido pela Embrapa sob a organização de Santos *et al.* (2018), descrevem a composição, característica e textura de cada classe de solos. Na área de estudo esses solos parecem indicar áreas com maior ou menor permeabilidade, onde:

Os cambissolos, normalmente encontrados em área de várzea, na área de estudo parece indicar os rios e lagos de areal; já os Planossolos têm a presença de argila com cores acinzentadas refletindo uma baixa permeabilidade, na bacia estudada, essa classe corresponde a grandes áreas de pastagem e parte das áreas urbanizadas; Os Gleissolos, formados em ambiente com à saturação por água, na área de estudo é encontrado em áreas de altas altitudes, o que pode explicar as áreas de acumulação de água neste local; Os Organossolos contém maior quantidade de constituintes orgânicos sobre os dos constituintes minerais, esta classe se encontra no baixo curso da bacia com a presença de formação vegetal e mosaico de agricultura e pastagem, o que explica a área verde encontrada nesta área; Os Argissolos, solos com maior presença da argila se encontram em áreas com vegetação, altitude e algumas áreas de pastagem, e, a Área Urbana é representada por uma área com maior impermeabilidade por conta da estrutura urbana que tende a acumular mais água em superfície por causa da impermeabilização do solo

Magalhães *et al.* (2011) observam que a definição dos tipos de solo existentes na região é importante, pois cada um deles possui diferentes capacidades de infiltração, permeabilidade e escoamento superficial da água.

A reclassificação dessas classes de solos possibilitou a construção do mapa de permeabilidade (Figura 31) que apresenta as áreas de alta permeabilidade com os solos enxarcados ou os predominantes de área de várzea, o solo com média permeabilidade com seu desenvolvimento saturado pela água em alguns períodos chuvosos em clima úmido, o solo com baixa permeabilidade constituído por argila. De acordo com Leal, Barbosa e Aquino (2020) os solos argilosos apresentam baixa permeabilidade e o solo impermeável constituído pela área urbana, não possui permeabilidade nos materiais encontrados na infraestrutura urbana.

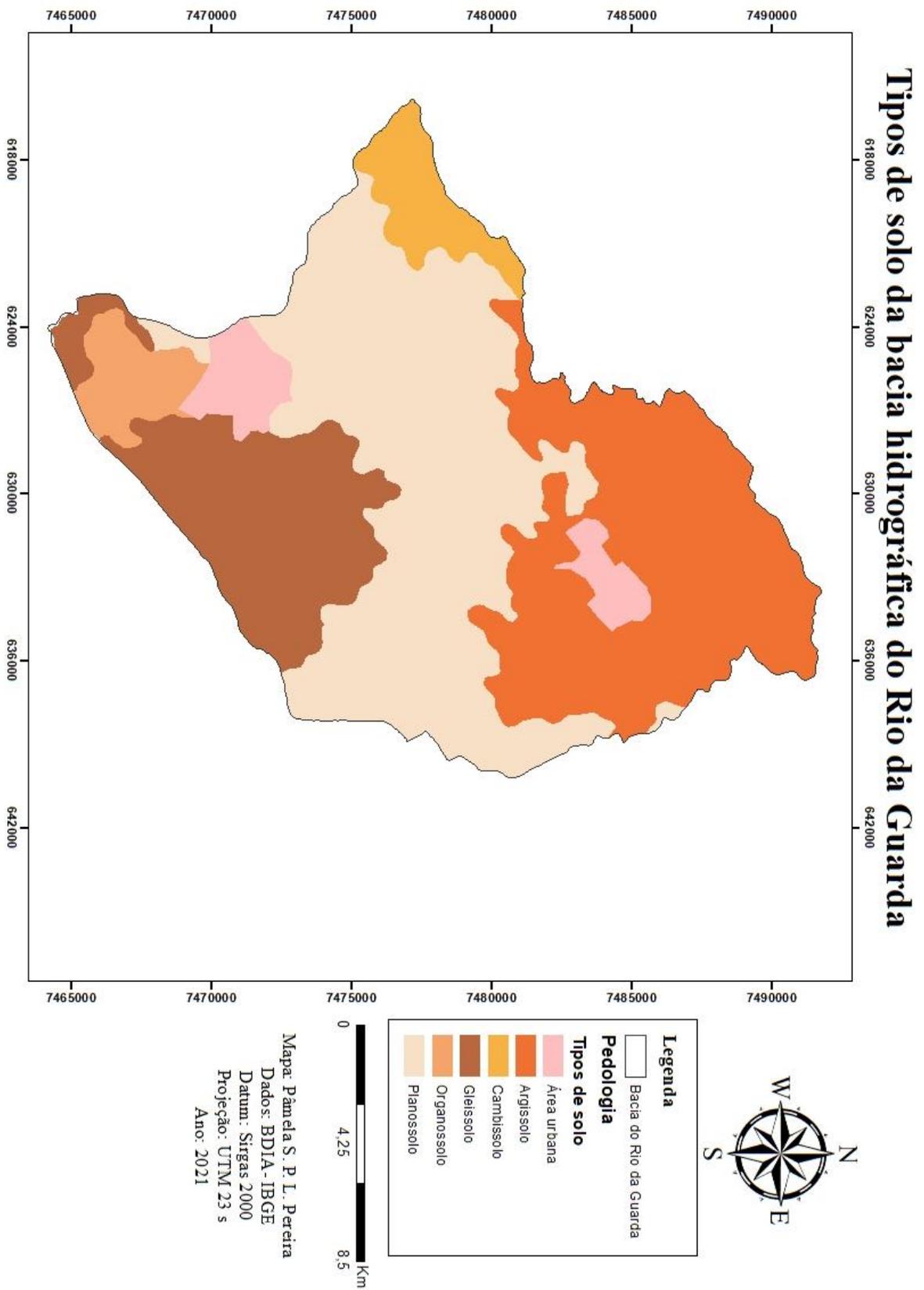


Figura 30: Tipos de solo na bacia hidrográfica do Rio da Guarda

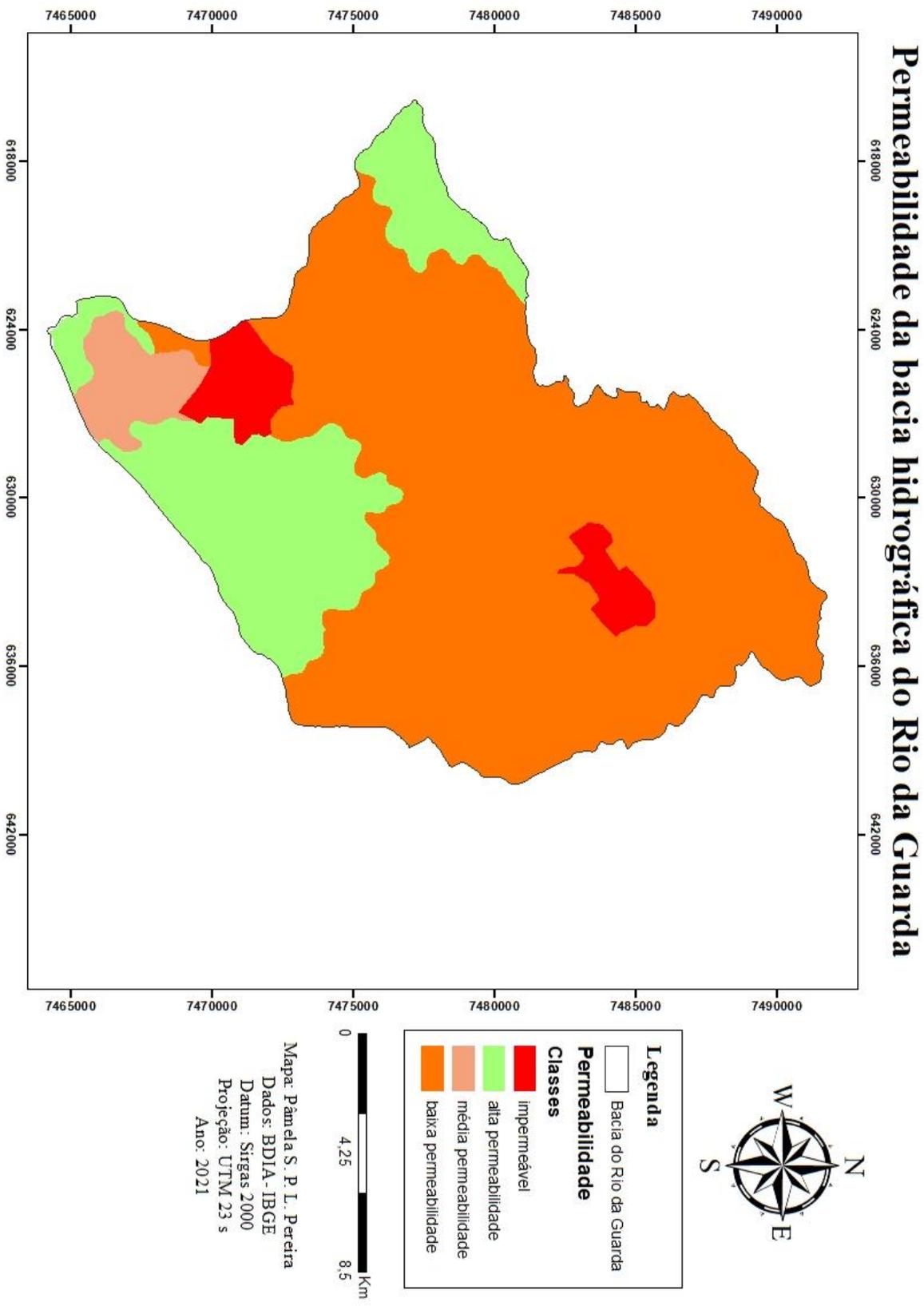


Figura 31: Permeabilidade da bacia

Os estudos realizados sobre de uso e ocupação da terra têm sido de grande importância para as análises ambientais, visto que as análises de avaliações sobre os impactos ambientais, em sua grande maioria utiliza os dados de uso e cobertura do solo para identificar áreas de desmatamento, índice de vegetação, índice de área urbana, entre outros.

O uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do Rio da Guarda tem a finalidade de fomentar a metodologia do estudo em questão com o mapa de infiltração. O objetivo é classificar as áreas que apresentem maior infiltração a partir da identificação da composição dos diferentes materiais encontrados, sejam eles tipos de vegetação, padrões de uso do solo, pastagem, agricultura e outros.

O mapa de infiltração, figura 32, representa a realidade da área de estudo através do uso e cobertura do solo existente refletido na capacidade dos mesmos apresentarem a infiltração da água no solo em diferentes classes, possibilitando as enchentes e inundações. Observando o mapa é interessante notar que as classes estão divididas em alta, média, baixa infiltração, sem infiltração, além do rio e lago de areal.

As classes de 'Pastagem', e 'Mineração' apresentaram uma baixa infiltração, esse resultado ocorre por conta de diversos fatores, tendo cada classe sua especificidade, no caso em questão é destacada a classe de pastagem, pois representa 186,31 Km² de 334,55 Km² que é a área total da bacia, representando o total de 55,59% dessa classe. Outra classe que merece destaque é a Infraestrutura urbana com 41,19 Km², que representa o total de 12,31 %, logo essas duas classes representam 67,90% da bacia hidrográfica do Rio da Guarda localizada em áreas de baixa infiltração e sem infiltração, Campioli e Vieira (2019)

De acordo com Poletto (2014) o aumento da impermeabilização gera menor infiltração e, conseqüentemente, um aumento no escoamento superficial, e que também se refletem na área em condições de agravamento do assoreamento de canais, já que esse aumento do volume escoado superficialmente e o acréscimo da velocidade do escoamento garantem maior energia no transporte de sedimentos (POLETO, 2014).

Sendo assim, a classe Infraestrutura urbana contribui muito para os processos de enchente e inundação devido a impermeabilização, o que impede a infiltração, já a classe Pastagem atua na compactação do solo por conta do pisoteio do gado, o que resulta em um aumento do escoamento superficial e a dificuldade de a água infiltrar devido à ausência da interceptação realizada pela vegetação.

As classes de 'Cultura anual e perene', o 'Mosaico de agricultura e pastagem', 'Outra área não vegetada' e 'Outra formação natural não florestal' apresentaram infiltração média, pois apesar de não representar uma formação florestal com alto índice de infiltração, a agricultura encontrada nessas áreas realiza em parte a infiltração no solo, já a classe outra área não vegetada que representa áreas de solo exposto e outras áreas próximas aos rios e lago de areal apresentam infiltração por se tratar dos gleissolos, mas não em grandes quantidades.

Já as classes de 'Formação florestal' demonstram uma infiltração alta por se tratar de áreas com cobertura florestal, pois as árvores têm a função de interceptar a água da chuva por meio de sua copa e elas auxiliam na infiltração com suas raízes, as vegetações menos densas, apesar de não apresentar uma infiltração tão alta, também a possui em quantidades significativas comparada as classes de média infiltração.

Tucci (1997) diz que a após a urbanização ocorre a urbanização do solo através de ruas, calçadas, telhados, pátios, entre outros. A parcela de água que infiltrava passa a escoar pelos condutos, aumento o escoamento superficial, com a ocupação urbana esse volume torna-se maior exigindo uma maior capacidade de escoamento. Silva (2013) também observa que os efeitos de escoamento superficial podem ser intensificados com a intervenções humanas e as ocupações inadequadas que comprometem o escoamento, agrando a intensidade das inundações.

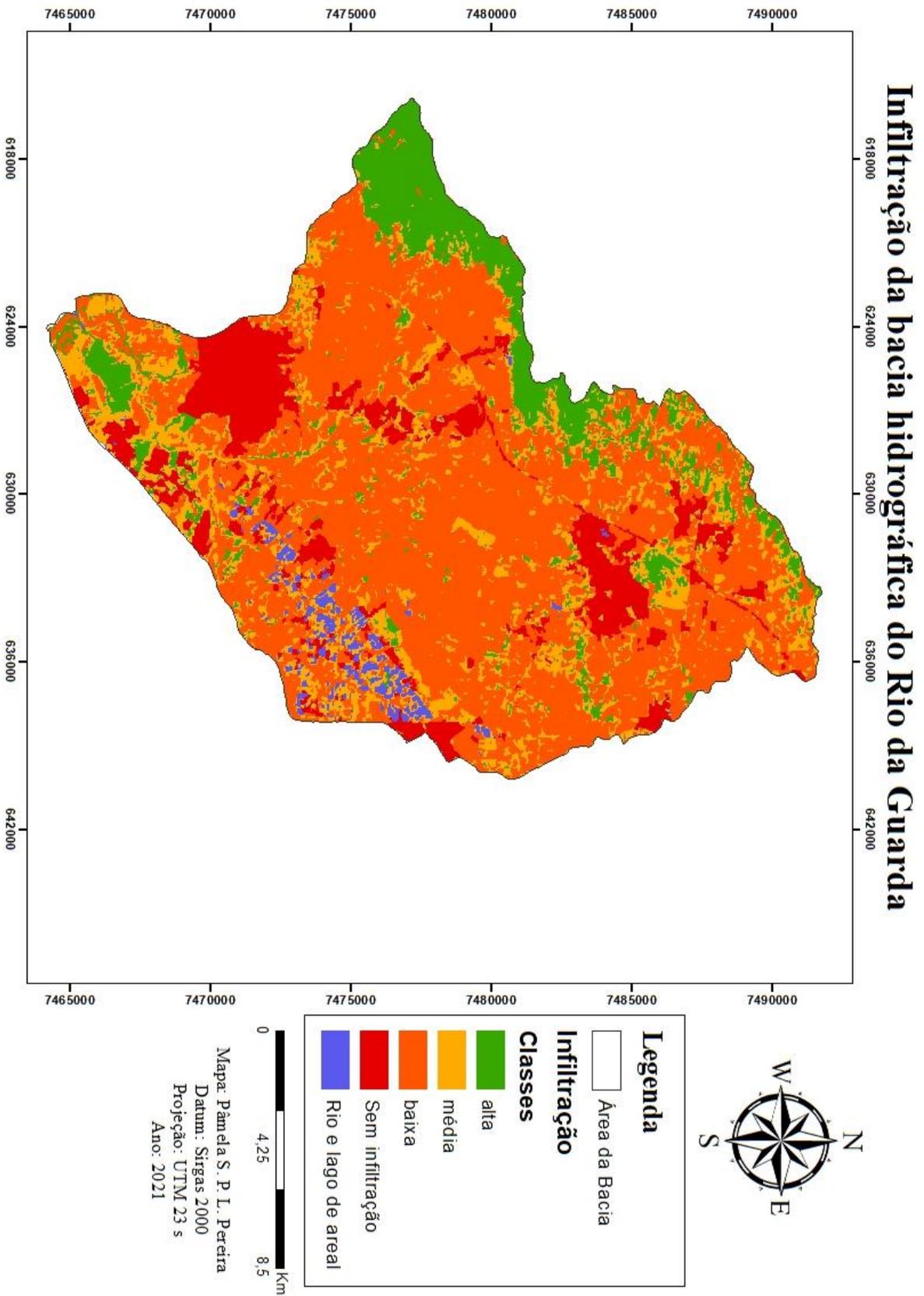


Figura 32: Infiltração da bacia hidrográfica

O mapa de suscetibilidade da bacia hidrográfica do Rio da Guarda foi produzido por meio da técnica de geoprocessamento com a metodologia analítica-integrativa com base nos dados obtidos sobre a acumulação, infiltração e permeabilidade. Esses dados, todos em formato matricial, permitiu desenvolver a tabela 11 e a figura 33. As classes foram definidas com base nesses mapas que resultaram na suscetibilidade apresentada na chave para a classificação encontrada na área de estudo.

Tabela 11: Suscetibilidade da bacia hidrográfica do Rio da Guarda

Infiltração	Acumulação	Permeabilidade	Suscetibilidade
Alta	Alta	Alta	Média
Alta	Média	Alta	Média
Alta	Baixa	Alta	Baixa
Alta	Sem acumulação	Alta	Sem acumulação
Alta	Alta	Média	Média
Alta	Média	Média	Média
Alta	Baixa	Média	Baixa
Alta	Sem acumulação	Média	Sem acumulação
Alta	Alta	Baixa	Média
Alta	Média	Baixa	Média
Alta	Baixa	Baixa	Baixa
Alta	Sem acumulação	Baixa	Sem acumulação
Alta	Alta	Impermeável	Alta
Alta	Média	Impermeável	Média
Alta	Baixa	Impermeável	Baixa
Alta	Sem acumulação	Impermeável	Baixa
Média	Alta	Alta	Média
Média	Média	Alta	Média
Média	Baixa	Alta	Baixa
Média	Sem acumulação	Alta	Baixa
Média	Alta	Média	Alta
Média	Média	Média	Média
Média	Baixa	Média	Baixa
Média	Sem acumulação	Média	Média
Média	Alta	Baixa	Média
Média	Média	Baixa	Média
Média	Baixa	Baixa	Baixa
Média	Sem acumulação	Baixa	Média
Média	Alta	Impermeável	Alta
Média	Média	Impermeável	Média
Média	Baixa	Impermeável	Média
Média	Sem acumulação	Impermeável	Média
Baixa	Alta	Alta	Alta
Baixa	Média	Alta	Alta
Baixa	Baixa	Alta	Média
Baixa	Sem acumulação	Alta	Média

(Continuação)

Tabela 11: Continuação

Baixa	Alta	Média	Alta
Baixa	Média	Média	Média
Baixa	Baixa	Média	Média
Baixa	Sem acumulação	Média	Média
Baixa	Alta	Baixa	Alta
Baixa	Média	Baixa	Alta
Baixa	Baixa	Baixa	Alta
Baixa	Sem acumulação	Baixa	Média
Baixa	Alta	Impermeável	Alta
Baixa	Média	Impermeável	Alta
Baixa	Baixa	Impermeável	Média
Baixa	Sem acumulação	Impermeável	Média
Sem infiltração	Alta	Alta	Alta
Sem infiltração	Média	Alta	Alta
Sem infiltração	Baixa	Alta	Média
Sem infiltração	Sem acumulação	Alta	Média
Sem infiltração	Alta	Média	Alta
Sem infiltração	Média	Média	Alta
Sem infiltração	Baixa	Média	Média
Sem infiltração	Sem acumulação	Média	Média
Sem infiltração	Alta	Baixa	Alta
Sem infiltração	Média	Baixa	Alta
Sem infiltração	Baixa	Baixa	Média
Sem infiltração	Sem acumulação	Baixa	Média
Sem infiltração	Alta	Impermeável	Alta
Sem infiltração	Média	Impermeável	Alta
Sem infiltração	Baixa	Impermeável	Alta
Sem infiltração	Sem acumulação	Impermeável	Média
Rio e lago de areal	Alta	Alta	Alta
Rio e lago de areal	Média	Alta	Média
Rio e lago de areal	Baixa	Alta	Baixa
Rio e lago de areal	Sem acumulação	Alta	Baixa
Rio e lago de areal	Alta	Média	Alta
Rio e lago de areal	Média	Média	Média
Rio e lago de areal	Baixa	Média	Baixa
Rio e lago de areal	Sem acumulação	Média	Baixa
Rio e lago de areal	Alta	Baixa	Média
Rio e lago de areal	Média	Baixa	Média
Rio e lago de areal	Baixa	Baixa	Média
Rio e lago de areal	Sem acumulação	Baixa	Média
Rio e lago de areal	Alta	Impermeável	Alta
Rio e lago de areal	Média	Impermeável	Alta
Rio e lago de areal	Baixa	Impermeável	Média
Rio e lago de areal	Sem acumulação	Impermeável	Média

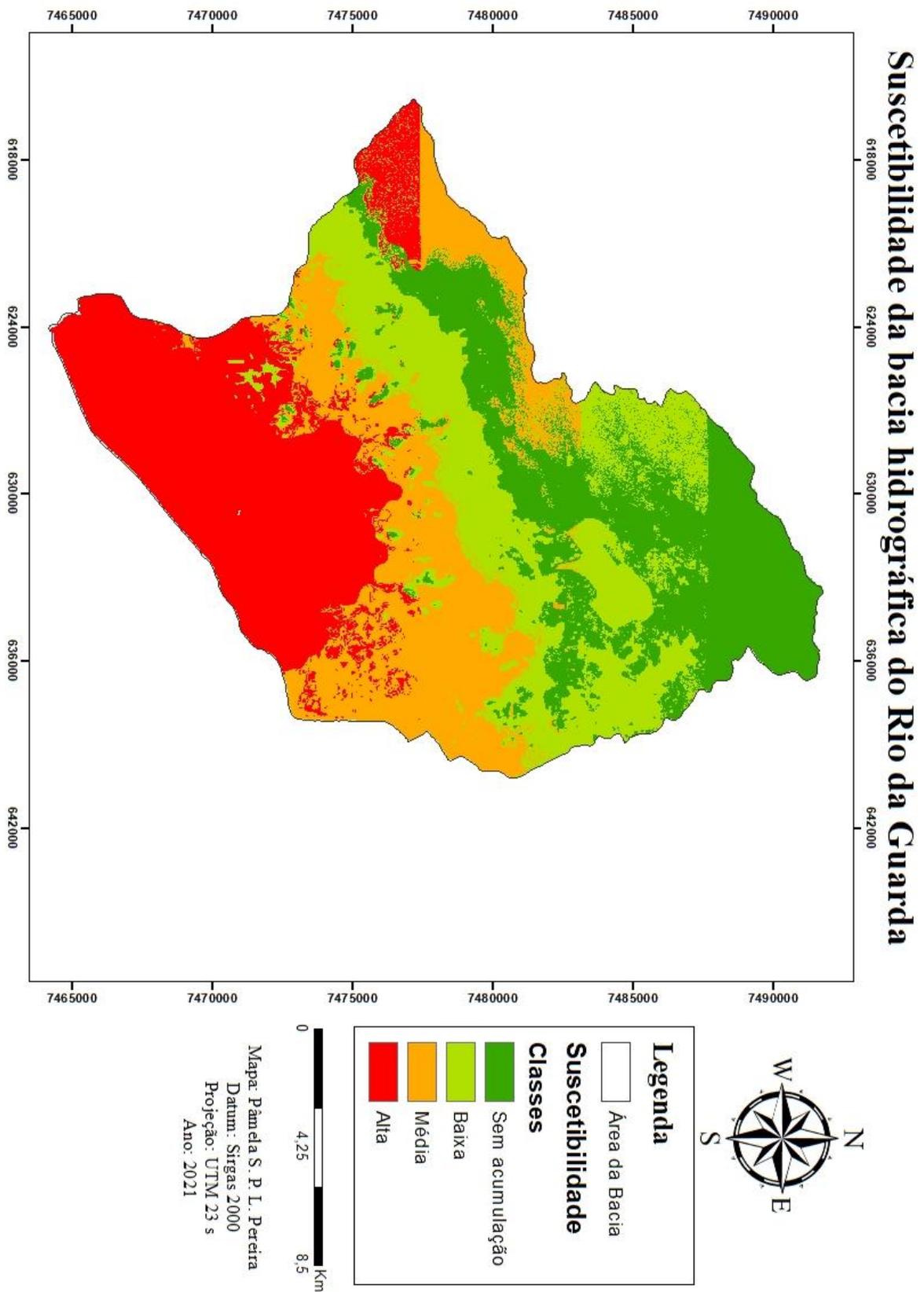


Figura 33: Mapa de suscetibilidade a enchentes e inundações da bacia hidrográfica do Rio da Guarda

Os resultados acerca dos dados de suscetibilidade apresentados estão pautados na análise integrada de componentes ambientais da altitude, declividade e pedologia, associado a ação antrópica do uso e ocupação do solo que demonstraram a fragilidade ambiental. Além da fragilidade, os resultados também apresentam a probabilidade e a pré-disposição em induzir ou acelerar a ocorrência de eventos de enchente e inundação, resultado assim, na suscetibilidade ao risco do fenômeno.

Analisando a figura 33, é notório que áreas consideradas com risco alto estão concentradas principalmente nas regiões mais planas da bacia. Esses valores são explicados principalmente por conta do uso antrópico associado a acumulação, pois as classes de uso que se destacaram nessas áreas foram áreas de pastagem, áreas urbanas e mosaico de agricultura e pastagem, todas estas com as taxas de infiltração variando entre sem infiltração, baixa e média.

Outro fator importante é a acumulação da água, que neste caso representa altitudes que variam entre 1 a 50 metros de altitude associada a declividade de 0-3 (%), sendo considerado um relevo plano com grandes probabilidades a enchente e inundação. Além disso a permeabilidade apresenta as áreas impermeáveis (urbana), áreas com alta permeabilidade (gleissolos- área de várzea) e média permeabilidade (organossolo). Como a grande área do baixo curso apresenta tem uma grande extensão da área de solos com alta permeabilidade, a área de formação florestal (organossolo), não tem capacidade de reduzir as inundações, pois as águas se acumulam nessas áreas, ocasionando o encharcamento dos solos.

De acordo com Magalhães *et al.* (2011), a altitude influencia no risco a inundação devido à ação da lei da gravidade que direciona a água para as regiões mais baixas, assim como a declividade é fator crucial na determinação dos riscos de inundação de uma área, pois, influencia diretamente no acúmulo de água no terreno. Dessa forma, áreas planas apresentam maiores probabilidades de sofrer inundações do que áreas escarpadas.

No médio curso da bacia há uma grande área com média suscetibilidade a enchente e outros mosaicos desarticulados variando entre a baixa e alta suscetibilidade. Mediante os resultados entende-se que as áreas de pastagem associadas aos dados de acumulação alta e a baixa permeabilidade e infiltração média refletem na média suscetibilidade na bacia hidrográfica. É evidente que a larga extensão da pastagem na área de pesquisa também está diretamente ligada com as incidências de enchente, pois os fatores como o pisoteio do gado e ausência da cobertura vegetal aumenta o escoamento superficial e corroboram para a erosão.

De acordo com Tucci (2008) as possíveis causas das inundações fazem relação com impermeabilização do solo, ocupação inadequada de planícies de inundação, expansão das áreas de pastagem e outras mais.

As áreas com baixa suscetibilidade e as áreas sem acumulação evidenciam a importância da cobertura vegetal, pois auxiliam na infiltração e reduzem os processos erosivos, assim como os processos de enchentes. É interessante que apesar da baixa permeabilidade e a acumulação variando de alta a média a influência da cobertura florestal é muito forte na suscetibilidade a enchente, entretanto quando há a condicionante de infraestrutura urbana a suscetibilidade se modifica para média.

Coelho Netto (2013) observa que duas coisas precisam ser observadas na infiltração: a atração capilar e a força gravitacional, enquanto a força gravitacional direciona a água verticalmente, a força capilar direciona a água para todas as direções. Dessa forma o processo de infiltração resulta da entrada da água no solo, estocagem da água dentro do solo e a transmissão da água no solo. Nesse sentido a vegetação atua com o papel principal, pois a força gravitacional direciona a água verticalmente no perfil do solo e suas raízes permitem que a água infiltre em todas as direções, aumentando assim as taxas de água dentro do solo

Área encontrada no médio curso da margem direita com alta suscetibilidade chamou atenção na análise dos dados. Entende-se que o fato corre principalmente por causa da presença de cambissolos, que são solos enxarcados durante grande parte do ano, então mesmo que uma

área apresentar a cobertura vegetal, mas se tiver uma alta acumulação e alta permeabilidade será suscetível ao risco das enchentes e inundações.

5. CONCLUSÕES FINAIS

Através das análises dos condicionantes dos principais aspectos físicos e antrópicos da bacia hidrográfica do Rio da Guarda, foram observados diversos condicionantes quanto ao risco a inundação.

Constatou-se por meio da análise morfométrica que os principais fatores que corroboram para as inundações na área de pesquisa são as de ordem hipsométrica. Os parâmetros de Densidade de Drenagem, Coeficiente de Manutenção, Coeficiente de Compacidade, Relação de Circularidade e Fator de Forma apresentam resultados que não a caracterizam como uma área suscetível a enchentes em condições normais de precipitação. Entretanto, outros parâmetros se mostraram mais determinantes na condição de escoamento, sendo estes o Índice de Sinuosidade e a Densidade de Rios com processos que favorecem a condição natural para ocorrência de enchentes.

Dentro da morfometria a análise hipsométrica parece mais determinante para definição da bacia como uma área suscetível a enchentes, pois a predominância de baixas declividades, a amplitude altimétrica, relação de relevo e Índice de Rugosidade impactam a velocidade do escoamento, aumentando a capacidade de transporte e de vazão da bacia.

Associado à análise de ordem hipsométrica destacam-se as condições de uso e cobertura do solo, com um aumento de 12,31% de infraestrutura urbana em razão da supressão da classe pastagem no período de 33 anos, ou seja, uma expansão da área urbana que resulta em forte pressão antrópica sobre o meio físico, especialmente sobre a dinâmica fluvial, favorecendo as inundações. Outro dado interessante sobre o uso e ocupação do solo com a formação florestal que apesar de ter um crescimento de 14,57% nesse espaço temporal, ao longo desse período ela sofreu constantes variações. Esse aumento só foi possível em razão Unidade de Conservação Floresta Nacional Mário Xavier (Flona) que conseguiu manter essas áreas verdes, o que evidencia a importância das Unidades de Conservação para preservação e manutenção das áreas verdes.

Para desenvolver o mapeamento geológico de suscetibilidade a enchente e inundação foram necessários a reclassificação dos dados de pedologia, uso do solo, altitude e declividade. Estes dados que proporcionaram diferentes cenários de análise sobre a permeabilidade, infiltração e acumulação das águas.

A permeabilidade do solo permite identificar por meio das características físicas da bacia hidrográfica áreas que podem apresentar solos com mais ou menos propensão de encharcar.

O mapa sobre a infiltração demonstra a reclassificação das classes sobre o uso e ocupação do solo de acordo com a capacidade de infiltração das águas em diferentes coberturas do solo. Áreas com baixa infiltração e sem infiltração estão sujeitas a sofrer com os processos erosivos devido ao aumento do escoamento superficial e corroboraram com os processos de enchente e inundação por conta do aumento da vazão e da carga de transporte de sedimentos para os rios, assoreando-os e aumentando fragilidade ambiental.

Os resultados provenientes dos dados de acumulação quantificaram um total de 82,67% da bacia que se encontra no relevo plano e suave, estando estas áreas suscetíveis a inundação, pois áreas com baixa declividade e baixa altitude concentram um maior tempo de concentração para as águas escoarem.

Por fim, o mapa da suscetibilidade a enchente demonstrou a fragilidade ambiental da área de estudo. Como resultado foi observado que a porção baixa do rio (baixo curso) tem uma alta suscetibilidade por se encontrar principalmente de áreas rebaixadas, solos que possuem facilidade de encharcar e principalmente por conter grandes áreas de infraestrutura urbana e pastagem.

Dessa maneira, constatou-se que as análises apresentadas demonstraram adequabilidade em todos os cenários estudados (morfometria, uso do solo e mapeamento geoecológico), em todos estes a geração do escoamento superficial se intensifica em áreas antrópicas de baixas declividades e altitude. Sendo assim, está é uma região naturalmente crítica sob a ótica da fragilidade ambiental aos fenômenos hidrológicos, tendo como seu intensificador a atividade antropogênica.

O estudo em questão sinaliza áreas que merecem especial atenção, principalmente durante os períodos chuvosos do verão, os órgãos devem dar prioridade para realização de obras que consigam mitigar os efeitos das enchentes nessas áreas.

Os fatores ambientais utilizados nesta pesquisa são provenientes do levantamento bibliográfico sobre as variáveis utilizadas na produção de mapas de suscetibilidade a enchente, entretanto este estudo pode ser mais detalhado adicionando outras variáveis ambientais que podem ser importantes para o condicionamento das enchentes. Outra observação válida é utilizar o Modelo Digital do Terreno Hidrologicamente Consistente (MDT-HC) para gerar essas variáveis ambientais, afim de obter um melhor refinamento dos resultados.

6. REFERÊNCIAS

ALONSO, D M. **Alguns Aspectos Geográficos do Município de Itaguaí.** (do Conselho Nacional de Geografia) REVISTA BRASILEIRA DE GEOGRAFIA-SUMÁRIO DO NÚMERO DE JULHO- SETEMBRO DE 1960: 381 -433. 1960.

ALMEIDA, R. F. B.; BAYER, M.; JÚNIOR, L. G. F. Compartimentação morfométrica da bacia do Rio Coco como subsídio a análise de fragilidade ambiental. **Revista Mercator.** v 15, n.4. 2016. p. 83-94

AMADOR, E. S. **Baía de Guanabara e Ecossistemas periféricos: Homem e Natureza.** Rio de Janeiro: EDITORA [s.n], 1997. 539 p.

AMARAL, R. do; RIBEIRO, R. R. Inundações e enchentes. In: TOMINAGA, L. K; SANTORO, AMARAL, R. do. (Orgs). **Desastres naturais, conhecer para prevenir-** 3ª ed. Instituto Geológico- São Paulo, 196p. 2015.

ALVES, M. de P; CASTRO, P. de T. A. Influência de feições geológicas na morfologia da bacia do Rio do Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análise de padrões de lineamentos. **Revista Brasileira de Geociências.** v. 33, n.2. p. 117- 124. 2003.

ANDERSON, J. R.; HARDY, E. E.; ROACH, J. T.; WITMER, R. E. Sistema de classificação do uso da terra e do revestimento do solo para utilização com dados de sensores remotos. Tradução de Harold Strang. Rio de Janeiro: IBGE, SUPREN, 1979. (Série Paulo de Assis Ribeiro, n. 9).

ANA, Agência Nacional de Águas. Plano estratégico de recursos hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Guandu, da Guarda e Guandu Mirim, Relatório do Plano Estratégico (Recursos Hídricos). 2007

ANTONELI, V; THOMAZ, E.L. Caracterização do meio físico da bacia do Arroio Boa Vista, Guamiranga- PR. Revista Caminhos da Geografia, v.8, n.21, jun. 2007. p.46-58.

ANTUNES, Dinameres *et al.* **Abordagens em GEOBIA e aplicação da técnica em imagem Rapideye de uma área da bacia do rio Pitangui – PR.** Anais 5º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Campo Grande - MS, v. 5, n. 1. 2014. p.631-640,

ANTUNES, M.A.H., DEBIASI, P., COSTA, A.R. da.; GLERIANI, J.M. Correção atmosférica de imagens ALOS/AVNIR-2 utilizando o modelo 6S. **Revista Brasileira de Cartografia – RBC,** nº 64/Edição especial Sensoriamento Remoto. 2012 p. 531-539.

ANTUNES, M.A.H.; FREIRE, R.M.B.; BOTELHO, A.S.; TONIOLLI, L.H. **Correções atmosféricas de imagens de satélites utilizando o modelo 6S.** In.: Congresso Brasileiro de Cartografia (CBC), 21. Belo Horizonte. *Anais...* Rio de Janeiro: SBC. 2003. 19p

APOLLO, R. A.; BARROS, B. S. X.; BARROS, Z. X.; CARDOSO, L. G.; RODRIGUES, V. A. Caracterização morfométrica da microbacia do Ribeirão Água da Lucia, Botucatu-SP. Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia, v. 5, n. 1, 2012. p. 163-167.

BAHIA. Superintendência de Proteção e Defesa Civil. Inundação e Alagamento – O que fazer? Disponível em http://www.defesacivil.ba.gov.br/?page_id=218, Acesso em 02/12/20

BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física Global. Esboço metodológico. **R. RA'E GA**, Curitiba, n. 8 Editora UFPR, 2004. p. 141-152

BLASCHKE, T; HAY, G. J; KELLY, M. LANG, S; HOFMANN, P; ADDINK, E. FEITOSA, R. Q. F; MERR, F. V. D; WERFF, H. V. D; COILLIE, F. V; TIEDE, D. Geographic Object-Based Image Analysis – Towards a new paradigm. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**. Department of Geoinformatics – Z_GIS, University of Salzburg, Hellburners Str. 34, A-5020 Salzburg, Austria. 2013. P. 180-191

BOTELHO, R. G. M. Bacias Hidrográficas Urbanas. In: GUERRA Antônio José Teixeira (Org). **Geomorfologia Urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. 247p.

CAMPIOLI, P. F.; VIEIRA, C. V. Avaliação do Risco a Inundação na Bacia Hidrográfica do Rio Cubatão do Norte, Joinville/SC. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 12, n. 01, 2019, p. 124-138.

CARDOSO, C, A; DIAS, H. C. T; SOARES C. P. B; MARTINS S. V. Venâncio Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, vol. 30, n. 2, 2006, p. 241-248

CASTRO, C. M; PEIXOTO, M. N de O.; Rio, G. A. P do. **Riscos Ambientais e Geografia: Conceituações, Abordagens e Escalas**. Environmental Risks and Geography: Conceptualizations, Approaches and Scales. Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ. Vol. 28-2 p. 11-30. 2005 disponível em http://www.anuario.igeo.ufrj.br/anuario_2005/Anuario_2005_11_30.pdf acesso 12/12/20

CASTRO, S. B; CARVALHO, T. M. Análise morfométrica e geomorfologia da bacia hidrográfica do rio Turvo - GO, através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. **Scientia Plena**: v. 5, n.2, 2009. p.1-7.

CERRI, L. E S. Riscos Geológicos Urbanos. In: CAMPOS, H.; CHASSOT, A (Org). Ciências da Terra e Meio Ambiente: Diálogos para (inter) ações no Planeta. São Leopoldo (RS): Unisinos, 1999

CHAVEZ, P. S **An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multi-spectral data**. *Remote Sensing of Environment*, 24 . 1988 p. 459- 479.

CEPERJ. Fundação Centro Estadual de Estatísticas, Pesquisas e Formação de Servidores Públicos do Estado do Rio de Janeiro. Regiões de Governo do Estado do Rio de Janeiro (2014). Disponível em: http://www.ceperj.rj.gov.br/ceep/info_territorios/Reg%20Gov_2013.pdf Acesso em 30 de março de 2019.

CHEREM, L. F. S. **Análise morfométrica da Bacia do Alto do Rio das Velhas – MG**. 2008. 111 f. Dissertação (Mestrado) –Programa de Pós-graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo

Horizonte, 2008. Disponível em: <<http://csr.ufmg.br/modelagem/dissertacoes/luizfelipecherem.pdf>>. Acesso em: 21/02/ 2016.

CHRISTOFOLETTI, A . **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 1980. 188 p.

CHRISTOFOLETTI, A. Análise morfométrica de bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.18, n.9, 1969. p.35-64.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blucher, 1999. 236p.

CHRISTOFOLETTI, A. Impactos no meio ocasionado pela urbanização no mundo tropical. *in*: SOUZA, M. A. A.; SANTOS, M.; SCARLATO, F.C.; ARROYO, M. **Natureza e Sociedade de hoje: uma leitura geográfica**. 4 ed. São Paulo: Hucitec, 2002. 244 p.

CHRISTOPHERSON, R. W. **Geossistemas: Uma introdução à geografia física**. 7ª ed- Porto Alegre: Bookman, 2012. 727p.

DESCLÉE, B., BOGAERT, P., DEFOURNY, P., Forest change detection by statistical object-based method. **Rev. Remote Sens. Environ.** 102, p. 1–11. 2006.

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de encosta na interface com a Geomorfologia. *In*: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. (Orgs) **Geomorfologia uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2013. p. 93- 138.

COELHO NETTO, A.L., DANTAS, M.E. & ROSAS, R.O. Grandes domínios geocológicos da Amazônia Legal (1:2.500.000): bases para o estudo dos efeitos de borda das linhas de transmissão de energia a serem implantadas na Amazônia florestal. Relatório solicitado pela ELETROBRÁS, 26 p. 1993

CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais). Serviço Geológico do Brasil. Conceitos fundamentais de risco e área de risco. Apresentação. 2017. Disponível em PowerPoint Presentation (defesacivil.es.gov.br) acesso 08/12/20

CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais). Caracterização e descrição analítica do mapa Geomorfológico do Estado do Rio de Janeiro Relatório Anual - 2002.

Disponível em <http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Geodiversidade/Projeto-Rio-de-Janeiro---Geomorfologica-613.html> Acesso em 05/10/2017

CPRM (Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais). Unidades Geomorfológicas do Estado do Rio de Janeiro. Relatório Anual - 2002. Disponível em <http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Geodiversidade/Projeto-Rio-de-Janeiro--Geomorfologica-613.html> Acesso em 05/10/2017

CPRM. Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais. Mapa de Unidades Geomorfológicas do Estado do Rio de Janeiro. Disponível em: http://www.cprm.gov.br/publique/media/geodiversidade/rjgeomorfologico/geomorfo_mpunid.pdf. Acesso 08/04/2017.

CUNHA, S. B. da; GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012. 396p.

EMBRAPA, EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979. 83p. (EMBRAPA-SNLCS- SÉRIE MISCELÂNEA 1).

FAO: A framework for Land Evolution. Roma: FAO, Wagering en: ILRL (Soil Bulletin, nº 29), 1976

Ferreira A B de H. **Novo Aurélio Século XXI: o dicionário da língua portuguesa**. 3 ed. totalmente rev. e ampl. Rio de Janeiro: Nova Fronteira; 1999.

FERREIRA, C. W. S; LIMA, C. de S; CAVALCANTI, L. C. de S; SANTOS, A. H. de O. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Açude Cachoeira II, no município de Serra Talhada PE, Brasil. VI Seminário Latino Americano de Geografia Física, II Seminário Ibero Americano de Geografia Física. Universidade de Coimbra, 2010. P1-10. Disponível em <http://www.uc.pt/fluc/cegot/VISLAGF/actas/tema2/clarisse> acesso em 14/11/2019

FERRARI, A. L. A geologia do “Rift” da Guanabara (RJ) na sua Porção Centro-Occidental e sua Relação com o Embasamento Pré Cambriano. In: **XXXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA**. 1990, Natal- RN. Anais... 1990. p. 2858 – 2872.

FERREIRA, Norma S. de A. AS PESQUISAS DENOMINADAS "ESTADO DA ARTE". **Educação e Sociedade**, Campinas, ano XXIII, nº 79 p. 257-272. 2002. Disponível em <https://www.fe.unicamp.br/alle/textos/NSAFAsPesquisasDenominadasEstadodaArte.pdf> acesso em 10/07/2019

FLORENZANO, T. G. **Imagens de Satélites para Estudos Ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos. 2002. p.

FLORENZANO, T. G. **Os sensores e suas aplicações**. Série espacializando. São José dos Campos, SP. SindCT. 2008. 52 p

FERNANDES, N.F. & AMARAL, C. P. do. Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: GUERRA, A.T. & CUNHA, S.B. da. **Geomorfologia e meio ambiente**. 11ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. p. 123- 194. 2012

GIRÃO, I. R. F; RABELO, D. R; ZANELLA, M. E. **Análise teórica dos conceitos: Riscos Socioambientais, Vulnerabilidade e Suscetibilidade**. Regine, Vol. 4, Nº Especial (2018). P. 71-83. 2018

GOES, M. H. DE B. **Diagnóstico Ambiental por Geoprocessamento do Município de Itaguaí (RJ)** (1994). Tese de Doutorado submetida ao Curso de Pós-Graduação em Geografia da UNESP. Rio Claro – SP. P. 500- 520.

GREGORY, K. J. **A natureza da Geografia Física**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1985. 183p

GROTZINGER, J ; JORDAN, T. **Para entender a terra**. Porto Alegre: Bookman, 2013. 738 p.

GUASSELLI, L. A.; OLIVEIRA, G. G de; QUEVEDO, R, P; BRUBACHER, J. P. Modelagem hidrológica e espacialização de áreas suscetíveis às inundações no município de Igrejinha- RS. *Geo UERJ*, Rio de Janeiro, n. 28, 2016, p 353-380.

GUERRA, A. J. T; MARÇAL, M. dos S. **Geomorfologia Ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. 190p.

HASUI, Y. ; ALMEIDA, F. F. M. de, (1984). **O Pré-Cambriano do Brasil**. São Paulo, Edgard Blücher. P. 378

HIRUMA, S. T.; PONÇANO, W. L. Densidade de drenagem e sua relação com fatores geomorfopedológicos na área do Alto Rio Pardo, SP e MG. **Revista do Instituto Geológico**, v. 15, n.1/2, ANO?. p. 49-57.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical a proach to quantitative morphorlogy. *Geol. Soc. American Bulletin*, n 56 (3), 1945. p. 275-370.

ICMBio. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade- Ministério do Meio Ambiente. Unidade de Conservação Mata Atlântica Flona Mario Xavier. Disponível em <https://www.icmbio.gov.br/portal/unidadesdeconservacao/biomas-brasileiros/mata-atlantica/unidades-de-conservacao-mata-atlantica/2359-flona-mario-xavier> acesso 08-01-20

JENSEN, J. R. Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009. 663p

JORGE, M. do C. O. Geomorfologia urbana: Conceitos, metodologias e teorias. In: GUERRA, A. J. T. (Org). **Geomorfologia Urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. 247p.

LACERDA, H. Notas de Geomorfologia urbana. Encontro Nacional de Geografia- EREO, 9, Porto Nacional (TO). 2005. 11p. Disponível em <http://www2.unucseh.ueg.br/downloads/graduacao/geografia/docsgrupodeestudogeografia/Eregeou_GeoUrbana_2005.pdf>Acessoem25/10/2019.

LEAL, F. C . B da S; BARBOSA, I. M. B. R; AQUINO, J. T de. Mapeamento de áreas vulneráveis à inundação com uso do SIG e da Análise Multicritério: o caso da bacia hidrográfica do Rio Una em Pernambuco. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental** - Florianópolis, v. 9, n. esp, p. 20-40, ago. 2020

LEPSCH, I. 19 lições de Pedologia. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 456 p.

LIMA, Walter de Paula. **HIDROLOGIA FLORESTAL APLICADA AO MANEJO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS**. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Departamento de Ciências Florestais- Universidade de São Paulo Piracicaba: 2008. 253 p. Disponível em: <<http://www.ipef.br/hidrologia/hidrologia.pdf>>. Acesso em: 18/09/2019.

MACHADO P. J. O.; TORRES, F. T. P. **Introdução à hidrogeografia**. São Paulo: Cengage Learning, 2012. 178p.

MACUZZO, F. N.; ROMERO, V.; CARDOSO, M. R. D.; PINTO FILHO, R de F. Hipsometria da sub-bacia 17 na região hidrográfica do Rio Amazonas. *In*; **XL Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola- CONBEA**, Cuiabá (MT). 2011. p. 2-5.

MAGALHÃES, I. A. L.; THIAGO, C. R. L.; AGRIZZI, D. V.; SANTOS, A. R. Uso de geotecnologias para mapeamento de áreas de risco de inundação em Guaçuí, ES: uma análise comparativa entre dois métodos. **Cadernos de Geociência**, v. 8, n. 2, 2011, p. 63-70.

MARQUES, E. D. **HIDROGEOQUÍMICA NAS CAVAS DE EXTRAÇÃO DE AREIA NA REGIÃO DO BAIRRO PIRANEMA – DISTRITO AREEIRO DESEROPÉDICA-ITAGUAÍ– RJ**. Dissertação - Curso de Pós-Graduação em Geoquímica da Universidade Federal Fluminense. Niterói, p. 117. 2006.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T de. Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto (org). Brasília. UnB / CNPq. 2012. 276 p

MELTON, M. A. An analysis of the relations among elements of climate, surface properties and geomorphology, technical report. Dept. Geology, Columbia University. 1957. 102p.

MILLER, V. C., A quantitative geomorphic study of drainage basins characteristic in the Clinch Mountain area, Technical Report. Dept. Geology, Columbia University. 1953. 51 p.

MENEZES, P.M.L. **Cartografia-Geocologia nos estudos diagnósticos e prognósticos da paisagem: um A interface modelo de avaliação de procedimentos analítico-integrativos**. (2000). Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Depto. de Geografia, IGEO/UFRJ, 208 f.

MENEZES, P. M L. de; COELHO NETO, A. L. Cartografia geocológica. Geocart/ IGEO, Rio de Janeiro- RJ. 2001. 11p. Disponível em http://www.geocart.igeo.ufrj.br/pdf/trabalhos/2001/Cart_Geocologica_2001.pdf acesso em 02/12/20

MINISTÉRIO DAS CIDADES / INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT – Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios. Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007. 176 p

MONTEIRO, C. A. de F.; MENDONÇA, F. Clima Urbano. São Paulo: Contexto, 2003. 192 p.

MONTEIRO, C. A. de F. Geografia Sempre: O Homem e seus Mundos. Campinas: Edições Territorial, 2008. 256 p.

MOURA, C. A de. Avaliação de tendência a enchentes das bacias hidrográficas do município de Caraguatatuba (SP). **Revista de Geografia (UFPE)**. v. 30, n. 2, 2013. p. 123-138.

DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. SIGMINE. Disponível em: <http://sigmine.dnpm.gov.br/webmap/> Acesso em 14/04//2020

NOVO, E.M.L. (1992) Sensoriamento Remoto: Princípios e aplicações. São Paulo: Ed. Edgard Blücher Ltda. 308p.

NUNES, F. G.; RIBEIRO, N. C.; FIORI, A. P. Propriedades morfométricas e aspectos físicos da bacia hidrográfica do Rio Atuba: Curitiba-Paraná. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 6., 2006, Goiânia. Anais... Goiânia: UFG, 2006.

PISSARRA, T. C. T.; POLITANO, W.; FERRAUDO, A. S. Avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da bacia hidrográfica do Córrego Rico, Jaboticabal (SP).. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 2, 2004, p. 297-305.

REVISTA BRASILEIRA DE GEOMORFOLOGIA. Banco de dados da Revista Brasileira de Geomorfologia disponível em <http://www.lsie.unb.br/rbg/index.php/rbg/index> acesso 10-07-2019

RODRIGUEZ, J. M. M; SILVA, E V da. **Planejamento e gestão ambiental: subsídios da geoecologia das paisagens e da teoria geossistêmica**. Fortaleza: Edições UFC, 2013.

ROSS, J. L. S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. In: Revista do Departamento de Geografia n° 8, 63-74 pp. DG-FFLCH-USP, São Paulo, 1994.

ROSS, J L.S Ecogeografia do Brasil: subsídios para planejamento ambiental, São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 208p. SANTOS, J. O.; ROSS, J. L. S., Fragilidade Ambiental Urbana. Revista da ANPEGE, v8, n 10, p. 127-144, ago./dez. 2012.

SÃO BERNARDO DO CAMPO, Defesa Civil. **Enchente, Inundação, Alagamento ou Enxurrada?** Disponível em: <http://dcsbcsp.blogspot.com.br/2011/06/enchente-inundacao-oualagamento.html> Acesso 20/01/2019.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (SEMADS). Bacias hidrográficas e recursos hídricos da macrorregião 2: bacia da Baía de Sepetiba. 2001

SCHEIDEGGER, A. E. The algebra of stream order numbers. U .S . Geol. Surv. Prof. Paper (525-B), 1965. p. 187-189.

SCHÖN, D. A. Formar professores como profissionais reflexivos. In: DEMAILLY, L. C.; GARCIA, C. M.; GÓMEZ, A. P.; NÓVOA, A.; POPKEWITZ.; SCHÖN, D. A.; ZEICHNER, K (org). Os professores e sua formação. Instituto de Inovação Educacional e Autores, Portugal, 1992, p.77-91.

SCHUMM, S. A., Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. **Geological Society of American Bulletin**, **67**, 1956. p. 597–646.

SHREVE, R. L. Statistical law of stream numbers . Journal of Geology . n 74 (1). 1966 p. 17-37.

SHREVE, R. L. Infinite topologically random channel networks. Journal of Geology.n 75 (2). 1967. p. 178-186.

SILVA, T. M. **A estruturação geomorfológica do Planalto Atlântico no Estado do Rio de Janeiro**. 2002. 264 p. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

SILVA, C. V. F. Planejamento do Uso e Ocupação do Solo Urbano Integrado ao Mapeamento de Áreas com Risco à Inundação. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2013, p. 164.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. *In*: TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L.L. **Hidrologia ciência e aplicação**. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos; v. 4). Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2013. 943 p.

SOARES, L. S; LOPES, W. G. R; CASTRO, A. C. L; ARAÚJO, G. M . C. Análise morfométrica e priorização de bacias hidrográficas como instrumento de planejamento ambiental integrado. **Revista do Departamento de Geografia (USP)** . São Paulo: V. 31, 2016, p. 82-100

SOUZA, C. R. de G. Cartografia de risco a inundação no Litoral Paulista: o exemplo do município de São Sebastião. Departamento de Geotecnia (USP), Departamento de Geologia Aplicada ((Unesp), 1996

SOUZA, C.R.G. Suscetibilidade morfométrica de bacias de drenagem ao desenvolvimento de inundações em áreas costeiras. *In*: **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Ano 6, nº 1, p. 45-61. 2005

SOUSA, G. M de. **Mapeamento Geocológico da potencialidade à ocorrência de incêndios no maciço da Pedra Branca**. 2009. 141p Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, 2009.

SOTCHAVA. V. B. O estudo de Geossistema. **Método em questão**, 16 IG-USP. São Paulo. 1977.

STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geol. Soc. America Bulletin*. 1952. p. 1.117- 1.142.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T.M.. **Sensoriamento Remoto da Vegetação**. São José dos Campos, SP: Oficina de Textos. 2012. 176 p.

TONELLO, K.C. Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhães, MG. 2005. 69p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.85p.

TONELLO, K. C; DIAS, H. C. T; SOUZA, A. L; R, C. A. A. S; LEITE, F. P. Morfometria da Bacia Hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães- MG. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.30, n.5, p.849-857, 2006

TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. de S. Metodologia para mapeamento geoambiental no Oeste do Rio Grande do Sul. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 11., 2005, São Paulo. Anais... São Paulo: Editora da USP, 2005. p. 3606-3615.

TRICART, J. Ecodinâmica. Rio de Janeiro: IBGE, 1977. 97p.

TUBBS, D.; GOMES, O.V.O.; CUZZATTI, T.G.; SILVA-FILHO, E.V. Impacto da mineração de areia sobre a química das águas subterrâneas, distrito areeiro da Piranema, municípios de Itaguaí e Seropédica, Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Geociências**: 41(3). pp.472-485. 2011.

TUCCI, C.E.M. Água no Meio Urbano. *in.*: Água Doce. Universidade Federal do rio Grande do Sul. 1997, p.3-35.

TUCCI, C. E. M, Controle de enchentes *in*: TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L. **Hidrologia ciência e aplicação**. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos; v. 4). Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2013. 943 p.

TUCCI, C. E. M; MENDES, C. A. M. Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica. Ministério do Meio Ambiente / SQA: Brasília, 2006 . 302p.

TUCCI, C. E. M. **Águas Urbanas. Estudos Avançados**. 22, (63), 2008. p. 97-112

VALENTE, O.F. Reflexões hidrológicas sobre inundações e alagamentos urbanos. Minha Cidade, São Paulo, ano 10, n. 109.01, Vitruvius, ago. 2009. disponível em <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/minhacidade/10.109/1839> acesso 02/12/20

VEYRET, Y. Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente. São Paulo: Contexto. 320 p. 2007

VERMOTE, E.F.; TANRÉ, D.; DEUZÉ, J.L.; HERMAN, M.; MORCHETE, J.J. Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum, 6S: An overview. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**. Vol. 35. n 3. 1997 p. 675-686.

VILLELA, S.M., MATTOS, A. **A Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.245p.

ZANELLA, M. E.; OLÍMPIO, J. L.; COSTA, M. C. L.; DANTAS, E. W. C. Vulnerabilidade socioambiental do baixo curso da bacia hidrográfica do Rio Cocó, Fortaleza-CE. *Sociedade & Natureza*. Uberlândia, v. 25 n. 2, p. 317-332, mai. 2013.

ZANELLA, M. E; MEIRELES, A. J. A; OLÍMPIO, J. L. S. **Riscos Socioambientais, vulnerabilidade e suscetibilidade no meio ambiente no contexto da sub-bacia hidrográfica do rio Pirapora/ CE**. 2018. Dissertação de mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente)- Universidade Federal do Ceará.