

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICA E DA NATUREZA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

ANDRESSA KAREN DA SILVA NEMIROVSKY

INUNDAÇÕES NA ÁREA GÊNESE DO MUNICÍPIO DE PETRÓPOLIS:  
CARACTERIZAÇÃO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DO ALTO CURSO DO RIO  
PIABANHA

Rio de Janeiro

2021

ANDRESSA KAREN DA SILVA NEMIROVSKY

INUNDAÇÕES NA ÁREA GÊNESE DO MUNICÍPIO DE PETRÓPOLIS:  
CARACTERIZAÇÃO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DO ALTO CURSO DO RIO  
PIABANHA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Departamento de Geografia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro como requisito para a obtenção do título de mestre em Geografia

Orientador: Prof. Dr. Manoel do Couto Fernandes .

Rio de Janeiro

2021

## FICHA CATALOGRÁFICA

### CIP - Catalogação na Publicação

N434i Nemirovsky, Andressa Karen da Silva  
Inundações na área gênese do município de  
Petrópolis: caracterização das bacias hidrográficas  
do Alto curso do rio Piabanha / Andressa Karen da  
Silva Nemirovsky. -- Rio de Janeiro, 2021.  
124 f.

Orientador: Manoel do Couto Fernandes.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do  
Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Programa  
de Pós-Graduação em Geografia, 2021.

1. rios. 2. inundações. 3. Petrópolis. 4. dados  
hidrometeorológicos. 5. parâmetros morfométricos. I.  
Fernandes, Manoel do Couto , orient. II. Título.

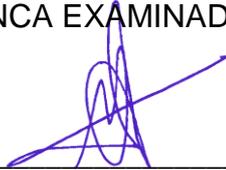
ANDRESSA KAREN DA SILVA NEMIROVSKY

INUNDAÇÕES NA ÁREA GÊNESE DO MUNICÍPIO DE PETRÓPOLIS:  
CARACTERIZAÇÃO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DO ALTO CURSO DO RIO  
PIABANHA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Departamento de Geografia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro como requisito para a obtenção do título de mestre em Geografia

Aprovada em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr.  \_\_\_\_\_

Manoel do Couto Fernandes - Orientador

Dep. de Geografia – UFRJ

Prof. Dr. \_\_\_\_\_

Núbia Beray Armond

Dep. de Geografia – UFRJ

Prof. Dr. \_\_\_\_\_

Gustavo Mota de Sousa

Dep. de Geografia - UFRRJ

Rio de Janeiro

2021

Deus e a minha família.

## **AGRADECIMENTOS**

Como em todos os momentos da minha vida, dedico a Deus esta dissertação de mestrado. A Deus o meu louvor e adoração, pois nunca me abandonou. Em meus momentos mais difíceis Ele sempre esteve comigo, me guiando no caminho certo e me colocando nos lugares mais improváveis.

Em segundo lugar, dedico esta dissertação a minha família, principalmente a mamãe Sonia, meus pais (Eugênio e Fernando), aos meus irmãos Lucas e Rodrigo, aos meus avós (Maria, José e Margarida) e aos meus avôs Bernardo e Euclides (in memoriam).

Também, agradeço ao meu namorado Marcos, que sempre me apoiou nas minhas escolhas e que esteve comigo desde o início da minha aventura.

Meus agradecimentos também aos meus amigos e colegas, aos que conheci durante todo esse percurso.

A todos os colegas que fazem parte do Laboratório de Cartografia da UFRJ (GeoCart) e principalmente aos coordenadores Paulo Menezes e Manoel do Couto, meu orientador que teve paciência. Aprendi muito no tempo em que estive com vocês e espero que em outras oportunidades eu aprenda muito mais!

“Porquanto com amor eterno te amei, por isso com benignidade te atraí”

Jeremias 31:3

“(…) Quando você atravessar as águas, eu estarei com você; e, quando você atravessar os rios, eles não o encobrirão. Quando você andar através do fogo, você não se queimará; as chamas não o deixarão em brasas.(…)”.

Isaías 43:2

## RESUMO

O município de Petrópolis, localizado na região Serrana do estado do Rio de Janeiro, se desenvolveu com base em um plano urbanístico elaborado pelo Major de Engenheiros Júlio Frederico Koeler no século XIX e que contempla a área genese da cidade, também chamada Petrópolis. O plano visava a construção da cidade aproveitando os cursos de água e os rios como elemento integrador da urbanização, de forma a evitar a deterioração desses elementos da paisagem, bem como, o desenho da “Planta Petropolis – 1846”e que contém elementos como cursos de água e rios, delimitação de quarteirões e praças, sobretudo, a presença de ilhas fluviais nos principais cursos de água da cidade, que chama atenção em termos de morfologia fluvial. Todavia, com a urbanização, principalmente no primeiro distrito do município, foi necessário fazer alterações no plano urbanístico projetado pelo engenheiro, modificando a essência do plano, que era não só de evitar o esgotamento de recursos hídricos como também de minimizar os efeitos das inundações que assolavam. Partindo deste quadro, esta dissertação teve como objetivo elaborar a caracterização ambiental nas bacias do Alto Curso do rio Piabanha, localizado no primeiro distrito do município de Petrópolis – RJ, visando entender os processos de inundação que ocorrem na cidade ao longo dos anos. Para tanto, foi realizado o levantamento das inundações no limite das bacias do Alto Curso do rio Piabanha entre os anos 2011 a 2019, que englobam a área gênese de Petrópolis, a análise dos dados pluviométricos das estações da rede pluviométrica do CEMADEN e INEA; a caracterização morfométrica através dos índices morfométricos Densidade de drenagem (Dd) de Horton (1932), Gradiente topográfico (Gt) de Meis *et al.* (1982) e o Índice de Eficiência de Drenagem (IED) de Coelho Netto *et al.* (2007) nas bacias de primeira ordem; além de uma discussão histórica do processo de modificação das bacias de drenagem que compõem esta paisagem. Os resultados apontaram que os maiores índices de chuva e as maiores frequências de inundações acontecem na área da bacia do rio Quitandinha, especialmente no trecho que fica localizada a estação do INEA Cel. Veiga. Nessa mesma bacia também há maior concentração Urbana e que a regularidade desses eventos nesta bacia deva estar associada a impermeabilização do solo e as características geomorfológicas e hidro meteorológicas que a compõem.

**Palavras-chaves:** rios, inundações, Petrópolis, dados hidrometeorológicos, parâmetros morfométricos.

## ABSTRACT

The municipality of Petrópolis, located in the Serrana region of the state of Rio de Janeiro, was developed based on an urban plan drawn up by Major Engineers Júlio Frederico Koeler in the 19th century and which includes the original area of the city, also called Petrópolis. The plan aimed to build the city using water courses and rivers as an integrating element of urbanization, in order to avoid the deterioration of these elements of the landscape, as well as the design of the "Planta Petropolis - 1846" which contains elements such as courses of water and rivers, delimitation of blocks and squares, mainly, the presence of river islands in the main water courses of the city, which draws attention in terms of fluvial morphology. However, with urbanization, especially in the first district of the municipality, it was necessary to make changes to the urban plan designed by the engineer, modifying the essence of the plan, which was not only to avoid the depletion of water resources but also to minimize the effects of floods that ravaged. Based on this framework, this dissertation aimed to elaborate the environmental characterization of the Upper Course basins of the Piabanha River, located in the first district of the municipality of Petrópolis - RJ, aiming to understand the flooding processes that occur in the city over the years. For this purpose, a survey of flooding in the upper course basins of the Piabanha River between the years 2011 to 2019 was carried out, which encompass the genesis area of Petrópolis, the analysis of rainfall data from the stations of the rainfall network of CEMADEN and INEA; the morphometric characterization through the morphometric indices Drainage density (Dd) from Horton (1932), Topographic gradient (Gt) from Meis et al. (1982) and the Drainage Efficiency Index (IED) by Coelho Netto et al. (2007) in first order basins; in addition to a historical discussion of the process of modification of the drainage basins that make up this landscape. The results showed that the highest levels of rainfall and the highest frequency of flooding occur in the area of the Quitandinha river basin, especially in the section that is located at the INEA Cel. Veiga. In this same basin there is also a greater urban concentration and that the regularity of these events in this basin should be associated with the impermeability of the soil and the geomorphological and hydro meteorological characteristics that compose it.

**Keywords:** rivers, floods, Petrópolis, hydrometeorological data, morphometric parameters.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Limite das bacias que fazem parte do Alto Curso do rio Piabanha. Fonte: Autora. .	21
Figura 2. Normal Climatológica de precipitação (mm) em Petrópolis 1931-1960. Fonte: INMET (2021).	23
Figura 3. Normal Climatológica de temperaturas médias (°C) em Petrópolis 1931-1960. Fonte: INMET (2021).	23
Figura 4. “Planta de Petrópolis – 1846”. Modificado de Fernandes et al. (2020).	26
Figura 5. Localização das ilhas mapeadas e suas respectivas áreas. Modificado de Fernandes et al. (2020).	27
Figura 6. Imagens da época da Boate navio, próximo a fábrica de tecido Werner. Fonte: <a href="https://wikimapia.org/11604615/pt/Boate-Navio-demolid">https://wikimapia.org/11604615/pt/Boate-Navio-demolid</a> . Acesso em 2021.	27
Figura 7. Localização atual de onde se encontrava a Boate Navio e o local da Fábrica Werner. Fonte: Google Street View, 2019.	28
Figura 8. Inundação na rua do Imperador, próximo ao obelisco (1930). Fonte: Museu Imperial/ Ibram/MinT. Sem data. <a href="https://soupetropolis.com/2018/10/03/8-fatos-curiosos-que-sempre-fizeram-parte-da-historia-de-petropolis">https://soupetropolis.com/2018/10/03/8-fatos-curiosos-que-sempre-fizeram-parte-da-historia-de-petropolis</a> . Acesso em 2021.	30
Figura 9. Jornal Gazeta de Petrópolis noticiando uma inundação. Fonte: <a href="http://ahistoriadepetropolis.blogspot.com/2013/07/a-enchente-de-1895-em-petropolis.html">http://ahistoriadepetropolis.blogspot.com/2013/07/a-enchente-de-1895-em-petropolis.html</a> . Acesso em 2019.	31
Figura 10. Inundação na rua Cel. Veiga. Fonte: <a href="https://exame.abril.com.br/brasil/chuva-deixa-petropolis-em-estagio-de-alerta">https://exame.abril.com.br/brasil/chuva-deixa-petropolis-em-estagio-de-alerta</a> . Acesso em 2021.	31
Figura 11. Espacialização dos eventos na área genese de Petrópolis. Fonte: Viana Neves (2017). Organizado pela Autora.	33
Figura 12. Conceitos aplicados para a análise de inundações fluviais na área de estudo. Fonte: Autora.	35
Figura 13. Situação esquemática de um processo de inundação e enchente. Fonte: CEMADEN (2019).	44
Figura 14. Fluxograma do trabalho. Fonte: Autora.	45
Figura 15. Comparação da imagem RapidEye bruta (a esquerda) e da imagem RapidEye corrigida (a direita). Fonte: Autora.	55
Figura 16. Delimitação da bacia proposta por Neves (2017) na região do primeiro distrito do município de Petrópolis. Fonte: Autora.	62
Figura 17. Modelo de hierarquização proposto por (A) Horton e (B) Stralher. Fonte: Christofletti. (1980).	63
Figura 18. Localização das estações pluviométricas e pluvio fluviométricas do INEA e CEMADEN. Elaborado pela Autora.	67
Figura 19. Total pluviométrico (mm) anuais nas estações pluviométricas e pluvio fluviométricas da rede de monitoramento do INEA (2011 a 2019, excetuando-se 2015 por falta de dados). Fonte: Autora.	68
Figura 20. Total pluviométrico (mm) anuais na estação pluviométrica na rede de monitoramento do CEMADEN (2014 a 2019). Fonte: Autora.	70
Figura 21. Mapa de interpolação da média da chuva (2013 – 2019). Elaborado pela Autora.	72

Figura 22. Frequência de inundações nas bacias do Alto Curso do rio Piabanha, primeiro distrito de Petrópolis - RJ de 2011 a 2019. Fonte: Autora. ....	73
Figura 23. Porcentagem de inundações em cada estação pluvio fluviométrica do INEA entre 2011 a 2019. Fonte: Autora. ....	73
Figura 24. Porcentagem total de inundações por bacias do Alto Curso do rio Piabanha entre 2011 a 2019. Fonte: Autora. ....	74
Figura 25. Inundação no rio Quitandinha e Piabanha em março de 2013. Fonte: Autora. ....	76
Figura 26. Inundação no rio Quitandinha em 2012 e 2014. Fonte: Autora. ....	79
Figura 27. Inundação no rio Quitandinha em 2019. Fonte: Autora. ....	80
Figura 28. Inundação no rio Quitandinha em 2012, 2016 e 2018. Fonte: Autora. ....	83
Figura 29. Mapeamento da cobertura da terra no limite das bacias do Alto Curso do rio Piabanha no 1º Distrito do Município de Petrópolis. Produzido pela Autora. ....	86
Figura 30. Gráfico da área da caracterização da cobertura terra nas três bacias. Fonte: Autora. ....	86
Figura 31. Gráfico da área da caracterização da cobertura dea terra na bacia do rio Quitandinha. Fonte: Autora. ....	87
Figura 32. . Gráfico da área da caracterização da cobertura dea terra na bacia do rio Palatino. Fonte: Autora. ....	88
Figura 33. Gráfico da área da caracterização da cobertura dea terra na bacia do rio Piabanha. Fonte: Autora. ....	88
Figura 34. Limite das bacias de primeira ordem. Produzido pela Autora. ....	89
Figura 35. Densidade de drenagem (Dd) nas bacias de primeira ordem do Alto Curso do rio Piabanha. Produzido pela Autora. ....	90
Figura 36. Gradiente topográfico (Gt) nas bacias de primeira ordem do Alto Curso do rio Piabanha. Produzido pela. ....	92
Figura 37. Índice de Eficiência de Drenagem (IED) nas bacias de primeira ordem do Alto Curso do rio Piabanha. Produzido pela Autora. ....	94

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Identificação dos pluviômetros localizados nas bacias de acordo com órgão e início de operação.....	49
Tabela 2. Valores de níveis limnimétrico.....	51
Tabela 3. Níveis limnimétricos de 80%.....	51
Tabela 4. Classificação das intensidades pluviométricas .....	52
Tabela 5. Característica do Sensor orbital RapidEye .....	53
Tabela 6. Valores dos Parâmetros .....	56
Tabela 7. Chave de classificação (Imagem RapidEye, composição R (3), G (2), B (1) e imagem do Google Earth).....	58
Tabela 8. Classificação do Índice Kappa.....	60
Tabela 9. Quantidade de inundações no período de 2011 a 2019 nas estações pluviofluviométricas do INEA.....	72
Tabela 10. Eventos de inundação no rio Quitandinha e Piabanha em março de 2013 registrado nas estações pluviofluviométricas Cel. Veiga, Centro e Bingen.....	77
Tabela 11. Avaliação do intervalo de tempo, duração e volume de chuva em março de 2013. ....	77
Tabela 12. Eventos de inundação no rio Quitandinha em 2012, 2014 e 2019 registrados nas estações pluviofluviométricas Cel. Veiga e Centro.....	81
Tabela 13. Avaliação do intervalo de tempo, duração e volume de chuva nos anos de 2012, 2014 e 2019 .....	81
Tabela 14. Eventos de inundação no rio Quitandinha em 2012, 2016 e 2018, registrados apenas na estação Cel. Veiga.....	84
Tabela 15. Avaliação do intervalo de tempo, duração e volume de chuva nos anos de 2012, 2016 e 2018 .....	84
Tabela 16. Classes de densidade de drenagem .....	91
Tabela 17. Quantidade de bacias (numérico e percentual) por classe de Densidade de drenagem (Dd) para cada bacia de primeira ordem do Alto curso do rio Piabanha.....	91
Tabela 18. Classes de Gradiente topográfico .....	93
Tabela 19. Quantidade de bacias (numérico e percentual) por classe de Gradiente topográfico (Gt) para cada bacia de primeira ordem do Alto curso do rio Piabanha .....	93
Tabela 20. Classes de Índice de Eficiência de Drenagem .....	94
Tabela 21. Quantidade de bacias (numérico e percentual) por classe de Índice de Eficiência de Drenagem (IED) para cada bacia de primeira ordem do Alto curso do rio Piabanha .....	95

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Classificação dos desastres.....	41
Quadro 2. Síntese dos resultados.....	96

## EQUAÇÕES

Equação 1. Densidade de Drenagem .....	38
Equação 2. Gradiente Topográfico.....	39
Equação 3. Índice de Eficiência de Drenagem.....	39
Equação 4. Índice Kappa. ....	59
Equação 5. Exatidão Global.....	60

## LISTA DE SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
ASAS	Alta Subtropical do Atlântico Sul
CAR	Cadastro Ambiental Rural
CEMADEN	Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
Dd	Densidade de Drenagem
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Gt	Gradiente Topográfico
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IED	Índice de Eficiência de Drenagem
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDT	Modelo Digital de Terreno
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MNT	Modelo Numérico de Terreno
PMP	Prefeitura Municipal de Petrópolis
SIRGAS	Sistema de Referência Geodésico
TIN	Grade Irregular Triangular
UTM	Universal Transversa de Mercator
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul

## Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	18
<b>1. Questões</b> .....	19
1.1 Objetivo geral .....	20
1.1.2 Objetivo específico .....	20
<b>2. ÁREA DE ESTUDO – ALTO CURSO DO RIO PIABANHA</b> .....	21
<b>2.1 Visão Geral</b> .....	21
<b>3. PLANO, PLANTA DE KOELER DE 1846 E ALTERAÇÕES</b> .....	24
<b>3.1 Processo de execução do plano Koeler ou plano “Povoação- Palácio de Verão”</b> .....	24
<b>3.2 Características da Planta Koeler ou “Planta de Petropolis – 1846” e alterações</b> .....	25
<b>3.3 As inundações presentes na cidade</b> .....	29
<b>4. REVISÃO CONCEITUAL</b> .....	35
<b>4.1 Paisagem como objeto de análise</b> .....	36
<b>4.2 Geomorfologia fluvial</b> .....	37
4.2.1 Análise morfométrica .....	38
<b>4.3 Desastres</b> .....	40
<b>5. ESTRUTURA METODOLÓGICA</b> .....	45
<b>5.1 ANÁLISE TEMPORAL DO EVENTOS DE INUNDAÇÃO</b> .....	46
5.1.1 Cenário dos dados hidrometeorológicos .....	46
5.1.2 Organização dos dados Hidrometeorológicos .....	49
5.1.3 Seleção dos eventos de inundação através dos dados hidrometeorológicos .....	50
<b>5.2 CARACTERIZAÇÃO DA COBERTURA DA TERRA</b> .....	52
5.2.1 Sistema Sensor RapidEye.....	53
5.2.2 Correção Atmosférica.....	54
5.2.3 Classificação da Imagem do sensor <i>RapidEye</i> .....	56
<b>5.3 CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DAS BACIAS DO ALTO CURSO DO RIO PIABANHA</b> .....	60
5.3.1 Delimitação das bacias hidrográficas de primeira ordem.....	62
5.3.2 Representação da superfície terrestre modelada.....	63
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	66
<b>6.1 CARACTERÍSTICAS DAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS E PLUVIO FLUVIOMÉTRICAS DO INEA E DO CEMADEN</b> .....	66
6.1.1 Frequência de cheias no período de 2011 - 2019 .....	72

6.1.2 Análise dos eventos de inundação .....	75
<b>6.2 CARACTERIZAÇÃO DA COBERTURA DA TERRA .....</b>	<b>85</b>
<b>6.3 CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DAS BACIAS DO ALTO CURSO DO RIO PIABANHA .....</b>	<b>89</b>
<b>7. CONCLUSÕES.....</b>	<b>98</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>99</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>107</b>
<b>Anexo I – Fichas descritivas das estações pluvio fluviométrica da Estação Alto da Serra – INEA. ....</b>	<b>107</b>
<b>Anexo II – Fichas descritivas das estações pluvio fluviométrica da Estação Bingen – INEA. ....</b>	<b>112</b>
<b>Anexo III– Fichas descritivas das estações pluvio fluviométrica da Estação Cel. Veiga – INEA. ....</b>	<b>116</b>
<b>Anexo IV – Fichas descritivas das estações pluvio fluviométrica da Estação Centro - – INEA. ....</b>	<b>121</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Como unidade espacial, a bacia hidrográfica é o espaço no qual o ambiente é composto por um conjunto de elementos estruturais que vão desde a forma de relevo, vertentes, uso e ocupação do solo e a apresentação dos seus canais fluviais (CHRISTOFOLETTI, 1999). Ao efetuar o seu estudo é necessário que haja a compreensão das suas partes, ou seja, os elementos devem ser avaliados como um todo, numa visão holística, uma vez que fatores externos tendem a fazer parte da sua dinâmica, como por exemplo, as precipitações pluviométricas e desastres naturais, a saber, as inundações, que são recorrentes no primeiro distrito do município de Petrópolis.

As inundações fazem parte da dinâmica natural do rio, mas podem ser intensificadas em razão da urbanização, em consequência da alteração do uso do solo promovendo a sua impermeabilização, assim como a canalização dos rios. Assim, quando há precipitações intensas, a capacidade com que o rio tem de drenar a água que chega é inferior e com isso, há o extravasamento do leito do rio (TUCCI e BERTONI, 2003).

Nesta perspectiva, o município de Petrópolis/RJ possui a peculiaridade de ter sido uma das poucas cidades brasileiras a nascer de um planejamento que levava em conta as características físicas da área a ser ocupada, como as condições pluviométricas, de relevo e o sistema fluvial que o compunha. Com isso, um plano de ocupação foi pensando sobre os possíveis problemas que a cidade viria a enfrentar e que já haviam sido observados anteriormente, como as inundações e os deslizamentos, a saber, a criação de áreas de convívio social e lazer para a maioria dos bairros, como 14 praças; construção de 12 pontes espalhadas pelos principais cursos d'água da colônia; canalização e retificação dos rios, era de fundamental importância para a prosperidade da povoação (NEVES e ZANATTA, 2017).

No entanto, esses elementos característicos projetados foram se perdendo durante a construção da cidade, assim como, o desaparecimento das 'ilhas fluviais', e o que se vê hoje é o aumento das ocorrências de deslizamentos de terra e inundações na área gênese do município, tendo a década de 1980 com o maior registro desses eventos (AMBROZIO, 2013).

O plano original, que fora elaborado para o primeiro distrito do município, sofreu diversas alterações com o passar dos anos, a qual não foram respeitadas as características iniciais do projeto, como por exemplo, a preservação das matas nos altos das montanhas e colinas, previsto no art 6º do Decreto Imperial de 16 de março de 1843 para conservação dos recursos hídricos e preservar da construção de edifícios imperiais, na qual a localidade para

esse tipo de construção já havia sido reservada, assim como das praças, ruas, caminhos, pontes e cemitério (ASSUMPÇÃO, 2015). Contudo, o aumento da população urbana de forma desordenada, sobretudo no atual primeiro distrito, intensificou os casos de inundações e deslizamentos.

Dessa maneira, com o apoio das técnicas de geoprocessamento e guiado conceitualmente pela paisagem como objeto de análise, possibilitou conhecer o funcionamento da estrutura morfológica e hidrológica das bacias que banham o primeiro distrito, a saber, as bacias do Alto Curso do rio Piabanha, na qual os rios Quitandinha, Palatino e Piabanha fazem parte e onde está inserida o desenho do limite da “Planta de Petropolis – 1846” organizada por Koeler.

Nesse sentido, a pesquisa propõe por meios de um histórico da ocorrência de inundações e contribuição de técnicas de geoprocessamento entender o reflexo desses fatores no quadro atual da paisagem petropolitana, marcada por vários conflitos ambientais. Uma possibilidade de aplicação do trabalho é criar subsídio para preparar o município na tomada de decisões a fim de realizar ações de mitigação sobre os possíveis impactos que os volumes de chuva causam na cidade e de alertar a população sobre possível transbordo do rio, antecipadamente, com base nos limites de volume de chuva e no tempo médio para que o transbordo aconteça.

## **1. Questões**

O Plano Urbanístico "Povoação Palácio de Verão" também nomeado como Plano Koeler, por ter sido produzido pelo Major de Engenheiros Júlio Frederico Koeler, foi projetado ao mesmo tempo em que fez-se o levantamento cartográfico que deu origem a “Planta de Petropolis – 1846”, conhecida como Planta Koeler. O plano contava com cursos d’água, que foram aproveitados para traçar ao longo das suas margens as avenidas da Vila Imperial e as ruas de acesso aos bairros circundantes seguindo a topografia original da região e visando a preservação das águas e da mata, assim como, praças, bosques, entre outras feições (RABAÇO, 1985).

Apesar de ser considerado por alguns autores, como Rabaço (1985) e Eppinghaus (2011), como um dos primeiros planos urbanísticos do segundo império, este passou por algumas alterações, como: divisão dos prazos de terra; abertura de ruas; estradas; construção de moradias e a supressão de aproximadamente oito praças e algumas ilhas fluviais, modificando a paisagem da área. Os referidos autores chegaram a destacar que para a época em que foi projetado, o plano de “Povoação Palácio de Verão”, já era considerado como o

primeiro Código de Posturas do município, mesmo não possuindo esta nomenclatura. Posteriormente, este código viria a ser considerado para a criação do primeiro Código de Postura oficial, de 31 de março de 1893 (EPPINGHAUS, 2011).

Partindo de premissa apresentada por Guerra e Marçal (2015) que a ação humana em determinada paisagem pode promover a apropriação desta e de seus recursos, causando modificações com um ritmo muito mais intenso que aquele normalmente imposto pela natureza, podendo criar novas formas de ocupação, que na maioria das vezes, ocorre sem que haja um acompanhamento, planejamento ou organização necessários para a sustentabilidade da natureza, é possível levantar algumas questões ao se analisar o que foi projetado na primeira metade do século XIX e que, hoje, após quase dois séculos se encontra implementado.

- Será que as atuais características presentes tornam as bacias, que compõem o Alto Curso do rio Piabanha, vulneráveis a ocorrências dessas inundações?
- Como os atuais dados hidrometeorológicos nos ajudam a compreender essas inundações?

A partir desse quadro é possível definir os objetivos da presente dissertação que são apresentados a seguir.

### **1.1 Objetivo geral**

Caracterização ambiental das bacias que banham o primeiro distrito, a saber, as bacias do Alto Curso do rio Piabanha, na qual os rios Quitandinha, Palatino e Piabanha fazem parte, a fim de entender os processos de inundação que tem acontecido na cidade entre os anos de 2011 a 2019.

#### **1.1.2 Objetivo específico**

- Análise temporal e espacial dos eventos de inundação nas bacias do Alto Curso do rio Piabanha, a saber, bacia dos rios Quitandinha, Palatino e Piabanha.
- Identificar e analisar a cobertura da terra nessas bacias.
- Caracterização da morfometria das bacias do Alto Curso do rio Piabanha.

## 2. ÁREA DE ESTUDO – ALTO CURSO DO RIO PIABANHA

### 2.1 Visão geral

A cidade de Petrópolis – RJ, localizada na região Serrana do estado do Rio de Janeiro, cinco distritos, são eles: Petrópolis, Cascatinha, Itaipava, Pedro do Rio e Posse. É no primeiro distrito que fica localizada a área gênese do município e que foi a base para iniciar o processo de planejamento urbano da cidade, na qual está também inserida os limites da “Planta de Petrópolis - 1846”. É nessa área que também encontram-se os rios que são parte do Alto Curso do rio Piabanha, a saber, Quitandinha, Piabanha e Palatino (Figura 1) e que ocupa 33,2% da área do primeiro distrito.

A totalidade do primeiro distrito abrange a escarpa e o reverso da Serra do Mar. Possui uma área de 795,799 km<sup>2</sup> e de aproximadamente 858 metros de altitude. Em relação a população urbana, o IBGE (2020) estima que cerca de 306.678 pessoas habitem o município de Petrópolis.

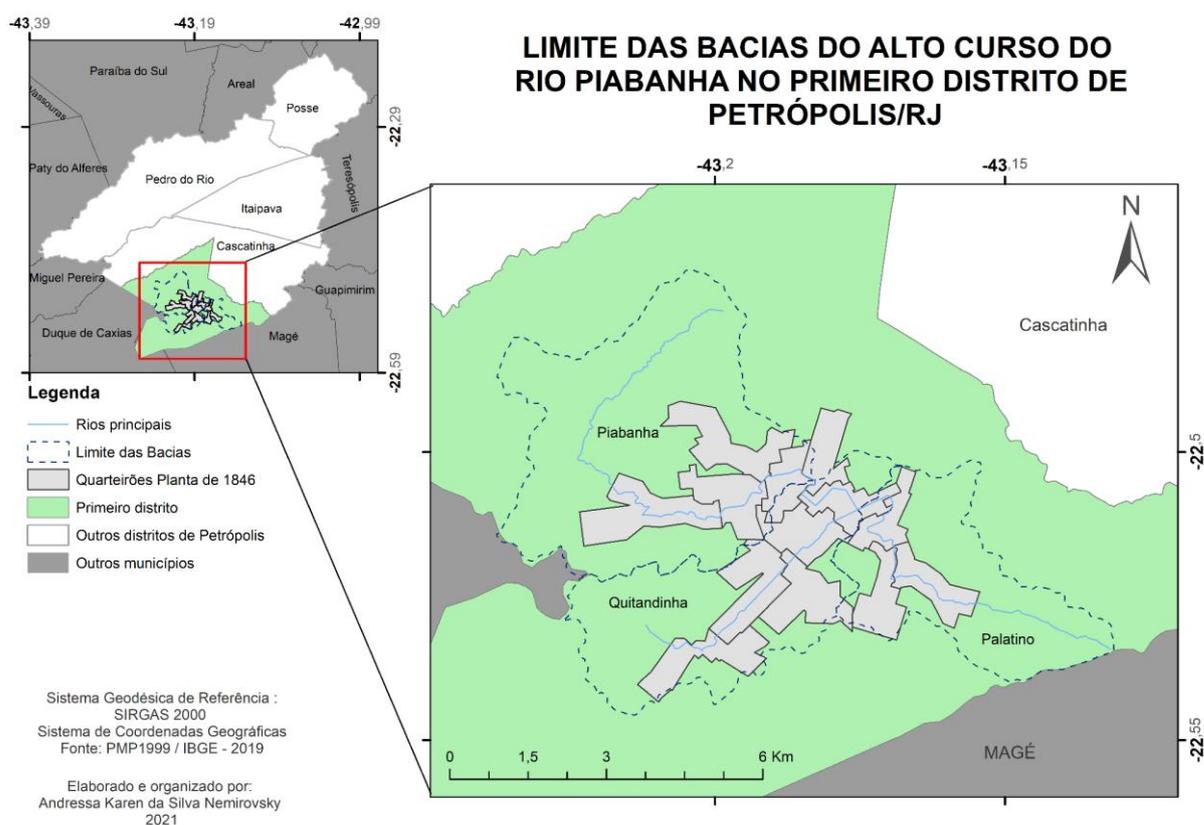


Figura 1. Limite das bacias que fazem parte do Alto Curso do rio Piabanha. Fonte: Autora.

Em relação a vegetação, a maior parte da área do município está inserida no bioma Mata Atlântica, e as áreas de vegetação se constituem na matriz desta paisagem. Vale ressaltar que, o bioma Mata Atlântica, atualmente, encontra-se com vegetação nativa reduzida a cerca de 22% de sua cobertura original em diferentes estágios de regeneração (MMA, 2016).

A vegetação tem como características árvores que se estabelecem em ambientes úmidos, constituindo nestes espaços áreas florestadas, que se subdivide em floresta Submontana, Montana e Alto Montana. Esse tipo de vegetação é marcada pela presença de Florestas Ombrófila Densa ou Floresta Tropical Pluvial (GUERRA *et al.*, 2007). Ainda de acordo com Guerra *et al.*, (2007), boa parte da proteção natural contra os processos erosivos e movimentos de massa tem deixado de existir devido ao aumento da concentração urbana na área do primeiro distrito.

A região possui solos profundos, serras escarpadas, serras isoladas e locais, colinas e morros. O relevo acidentado tem origem em processos de intemperismos, com rochas que pertencem ao complexo granítico-gnáissico-migmatítico de idade Pré-Cambriana (LOPES, 2003; GUERRA *et al.*, 2007).

Quanto ao clima, há uma variação climática devido a sua topografia, posição latitudinal pela ação marítima e pelos sistemas atmosféricos, como as Frentes frias, a Alta Subtropical do Atlântico Sul - ASAS e a Zona de convergência do Atlântico Sul - ZCAS, que combinado com fatores citados acima, contribuem para a diferença nos padrões de temperatura e chuvas, agindo sobre os aspectos sóciobiofísicos da região (BERNARDES, 1952; NIMER, 1979; MENDONÇA e OLIVEIRA, 2007; CAVALCANTI *et al.*, 2009).

A classificação do clima no município é mesotérmica branda super úmida, o que caracteriza invernos secos e verões quentes e brandos, marcando bem duas estações: secas e chuvosas (NIMER, 1979). Sendo assim, o município apresenta a Normal Climatológica, de 1931-1960, precipitações anuais de 2.070,7 mm, distribuídas mensalmente conforme a Figura 2. Em que as chuvas se concentram de novembro a março, com julho sendo o mês menos chuvoso, mas ainda assim significativo. Dezembro a janeiro os totais pluviométricos mensais são acima de 200 mm (INMET, 2021).

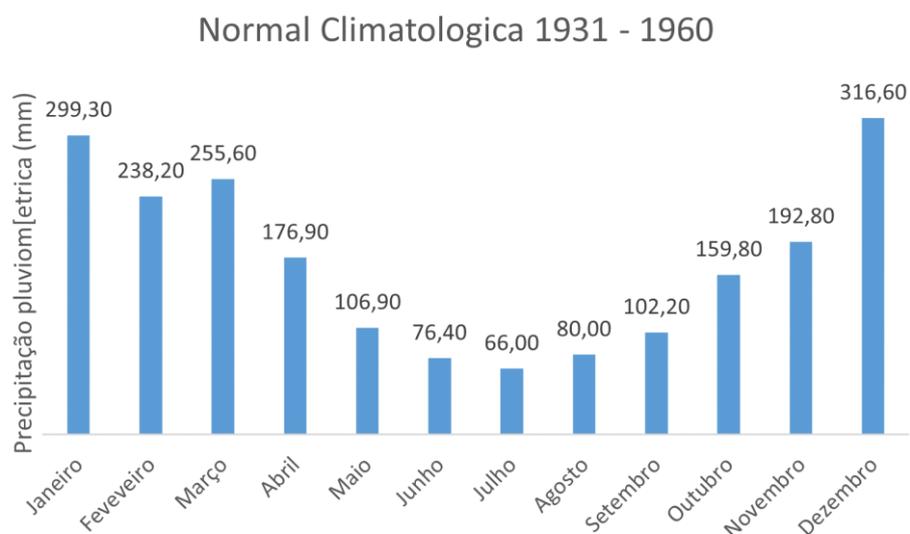


Figura 2. Normal Climatológica de precipitação (mm) em Petrópolis 1931-1960. Fonte: INMET (2021).

Segundo a Normal Climatológica, de 1931-1960, as temperaturas médias são distribuídas mensalmente como é observado na Figura 3 em que de dezembro a março (verão) as temperaturas médias são 20° C e de maio a agosto (inverno) as médias de temperatura são de 15°C (INMET, 2021).

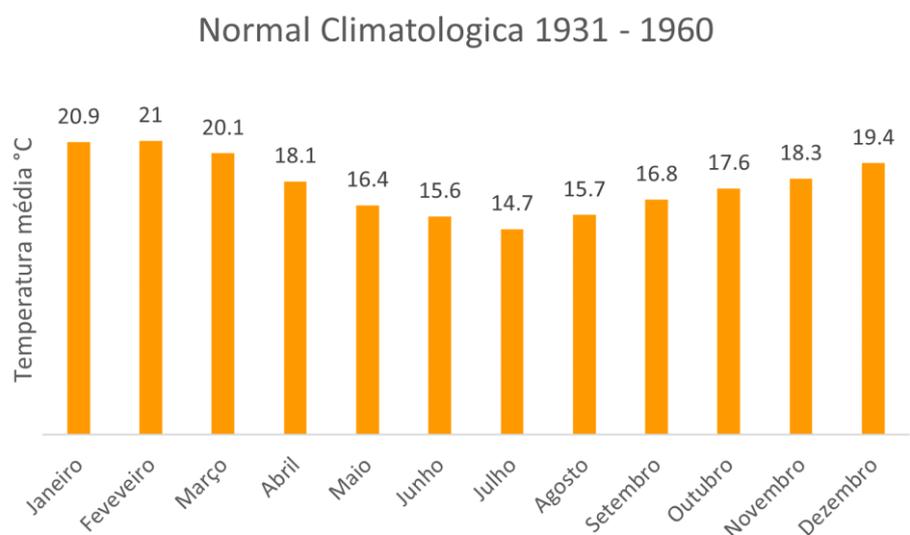


Figura 3. Normal Climatológica de temperaturas médias (°C) em Petrópolis 1931-1960. Fonte: INMET (2021).

### **3. PLANO, PLANTA DE KOELER DE 1846 E ALTERAÇÕES**

#### **3.1 Processo de execução do plano Koeler ou plano “Povoação- Palácio de Verão”**

A cidade de Petrópolis, localizada na região Serrana do Estado do Rio de Janeiro, nasceu de um projeto urbano. Inicialmente, D. Pedro I pretendia estabelecer na Fazenda do Córrego Seco, arrendada em 1830, um Palácio de Verão onde pudesse passar os dias de verão e fugir do calor da cidade do Rio de Janeiro. Contudo, o plano só foi colocado em prática por seu sucessor, D. Pedro II, inspirado pelas ideias do Mordomo da Casa Imperial, Paulo Barbosa (PEDROSO, 2007).

Tendo em vista todo o processo que levou a sua construção, sabe-se que a cidade de Petrópolis - RJ foi traçada a partir do plano urbanístico chamado “Povoação-Palácio de Verão” ou plano Koeler, sendo, segundo Sá Earp (1996), “pioneiro no Brasil”. Isso se sucedeu por meio de um decreto de nº 155 assinado em 16 de março de 1843, na qual estabelecia que o arrendatário da Fazenda Córrego Seco, agora Major Koeler, estaria na incumbência de levantar a planta da futura cidade, o palácio imperial e suas dependências de forma gratuita e também fazer a demarcação e divisão das terras imperiais em lotes ou prazos numerados entre outras responsabilidades (RABAÇO, 1985).

O Plano Urbanístico (plano de "Povoação Palácio de Verão") produzido pelo Major de Engenheiros Júlio Frederico Koeler foi elaborado na mesma época em que realizou o levantamento cartográfico e confeccionou a carta da província do Rio de Janeiro. Do levantamento cartográfico constou-se de 17 cursos d'água que foram aproveitados para traçar as avenidas da Vila Imperial e as ruas de acesso aos bairros circundantes seguindo a topografia original da região e visando a preservação das águas e da mata (RABAÇO, 1985).

O plano visava a ocupação dos vales ao longo do rio Piabanha e seus afluentes, com as frentes das casas voltadas para os rios, arborização de ruas e praças, calçamento dos passeios, canalização de rios e arborização de suas margens. Uma observação que pode se ver no plano de Koeler é o tamanho das calçadas que deveriam ter aproximadamente 2,20 metros de largura (10 palmos). Com isso, pretendia não apenas evitar o esgotamento dos recursos hídricos, como também as inundações e os deslizamentos das encostas ocasionados pelas chuvas de verão (LORDEIRO, 2000).

O projeto de Koeler se faz na intenção de ser um sistema capaz de agregar qualidade de vida à cidade, seja por seu saneamento e pela canalização de suas águas, seja pelo zoneamento implantado pelo engenheiro. Foi desenhado numa única planta geral, onde estão representados os rios e seus afluentes, ruas, praças, estradas e quarteirões. (PEDROSO, 2007).

Apesar disso, o primeiro plano de povoamento passou por algumas alterações, como: divisão dos prazos de terra; abertura de ruas; estrada; construção de moradias e a supressão de aproximadamente oito praças, que constavam no primeiro planejamento urbano, modificando a paisagem da área. Todo o processo de mudança obedeceu ao Código de Postura de 31 de março de 1893, que foi substituído pelo Vice-Presidente Manuel Pinto da Rocha Cardoso em 3 de dezembro de 1900 (EPPINGHAUS, 2011).

### **3.2 Características da Planta Koeler ou “Planta de Petropolis – 1846” e alterações**

Laeta e Fernandes (2015), em seus estudos sobre a “Planta Petropolis – 1846” descobriram que a planta Koeler foi executada numa escala de 1:5.000, e que a área gênese ocupada na planta é de aproximadamente 15,96 km<sup>2</sup>, que é aproximadamente 12% do atual primeiro distrito e possui diversos elementos que ajudam a compreender o processo de dinâmica da paisagem com o passar dos anos e que podem ter influência nos processos de inundações contemporâneos recorrentes na cidade.

A Figura 4 é apresentada a “Planta de Petropolis - 1846”, e alguns detalhes que podem ser observados em 3a, 3b e 3c, como o nome dos quarteirões, divisão dos prazos e sua numeração, nome de ruas, rios e nome dos colonos que estariam encarregados de realizar as construções nos prazos. Outros componentes que são percebidos na planta são o traçado dos cursos dos rios e as ruas paralelas aos rios. Os nomes dos rios podem ser verificados nas Figuras 3a (rio Piabanha), Figura 3b (rio Palatino) e Figura 3c (rio Quitandinha).

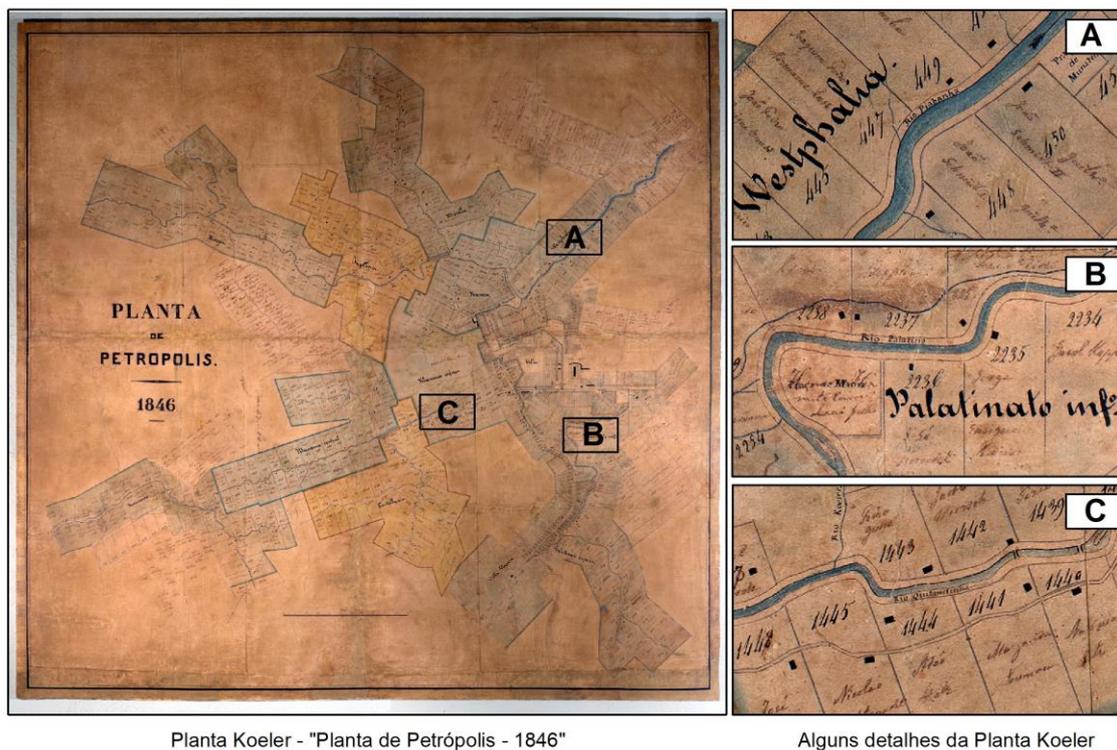


Figura 4. “Planta de Petrópolis – 1846”. Modificado de Fernandes et al. (2020).

Outra característica presente na planta elaborada por Koeler em 1846 foi a presença de duas vilas (Imperial e Vila Teresa) e onze quarteirões. além das características previstas no Plano Koeler, como o traçado dos rios e as divisões dos prazos, ruas e avenidas paralelas à rede de drenagem. Para minimizar os efeitos que as inundações causaram na cidade, Koeler projetou o alargamento e a canalização dos rios próximos ao Palácio Imperial (RABAÇO, 1985; SÁ EARP, 1996; FERNANDES *et al.*, 2020).

Neves e Zanatta (2017) destacaram que para maioria dos quarteirões fora previsto 14 praças, 12 pontes espalhadas pelos principais cursos d’água canalização e retificação dos rios para a navegação fluvial e a manutenção das ilhas existentes, citando o caso das ilhas que se encontravam no rio Quitandinha.

O que corrobora com o que Fernandes *et al.* (2020), em suas pesquisas sobre a dinâmica das inundações em Petrópolis, identificando na Planta a existência de ilhas fluviais nos principais cursos de água e que podem ser observadas na Figura 5. A área ocupada por cada ilha é visto nas Figuras 5a e 5d, que se referem as ilhas localizada no trecho rio Quitandinha com áreas de 965m<sup>2</sup> e 162 m<sup>2</sup>, respectivamente. A Figura 5b refere-se a ilhalocalizada no trecho do rio Palatino com área de 210 m<sup>2</sup> e na Figura 5c refere-se a ilha localizada no trecho do rio Piabanha com área de 187 m<sup>2</sup>.

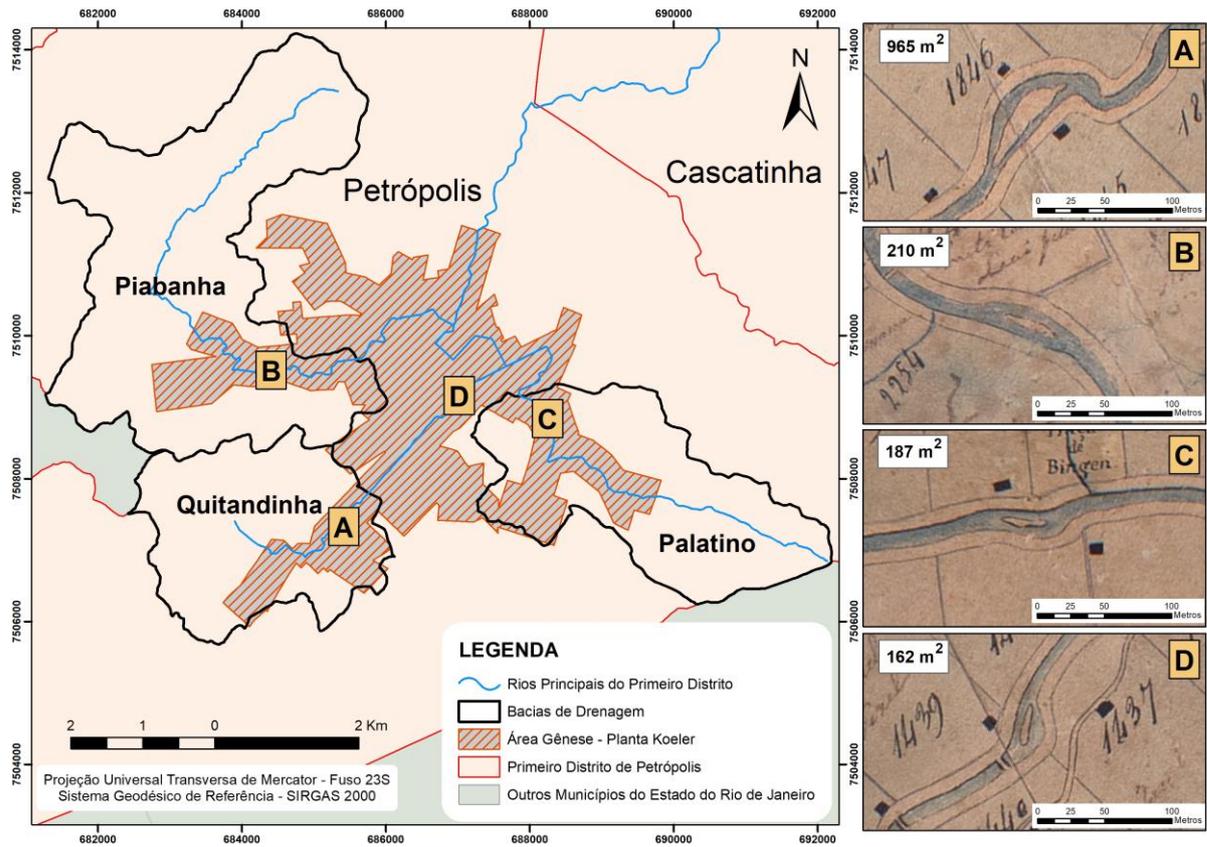


Figura 5. Localização das ilhas mapeadas e suas respectivas áreas. Modificado de Fernandes et al. (2020).

Para exemplificar a existência da ilha, é mostrado na Figura 6 a Boate Navio que existia no Bingen, próximo a Fábrica de tecido Werner (Figura 7).

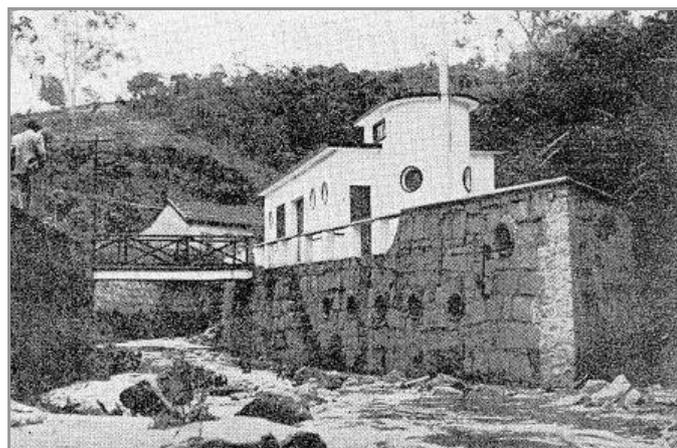


Figura 6. Imagens da época da Boate navio, próximo a fábrica de tecido Werner. Fonte: <https://wikimapia.org/11604615/pt/Boate-Navio-demolid>. Acesso em 2021.



Figura 7. Localização atual de onde se encontrava a Boate Navio e o local da Fábrica Werner. Fonte: Google Street View, 2019.

Contudo, com o falecimento precoce de Koeler aos 47 anos e o aumento da população urbana no município, principalmente no primeiro distrito, foi preciso realizar alterações na “Planta de Petrópolis – 1846”. Essas alterações foram realizadas por Otto Reimarus e consta na planta intitulada “Planta da Imperial Colônia de Petrópolis de 1854”. Das alterações foram adicionadas mais 10 quarteirões, contabilizando um total de 21 quarteirões e não mais 11 quarteirões. Manteve-se as duas vilas já existentes na “Planta de Petrópolis – 1846” (LAETA e FERNANDES, 2015).

Além dessas alterações que mostram um crescimento urbano e a expansão de quarteirões no município, outras modificações também foram realizadas como abertura de novas ruas e travessas e supressão de praças, tendo dois exemplos: a avenida Koeler, que antes chamada D. Afonso atravessaria a praça da Liberdade, mas teve o tamanho encurtado. Um outro exemplo é em relação a praça da Confluência, que era bastante arborizada, no local foi erguido o Palácio de Cristal em 1884 (PEDROSO, 2007).

Também, foi projetado por Koeler 13 praças, entretanto, apenas 5 praças foram concretizadas, são elas: Praça de S. Pedro de Alcântara, na área da atual Praça Princesa Isabel e Catedral; Praça D. Afonso, hoje Praça da Liberdade; Praça da Confluência; Praça do Imperador, que aparece nas duas plantas e área onde atualmente encontra-se a Praça D. Pedro II e dos Expedicionários e Praça Nassau ou Praça Oswaldo Cruz (SÁ EARP, 2000).

Quanto aos rios da cidade, como mencionado anteriormente, Koeler cartografou 17 cursos d'água, dos quais, três eram os principais. São eles: Quitandinha, Piabanha e Palatino (antigo Córrego Seco) e a partir de seus traçados, estradas e ruas foram abertas sem ferir as

encostas evitando a erosão e o assoreamento. Koeler também projetou para as margens dos rios praças e alamedas com plantio de paineiras, sapucaias, magnólias e canteiros cheios de hortênsias (CARVALHO, 1999 ; SÁ EARP, 2000; EPPINGHAUS, 2011).

Nesse processo de construção da cidade, rios no Centro Histórico foram canalizados, como os rios Quitandinha e Palatino, na rua do Imperador, e a retificação e canalização do rio Quitandinha na rua da Imperatriz; de D. Maria II., de D. Affonso, de Bragança e dos Artistas (FRÓES, 2002), alterando sua estrutura e cobertura para dar lugar ao urbano, contudo, todo o processo de planejamento idealizado por Koeler pretendia, também, evitar as enchentes que eram frequentes na cidade, como mencionado por Neves e Zanatta (2017).

Santos *et. al.*, (2019) trabalhando com os rios da cidade de Petrópolis, comparou o traçado do rio feito por Koeler e a base cartográfica da PMP - Prefeitura Municipal de Petrópolis (1999) e identificaram, por meio da construção de ferramenta de análise com base na distância Euclidiana, que a sinuosidade dos canais diminuiu, ficando mais estreitos e retilíneos. Principalmente o rio Quitandinha que teve prejuízo na sua largura, sinuosidade e supressão de ilhas fluviais. Por outro lado, nos rios Piabanha e Palatino houve menores alterações em sua largura e sinuosidade.

### 3.3 As inundações presentes na cidade

Não é de hoje que desastres naturais e chuvas têm feito parte do cotidiano da cidade de Petrópolis, desde 1850 sendo relatado em crônicas e jornais, como apresentado na Figura 8. Em seu diário, D. Pedro II relatou com frequência dados meteorológicos observados na região quando esteve presente. No volume 9 há trechos em que D. Pedro II relata os dias chuvosos na cidade no mês de dezembro, desastres e estragos provocados pela chuva, segue o trecho:

“5 de janeiro de 1862 (...) Em Petrópolis choveu nos dias (o dia compreende o tempo em que está fora e à noite) 6, 9, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31 de dezembro(...). A 2 choveu, durante o dia até 5 da tarde, 23mm, e a 3, durante o dia até 7hm de 4,12mm (...).

6 de janeiro de 1862 - Ontem de noite houve grande enchente. Subiu três palmos acima da parte da Rua do Imperador do lado da Renânia; acordou o Câmara [sic], e um homem caiu no canal devendo a vida a saber nadar e aos socorros que lhe prestaram. Conversei hoje com o engenheiro do distrito; pouco se fez do ano passado para cá. Os estragos que fez a enchente levaram 2 meses a reparar segundo me disse o engenheiro. Falei-lhe sobre a vantagem de introduzir na colônia a cultura da amoreira e criação do bicho-da-seda.” (Diário de D. Pedro II - Vol. 2 pág 3 e 4, 1999)



Figura 8. Inundação na rua do Imperador, próximo ao obelisco (1930). Fonte: Museu Imperial/Ibram/MinT. Sem data. <https://soupetropolis.com/2018/10/03/8-fatos-curiosos-que-sempre-fizeram-parte-da-historia-de-petropolis>. Acesso em 2021.

Com relação às inundações dos rios, foi realizada em 1850 obra de alargamento do rio para que as cheias ocorressem a jusante dos rios, que na época era pouco povoada. Entretanto, essa obra não foi eficaz, quando no ano seguinte novamente a chuva alagou a cidade. Daquele momento em diante, muitos relatos sobre inundações na cidade vieram a ser publicados. A maioria desses relatos não se refere a dados pluviométricos em si, mas aos impactos que as chuvas causavam na cidade (ASSUMPCÃO, 2015.)

Um exemplo também pode ser visto no jornal *Gazeta de Petrópolis* de 5 de janeiro de 1895 (Figura 9) o qual relata inundações causadas por uma chuva que começou às 02h da tarde e foi até às 05h da tarde do mesmo dia, deixando a cidade inteira inundada. E mais atual em 2014, no qual a *Revista Exame* (Figura 10) publicou a seguinte informação:

“(...) segundo a Defesa Civil de Petrópolis, o período mais crítico foi a partir das 3h45, quando choveu 100 milímetros em menos de 45 minutos em todo o município. Nove sirenes do sistema de alerta e alarme foram acionadas nos bairros. Houve inundação nas ruas do Imperador e Coronel Veiga. (...) Os rios Quitandinha e Piabanha voltaram ao estágio de atenção às 7h15. O Rio Quitandinha chegou a entrar em alerta máximo devido ao risco de transbordamento por volta das 4h. Já o Piabanha estava em alerta, devido a chuvas intensas e à subida do nível do rio acima do normal, desde as 4h20 (...)” (Fonte: *Revista Exame* de 09 de janeiro de 2014).



Figura 9. Jornal Gazeta de Petrópolis noticiando uma inundação. Fonte: <http://ahistoriadepetropolis.blogspot.com/2013/07/a-enchente-de-1895-em-petropolis.html>. Acesso em 2019.



Figura 10. Inundação na rua Cel. Veiga. Fonte: <https://exame.abril.com.br/brasil/chuva-deixa-petropolis-em-estagio-de-alerta>. Acesso em 2021.

Ainda hoje são observados desastres ambientais do tipo movimento de massa e inundações, principalmente no primeiro distrito do município e muitas das vezes estão associados a episódios de chuvas intensas. Em 1991, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT realizou um levantamento sobre dados históricos de movimentos de massa no município, esse levantamento ficou conhecido como Banco de Dados sobre Escorregamentos em

Petrópolis entre os anos de 1940 a 1991. Plácido e Cunha (2010) realizaram levantamento dos dados de inundações que ocorreram em Petrópolis entre os anos de 1966 e 2010 e o levantamento de dados realizado por Viana Neves (2017) sobre inundações e movimentos de massa que tenha acontecido no município entre os finais dos anos 1990 até o ano de 2015 e que fazem parte do atual Banco de dados que pertence ao Laboratório de Cartografia da UFRJ - GeoCart. Todos esses levantamentos foram baseados em acervos de jornais e revistas que relatam os episódios de inundações e movimentos de massa que tenha acontecido na cidade durante os episódios de chuvas intensas. Esses documentos fazem parte do acervo histórico da Biblioteca Nacional de Petrópolis.

Das informações apresentadas no parágrafo anterior, destacamos os dados levantados relativos às inundações e suas respectivas análises, a saber os dados de inundação levantados por Plácido e Cunha (2010), identificando que em 44 anos de registro de inundações, o ponto da rua Cel Veiga, próximo ao nº 259, onde se localiza a concessionária Volkswagen, apresentou maior ocorrência de inundações, com 96 casos.

Viana Neves (2017) mostrou a concentração desses eventos entre os anos de 1990 a 2015, o qual apresentou um total de 141 eventos de inundação no primeiro distrito, sendo que 80 (ou 56,73 %) eventos de inundação encontram-se na área da Planta Koeler (Figura 11).

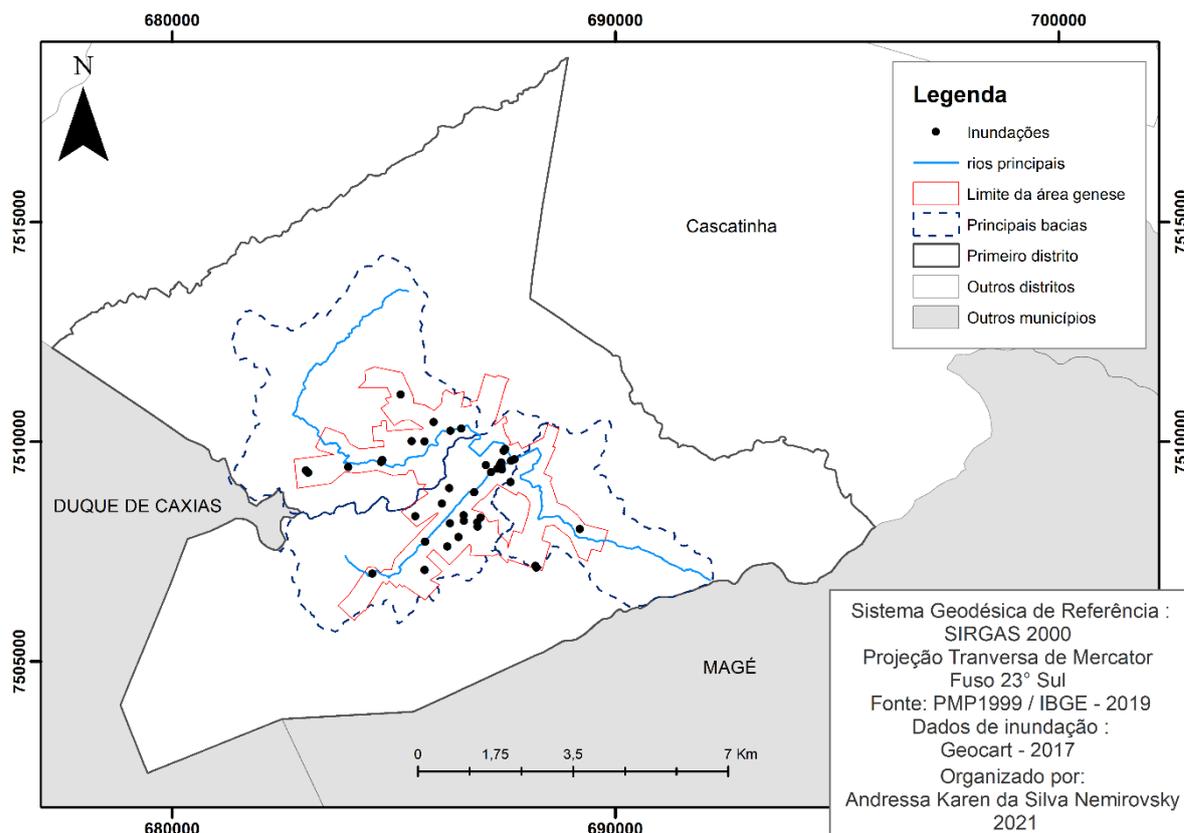


Figura 11. Espacialização dos eventos na área genese de Petrópolis. Fonte: Viana Neves (2017).  
Organizado pela Autora.

Viana Neves (2017) identificou que a ocorrência desses eventos aumentou significativamente com o passar dos anos e que as atividades humanas aumentaram ainda mais a ocorrência desses eventos quando estas alterações são mal planejadas ou ineficientes. Ainda, de acordo com a autora, a área tem baixa eficiência de drenagem e os rios assoreados, por esse motivos há ocorrências desses eventos.

O assoreamento do rio é um ponto crucial para a dinâmica das inundações no primeiro distrito e em muitas cidades brasileiras. Em um artigo publicado pelo Diário de Petrópolis no ano de 2019, foi identificado que em 25 pontos da cidade houve a remoção de 60 toneladas de sedimentos. Esse acúmulo muitas vezes é provocado pela redução da velocidade, perda da faixa marginal e alteração do trajeto.

Outro ponto a ser considerado é o processo de urbanização na cidade. Ambrozio (2013) evidenciou que o processo de industrialização na cidade trouxe o aumento da população, sobretudo no primeiro distrito, área que havia escassez de terras a serem ocupadas. Passando a população se fixar em encostas e cumeadas. Com a década de 1970 marcada pelo aumento da população urbana no município e alterações nas estruturas espaciais.

Essas informações nos fornecem subsídios para interpretar as inundações que ocorrem sempre que há eventos chuvosos na cidade, especialmente no primeiro distrito do município.

#### 4. REVISÃO CONCEITUAL

Este capítulo propõe apresentar os conceitos que têm orientado a pesquisa, a saber, Paisagem como objeto de análise, Geomorfologia Fluvial e Desastres Ambientais, e que permitirá compreender o funcionamento, a estrutura e a dinâmica do município em estudo, uma vez que cerca de 12% do primeiro distrito é ocupado pela planta histórica de 1846, a “Planta de Petrópolis - 1846”, que define a área gênese do município, e onde se tem a maior incidência das inundações fluviais.

A sequência apresentada (Figura 12) propõe os conceitos que guiarão as análises das inundações fluviais no primeiro distrito do município de Petrópolis, com base em uma planta histórica de 1846 elaborada pelo Major de Engenheiros Júlio Frederico Koeler; um banco de dados das estações pluvio fluviométricas do INEA e pluviométricas do CEMADEN, que fazem parte das bacias do Alto Curso do rio Piabanha e um banco de dados cartográficos da Prefeitura Municipal de Petrópolis (PMP) de 1999, na escala 1:10.000.

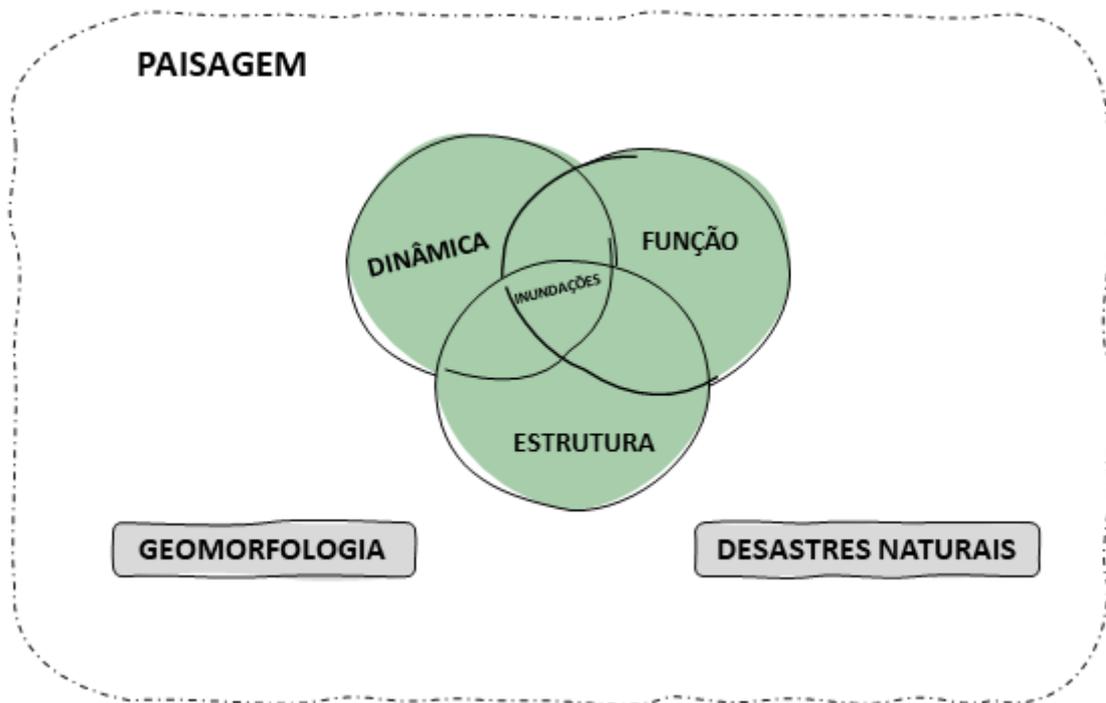


Figura 12. Conceitos aplicados para a análise de inundações fluviais na área de estudo. Fonte: Autora.

#### 4.1 Paisagem como objeto de análise

A Geografia como ciência preocupa-se com a ordem espacial de coisas ou fenômenos e não apenas na relação entre o homem e natureza. Observar e descrever as coisas no espaço sempre foram as ferramentas de análise utilizadas pela Geografia e é isto que explica o papel da imagem, como por exemplo o mapa em trabalhos de cunho geográfico, que representam a descrição de um lugar a partir da localização dos elementos por meio de formas, tamanhos e posições (ALPERS, 1983; GOMES, 2017).

E o que a paisagem é senão o que pode ser observado, visto e retratado por meio de formas, tamanhos e posições em uma imagem ou mapa?

Antes de tudo, é importante ressaltar que o conceito de paisagem teve diferentes abordagens no decorrer de discussões sobre a “*institucionalização da geografia como ciência*” (VITTE, 2007), visto que, segundo Corrêa (2000), da geografia tradicional ao que se conhece hoje, várias foram as correntes que permeiam sobre o conceito de paisagem, chegando em alguns momentos sido deixada de lado nos anos 1950 com a geografia teórica-quantitativa, sendo revista a partir dos anos 1970 com a geografia humanista. Sendo muitas das vezes influenciada pelo contexto histórico e cultural (VITTE, 2007).

O surgimento da palavra paisagem tem diferentes origens, o que confirma a ideia da sua influência ser histórica e cultural. De acordo com Vitte (2007), a palavra paisagem no contexto espacial ganhou diferentes formas etimológicas, no século XVI surge como *país* com sentido de região, território ou nação. Na língua inglesa ela surge com *Landscape* no sentido de organização de campos e em holandês como *landschap* derivado do germânico *landschaft* no sentido de “unidade de ocupação humana”.

Ademais, Schier (2003) traz a distinção entre o termo paisagem natural e cultura. Na primeira, “refere-se aos elementos combinados de terreno, vegetação, solo, rios e lagos, enquanto na segunda, humanizada, inclui todas as modificações feitas pelo homem, como nos espaços urbanos e rurais”.

Bertrand (1972) completa que “*A paisagem não é a simples adição de elementos geográficos disparatados. É, em uma determinada porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução.*”

Neste sentido, o sistema paisagem, no sentido ecológico, compreende a interação de diferentes esferas, como a biosfera, toposfera, atmosfera, pedosfera e hidrosfera, que são observados como um todo unitário, criando-se uma unidade de paisagem (HUGGETT, 1995).

Com isso, o termo “Geoecologia da paisagem” foi concebido por Carl Troll em 1939, da união da geografia com a ecologia. Troll (1939) *apud* Huggett (1995), destaca que o conceito de paisagem tem sido usado há alguns anos, tendo o seu surgimento na Alemanha com a palavra *landschaft* (paisagem).

No entanto, é só a partir do século XX que começam a surgir definições de seus elementos físicos (topografia) e das atividades socioeconômicas (rural), assim como, a nova forma de ser vista, isto é, como uma análise integrativa de todos os elementos que a compõem, sendo desde o domínio físico ao social e em diferentes escalas dando origem ao termo “Ecologia da Paisagem” e posteriormente a “Geoecologia” de Troll (1939) (SAUER, 1925; CHRISTOFOLETTI, 1999).

A palavra “Geoecologia” passa a ser definida, segundo Troll (1939, *apud* Fernandes 2004 e 2009), como a integração de elementos físicos, biológicos e socioeconômicos na superfície terrestre, que influencia o desenvolvimento e dinâmica da heterogeneidade espacial, onde há uma relação qualitativa e quantitativa dos elementos que compõem a biosfera, transformando a análise desses elementos indissociável e complexa.

Dessa forma, estudos de caráter geocológicos são complexos visto que envolvem diferentes unidades que são integrativas. Dessa forma, faz-se necessário o uso das geotecnologias para a análise integrativa dos dados, uma vez que possibilita a manipulação, tratamento, aquisição, exibição de dados espaciais (FERNANDES, 2004 e 2009).

## **4.2 Geomorfologia fluvial**

A geomorfologia fluvial é uma parte da geomorfologia que tem por objeto de estudo os cursos de água e as bacias hidrográficas. Para os cursos de água são abordados a forma e os processos que influenciam o escoamento das águas. Para a bacia hidrográfica, refere-se às suas características desde os aspectos geológicos, climáticos e hidrológicos, bem como formas de relevo até o uso do solo (CHRISTOFOLETTI, 1980; GUERRA e CUNHA, 2013).

Destaca-se neste trabalho as bacias hidrográficas ou de drenagem que compreendem um sistema aberto formado por um conjunto de canais interligados, drenadas por um determinado rio, recebendo a atuação de forças climáticas, como a precipitação (GUERRA e CUNHA, 2013). Onde volume de chuva precipitado tanto pode ser infiltrado no solo, evaporado ou captado pelos canais que irão drenar essa água para uma saída comum da bacia, ou seja, para o exutório.

Uma das maneiras de se estudar as bacias hidrográficas é a partir da análise morfométrica que possibilita “*expressar quantitativamente os elementos topográficos de uma*

bacia que afetam a operação do ciclo hidrológico, particularmente o escoamento” (HORTON, 1932, p.350), assim como as suas condições de vulnerabilidade.

#### 4.2.1 Análise morfométrica

A análise morfométrica consiste na caracterização de uma bacia hidrográfica que pode ser expressa de forma quantitativa e qualitativa. O conhecimento de suas propriedades irá auxiliar na compreensão do comportamento hidrológico, a fragilidade e a potencialidade da área que está sendo avaliada (BATISTA *et al.*, 2017).

Strahler (1984) refere-se a morfometria como um elemento de análise fluvial que consiste na medida da forma e geometria de qualquer forma natural que exista no ambiente, seja ele, planta, animal ou relevo. Tal método propiciará a relação entre as características fisiográficas de uma bacia e o comportamento dinâmico ambiental e hidrológico nela (RODRIGUES *et al.*, 2016).

No Brasil, Christofolletti (1969 e 1980) aborda as características morfométricas ou índices morfométricos baseados em trabalhos realizados por Horton em 1945 e posteriormente por Strahler em 1952, com o intuito de gerar um estudo analítico da bacia hidrográfica.

Destaca-se destes trabalhos a Densidade de drenagem (Dd) Newman (1900, *apud* HORTON, 1932) e o Gradiente Topográfico criado por Meis *et al.*, (1982), que auxiliou outros pesquisadores no desenvolvimento de novos parâmetros, dentre eles o Índice de Eficiência de Drenagem – IED desenvolvido por Coelho Netto *et al.* (2007).

A Densidade de drenagem (Dd) desenvolvida por Newman (1900, *apud* HORTON, 1932), consiste de um parâmetro que indica o quão permeável a superfície de uma bacia pode ser. Esse parâmetro pode ser calculado através da equação 1:

$$Dd = \frac{\sum L}{A}$$

Equação 1. Densidade de Drenagem

Em que:

Dd= Densidade de drenagem

$\sum L$ = Comprimento total dos canais

A = Área da bacia

O cálculo do Gradiente Topográfico (Gt) elaborado por Meis et al. (1982) através da relação da compartimentação topográfica e que releva a inclinação máxima do relevo. A Equação 2 que dá origem a esse parâmetro:

$$G = \frac{\Delta Z}{c}$$

Equação 2. Gradiente Topográfico.

Em que:

G = Gradiente Topográfico

$\Delta Z$  = Desnívelamento da bacia (m)

C = Comprimento do eixo principal da bacia (m)

O Índice de Eficiência de Drenagem (IED), definido por Coelho Netto *et al.* (2007), de acordo com Lima (2015) surgiu durante estudos realizados por Coelho Netto *et al.* (2007) sobre a dinâmica erosiva no domínio de colinas da bacia do rio Bananal (RJ/SP) o qual utilizou parâmetros morfométricos como Densidade de drenagem (Dd) proposto por Horton (1932 e 1945) e Gradiente Topográfico (Gt) proposto por Meis *et al.* (1982) e que reflete a capacidade com que o relevo tem de drenar água e indicar a velocidade com que a água escoar e que é mostrada na Equação 3:

$$IED = DDh \times G = \frac{\sum Cc + \sum Ch}{Ab} \times \frac{\Delta Z}{C}$$

Equação 3. Índice de Eficiência de Drenagem.

Em que:

IED = Índice de Eficiência de Drenagem

Dd = Densidade de Drenagem (m/m<sup>2</sup>)

G = Gradiente Topográfico

$\sum Cc$  = Comprimento Total de Canais (m)

$\sum Ch$  = Comprimento Total dos eixos de concavidades (m)

Ab = Área da bacia (m<sup>2</sup>)

$\Delta Z$  = Desnívelamento da bacia (m)

C = Comprimento do eixo principal da bacia (m)

Tal índice indica a permanência de água na bacia hidrográfica e a partir dele é possível inferir dentre as bacias que estão sendo avaliadas aquelas que têm maior ou menor permanência de água (LIMA, 2015).

Para isso, Lima (2015) alerta que esse índice deve ser calculado em bacias de drenagem de primeira e segunda ordem, visto que nesses níveis de ordenamento, tem-se o comportamento dinâmico dos processos de encosta.

### **4.3 Desastres**

Castro (2012) define desastre como o resultado de eventos naturais ou de ação humana sobre um ambiente vulnerável ou ecossistema, causando danos humanos, materiais, ambientais, ocasionando prejuízos sociais e economicos. Montz *et al.*, (p.9, 2017) definem como *“um evento perigoso e que perturba o funcionamento da sociedade, podendo ou não levar a morte, mas que normalmente promove um grande impacto econômico”*<sup>1</sup>.

Os desastres podem ser classificados quanto a origem, intensidade e evolução, como pode ser observado no Quadro I (PNDC, 2007).

---

<sup>1</sup> *A disaster might be defined loosely as a hazardous event that significantly disrupts the workings of society. It may or may not lead to deaths, but it usually has severe economic impacts.*

Quadro 1. Classificação dos desastres.

<b>Crítérios de classificação</b>	<b>Classificação</b>	<b>Definição</b>	<b>Exemplo</b>
Evolução	Súbitos ou de evolução aguda	Aqueles que ocorrem de forma súbita em os eventos ocorrem de forma rápida e violentos	deslizamentos, enxurradas, vendavais, terremotos, erupções vulcânicas, chuvas de granizo e outros
	Crônica ou gradual	Aqueles que se agravam com o tempo em forma de etapas	seca, erosão ou perda de solo, poluição ambiental e outros
	Somação de efeitos parciais	Aqueles que acontecem a partir da soma de ocorrências e acidentes, e quando somados tornam-se grandes desastres	cólera, malária, acidentes de trânsito, acidentes de trabalho e outros
Intensidade	Acidentes	os danos e prejuízos causados são de pouca importância quando se pensa num coletivo	
	Médio porte	os danos e prejuízos causados podem ser recuperados com os recursos da área que ocorreu o sinistro	

	Grande porte	os danos e prejuízos causados necessitam do reforço dos recursos da área em que ocorreu o sinistro e do aporte de recursos regionais, estaduais e federais.	
	Muito grande porte	os danos e prejuízos causados necessitam da intervenção coordenada dos três níveis do Sistema Nacional de Defesa Civil - SINDEC - e, até mesmo, de ajuda externa.	
Origem	Naturais	São causados pelos fenômenos da natureza, que podem ter a ver com a dinâmica interna e externa da terra, e a biocenose	
	Humanos ou antropogênicos	Provocados pela ação ou omissão do homem	
	Mistos	as ações e/ou omissões humanas contribuem para intensificar, complicar ou agravar os desastres naturais.	

Fonte: Adaptado de PNDC, 2007. Elaborado pela autora.

Conforme Montz *et al.*, (p.14, 2017), os desastres podem ser classificados a partir dos processos físicos que os promovem, como: Meteorológico ou atmosféricos, como ciclones tropicais, tempestades, tornados, ondas de calor e outros; Geológicos, como tsunamis, vulcanismos, escorregamentos, subsidências e outros; Hidrológicos, como secas, inundações e outros; e Extraterrestres como meteoritos.

Quanto ao critério de classificação, evidenciam-se os de origem natural e de origem humana ou antropogênica. Os desastres naturais são ocasionados de forma natural e que não dependem diretamente da ação do homem, mas podem ser agravados por suas atividades, como por exemplo, inundações, erosões, escorregamentos, tornado, furação, tempestade e estiagem. Os de origem humana ou antrópica relacionam com as atividades do homem em ação ou omissão, exemplo desse tipo de desastre evidenciam-se: contaminação de rios, acidentes em trânsito e incêndios urbanos (TOMINAG *et al.*, 2009).

Segundo Marcelino (2008), não é o processo que promove o desastre, mas sim o gatilho para que esses fenômenos aconteçam, pois grande parte desses processos são ocasionados devido à combinação de condicionantes naturais ou antrópicas, que vão desde a forma do relevo, características de drenagem, do solo, da cobertura vegetal, assim como, intensidade, frequência e distribuição das chuvas, como também, o uso e ocupação do solo, disposição irregular de lixo próximo aos cursos d'água, bem como alterações dentro da bacia hidrográfica (TOMINAGA *et al.*, 2009).

No Brasil a grande maioria dos desastres são de escorregamentos ou deslizamentos de terra, tempestades, inundações e enchentes (FERNANDES e AMARAL, 2000), constantes na região sudeste, principalmente na Serra do Mar. Podem ocorrer em diferentes escalas de tempo e espaço, normalmente associados a eventos de chuvas intensas e a orografia (TOMINAG *et al.*, 2009).

Para esta pesquisa, destacamos as inundações ou transbordo dos canais fluviais (ou rios), que estão associados a elevação do seu nível e que são promovidos por processos físicos hidrológicos e podendo ser agravados pelas ação do homem.

A Figura 13 é apresentado um esquema sobre as diferentes situações que podem suceder em um canal fluvial (ou rio). Em uma circunstância normal, o canal principal do rio é ocupado por água. Nas enchentes (cheias) o canal do rio é temporariamente ocupado pelo acúmulo de água por causa do aumento da sua vazão, não havendo o transbordamento, como nas inundações. Entretanto, as inundações são o transbordo dos canais fluviais ou lagos para territórios marginais além do limite normal do rio, ou seja, quando este é ultrapassado. Pode ser subdividido em: Inundação Fluvial, Marítima ou Artificial (CEMADEN, 2019).



Figura 13. Situação esquemática de um processo de inundação e enchente. Fonte: CEMADEN (2019).

Esses fenômenos causam impacto na vida dos moradores e trabalhadores locais, principalmente nas áreas em que ocorrem o transbordo dos rios, trazendo a eles prejuízos socioeconômicos. Em vista disso, compreender a dinâmica do escoamento das águas e o regime das chuvas que ocorrem nas bacias de drenagem facilitará a tomada de decisões que irá amenizar ou impedir a ocorrência desses eventos ao melhorar a vazão da calha do rio, protegendo a vida e os bens materiais.

## 5. ESTRUTURA METODOLÓGICA

Este capítulo abrange três etapas que compõem a caracterização ambiental das bacias do Alto Curso do rio Piabanha, As etapas aqui mencionadas visam responder desde o objetivo principal aos específicos, que foram definidos no capítulo 1.

O fluxograma do trabalho é apresentado na Figura 14, que tem como propósito auxiliar nas fases de caracterização mencionadas nos objetivos específicos, apresentando o processo de cada uma das três fases.

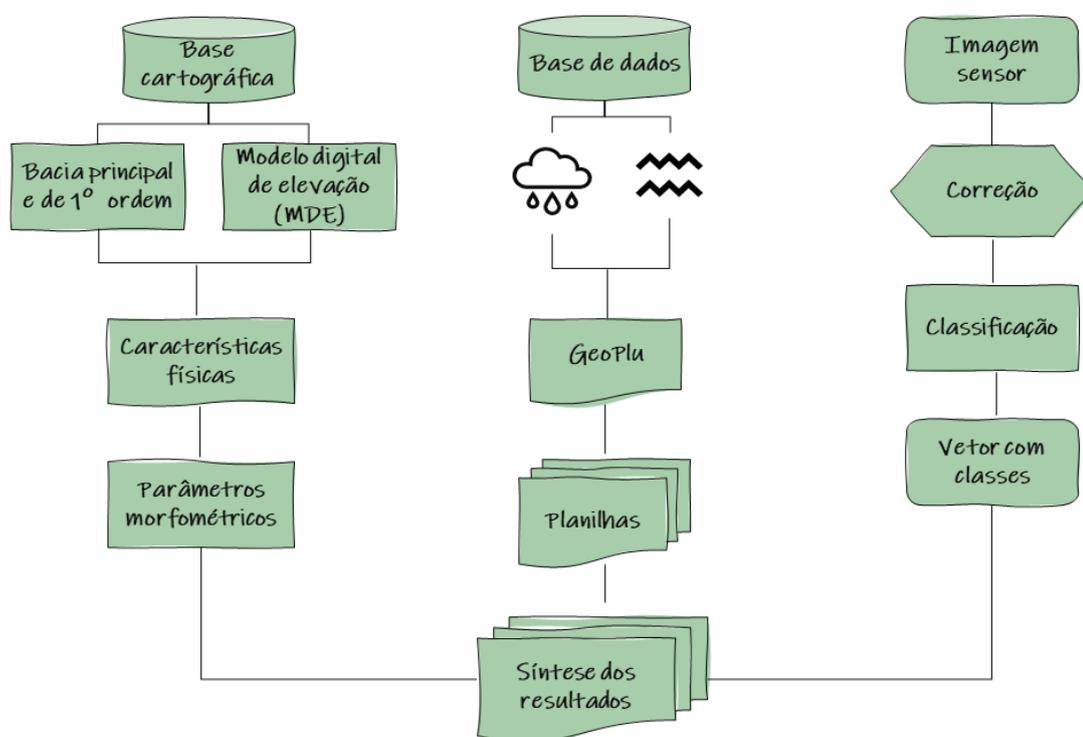


Figura 14. Fluxograma do trabalho. Fonte: Autora.

Os dados aqui apresentados são compostos pela base cartográfica da Prefeitura do Município de Petrópolis (PMP, 1999), na escala 1:10.000 desenvolvida pela PROSPEC; a hidrografia do INEA na escala 1:25.000; pela bacia hidrográfica delimitada por Viana Neves (2017) na escala 1:10.000; uma imagem do sistema sensor *RapidEye* de 2015. Os dados pluviométricos das estações gerenciadas pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (CEMADEN), no período de 2013 a 2019 e pluviométricos das estações gerenciadas pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA) no período de 2011 a 2019.

A primeira etapa consistiu na análise espaço-temporal dos eventos de inundação. Inicialmente fez-se a seleção de dias de inundação baseado nas cotas linimétricas de três estações pluviométricas do INEA para o período de 2011 a 2019, da organização dos dados de inundação e dados das estações pluviométricas do INEA e das estações pluviométricas do CEMADEN, bem como a suas localizações.

A segunda etapa preocupou-se em caracterizar a cobertura da terra do das bacias do Alto Curso do rio Piabanha, com o uso de uma imagem de alta resolução espacial através do método de classificação orientada a objetos - GEOBIA.

A terceira etapa foi a de caracterizar a morfometria das bacias do Alto Curso do rio Piabanha, inicialmente fez-se ajustes e refinamentos das bases cartográficas da PMP (1999), Projeto RJ 25 do INEA (2016) e da bacia hidrográfica delimitada por Viana Neves (2017), bem como a delimitação das sub-bacias de primeira ordem, além da construção de um Modelo Digital de Elevação (MDE) a partir dos topos cotados, curva de nível e hidrografia para a obtenção das características físicas em superfície modelada. Após o conhecimento desses dois produtos, efetuou-se os cálculos de Densidade de drenagem (Dd), Gradiente topográfico (Gt) e Índice de Eficiência de Drenagem (IED).

A etapa final consistiu na síntese dos resultados para compreender qual das bacias aplicadas neste estudo, são elas: do rio Quitandinha, Palatino ou Piabanha apresentam maior vulnerabilidade para a ocorrência de eventos de inundações a partir das variáveis observadas.

## **5.1 ANÁLISE TEMPORAL DO EVENTOS DE INUNDAÇÃO**

Nesta fase é apresentado uma referência histórica da implementação das estações pluviométricas e fluviométricas do sistema Alerta de Cheias do INEA (Instituto Estadual do Meio Ambiente), e da rede de estações pluviométricas do CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais).

Além disso, aqui também será encontrado informações sobre quais e quantas estações estão presentes no primeiro distrito do município de Petrópolis - RJ e em que momentos as mesmas entraram em operação, assim como, quais estações foram aplicadas neste estudo.

### **5.1.1 Cenário dos dados hidrometeorológicos**

A aquisição dos dados pluviométricos se deu através da solicitação feita ao site do “Sistema Alerta de Cheias” do INEA (Instituto Estadual do Meio Ambiente), que iniciou o seu programa “Monitoramento Hidrológico” em 1926 e a partir do ano de 2009 implantou o “Sistema Alerta de Cheias”, que tem como uma de suas atribuições informar a população

sobre os riscos decorrentes de chuvas intensas e as possíveis cheias que podem ocorrer nos cursos d'água, além de promover a instalação de novas estações, reestruturação da rede de monitoramento, remanejamento e desativações, bem como interromper operações (INEA, 2018).

O monitoramento hidrológico do INEA em 2018 possuía cerca de 120 estações, sendo que 74 faziam o monitoramento pluviométrico e de nível do rio, atualmente possui 106 estações, das quais 79 fazem o monitoramento da precipitação e do nível do rio e compõem a rede de Alerta de Cheias, que estão relacionadas segundo suas características e informações geográficas. Faz parte da rede de Alerta de Cheias do INEA as estações pluviométricas, fluviométricas e pluviôfluviométricas, que podem ser estações automáticas e telemétricas. As estações automáticas possuem um sensor que registra o acumulado da altura da chuva a cada 15 minutos. Esses valores são armazenados em um datalogger e posteriormente transferido para um computador quando um operador vai até o local. As estações telemétricas registram dados de precipitação e nível do rio a cada 15 minutos, no entanto, os dados armazenados no datalogger são enviados via satélite, a cada uma hora ou por meio da tecnologia GSM a cada 15 minutos para um centro de informações (INEA, 2018).

Os dados não gráficos adquiridos do INEA contemplam as estações pluviôfluviométricas da bacia do Piabanha no período de janeiro de 2011 a janeiro de 2019 e com informações de registros de chuvas e nível do rio a cada 15 minutos. Das vinte e uma (21) estações pluviôfluviométricas pertencentes à bacia do Piabanha, apenas nove estavam inseridas no primeiro distrito do município de Petrópolis dos quais, quatro delas eram estações pluviôfluviométricas ou hidrometeorológicas (Alto da Serra, Coronel Veiga, Centro e Bingen) — aquelas que medem os níveis linimétricos dos rios e a taxa de precipitação pluviométrica — e as demais, apenas estações pluviométricas (Barão do Rio Branco, Independência, LNCC, Morin, Quitandinha) — aquelas que medem apenas a taxa de precipitação pluviométrica. As características das estações pluviôfluviométricas encontram-se no anexo I.

Os dados do CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais), que nasceu em 2011 através da integração de áreas como meteorologia, hidrologia, geologia e desastres naturais para ser um sistema de alerta que antecipasse as ocorrências de desastres naturais (CEMADEN, 2018), foram adquiridos através do *website* [www.cemaden.gov.br/mapainterativo](http://www.cemaden.gov.br/mapainterativo), onde é possível ter acesso sem uma solicitação prévia.

As estações do CEMADEN são equipadas com pluviômetros automáticos que emitem as informações de chuva em tempo real. Esses pluviômetros são instalados em áreas com risco de desastres naturais, onde os dados são emitidos a cada 10 minutos quando há chuvas e

quando não há chuvas, são emitidos acumulados de 0 milímetros (mm) a cada 60 minutos (CEMADEN, 2018).

No município de Petrópolis estão inserida vinte e seis estações pluviométricas do CEMADEN, dos quais oito fazem parte do estão inseridas no primeiro distrito do município, a saber, Alto da Serra, Independência 2, Morin, Mosela, Quitandinha - rua Amazonas, Quitandinha - rua Araruama, Quitandinha - rua Paraná e Saldanha Marinho, que funcionou por cerca de seis meses. Essas estações possuem registros de dados pluviométricos entre junho de 2013 e dezembro de 2019.

Este estudo considerou apenas as estações pluviométricas e pluviométricas que fazem parte das bacias do Quitandinha, Piabanha e Palatino (Tabela 1). Dessa forma, as estações Independência INEA, Independência 2 e Barão do Rio Branco CEMADEN não farão parte da análise, visto que estas não fazem parte do limite das bacias que fazem parte do Alto Curso do rio Piabanha.

Tabela 1. Identificação dos pluviômetros localizados nas bacias de acordo com órgão e início de operação.

<b>Pluviômetro</b>	<b>Bacia hidrográfica</b>	<b>Órgão</b>	<b>Tipo</b>	<b>Início da operação</b>
Alto da Serra	Palatino	INEA	Pluvio-fluviométrica	06/10/2011 17:45
Morin	Palatino	INEA	Pluviométrica	14/10/2011 13:15
Centro	Quitandinha	INEA	Pluvio-fluviométrica	25/10/2011 18:00
Cel Veiga	Quitandinha	INEA	Pluvio-fluviométrica	01/10/2011 01:00
LNCC	Quitandinha	INEA	Pluviométrica	10/06/2011 18:30
Quitandinha	Quitandinha	INEA	Pluviométrica	26/10/2011 16:45
Bingen	Piabanha	INEA	Pluvio-fluviométrica	01/10/2011 01:00
Alto da Serra	Palatino	CEMADE N	Pluviométrica	07/09/2013 03:21
Morin	Palatino	CEMADE N	Pluviométrica	18/09/2013 21:35
Quitandinha/R. Paraná	Quitandinha	CEMADE N	Pluviométrica	07/09/2013 07:07
Quitandinha/R. Amazonas	Quitandinha	CEMADE N	Pluviométrica	07/09/2013 09:13
Quitandinha/R. Araruama	Quitandinha	CEMADE N	Pluviométrica	18/09/2013 19:53
Mosela	Piabanha	CEMADE N	Pluviométrica	01/02/2014:00:5 0

Fonte: Autora.

### 5.1.2 Organização dos dados Hidrometeorológicos

Antes de fazer o uso desses dados, foi necessário realizar alguns ajustes, como a compatibilização do tempo de registro entre as diferentes redes de monitoramento e a exclusão de dados outliers. Essas observações sobre os dados outliers são mencionadas nos parágrafos seguintes.

Foi verificado que, para a estação pluvio fluviométrica Alto da Serra, do INEA, no ano de 2015 houve um registro de 101,5 mm em 15 minutos e acumuladas mensais acima de 1.000 mm, sendo incompatível com a climatologia local, que apresenta totais pluviométricos anuais de até 2.200 mm e mensais até 320 mm no primeiro distrito, e com outras estações, que no mesmo período sequer registravam dados, como por exemplo, os dados da estação Alto da Serra do Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais – CEMADEN

para a mesma localidade, onde foi observado que há uma diferença brusca nos índices pluviométricos entre as duas estações, e, portanto, os dados devem ser desconsiderados.

Uma outra situação também foi observada nos dados da estação hidrometeorológica Alto da Serra do INEA (estação que medem a intensidade da chuva por meio do pluviômetro e, simultaneamente, o nível do rio), a qual não há informações referente ao nível do rio nesse mesmo período, inviabilizando fazer qualquer comparação ou análise dos volumes de chuva.

A compatibilização dos dados e o cálculo do acumulado de chuva em 15min, 30min, 1 hora e 4 horas foram realizados no programa GeoPlu desenvolvido por Menezes (2020) e que pode ser acessado através do link da página do *GitHub* (<https://github.com/Lucas-Me/GePlu>). Os cálculos dos acumulados de chuva em intervalos de 15min a 4 horas foram realizados de forma empírica a partir da observação dos dados.

Em seguida, foram construídos gráficos que representassem a distribuição da chuva ao longo dos anos a fim de identificar as estações com maiores acumulados pluviométricos anuais e o comportamento delas em suas respectivas bacias.

Elaborou-se um mapa de interpolação com a média dos totais pluviométricos entre os anos de 2013 a 2019, em razão de ser o período que há similaridade quanto a aquisição de dados entre os sistemas de monitoramento do INEA e do CEMADEN. Considerou para a representação dessa interpolação o método de interpolação IDW (*Inverse distance weighted*) ou Inverso da Distância Ponderada, um método de interpolação espacial que o *Software ArcMap* 10.1 disponibiliza, o qual determina o valor da célula de acordo com a combinação linear ponderada de um conjunto de amostras, em que a amostras mais próximas tem maior influência do que amostras mais distantes.

### 5.1.3 Seleção dos eventos de inundação através dos dados hidrometeorológicos

Após a organização dos dados em uma planilha *Excel*, fez-se a seleção dos dias em que houveram inundações a partir das suas cotas máximas ou níveis limnimétricos de transbordo – altura máxima que os rios podem atingir até que ocorra o seu transbordamento – dos três principais cursos de água que se encontram no primeiro distrito do município de Petrópolis, a saber, rio Quitandinha, rio Palatino e rio Piabanha.

Os níveis linimétricos que foram empregados nesta pesquisa referem-se às cotas de transbordo mensuradas no ponto de monitoramento em que se encontram as estações pluvio pluviométricas do INEA. A Tabela 2 informa os níveis linimétricos para cada uma das quatro estações pluvio pluviométricas do INEA (Coronel Veiga, Centro, Alto da Serra e Bingen).

Tabela 2. Valores de níveis limnimétrico.

<b>Estações Pluvio Fluviométricas</b>	<b>Níveis linimétricos (m)</b>	<b>Cursos de água</b>	<b>Bacia Hidrográfica</b>
<b>Alto da Serra</b>	4,20	rio Palatino	Palatino
<b>Bingen</b>	3,35	rio Piabanha	Piabanha
	1,30 (2011)		
<b>Coronel Veiga</b>	2,20 (07 de dezembro de 2015)	rio Quitandinha	Quitandinha
	2,30 (março de 2018)		
<b>Centro</b>	2,00	rio Quitandinha	Quitandinha

Fonte dos dados: Site do <http://alertadecheias.inea.rj.gov.br>. Elaborado pela autora.

É importante lembrar que o INEA trabalha com uma cota de 80%, a qual indica que o rio está na iminência de transbordar. Quando a cota de 80% é ultrapassada, e a partir do momento em que ultrapassar que o rio ultrapassa essa cota, um alerta é emitido sobre o possível transbordo do rio. Esses valores estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3. Níveis limnimétricos de 80%

<b>Estações Pluvio Fluviométricas</b>	<b>Níveis limnimétrico em 80% (m)</b>
Alto da Serra	3,36
Bingen	2,68
	1,04 (2011)
Coronel Veiga	1,76 (07 de dezembro de 2015)
	1,84 (março de 2018)
Centro	1,60

Fonte: Elaborado pela autora.

Ressalta-se também, que o tempo que as estações marcam o registro da chuva e do nível do rio é o acumulado de um intervalo anterior ao que se é registrado. Por exemplo, se a estação marca chuva e nível às 21h45min, o intervalo que foi considerado para esse registro é 21h31min até às 21h44min. Sendo assim, todos os valores apresentados em hora cheia são referentes ao intervalo que foi gerado no acumulado.

Após a seleção dos eventos de inundação a partir do nível limnimétrico das cotas altimétricas em cada estação pluvio fluviométrica, elaborou-se um mapa que representa a concentração desses eventos em cada estação. O método escolhido de representação foi o método de proporção.

A OMM - Organização Mundial Meteorológica, recomenda qual deve ser o critério para que a intensidade da chuva seja classificada em fraca, moderada ou forte. Para isso, considera três variáveis: Chuvisco, Chuva e Neve, em que cada uma dessas variáveis apresenta, também, três intervalos com valor de taxa de intensidade de chuva registrada em um período de 3 minutos e que também são classificados conforme a intensidade (OMM, 2018). Todavia, iremos aplicar para os resultados encontrados o que é adotado no O Centro de Operações Rios - COR (2020) e que também é adotado por outras instituições, a qual , classifica os registros de chuva na cidade do Rio de Janeiro em Fraca, Moderada, Forte e Muito Forte em 15 minutos e 1 hora. O município de Petrópolis, que é o objeto dessa pesquisa, não dispõe de uma tabela de classificação como a cidade do Rio de Janeiro, então, optou-se por considerar o método de classificação proposto pelo Centro de Operações do Rio - COR (Tabela 4).

Tabela 4. Classificação das intensidades pluviométricas

<b>Classificação Tempo</b>	<b>Fraca</b>	<b>Moderada</b>	<b>Forte</b>	<b>Muito Forte</b>
15 minutos	0 - 1,25 mm	1,26 - 6,25 mm	6,26 - 25 mm	> 25,1
1 hora	0 - 5 mm	5 - 25 mm	25,1 - 50 mm	> 50

Fonte: COR - Centro de Operações do Rio.

## 5.2 CARACTERIZAÇÃO DA COBERTURA DA TERRA

Imagens obtidas por sensores remotos têm sido uma ferramenta de estudo em diferentes aplicações como, na agricultura, para fazer previsão de produção; no planejamento urbano; no gerenciamento de desastres; na detecção de mudanças e em classificação da cobertura da terra(CHENG e SUSTERA, 2009).

No Brasil, é possível ter acesso a diferentes tipos de dados para serem aplicados em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento. Frequentemente, esses dados podem ser adquiridos em plataformas que permitem acesso gratuito, a exemplo: IBGE, CPRM, INPE, IBAMA e EMBRAPA.

Entretanto, para que esses produtos venham ser utilizados nas diferentes atividades que são aplicadas, é necessário fazer uma avaliação da característica de cada sensor e escolher aquele que é mais próximo do objetivo que se deseja alcançar.

Para esta dissertação, foi considerada a imagem do sistema sensor RapidEye, pois possui uma alta resolução espacial e, de acordo com Félix *et al.* (2009), essas imagens depois de ortorretificadas podem chegar a uma resolução de 5 metros, produzindo detalhes compatíveis com a escala 1:25.000, visto que a intenção deste estudo é de apenas caracterizar a cobertura da terra das bacias do Alto Curso do rio Piabanha, no município de Petrópolis - RJ.

Essas imagens estão à disposição dos órgãos públicos de todo o país através do portal Geocatálogo do MMA - Ministério do Meio Ambiente, com a proposta de fornecer insumos ao Cadastro Ambiental Rural - CAR (ANTUNES *et al.*, 2014 ; DA SILVA e SANO, 2016 ). Vale a pena enfatizar que as imagens disponíveis no catálogo são até o ano de 2015. Neste estudo foi aplicada uma única cena do dia 14 de junho de 2015.

### 5.2.1 Sistema Sensor RapidEye

O sistema sensor *RapidEye*, lançado no dia 29 de agosto de 2008, abrange uma constelação composta por cinco satélites que imageiam grandes áreas, com alta resolução espacial (5 metros) e temporal (24 horas). É um sensor multiespectral, que inclui a região do visível (azul, vermelho e verde), infravermelho próximo e a banda *Red-Edge* (que fica a borda do limite entre o vermelho e o infravermelho). A Tabela 5 apresenta as características deste sensor e suas diferentes bandas espectrais (RAPIDEYE, 2012; INPE, 2020).

Tabela 5. Característica do Sensor orbital *RapidEye*

<b>Bandas Espectrais</b>	<b>Faixa Espectral (Nm)</b>	<b>Resolução Espacial</b>	<b>Resolução Temporal</b>	<b>Resolução Radiométrica</b>
Azul	440-510	5 metros para as ortoimagens	24 horas	12 bits
Verde	520-590			
Vermelho	630-685			
<i>Red-Edge</i>	690-730			
Infravermelho próximo	760-850			

Fonte: Adaptado de *RapidEye*, 2012.

De acordo com Félix *et al.*, (2009) e *RapidEye* (2012), uma das características do sistema sensor *RapidEye* está relacionada ao fato do sensor efetuar 15 voltas em torno do globo terrestre em um único dia, cobrindo uma faixa de 77 km de largura por até 1500 km de

extensão, sendo as imagens produzidas, corrigidas e ortorretificadas, ficando disponíveis em uma plataforma online.

A ortorretificação dessas imagens são feitas a partir de modelos digitais de elevação (MDE), onde os pontos de controle são criados para cada imagem que se difere de região para região, sendo disponibilizados os seus pixels com tamanho de 5 metros (RAPIDEYE, 2012).

A partir desta ortorretificação, o próprio sistema produz um arquivo de detecção de nuvem, através de um algoritmo que utiliza as informações das cinco bandas espectrais do sensor. No entanto, a técnica possui limitações, como a classificação de gelo, neve e superfícies excessivamente brilhantes, como salina, deserto e areia em nuvem (RAPIDEYE, 2012).

### 5.2.2 Correção Atmosférica

Em um processo de classificação de imagens de sensores remotos, faz necessário realizar etapas que visam corrigir ou remover erros ocasionados pela atmosfera, por instrumentos ou mesmo durante o imageamento (MENESES e ALMEIDA, 2012). Sabe-se que a imagem do sistema Sensor *RapidEye* já há correções pré-definidas, como a de ortorretificação, no entanto, foi necessário considerar a realização de uma correção atmosférica a fim de atenuar os efeitos que por ela são causados na imagem.

Na Figura 15, é apresentada a comparação entre dois recortes de imagem *RapidEye* que foi aplicada neste estudo. O alvo coletado (vegetação) apresentou um valor de reflectância, na banda do visível, muito alto. Na literatura (RAPIDEYE, 2012; MENESES e ALMEIDA, 2012; NOVO, 2013), esse comportamento da reflectância para a vegetação, na região do visível (0,3 - 0,7)  $\mu m$ , apresenta um valor mais baixo.

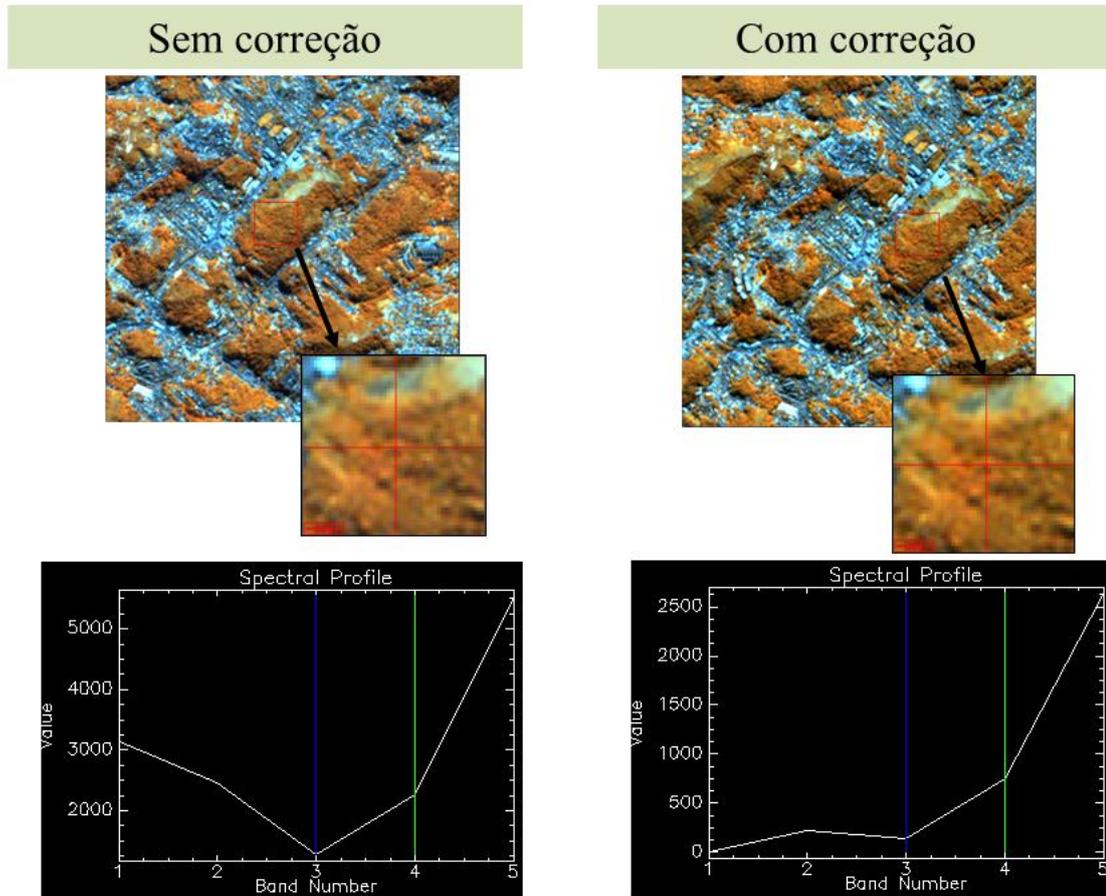


Figura 15. Comparação da imagem RapidEye bruta (a esquerda) e da imagem RapidEye corrigida (a direita). Fonte: Autora.

Com base nessa informação, depreende-se que a atmosfera pode provocar interferência na intensidade da radiação eletromagnética (REM) que chega ao sensor, devido ao vapor d'água, moléculas gasosas e particulados que estão dispersos ao longo dela (MENESES e ALMEIDA, 2012), reduzindo o contraste entre os alvos, ou proporcionando a perda da energia que chega do objeto ao sensor, prejudicando a análise e interpretação das imagens adquiridas durante o processo de mapeamento.

Segundo Antunes *et al.*, (2014), Almeida *et al.*, (2015) e Santos *et al.*, (2017) há diversas maneiras de se efetuar a correção atmosférica, a saber, pelo método DOS (*Dark Object Substraction*); o módulo ATCOR2 e o modelo 6S. Para este estudo considerou-se o módulo ATCOR2 (*Atmospheric and Topographic Correction for Satellite Imagery*), o qual contempla as condições atmosféricas no momento da aquisição da imagem. Esse módulo está presente no *Software ERDAS IMAGINE 2014*.

A Tabela 6, é apresentado os valores dos parâmetros presentes no arquivo metadados da imagem *RapidEye* de 2015, são: *Solar Zenith* (Ângulo de Elevação da Iluminação), *Azimuth Solar* (Ângulo de Iluminação Azimutal), *Sensor Tilt* (Ângulo de Incidência), *Satellite Azimuth* (Ângulo Azimutal), *Elevation* (Elevação) e *Model Solar Region* (Modelo de região Solar).

Tabela 6. Valores dos Parâmetros

Parâmetros	Valores
<i>Solar Zenith</i>	42.40
<i>Solar Azimuth</i>	176.77
<i>Sensor Tilt</i>	5.04
<i>Satellite Azimuth</i>	280.77
<i>Elevation</i>	0.8
<i>Model Solar Region</i>	Tropical urban

Fonte: Autora.

Após realizada a correção atmosférica da imagem *RapidEye*, fez-se a classificação desta a partir do *Software Envi 5.3*.

### 5.2.3 Classificação da Imagem do sensor *RapidEye*

Nesta fase do trabalho, realizou-se a classificação da imagem *RapidEye* do dia 14 de junho de 2015 através do *Software Envi 5.3*., após a sua correção atmosférica a fim de reconhecer padrões e objetos homogêneos, bem como, reduzir volume de dados.

Segundo Moreira (2003), cada “*pixel*” numa imagem pode ser rotulado conforme a ocupação do solo, ou por meio da assinatura espectral, e que os algoritmos inseridos nos classificadores podem ser estatísticos (média, matriz de covariância) ou apenas informar o nível de mínimo e máximo de cinza de cada classe contida na imagem.

A maioria das técnicas de classificações se baseiam em determinar as classes por meio de “*pixels*” ou por meio de regiões, são elas: a classificação pixel-a-pixel, que considera somente a “*informação espectral de cada pixel para encontrar regiões homogêneas*” (MOREIRA, 2003) e a classificação baseada em regiões, “*utilizam informação espectral do pixel e informação espacial desse pixel com os de seus vizinhos*”. Qualquer seja a técnica aplicada, ambos possuem regras de decisões (MOREIRA, 2003).

Na classificação supervisionada, o analista tem o conhecimento prévio da localização das amostras de cada classe, através do reconhecimento dos padrões espectrais da amostra que é fornecida pelo analista ao sistema, que servirá de treinamento. A classificação não supervisionada, ocorre quando o analista faz análise exploratória da imagem, uma vez que não se tem o conhecimento prévio da área, o treinamento é automatizado, podendo apenas “*especificar alguns parâmetros que o computador irá usar para descobrir padrões que são inerentes aos dados*” (MOREIRA, 2003; MENESES e ALMEIDA, 2012; NOVO, 2013).

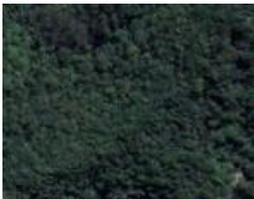
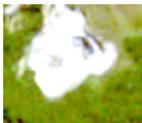
Contudo, seja qual for o tipo de classificador, é o analista quem irá treinar o sistema da classificação, que dependendo do algoritmo informado, poderá ser caracterizado como uma classificação supervisionada ou não supervisionada (MOREIRA, 2003).

Para este trabalho, foi considerada o tipo de classificação supervisionada com orientação a objetos, que foi realizado através do módulo “*Feature Extraction*” do *Software* de mapeamento *Envi 5.3.*, que permite fazer uma classificação orientada a objetos, visto que, “*busca simular técnicas de interpretação visual através da modelagem do conhecimento para a identificação de feições, baseada na descrição de padrões identificadores, tais como, cor, textura, métrica, contexto (...) técnica vizinho mais próximo a partir da assinatura espectral - definida por amostras*” (CRUZ, 2007).

Baseado no conhecimento prévio da área de estudo e mediante aos objetivos propostos durante a classificação, buscou-se valor de parâmetro que pudesse homogeneizar objetos que fossem de mesma classe. Sendo assim, foram testados diferentes valores de limiares, tendo os valores de *Segment Settings* 15.0 e *Merge Settings* 47.4., o qual definiu a segmentação da imagem *RapidEye* corrigida.

Após a segmentação, foi estabelecido uma chave de classificação para que pudesse auxiliar na busca de amostras de treinamento, a saber, a classe vegetação densa, vegetação rasteira, urbano, afloramento rochoso, solo exposto, pedreira e água, que estão sendo representadas na Tabela 7.

Tabela 7. Chave de classificação (Imagem *RapidEye*, composição R (3), G (2), B (1) e imagem do *Google Earth*).

Classes	Nome da classe		Definição	Número de cada classe
	RapidEye	Google Earth		
Urbano			Área de uso intensivo, estruturada por edificações e sistema viário.	1
Água			agos	2
Mata			Vegetação arbórea densa natural ou arborização de ruas	3
Solo exposto			Área sem cobertura vegetal ou presença de edificações	4
Pedreira			Mineração a céu aberto	5
Afloramento de rocha			Corpo de material de ocorrência natural coeso e normalmente com resistência elevada	6
Gramínea			Cobertura vegetal de pequeno porte	7

Fonte: Autora.

Em seguida, as amostras de treinamento foram executadas dando início ao processo de classificação da imagem nas classes de interesse. Com o produto gerado, fez-se a sua edição e validação através do *Software ArcGis 10.1*.

A validação foi realizada com o auxílio de um fotointérprete que classificou a verdade de campo. No entanto, antes de validar a classificação, foi necessário fazer algumas pequenas edições no shapefile (polígono) com a classificação e eliminar fragmentos com áreas de até 100 m<sup>2</sup>. Após essas edições, criou-se um shapefile de pontos aleatórios, por meio da ferramenta “*Create Random Points*”, do *Software ArcGis 10.1*, para que o fotointérprete classificasse a imagem RapidEye corrigida de acordo com as classes consideradas e utilizando a chave de classificação da Tabela 7figu.

Dos 151 pontos gerados, 49 representaram a classe de vegetação densa, 25 para vegetação rasteira, 39 para a classe urbano, 17 para a classe afloramento rochoso, 14 para solo exposto, 3 para água e pedreira. Nesse mesmo arquivo vetorial shapefile de pontos foi criado um campo chamado “*Classify*” para que as informações extraídas do shapefile (polígono) com a classificação, por meio da ferramenta “*Extract Multi Value to Points*”, estivessem nessa coluna.

Para determinar a acurácia da classificação foi calculado o Índice de Exatidão Global e o Índice Kappa através de uma Matriz Confusão (ou de erros). A matriz confusão ou de erros, descreve o quão preciso uma classificação é com base na verdade de campo. Por meio dela, é possível identificar os erros e refinar a classificação. (FIGUEIRO e VIEIRA, 2007).

Ainda, segundo Figueiro e Vieira (2007), o Índice Kappa (k) é uma “*medida da concordância real (indicado pelos elementos diagonais da matriz de confusão) menos a concordância por chance (indicado pelo produto total da linha e coluna, que não inclui entradas não reconhecidas), ou seja, é uma medida do quanto à classificação está de acordo com os dados de referência*”.

A Tabela 8, de Landis e Koch (1977), mostra o desempenho da classificação e a Equação 4 é a fórmula para o cálculo deste índice. O cálculo da Exatidão Global (Eg) é realizado através da soma da diagonal principal a matriz de erros, dividida pelo total de amostras coletadas e pode ser visto na Equação 5 (FIGUEIRO e VIEIRA, 2007).

$$K = \frac{n \sum_{i=1}^c x_{ii} - \sum_{i=1}^c x_{i+} x_{+i}}{n^2 - \sum_{i=1}^c x_{i+} x_{+i}}$$

Equação 4. Índice Kappa.

Em que:

K é uma estimativa do coeficiente Kappa;

xii é o valor na linha i e coluna i;

xi + é a soma da linha i

x+ i é a soma da coluna i da matriz de confusão;

n é o número total de amostras

c o número total de classes.

$$G = \frac{\sum_{i=1}^c X_{ii}}{n}$$

Equação 5. Exatidão Global.

Em que:

G é exatidão global;

xii é o valor na linha i e coluna i;

n é o número total de amostras

c o número total de classes.

Tabela 8. Classificação do Índice Kappa.

Índice Kappa	Desempenho
< 0	péssimo
0 < k < 0,2	ruim
0,2 < k < 0,4	razoável
0,4 < k < 0,6	bom
0,6 < k < 0,8	muito bom
0,8 < k < 1	excelente

Fonte: Adaptado de Landis e Koch (1977).

### 5.3 CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DAS BACIAS DO ALTO CURSO DO RIO PIABANHA

Sabe-se que a bacia hidrográfica é um sistema aberto formada por um conjunto de canais que se interrelacionam, um local que ocorrem constantes trocas de energia e matéria, que possui uma estrutura complexa e que pode ser quantificada e qualificada através dos seus aspectos físicos, sendo de grande importância para compreender a dinâmica ambiental e hidrológica que nela ocorre (VILLELA E MATTOS, 1975; CHRISTOFOLETTI, 1980).

Christofoletti (1980), divide o conhecimento desses aspectos físicos de uma bacia hidrográfica em quatro partes, a primeira como hierarquia fluvial, a segunda como uma análise areal, a terceira como análise linear e quarta como análise hipsométrica.

Neste estudo, foi abordado apenas as três primeiras maneiras, a saber, a hierarquia fluvial, que vai representar a ordem dos canais fluviais, a análise linear que compreende no conhecimento do comprimento dos canais e a análise areal, que consiste no cálculo da área, comprimento da bacia, densidade de drenagem - Dd, desenvolvida por Horton (1932).

A partir dessas características outros parâmetros foram calculados, como o Gradiente Topográfico criado por Meis *et al.*, (1982) e o Índice de Eficiência de Drenagem – IED desenvolvido por Coelho Netto *et al.* (2007). e o Gradiente Topográfico criado por Meis *et al.*, (1982).

Na maioria das vezes, esses parâmetros são calculados em uma superfície planimétrica, no entanto, a proposta deste estudo é de também trabalhá-los em uma superfície modelada, como em um modelo digital de elevação - MDE, posto que, segundo Fernandes *et al.* (2017), quando analisou o comportamento dos índices geomorfológicos na bacia hidrográfica do rio Cuiabá em Petrópolis – RJ em uma superfície planimétrica e modelada, as variáveis quando calculadas em superfícies modeladas, ou seja, tridimensionais (3D) apresentaram respostas de maiores valores, em termos de área e comprimento e baixos valores quando se calculou a Densidade de drenagem (Dd), quando comparadas com os cálculos das mesmas variáveis em superfícies planimétricas (bidimensionais – 2D).

Isso significa dizer que dependendo da variável que se deseja ter conhecimento, é necessário que esta seja calculada em uma superfície modelada, visto que os valores obtidos são mais próximos à paisagem do mundo real.

Nesta etapa do trabalho utilizou-se a base cartográfica da Prefeitura Municipal de Petrópolis (PMP) de 1999, na escala de 1:10.000, que contém o limite do município, a hidrografia, as cotas altimétricas e as curvas de nível; a rede de drenagem da base cartográfica do INEA a RJ 25 de 2016, na escala 1:25.000; a base do IBGE de 2010, que se encontra na escala 1:250.000 e contempla os limites dos municípios, distritos e bairros do estado do Rio de Janeiro. Todas foram compatibilizadas para a Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), e o Sistema Geodésico de Referência SIRGAS 2000.

Primeiramente, fez-se o traçado do limite da bacia hidrográfica aplicando o método de hierarquização proposto por Strahler (1984) e em seguida, um Modelo Digital de Elevação (MDE) baseado em Rede Triangular Irregular (TIN). Dessa forma, o limite das bacias nos confere a visão planimétrica da área de estudo e o MDE a visão modelada. Para isso, foi aplicado o Software SIG (Sistema de Informações Geográficas) ArcGis 10.1, tanto para o limite das bacias, construção do MDE e extração das características físicas.

Por meio desses produtos cartográficos, foi possível determinar a Densidade de drenagem (Dd) de Horton (1932); o Gradiente Topográfico criado por Meis et al., (1982) e o Índice de Eficiência de Drenagem – IED desenvolvido por Coelho Netto et al. (2007). e o Gradiente Topográfico criado por Meis et al., (1982).

Foi aplicado o Software SIG (Sistema de Informações Geográficas) ArcGis 10.1, tanto para o limite das bacias, construção do MDE e extração das características físicas.

### 5.3.1 Delimitação das bacias hidrográficas de primeira ordem

Para a delimitação das bacias hidrográficas de primeira ordem, fez-se a restituição da hidrografia a partir da base cartográfica do Projeto RJ 25 do INEA na escala de 1:25.000 das drenagens que não estavam delimitada na base da PMP de 1999, por meio da comparação visual das hidrografias que estavam inscritas nas bases e completando aquelas que não estavam presentes.

A delimitação das grandes bacias foi realizada a partir do que fora traçado por Neves (2017). No entanto, em alguns momentos as linhas traçadas passavam por áreas de baixo potencial (altura), o que sugeria que o limite da bacia tendia a cortar uma região de vale, como observado na Figura 16. Para contornar esses registros, fez-se um ajuste de toda a base.

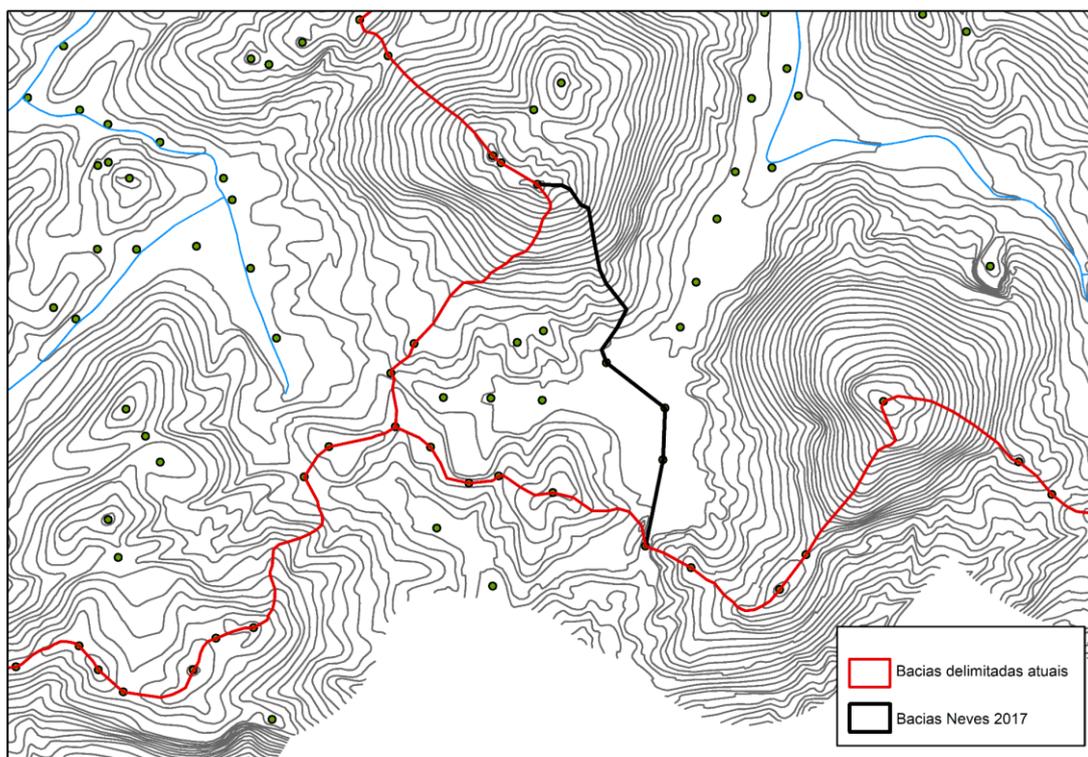


Figura 16. Delimitação da bacia proposta por Neves (2017) na região do primeiro distrito do município de Petrópolis. Fonte: Autora.

Os limites das grandes bacias seguiram o curso dos três principais rios que drenam o primeiro distrito de Petrópolis e que constam no projeto inicial traçado pelo Major de Engenheiros Júlio Frederico Koeler em 1846, são eles: Quitandinha, Palatino e Piabanha. Esses rios fazem parte da Região Hidrográfica Atlântico Sudeste (ANA, 2019).

Para a delimitação das bacias, fez-se a categorização dos rios a partir do método de hierarquização proposto por Horton (1945) e modificado por Strahler (1984) onde os canais menores, que não possuem tributários, são os canais de 1º ordem até chegar na confluência do rio, que irá gerar canais de 2º ordem e assim sucessivamente alcançando o canal principal que recebe o número de maior ordem.

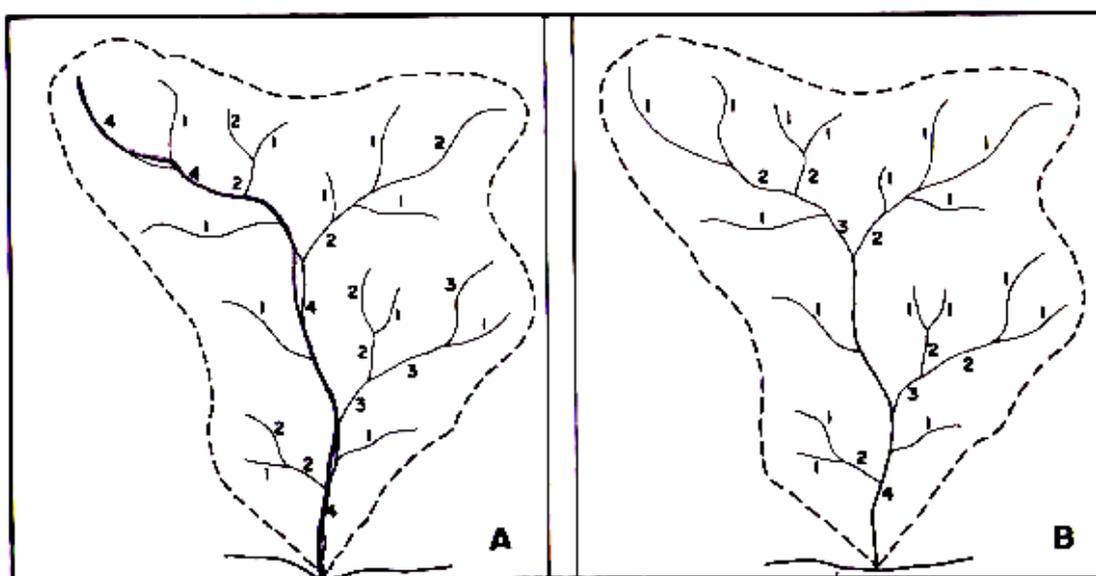


Figura 17. Modelo de hierarquização proposto por (A) Horton e (B) Strahler. Fonte: Christofolletti. (1980).

A diferença é o fato de que no modelo proposto por Horton (1945) o canal principal recebe o mesmo número de ordem desde o início e no modelo de Strahler (1984) o canal principal recebe o número diferente de ordem em toda a sua extensão (Figura 17). E assim, pode-se delimitar as sub-bacias de 1º ordem, que é a sub-bacia de interesse deste estudo.

O conhecimento sobre a ordem dos canais facilita e torna mais objetivo os estudos morfométricos em bacias hidrográficas (CHRISTOFOLETTI, 1980).

### 5.3.2 Representação da superfície terrestre modelada

A Modelagem do Terreno é conhecida como uma das geotecnologias que compõem o geoprocessamento e que se relaciona com as demais geotecnologias (Sistema de Informação

Geográfico, Sensoriamento remoto e Banco de Dados Geográficos). Formada por meio de uma superfície modelada matematicamente, representa através de uma distribuição espacial a característica de uma superfície real, a qual se dá através do par de coordenadas (x, y, z) de uma determinada amostra dessa superfície, no qual x e y corresponde a localização da amostra na superfície e z o valor atribuído ao fenômeno (FELGUEIRAS, 1987).

Representa o relevo por em uma superfície modelada em um ambiente computacional e matemático, nos auxilia em estudos de caráter ambiental, socioeconômico, de planejamento urbano e regional, bem como, arquitetura da paisagem. Sendo possível obter informações de natureza qualitativa e quantitativa.

Na literatura (FELGUEIRAS, 1987; FERNANDES, 2004; BARROS, 2006) mencionam diferentes nomenclaturas para designar a representação de uma superfície modelada, as principais nomenclaturas utilizadas por esses autores são: O Modelo Numérico de Terreno (MNT), quando se tem a informação da variável “z” do terreno; o Modelo Digital de Terreno (MDT), quando se tem informações do ponto mais baixo da superfície do terreno e o Modelo Digital de Elevação (MDE), quando se pretende fazer a modelagem do relevo, o qual inclui todas as elevações presente no terreno, como vegetação, infraestrutura e terrenos. Felgueiras (1987), destaca que a nomenclatura MDT pode ser substituída por MDE quando este trabalha com características de elevação do terreno.

Então, como representar? Inicialmente, faz-se uma amostra dos pontos que mais caracterizam a superfície, como depressões, elevações, linhas de crista e drenagem. Esses dados são adquiridos por meio de uma distribuição irregular no plano xy, sem existir qualquer relação topológica entre eles. A representação deles em um modelo digital pode ser feita por meio de grades regulares ou Rede Triangular Irregular - TIN (FELGUEIRAS, 1987; FELGUEIRAS e CÂMARA, 2001).

Quando são desenvolvidos por uma grade regular, a superfície modelada fica mais próxima de um poliedro de faces retangulares, em que os vértices são os pontos amostrados. Quanto menor (maior) for a distância entre essas grades, maior (menor) será o número de informações sobre a superfície, no entanto o tempo para gerar a superfície é maior (menor). Mais empregada em aplicações de caráter qualitativo (FELGUEIRAS e CÂMARA, 2001).

Em uma Rede Triangular Irregular (TIN), a superfície modelada é formada por um conjunto de poliedros de faces triangulares, na qual os vértices são os pontos amostrados da superfície. Nessa modelagem, informações mórficas das superfícies são consideradas, como cristas e vales, havendo preservação das feições geomórficas da superfície. Mais empregada em aplicações de caráter quantitativo (FELGUEIRAS E CÂMARA, 2001).

Além disso, representar o relevo considerando as irregularidades do terreno, propicia observações da paisagem menos subestimadas. Outra característica importante é o fato de que em área com relevos acidentados essa geotecnologia passa a ser muito mais relevante do que em área de superfícies mais planas (FERNANDES e MENEZES, 2007).

Neste estudo, a amostra utilizada foi da base cartográfica da PMP (1999), o qual considerou topos cotados, curvas de nível e drenagem. O modelo aplicado para o seu desenvolvimento foi de Rede Triangular Irregular (TIN) por considerar feições geomórficas da superfície e realização de cálculos qualitativos, como volume e área.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo apresentamos os resultados obtidos após a análise e verificação dos dados das estações pluviométricas e pluvio fluviométrica do sistema Alerta de Cheias do INEA (Instituto Estadual do Meio Ambiente), e da rede de estações pluviométricas do CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais) e os resultados obtidos por meio de cálculos de parâmetros morfométricos e de classificação de uso e cobertura da terra.

Ressalta-se que os dados aqui mencionados contemplam distintos períodos, uma vez que há diferença quanto ao início de operação de cada uma das estações dos órgãos apresentados anteriormente. Mesmo assim, isso não impediu que tal análise fosse realizada.

O período contemplado para os dados do sistema Alerta de Cheias do INEA é entre Outubro de 2011 a dezembro de 2019 e para os dados do CEMADEN, é entre setembro de 2013 a janeiro de 2020. Para os dados gráficos será apresentado um mapa de classificação do uso do solo, que foi obtido por meio de uma imagem de alta resolução espacial (*RapidEye*) e o *software Envi 5.3*, bem como outros mapas referentes aos parâmetros morfométricos.

### 6.1 CARACTERÍSTICAS DAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS E PLUVIO FLUVIOMÉTRICAS DO INEA E DO CEMADEN

O mapa da Figura 18 apresenta a localização das estações pluviométricas e pluvio fluviométricas que estão sendo aplicadas neste estudo. As características que aqui serão mencionadas referem-se à distância que as estações têm entre si e ao comportamento do regime pluviométrico anual que há entre elas.

Na bacia Quitandinha há 4 estações do INEA, além das estações do CEMADEN, são elas: Quitandinha, Cel. Veiga, LNCC e Centro. Sendo duas destas estações, a saber, Centro e Cel Veiga, são estações que registram o nível do rio e a chuva precipitada (pluvio fluviométrica). A distância entre a estação Quitandinha em relação à estação LNCC, Centro e Cel. Veiga é, respectivamente, 668 m, 4.871 m e 3.102 m. A distância da estação LNCC em relação às estações Centro e Cel. Veiga tem 4.316 m, 2457 m, nessa ordem. Por fim, a distância entre a estação Centro e a Cel. Veiga é de 2.089 m.

Na bacia do Piabonha há uma estação, a Bingen, que mede o nível do rio e a chuva, a distância entre ela e a estação Centro que fica no Quitandinha é de 1.652 metros. Na bacia do

Palatino há duas estações, uma pluviométrica (Morin) e outra pluvio fluviométrica (Alto da Serra), a distância entre elas é de 1.903 metros.

Em relação às estações do CEMADEN, na bacia do Palatino há duas estações, são elas Alto da Serra e Morin, que distam 1.007 metros; na bacia do Quitandinha há duas estações (Quitandinha/Rua Amazonas e Quitandinha/Rua Paraná) que distam 1.658 metros e por fim, na bacia do Piabanha existem, também, duas estações (Mosela e Quitandinha/ Rua Araruama) que estão distantes entre si 4.312 metros.

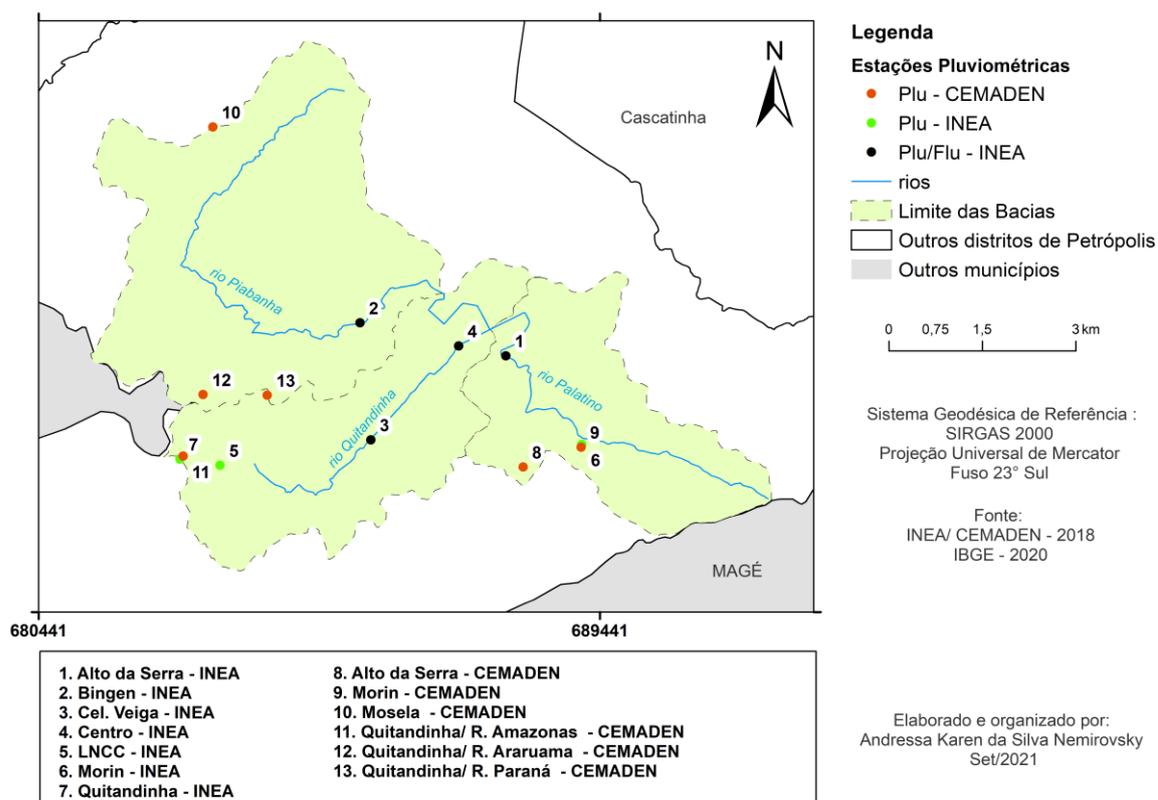


Figura 18. Localização das estações pluviométricas e pluvio fluviométricas do INEA e CEMADEN. Elaborado pela Autora.

Após o conhecimento das distâncias entre as estações foram elaborados gráficos em linha com o total anual precipitado para cada estação localizada em sua respectiva bacia, a fim de entender a atuação da chuva.

Os gráficos na Figura 19 mostram o total anual precipitado em cada estação pluviométrica e pluvio fluviométrica que fazem parte da rede de monitoramento do INEA por bacias.

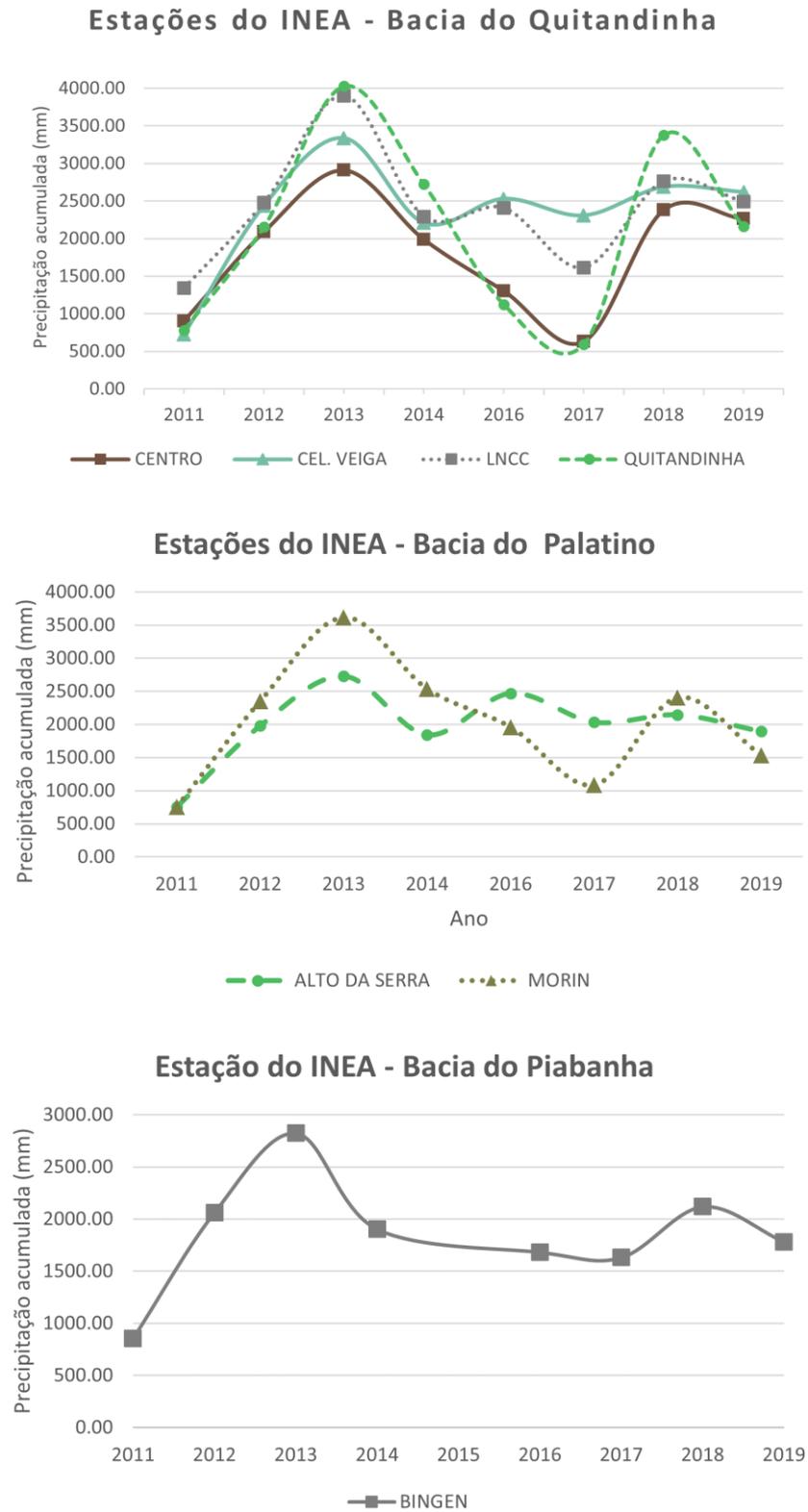


Figura 19. Total pluviométrico (mm) anuais nas estações pluviométricas e pluvio fluviométricas da rede de monitoramento do INEA (2011 a 2019, excetuando-se 2015 por falta de dados). Fonte: Autora.

Todas as estações que são apresentadas nestes gráficos começaram em diferentes períodos, com um ou dois meses de diferença entre elas no ano de 2011. Antes de tudo é necessário informar que dentro do período considerado para análise, alguns anos houve falha nos registros e por esse motivo é provável existe uma incerteza quanto ao acumulado pluviométrico anual nas estações. Os anos que são mais representativos, sem falhas, são 2012, 2013, 2014, 2018 e 2019. E é nesses anos que apoiaremos a análise dessas pesquisas.

Dos gráficos acima, percebe-se que as estações presentes na bacia do rio Quitandinha apresentam totais pluviométricos acima de 2.000 mm, chegando a registrar acima de 3.500 mm. As demais estações que fazem parte das bacias do rio Palatino e rio Piabanha, apresentam totais pluviométricos entre 1.800 mm a 2.500 mm. Contudo, o ano de 2013 fora bem atípico para todas as estações, chegando a terem registros acima de 2.500 mm nas estações da bacia do rio Piabanha e Palatino, e na bacia do rio Quitandinha apresentando totais pluviométricos próximo dos 4.000 mm.

Também houve a necessidade de compreender o comportamento dos totais pluviométricos na rede de monitoramento do CEMADEN. Os gráficos da Figura 20 a seguir apresentam os resultados do total pluviométrico por ano de cada estação pluviométrica.

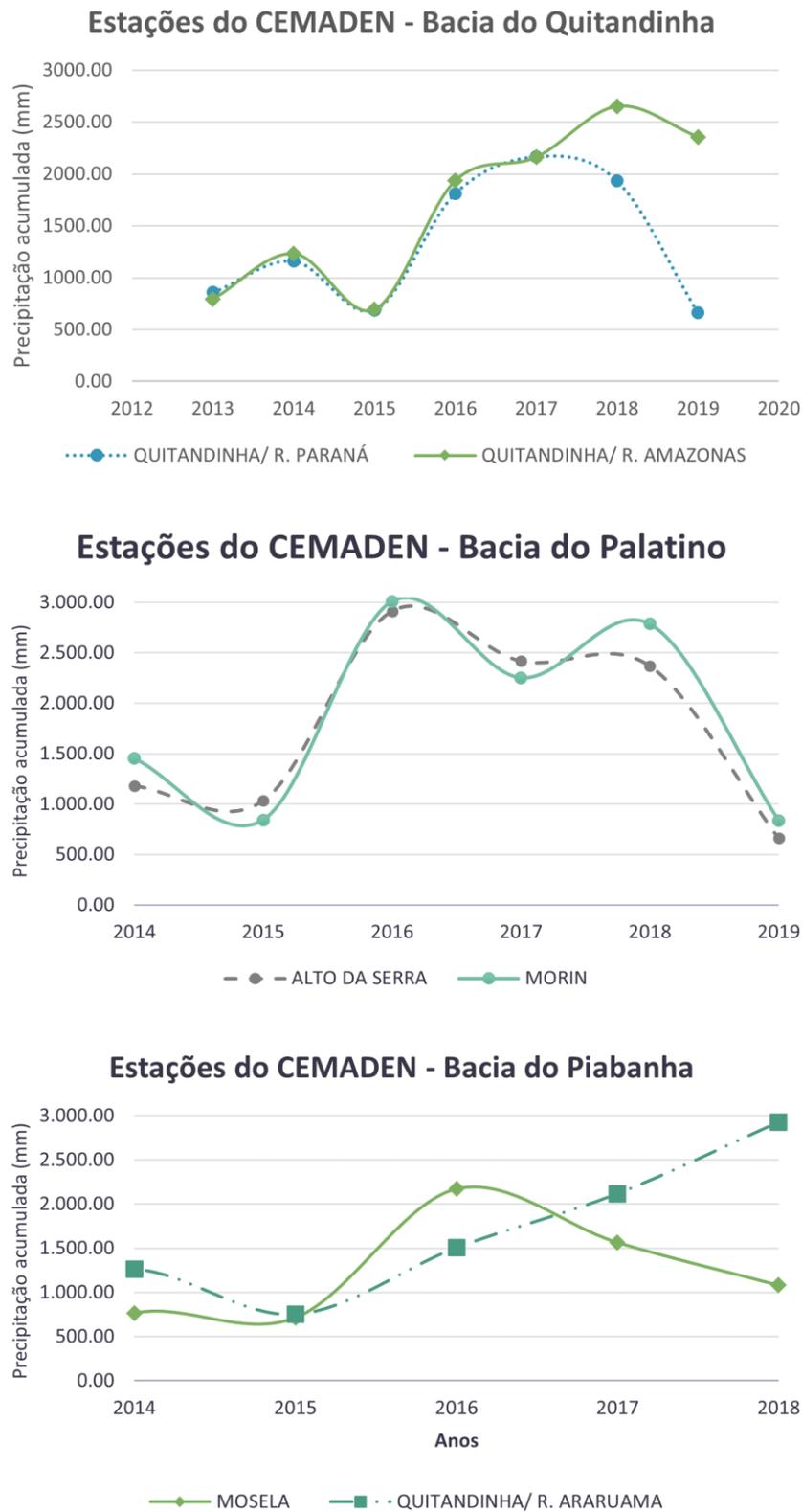


Figura 20. Total pluviométrico (mm) anuais na estação pluviométrica na rede de monitoramento do CEMADEN (2014 a 2019). Fonte: Autora.

Assim como na rede pluviométrica do INEA, na rede pluviométrica do CEMADEN, o início do registro de chuva de cada estação também foi diferente. Algumas começaram no ano de 2013, em meses distintos e outras tiveram registro de chuva apenas em 2014, por esse motivo não será possível observar o ano de 2013 no gráfico das bacias do Piabanha e Palatino. Diferente das estações pluviométricas do INEA, as estações do CEMADEN apresentaram totais pluviométricos abaixo de 1.500mm entre os anos de 2013 a 2015. Nos anos posteriores esses totais foram acima dos 2.000 mm.

Quanto a consistência dos dados, a rede de monitoramento do CEMADEN justifica que a instituição trabalha com dados em tempo real e que pode acontecer de haver falhas nos registros devido a problemas com o equipamento de medição, no registros dos dados por sistemas de coletas ou por erro de medida e por esse motivo, os dados podem estar “contaminados”.

A Figura 21 representa um mapa de interpolação com a média dos totais pluviométricos dos anos de 2013 a 2019 das estações aplicadas neste estudo. A escolha deve-se ao fato da série histórica ser comum entre a rede do INEA e do CEMADEN.

Esse mapa foi gerado a partir da ponderação do inverso da distância (IDW) para representar a espacialização da chuva nas bacias. Os resultados nos mostram que a bacia do rio Quitandinha há maiores índices de chuva do que as bacias do Palatino e Piabanha.

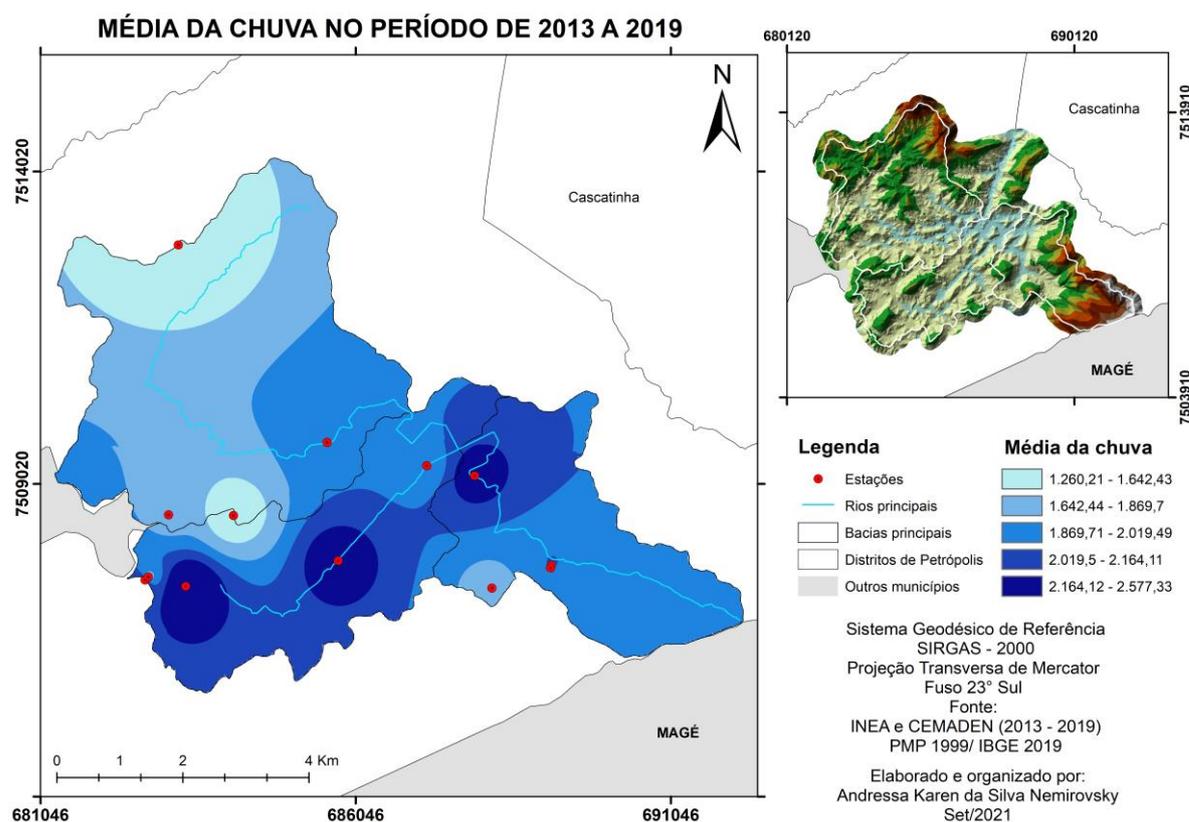


Figura 21. Mapa de interpolação da média da chuva (2013 – 2019). Elaborado pela Autora.

### 6.1.1 Frequência de cheias no período de 2011 - 2019

A partir das cotas linimétricas estabelecidas pelo INEA para as estações pluviométricas Alto da Serra, Cel. Veiga, Centro e Bingen, foram obtidas 113 inundações no período de 2011 a 2019 (Tabela 9).

Tabela 9. Quantidade de inundações no período de 2011 a 2019 nas estações pluviométricas do INEA.

Ano Estações	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Alto da Serra								5	
Bingen			1						
Cel. Veiga		4	19	11	2	25	13	17	16
Centro		1	4	4		2	4	5	4

Fonte: Autora.

A Figura 22 representa a espacialização dos eventos de inundação no limite das bacias do Alto Curso do rio Piabanha.

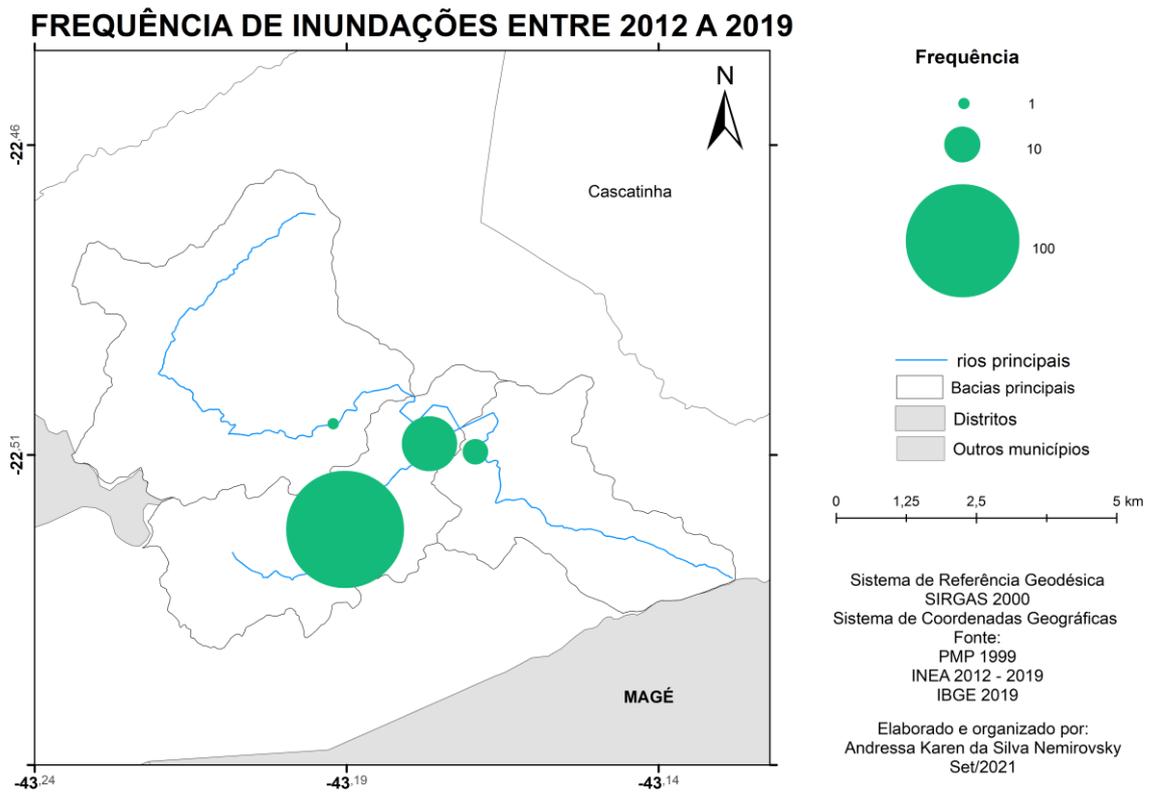


Figura 22. Frequência de inundações nas bacias do Alto Curso do rio Piabanha, primeiro distrito de Petrópolis - RJ de 2011 a 2019. Fonte: Autora.

A Figura 23 mostra a porcentagem das inundações em cada estação pluvio fluviométrica, a saber, Cel. Veiga, Centro, Bingen e Alto da Serra entre 2011 a 2019.

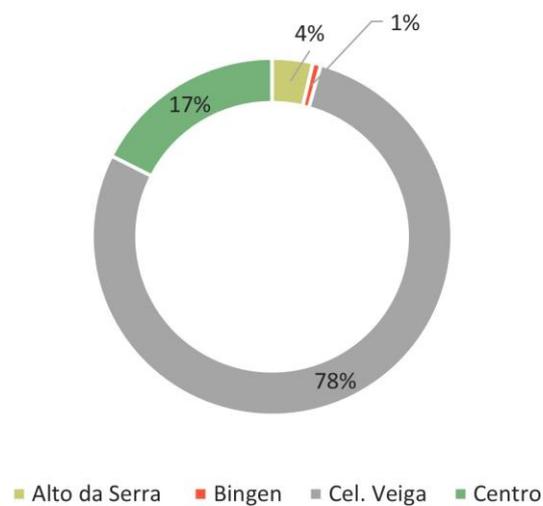


Figura 23. Porcentagem de inundações em cada estação pluvio fluviométrica do INEA entre 2011 a 2019. Fonte: Autora.

A Figura 24 apresenta a porcentagem total de inundações por bacias do Alto curso do rio Piabanha no período de 2011 a 2019.

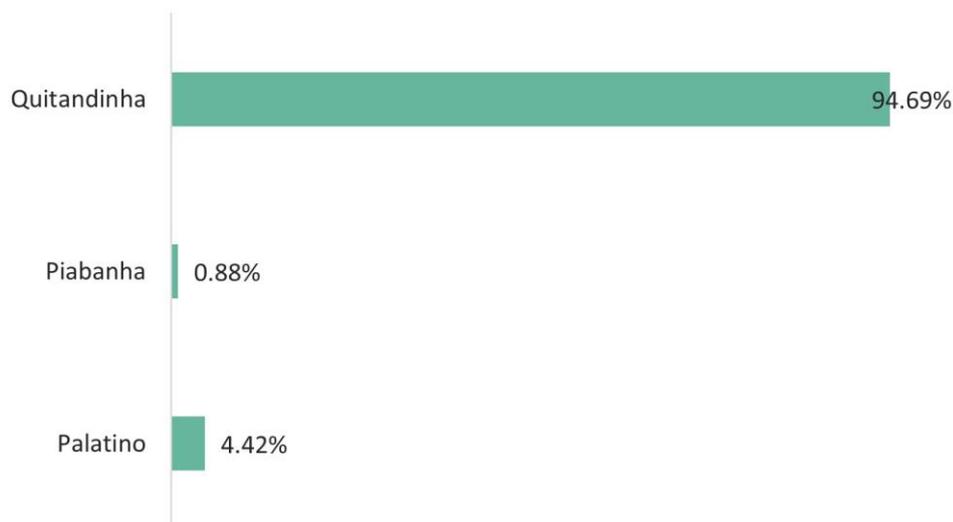


Figura 24. Porcentagem total de inundações por bacias do Alto Curso do rio Piabanha entre 2011 a 2019. Fonte: Autora.

É importante enfatizar que na estação pluvio fluviométrica Alto da Serra do INEA não houve registro de chuva nos dias que foram encontrados limiares acima das cotas de transbordo estabelecidas pelo órgão e nem mesmo nas demais estações. Com isso, não é possível afirmar que os dias encontrados sejam inundações do rio devido a um evento chuvoso ou se fora ocasionado por outro fator.

A análise dos gráficos das figuras acima nos permite inferir que cerca de 94,70% dos eventos de inundações ocorrem no trecho do rio que fica localizada a estação Cel. Veiga e 22,4% na estação Centro. As demais estações apresentaram porcentagens de eventos mais baixo e estão localizadas em bacias diferentes: na bacia do rio Piabanha está localizada a estação pluvio fluviométrica Bingen, com apenas 1 evento de inundações no rio e na bacia do rio Palatino encontra-se a estação pluvio fluviométrica do Alto da Serra, onde foram encontrados 5 eventos de inundações, não sendo possível afirmar se houve ou não transbordo do rio devido a falta de dados pluviométricos nas outras estações, tanto do INEA quanto do CEMADEN.

Em relação a série histórica, pode-se afirmar que para a estação pluvio fluviométrica Cel. Veiga apresentou maiores porcentagens de eventos de inundações no ano de 2016, com aproximadamente 23%, a estação pluvio fluviométrica Centro apresentou no ano de 2018

cerca de 21% dos eventos de inundação e as demais estações, como a Bingen (100%) no ano de 2013 e Alto da Serra (100%) no ano de 2018.

A maioria das inundações ocorrem em no trecho do rio Quitandinha, na qual é possível identificar duas estações, a saber, a estação pluvio fluviométrica que faz o registro do nível do rio chamada de Cel. Veiga, e mais próxima do Centro Histórico a estação pluvio fluviométrica Centro, ambas as estações ficam localizadas no limite da bacia do rio Quitandinha, bacia que apresenta maiores porcentagens de inundação, cerca de 95%.

#### 6.1.2 Análise dos eventos de inundação

Nesta análise escolheu-se três eventos de inundação registrados apenas na estação pluvio fluviométrica Cel. Veiga, três eventos de inundação registrados na estação pluvio fluviométrica Cel. Veiga e Centro, simultaneamente e por fim, um evento de inundação que tenham sido registrado na estação pluvio fluviométrica Cel. Veiga, Centro e Bingen ao mesmo tempo. O total de eventos de inundação selecionados foram 12.

È importante lembrar que para a análise dos gráficos de inundação foi considerado como primeiro ponto de interseção (ou inflexão) da curva quando o nível do rio registra uma cota igual ou superior a 80% da cota de transbordo atual do rio. Essa cota de 80% representa a iminência de transbordo do rio, é nesse momento que o INEA emite um alerta de que o nível do rio poderá subir nas próximas horas, e para achar o ponto da curva que a altura do rio começa a diminuir para voltar ao seu estado “normal” o valor que fosse abaixo da cota de 80%.

A Figura 25 é apresentado os gráficos referente a inundação dos rios Quitandinha e Piabanha no dia 17 e 18 de março de 2013 e que foram registrados nas estações pluvio fluviométricas Cel. Veiga, Centro e Bingen, simultaneamente.

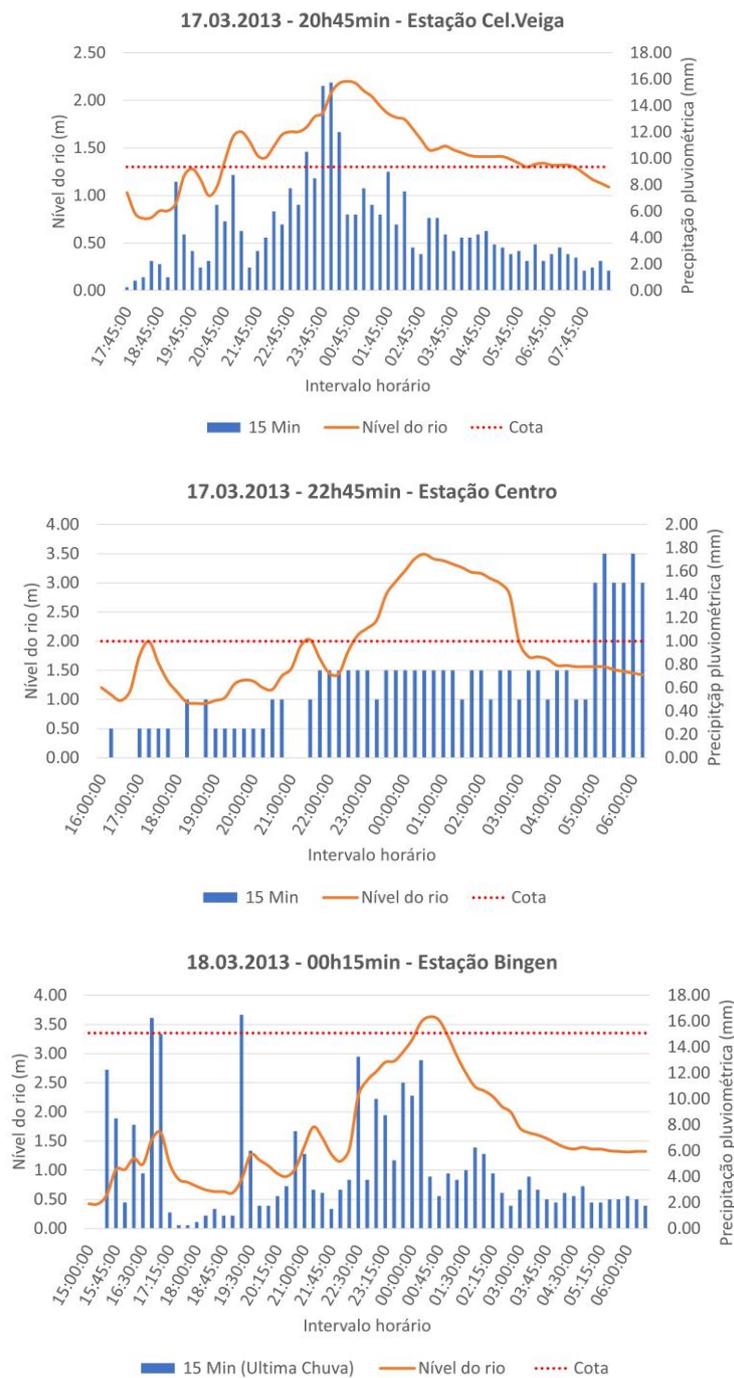


Figura 25. Inundação no rio Quitandinha e Piabanha em março de 2013. Fonte: Autora.

A Tabela 10 apresenta o dia, os acumulados de 15min, 30min, 1 hora, 4 horas e nível do rio registrados nas estações Cel. Veiga, Centro e Bingen, exceto Alto da Serra.

Tabela 10. Eventos de inundação no rio Quitandinha e Piabanha em março de 2013 registrado nas estações pluviométricas Cel. Veiga, Centro e Bingen.

<b>Estação</b>	<b>Data e Hora</b>	<b>15 min</b>	<b>30 min</b>	<b>1 hora</b>	<b>4horas</b>	<b>Nível do rio (m)</b>
Cel. Veiga	17.03.2013 20h45min	5,25mm	11,75mm	15,75mm	52,75mm	1,37
Centro	17.03.2013 22h45min	0,75mm	1,50mm	3,00mm	6,75mm	2,10
Bingen	18.03.2013 00h15min	13,00mm	23,25mm	39,75mm	106,00mm	3,54

Fonte: Autora.

A Tabela 11 apresentou o intervalo de tempo, duração e o volume de chuva que propiciaram a inundação nos rios Quitandinha e Piabanha.

Tabela 11. Avaliação do intervalo de tempo, duração e volume de chuva em março de 2013.

<b>Estação</b>	<b>Tempo</b>	<b>Volume de chuva</b>	<b>Duração do evento</b>	<b>Volume de chuva total</b>
Cel. Veiga	1h30 min	23,00 mm	11h45min	265,25mm
Centro	2h00min	4,75 mm	5h30min	19,25 mm
Bingen	1 hora 30min	58,50 mm	1h30min	77,50mm

Fonte: Autora.

A partir dos resultados gerados, verificamos que no dia 17 de março de 2013 houve um evento chuvoso que facilitou inundações nos rios Quitandinha e Piabanha. Foi percebido, que esse evento chuvoso começou a ser registrado primeiramente na estação pluviométrica Bingen por volta das 15h30min, em seguida na estação pluviométrica Centro, por volta das 16h15min e por fim na estação pluviométrica Cel. Veiga, às 17h45min. Nesse primeiro momento, os registros de chuva variavam entre Fraca a Moderada, nas estações Centro, Cel. Veiga e Bingen.

Porém, os rios só transbordaram entre o final da noite do dia 17 e início da madrugada do dia 18 de março. No momento do transbordo, para a estação Cel. Veiga, o tempo

necessário para transbordar o rio Quitandinha neste dia foi de 1h30min, com acumulado de chuva de 23,0 mm. O evento perdurou por 1h45min e a chuva acumulada foi de 265,25 mm.

Duas horas depois do transbordo do rio Quitandinha no ponto da estação Cel. Veiga, o rio Quitandinha transbordou no ponto da estação Centro, com intensidades de chuva fraca. Entendemos que a chuva registrada na estação não justificaria o transbordo do rio, mas sim a chuva que já ocorria desde a cabeceira de drenagem. Sabendo que o rio é retificado, a velocidade de escoamento da água aumenta, isto é, maior é a vazão do rio naquele ponto. Os gráficos que a estação Bingen também registrava chuva fraca nesse momento. O evento teve uma duração de 5h30min e o volume de chuva registrado foi de 19,25 mm.

Após o transbordo do rio no ponto que fica localizada a estação Centro, 1h30min depois, o rio Piabanha transbordou no ponto que fica localizada a estação Bingen, com um volume de chuva de 58,50 mm. Nesse ponto, a duração do evento foi de 1h30min e a chuva acumulada de 77,50 mm.

As Figuras 26 e 27 são apresentados os gráficos de seis eventos de inundação que foram registrados na estação Cel. Veiga e Centro, simultaneamente.

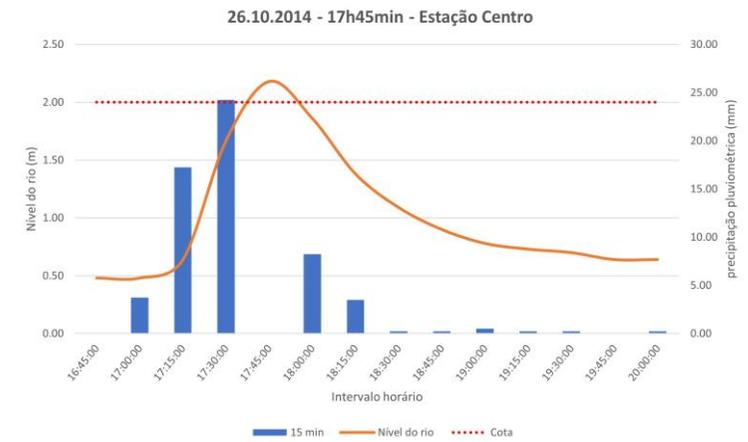


Figura 26. Inundação no rio Quitandinha em 2012 e 2014. Fonte: Autora.

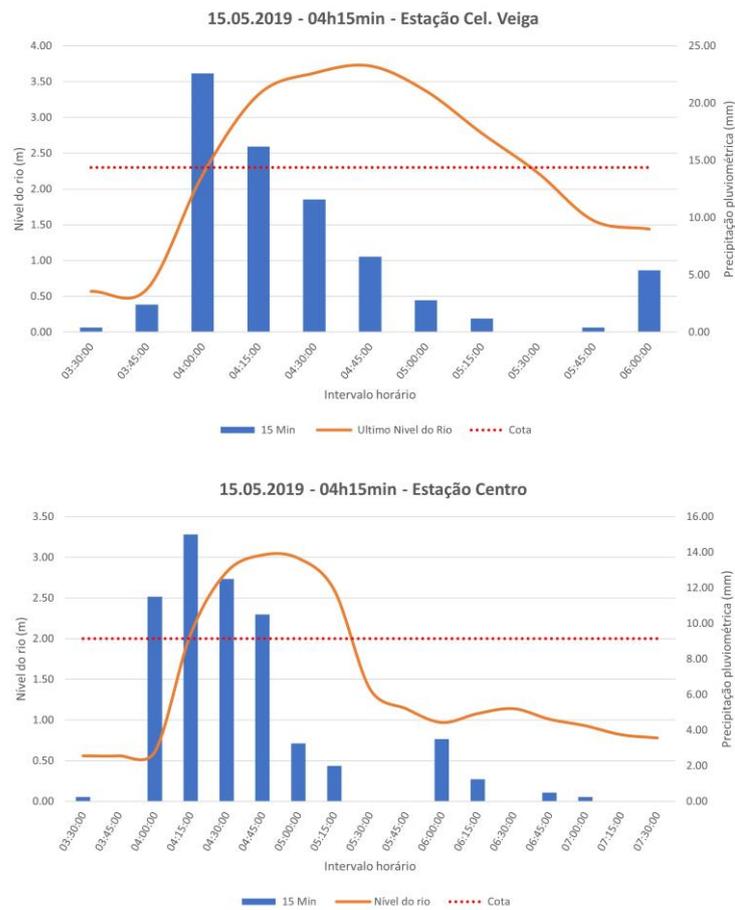


Figura 27. Inundação no rio Quitandinha em 2019. Fonte: Autora.

A Tabela 12 apresenta o dia, o volume de chuva e os acumulados de 15min, 30min, 1 hora, 4 horas e nível do rio registrados nas estações Cel. Veiga e Centro.

Tabela 12. Eventos de inundação no rio Quitandinha em 2012, 2014 e 2019 registrados nas estações pluviométricas Cel. Veiga e Centro

<b>Estação</b>	<b>Data e Hora</b>	<b>15 min</b>	<b>30 min</b>	<b>1 hora</b>	<b>4horas</b>	<b>Nível do rio (m)</b>
Cel. Veiga	21.06.2012 23h45min	5,75mm	21,00mm	21,00mm	21,25mm	1,36
Centro	22.06.2012 00h15min	0,25mm	15,75mm	22,75mm	24,50mm	2,00
Cel. Veiga	26.10.2014 17h30min	25,00mm	42,50mm	43,00mm	43,00mm	1,55
Centro	26.10.2014 17h45min	0,00mm	24,25mm	45,25mm	45,25mm	2,18
Cel. Veiga	15.05.2019 04h15min	16,20mm	38,80mm	41,60mm	47,40mm	3,32
Centro	15.05.2019 04h15min	15,00mm	26,50mm	26,75mm	29,75mm	2,06

Fonte: Autora.

A Tabela 13 apresentado o intervalo de tempo, duração e o volume de chuva que propiciaram a inundação no rio Quitandinha.

Tabela 13. Avaliação do intervalo de tempo, duração e volume de chuva nos anos de 2012, 2014 e 2019

<b>Datas</b>	<b>Estação</b>	<b>Tempo</b>	<b>Volume de chuva</b>	<b>Duração do evento</b>	<b>Volume de chuva total</b>
21.06	Cel. Veiga	30min	21,00 mm	1h30min	43,00 mm
e 22.06.2012	Centro	1h00min	22,75 mm	15min	25,75 mm
26.10.2014	Cel. Veiga	30min	42,50 mm	1h15min	47,50 mm
	Centro	45min	41,50 mm	45min	53,25 mm
15.05.2019	Cel. Veiga	30min	38,80 mm	1h45min	61,40 mm
	Centro	30min	26,50 mm	1h30min	54,75 mm

Fonte: Autora.

Os resultados apresentados acima possibilitou verificar que os eventos de inundação que foram selecionados simultaneamente na estação Cel. Veiga e Centro, apresentaram registros de intensidade de chuva fraca e em seguida Moderada.

Desses eventos, quando registrado transbordo do rio na estação pluvio fluviométrica Cel. Veiga, 15 ou 30 minutos depois era registrado na estação pluvio fluviométrica Centro. Com isso, pode-se deduzir que os eventos de inundação registrados na estação pluvio fluviométrica do Centro é influenciado pelo acumulado de chuva que é registrada na estação pluvio fluviométrica Cel. Veiga e que a duração dos eventos de inundação variam entre 1h15min a 1h45min na estação Cel. Veiga e na estação Centro entre 15 minutos a 1h30min.

Na Figura 28 é apresentado os gráficos dos três eventos de inundação que foram registrados na estação Cel. Veiga, apenas.

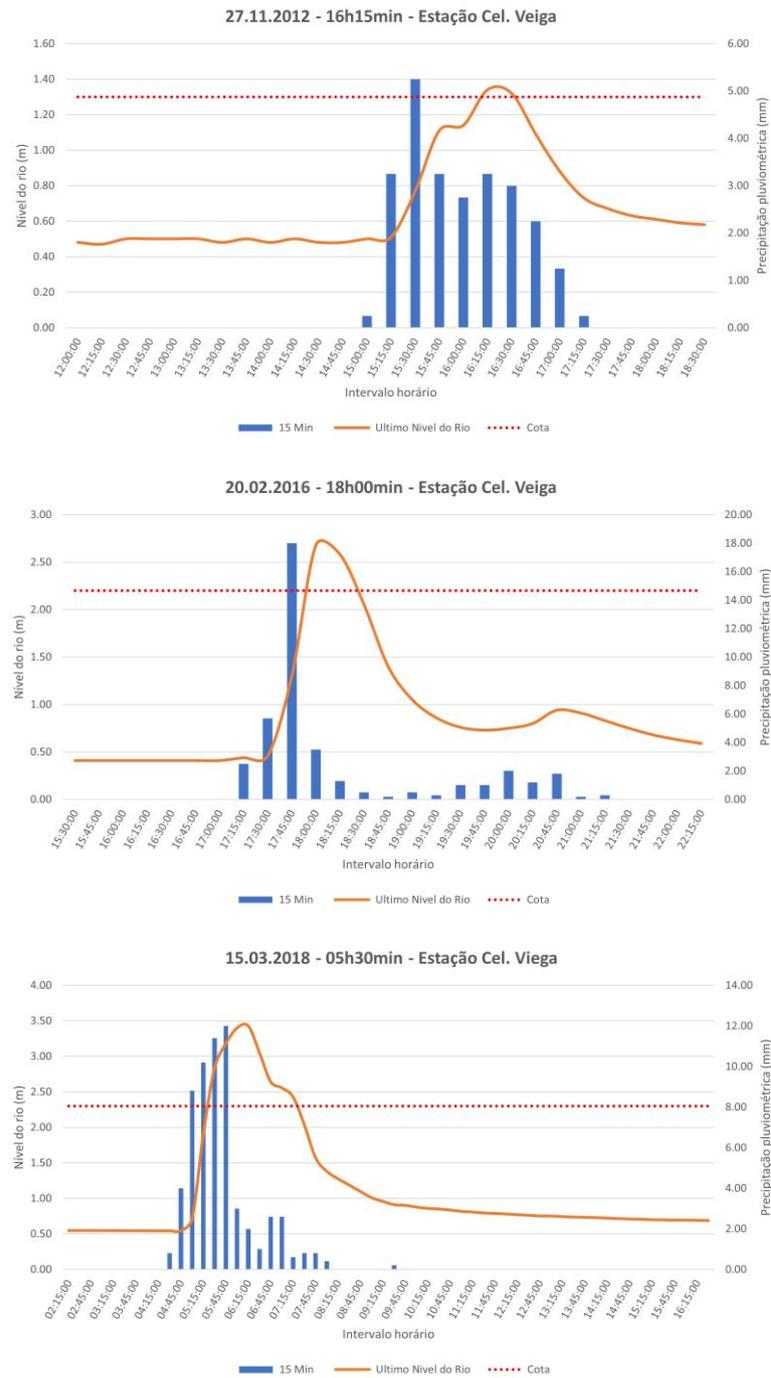


Figura 28. Inundação no rio Quitandinha em 2012, 2016 e 2018. Fonte: Autora.

A Tabela 14 apresenta o dia, os acumulados de 15min, 30min, 1 hora, 4 horas e o nível do rio registrados na estações Cel. Veiga.

Tabela 14. Eventos de inundação no rio Quitandinha em 2012, 2016 e 2018, registrados apenas na estação Cel. Veiga

<b>Estação</b>	<b>Data e Hora</b>	<b>15 min</b>	<b>30 min</b>	<b>1 hora</b>	<b>4horas</b>	<b>Nível do rio (m)</b>
Cel. VeigaVeiga	27.11.12 16h15min	3,25mm	6,00mm	14,50mm	18,00mm	1,34
	20.02.2016 18h00min	3,50mm	21,50mm	29,70mm	29,70mm	2,68
	15.03.2018 05h30min	11,40mm	21,60mm	34,40mm	35,20mm	2,84

Fonte: Autora.

A Tabela 15 apresentado o intervalo de tempo, duração e o volume de chuva que propiciaram que a inundação nos rios Quitandinha.

Tabela 15. Avaliação do intervalo de tempo, duração e volume de chuva nos anos de 2012, 2016 e 2018

<b>Datas</b>	<b>Estação</b>	<b>Tempo</b>	<b>Volume de chuva</b>	<b>Duração do evento</b>	<b>Volume de chuva total</b>
27.11.2012	Cel. Veiga	1h00min	14,50 mm	1h00min	21,00 mm
20.02.2016		30min	21,50 mm	1h00min	23,50 mm
15.03.2018		30min	21,60mm	2h30min	47,00 mm

Fonte: Autora.

Depreende-se dos resultados apresentados acima dos três eventos de inundação que são registrados apenas na estação Cel. Veiga, começam com uma chuva de intensidade Fraca, seguida de uma chuva com intensidade Moderada.

Para os eventos de inundação selecionados, o acumulado de chuva necessário para que houvesse o transbordo do rio no ponto que fica localizada a estação pluvio fluviométrica Cel. Veiga foi acima de 15,0 mm e que o tempo entre o início do aumento do nível do rio até o instante em que transborda era de 30 min a 1 hora. A duração desses eventos de inundação variam de 1h00min a 2h30min.

## 6.2 CARACTERIZAÇÃO DA COBERTURA DA TERRA

Nesta parte da pesquisa são apresentados os resultados referentes a cobertura da terra no limite das bacias do Alto Curso do rio Piabanha a partir da imagem do sensor *RapidEye* e do *software Envi 5.3*.

Para isso, fez-se uma correção atmosférica na imagem *RapidEye*, que foi descrita no capítulo da metodologia. Após a correção atmosférica, fez-se a classificação através do *software Envi 5.3*. O classificador aplicado foi a classificação supervisionada, neste tipo de classificador, pressupõe que o analista já conhece a área de estudo e então, diferentes amostras de cada classe são selecionadas. O módulo do *Envi 5.3* aplicado foi “*Feature Extraction*”.

Para validar a classificação foram utilizados pontos aleatórios para verificação de um fotointérprete através imagens do *Google Earth*. A acuracidade da classificação foi determinada através da matriz confusão com as amostras de campo selecionadas e um valor de índice kappa foi determinado após todos os testes.

A Figura 29 é apresentado o resultado da melhor classificação encontrada para a cobertura da terra nas bacias que fazem parte do Alto Curso do rio Piabanha. Sete classes foram consideradas, a saber, Mata ou Vegetação Densa, Gramínea, Urbano, Rocha, Solo Exposto, Pedreira e Água.

De acordo com a tabela de Landis e Koch (1977) que avalia o desempenho de classificação, o índice kappa encontrado neste mapeamento foi de 0,85 (Muito Bom). Do mapeamento, a classe que mais se misturou foi a classe afloramento rochoso com vegetação rasteira e solo exposto, entretanto, essa “confusão” não prejudicou a análise dos resultados.

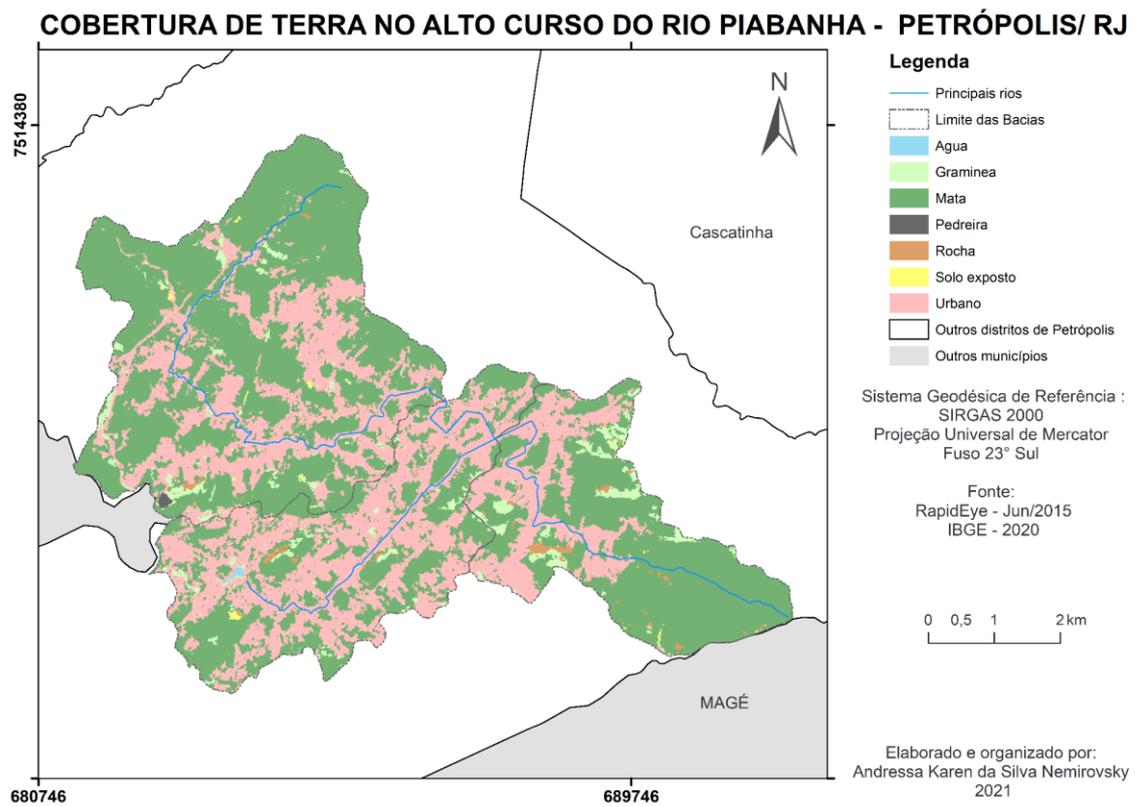


Figura 29. Mapeamento da cobertura da terra no limite das bacias do Alto Curso do rio Piabanha no 1º Distrito do Município de Petrópolis. Produzido pela Autora.

A Figura 30 apresentam os resultados encontrado nas classes de mapeamento quando é considerada as três bacias.

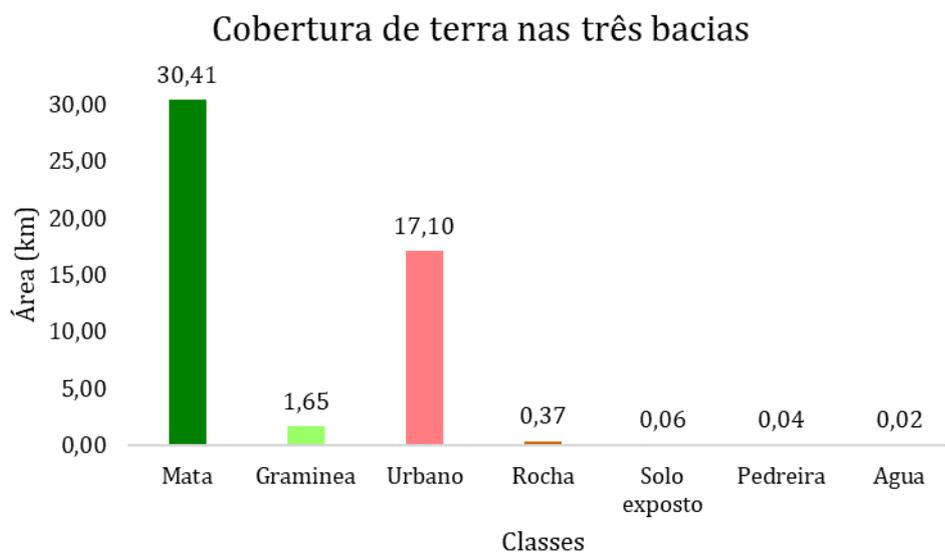


Figura 30. Gráfico da área da caracterização da cobertura terra nas três bacias. Fonte: Autora.

Em geral, as classes predominantes no mapeamento são Cobertura Vegetal (Mata) e Urbano, com respectivamente, 30,41 km<sup>2</sup> e 17,10 km<sup>2</sup>. As demais classes somam menos do que 0,5 km<sup>2</sup> (Rocha 0,37 km<sup>2</sup>, Solo Exposto 0,06 km<sup>2</sup>, Pedreira 0,04 km<sup>2</sup> e Água 0,02km<sup>2</sup>).

A Figura 31 apresenta o resultado encontrado em cada classe para a bacia do rio Quitandinha.

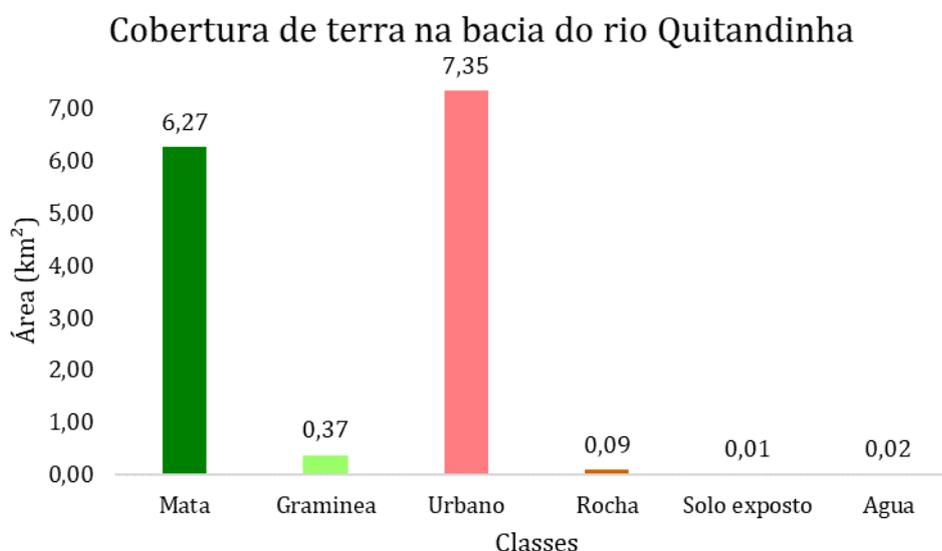


Figura 31. Gráfico da área da caracterização da cobertura de terra na bacia do rio Quitandinha. Fonte: Autora.

A classe Urbano e Mata ou Vegetação Densa tem predominância no limite da bacia do rio Quitandinha. A classe Urbano tem área de 7,3 km<sup>2</sup> enquanto a classe Mata ou Vegetação Densa tem área de 6,3 km<sup>2</sup>. As demais classes somam 0,512 km<sup>2</sup> ou 512 m<sup>2</sup>.

A Figura 32 apresenta o resultado encontrado em cada classe para a bacia do rio Palatino.

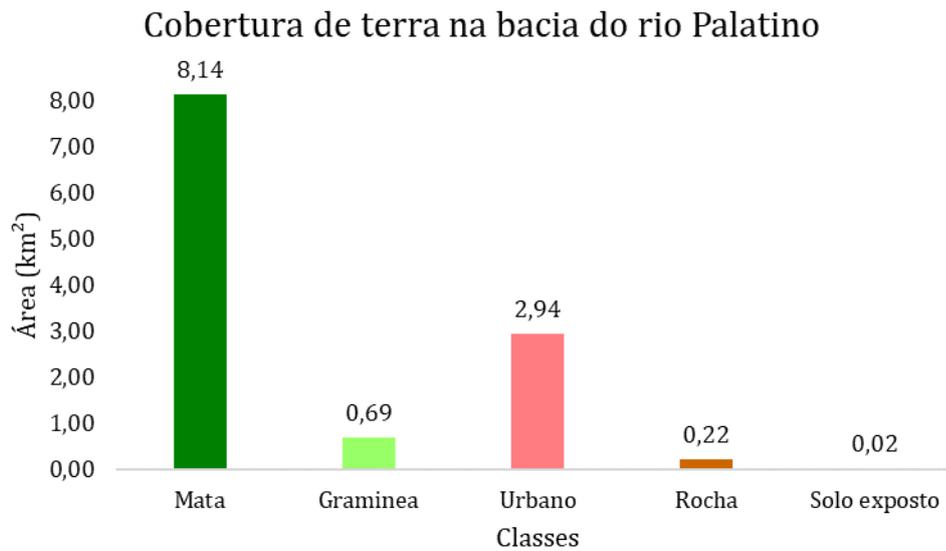


Figura 32. . Gráfico da área da caracterização da cobertura de terra na bacia do rio Palatino. Fonte: Autora.

Do mapeamento da bacia do Palatino, a classe Mata ou Vegetação Densa tem um predomínio maior que as demais classes. Mata com área de 8,13 km<sup>2</sup>, o Urbano com área de 3 km<sup>2</sup> e as demais classes somam 0,927 km<sup>2</sup> ou 927 m<sup>2</sup>.

A Figura 33 apresenta o resultado encontrado em cada classe para a bacia do rio Piabanha.

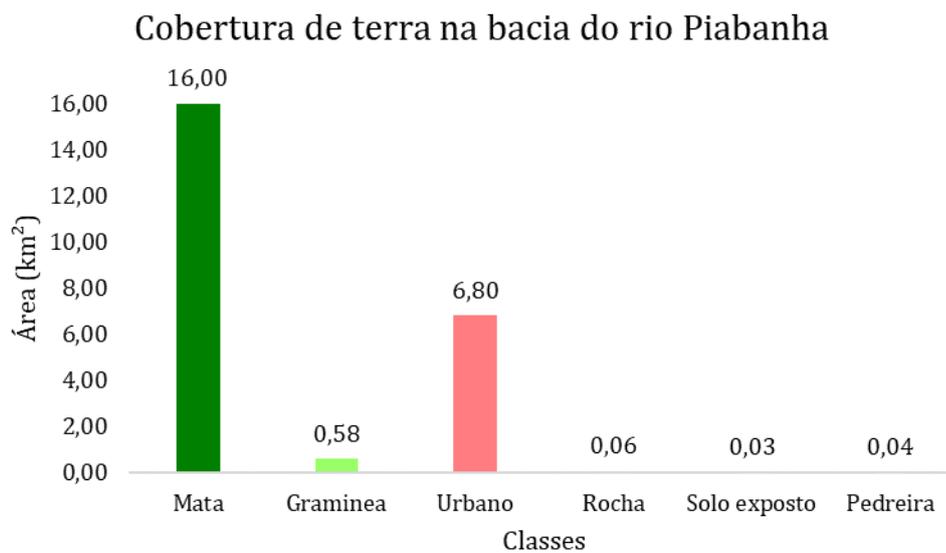


Figura 33. Gráfico da área da caracterização da cobertura de terra na bacia do rio Piabanha. Fonte: Autora.

Na bacia do Piabanha predomínio da classe Mata ou Vegetação Densa, seguido da classe Urbana e as demais classes. Por ter uma área maior que as demais bacias, na bacia do Piabanha, a classe Mata tem maior área, próximo a 16 km<sup>2</sup>, seguido da classe Urbano com 6,8 km<sup>2</sup>. As demais classes somam 0,722 km<sup>2</sup> ou 722 m<sup>2</sup>. Infere-se destes mapeamentos que as classes Urbano e Vegetação densa ou Mata têm maior predominância em ambas bacias.

### 6.3 CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DAS BACIAS DO ALTO CURSO DO RIO PIABANHA

A Figura 34 é mostrado o limite das bacias de primeira ordem que foram delimitadas com base no método de Strahler (1984).

Os resultados encontrados indicaram que no limite da bacia do Quitandinha foi encontrado 7 bacias de primeira ordem, no limite da bacia do Palatino, encontrou-se 12 bacias de primeira ordem e por fim, no limite da bacia do Piabanha, achou-se 61 bacias de primeira ordem. Essa escolha de bacias de primeira deve-se ao fato de serem “níveis hierárquicos dos sistema de drenagem dominados pelo comportamento dinâmico dos processos de encostas” (LIMA, 2015).

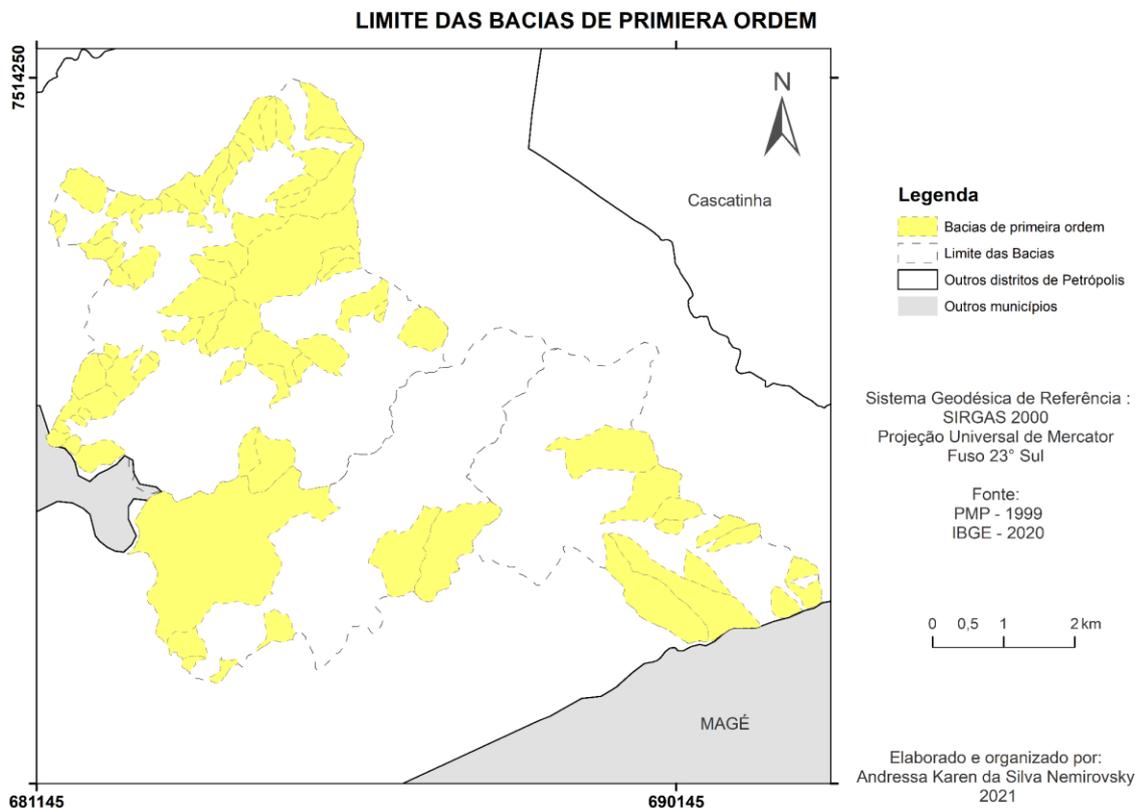


Figura 34. Limite das bacias de primeira ordem. Produzido pela Autora.

Nesta pesquisa, todos cálculos serão realizados em superfície modelada, pois os valores obtidos são mais próximos à paisagem do mundo real. Para a representação dos resultados encontrados, foi estabelecido o método coroplético de representação quantitativa, que tem por finalidade representar os fenômenos a partir de uma ordem crescente de valores relativos agrupados em classes, que pode ser simbolizada a partir de matizes de cores claras até escuras (MARTINELLI, 2009).

O método aplicado para classificar as classes da representação coroplética foi o proposto por Slocum (1999, p.70 *apud* CARDOSO, 2017, p.43) que tem por nome “*Natural Breaks*” ou quebras naturais que minimiza a diferença entre os resultados encontrados numa mesma classe e maximiza as diferenças entre as classes. Com isso, as cores tendem a ficar mais distribuídas ao longo do mapa.

Um dos primeiros índices calculados foi a Densidade de Drenagem (Dd), após encontrar os comprimentos dos canais e área de cada bacia de primeira ordem. As diferenças podem ser observadas na Figura 35.

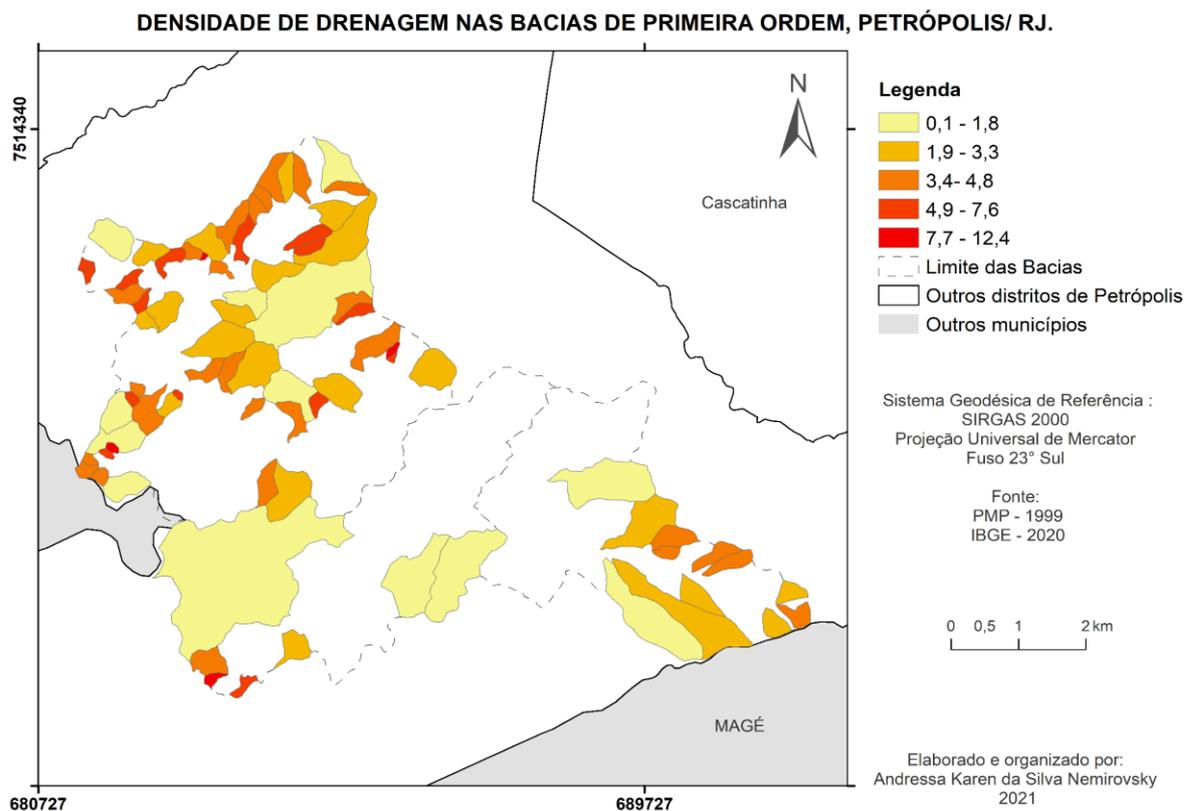


Figura 35. Densidade de drenagem (Dd) nas bacias de primeira ordem do Alto Curso do rio Piabanha. Produzido pela Autora

O método de classificação foi *Natural Breaks* e considerou-se cinco classes, cujo os valores são apresentados no mapa e que variam entre 0,1 a 12,4 km/km<sup>2</sup>. Dos resultados apresentados e com base na literatura, valores abaixo de 0,5 km/km<sup>2</sup> são deficientes (pobres) e que valores acima de 3,5 km/km<sup>2</sup> são bem drenados (Villela e Mattos, 1975).

A Tabela 16 indica uma legenda criada com base nos valores dos mapas e da literatura apresentada no parágrafo anterior.

Tabela 16. Classes de densidade de drenagem

<b>Intervalos</b>	<b>Classe</b>
0,1 – 1,8	Muito Baixo
1,9 – 3,3	Baixo
3,4 – 4,8	Médio
4,9 – 7,6	Alto
7,7 – 12,4	Muito Alto

Fonte: Com base em Villela e Matos, 1975. Elaborado pela autora.

Tabela 17. Quantidade de bacias (numérico e percentual) por classe de Densidade de drenagem (Dd) para cada bacia de primeira ordem do Alto curso do rio Piabanha

<b>Classes</b>	<b>Piabanha</b>	<b>Palatino</b>	<b>Quitandinha</b>
Muito Baixo	8 (13,11%)	2 (16,6%)	3 (42,8%)
Baixo	15 (24,6%)	5 (41,7%)	1 (14,3%)
Médio	21 (34,4%)	5 (41,7%)	1 (14,3%)
Alto	14 (22,9 %)	-	1 (14,3%)
Muito Alto	3 (4,9%)	-	1 (14,3%)

Fonte: Autora.

Pensando nisso, em ordem crescente, o resultado apresentado na Tabela 17 indicou que a Densidade de drenagem (Dd) na bacia do Quitandinha é deficiente, visto que a classe de maior predominância nesta bacia, em relação a Densidade de drenagem (Dd) foi a classe “Muito Baixo”, ou seja 42,8% das bacias de primeira ordem nesta bacia obteve esse resultado. Seguindo a bacia do Palatino que apresentou como respostas às classes “Baixo” e “Médio”, com um total de 83,4% das bacias de primeira ordem.

A que apresentou melhores resultados foi a bacia do Piabanha, com intervalo de classes que variam entre “Médio”, “Alto” e “Muito Alto”, com um total percentual de 62,2% das bacias de primeira ordem.

Um segundo parâmetro calculado foi o Gradiente Topográfico (Gt) de Meis *et al.* (1982), calculado pela diferença entre o desnivelamento da bacia dividido pelo comprimento do eixo principal e que é apresentado no mapa da Figura 36.

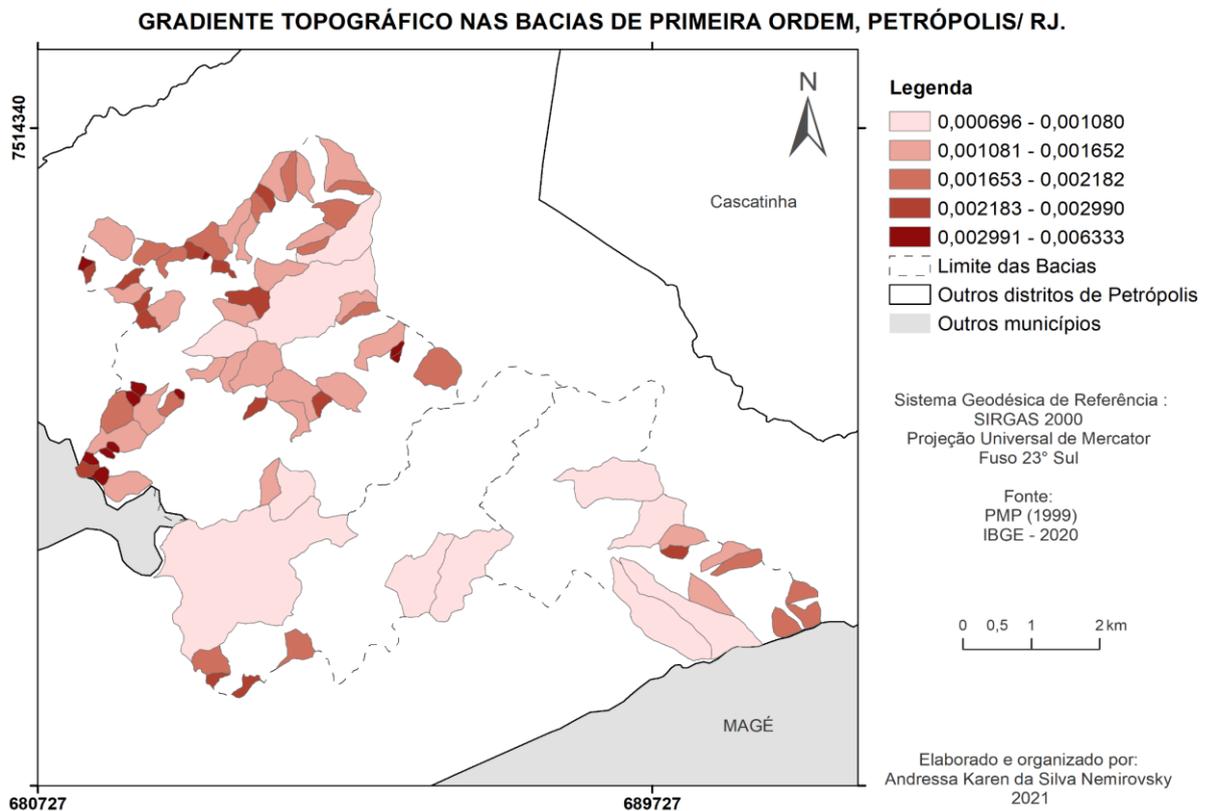


Figura 36. Gradiente topográfico (Gt) nas bacias de primeira ordem do Alto Curso do rio Piabanha. Produzido pela

Neste mapa também foi aplicado o método de classificação “*Natural Breaks*” e classificado em 5 classes. As classes variam de 0,000696 a 0,006333. A Tabela 18 apresenta os valores e o nome para cada intervalo de classe.

Tabela 18. Classes de Gradiente topográfico

<b>Intervalos</b>	<b>Classe</b>
0,000696 – 0,001080	Muito Baixo
0,001081 – 0,001652	Baixo
0,001653 – 0,002182	Médio
0,002183 – 0,002990	Alto
0,002991 – 0,006333	Muito Alto

Fonte: Autora.

Tabela 19. Quantidade de bacias (numérico e percentual) por classe de Gradiente topográfico (Gt) para cada bacia de primeira ordem do Alto curso do rio Piabanha

<b>Classes</b>	<b>Piabanha</b>	<b>Palatino</b>	<b>Quitandinha</b>
Muito Baixo	4 (6,6%)	4 (33,3%)	3 (42,6%)
Baixo	23 (37,7%)	3 (25%)	-
Médio	12 (19,7%)	4 (33,3%)	2 (28,7%)
Alto	11 (18%)	1 (8,4)	2 (28,7%)
Muito Alto	11 (18%)	-	-

Fonte: Autora.

Os resultados apresentados na Tabela 19 mostram que as maiores porcentagens na bacia do Piabanha ocorreram nas classes “Baixo” e “Médio”, 37,7% e 19,7%, nesta ordem. Para a bacia do Palatino os intervalos de classes que apresentaram maiores valores foram “Muito Baixo” e “Médio”, 33,4 % em ambas as classes. E na bacia do Quitandinha, a classe que apresentou maior percentagem foi a classe “Muito Baixo”, 42,6%.

Um terceiro parâmetro foi calculado a partir dos resultados obtidos da Densidade de drenagem (Dd) e Gradiente topográfico (Gt). Esse parâmetro se chama Índice de Eficiência de Drenagem (IED) e corresponde à permanência de água no sistema hidrográfico. Quanto maior a Densidade de drenagem e o Gradiente topográfico, maior o valor do IED. A Figura 37 apresenta o resultado.

Segundo Lima (2015), às bacias que apresentam IED altos apresentam maior facilidade de escoamento superficial e subsuperficial, e canalizado. Entretanto, àquelas que apresentam IED baixos, tem uma resposta de escoamento mais lento, ou seja, podem represar mais água em seu interior.

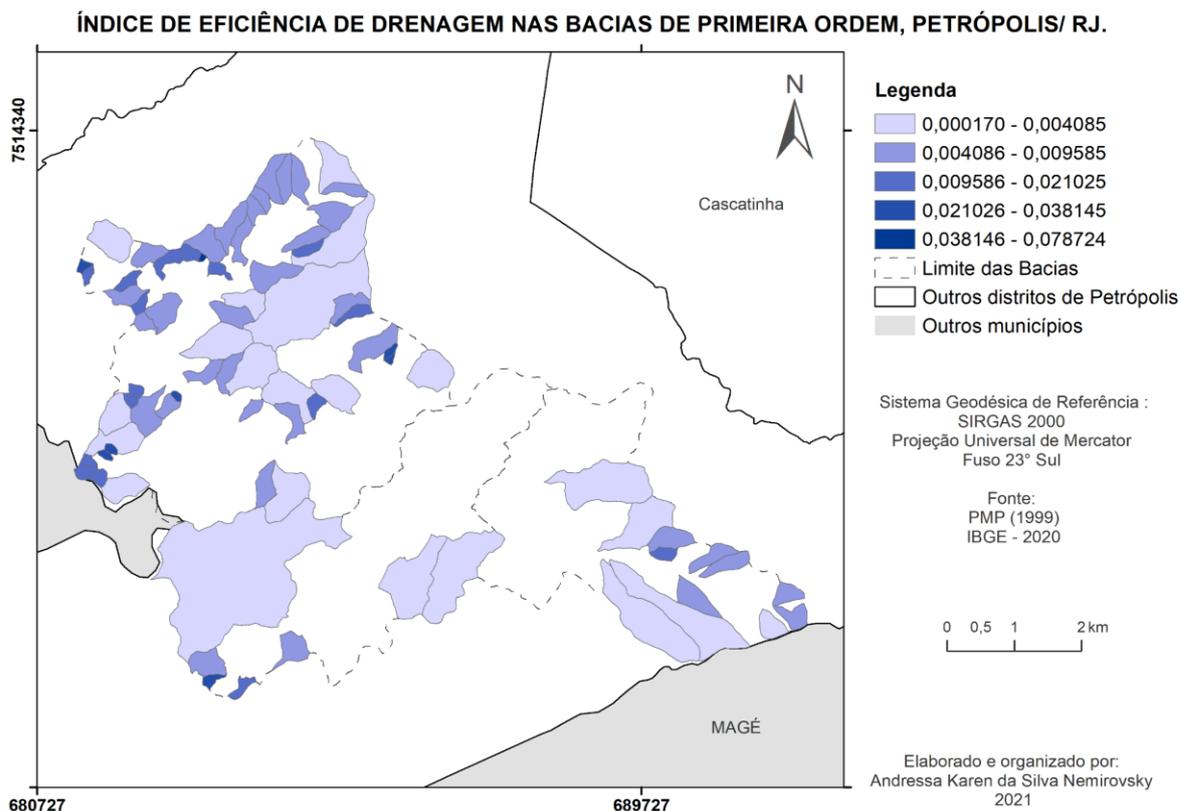


Figura 37. Índice de Eficiência de Drenagem (IED) nas bacias de primeira ordem do Alto Curso do rio Piabanha. Produzido pela Autora.

Assim como os demais mapas já apresentados anteriormente, este também aplicou o método de classificação “*Natural Breaks*” e definido em 5 classes. A Tabela 20 é mostrada o nome dos intervalos de cada intervalo de classe que foi considerado.

Tabela 20. Classes de Índice de Eficiência de Drenagem

Intervalos	Classe
0,000170 – 0,004085	Muito Baixo
0,004086 – 0,009585	Baixo
0,009586 – 0,021025	Médio
0,021026 – 0,038145	Alto
0,038146 – 0,078724	Muito Alto

Fonte: Autora.

Tabela 21. Quantidade de bacias (numérico e percentual) por classe de Índice de Eficiência de Drenagem (IED) para cada bacia de primeira ordem do Alto curso do rio Piabanha

<b>Classes</b>	<b>Piabanha</b>	<b>Palatino</b>	<b>Quitandinha</b>
Muito Baixo	14 (23%)	5 (42%)	3 (43%)
Baixo	26 (42,6%)	6 (50%)	2 (28,6%)
Médio	14 (23%)	1 (8%)	1 (14,2%)
Alto	6 (9,8%)	-	1 (14,2%)
Muito Alto	1 (1,6%)	-	-

Fonte: Autora.

A Tabela 21 indicaram que as bacias do Piabanha na classe 'Baixo' (42,6%) apontaram maior porcentagem de IED, nas bacias de primeira ordem. Na bacia do Palatino a classe de intervalo “Baixo” também apresentou maior porcentagem, 50%. Por fim, a bacia do Quitandinha, na classe de intervalo “Muito Baixo” apresentou maior porcentagem, cerca de 43%.

O Quadro 2 é apresentada a sínteses dos resultados encontrados ao longo deste capítulo.

Quadro 2. Síntese dos resultados.

Variáveis		Bacias do Alto Curso do rio Piabanha		
		Quitandinha	Palatino	Piabanha
Cobertura da terra	Área vegetal (%)	45,50	71,50	68,00
	Área urbana (%)	53,40	25,90	28,90
Parâmetro Morfométrico	IED	Muito Baixo	Baixo	Baixo
Inundações	Distribuição espacial (%)	≅ 95	≅4	≅1
Média de chuva nas estações pluviométricas	Volumes de chuva (mm)	2.336,22	2.301,01	1.990,64
Tempo para ocorrência de inundações	Média de tempo	≅ 30 min	X	≅ 1h30min
Mínimo de chuva para inundações	Volume de chuva (mm)	21,00	X	58,50
Características para ocorrência das inundações		Alta	Baixa	Muito Baixa

Fonte: Autora.

As características encontradas permitiu identificar quais das três bacias estudadas, há maior vulnerabilidade a ocorrências de inundações. Como pode ser observado da síntese dos resultados, a bacia do rio Quitandinha tem “Alta” predisposição às inundações do que as demais bacias pois, apresenta um solo mais impermeável, com as classes solo exposto, rocha, pedreira e urbano (áreas não vegetadas) expressando maior área do que as classes gramínea e Vegetação densa (áreas vegetadas).

Outra particularidade encontrada nos resultados é referente ao parâmetro morfométrico IED, o qual apresentou valores “muito baixos”, condicionando a um escoamento subsuperficial e superficial muito lento, indicando que a bacia tem maior probabilidade de retenção de água e por esse motivo apresenta maior frequência nos eventos de inundação.

Dunne e Leopold (1978) salientam que com a intensificação da urbanização, há incremento da impermeabilização do solo. Dessa maneira, a água da chuva percola menos no solo e, conseqüentemente, escoar com maior rapidez para os rios. Esse cenário agrava consideravelmente os eventos de inundação.

## 7. CONCLUSÕES

No decorrer desta pesquisa, buscou a caracterização ambiental das bacias do Alto Curso do rio Piabanha, localizada no primeiro Distrito do município de Petrópolis - RJ e que foi a base do planejamento urbano do município, para compreender os processos de inundação que ocorrem na cidade.

A verificação dos resultados indicou que as inundações na bacia do rio Quitandinha podem ter a ver com a impermeabilização do solo, visto que o Índice de Eficiência de Drenagem (IED) apresentou maiores porcentagens na classe “Muito baixo”, indicando que a água fica retida no sistema por muito mais tempo. As demais bacias apresentaram resultado de IED “Baixo”, entretanto possuem área mais vegetada do que urbanizada.

Com isso, pode-se deduzir que Koeler quando projetou a cidade, pensou em como poderia minimizar os efeitos das inundações entre outros desastres, mas que por ora não é objeto deste estudo. Ele canalizou os rios principais, sobretudo na confluência dos rios, lugar conhecido hoje como Centro Histórico da cidade; projetou arborização de ruas, praças e caminhos. Koeler tinha em mente que a impermeabilização do solo prejudicaria o processo de infiltração da água da chuva e conseqüentemente, aumentaria a permanência dessas águas nas bacias.

Duas dificuldades foram encontradas, a primeira diz respeito a série temporal entre os dois órgãos, a rede de monitoramento do INEA começou em 2011 e a do CEMADEN em 2013 e a segunda dificuldade foi em relação a consistência dos dados, houve muitas falhas na série temporal, tanto da coleta da precipitação quanto do nível do rio e isso impediu que uma melhor análise dos eventos de inundação fosse aplicada. Contudo, tentou-se ao máximo extrair as informações necessárias para dar continuidade à pesquisa.

Pretende-se, futuramente, estimar a precipitação, a partir de imagens de sensoriamento remoto, dos momentos em que houve falhas nos dados e comparar a série temporal conhecida por meio de cálculos estatísticos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, R. V. J. *et al.* **Comparação dos Métodos de Correção Atmosférica: "6S" e "DOS" processadas em dados do sensor TM/Landsat 5 e correspondentes a região de ocorrência da turfeira P-d-F.** Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE
- ALPERS, S. **The Art of Describing: Dutch Art in the Seventeenth Century**, University of Chicago Press, Chicago. 1983.
- AMBROZIO, J. **Petrópolis: O presente e o passado no espaço urbano: Uma história Territorial.** 1º ed. – Rio de Janeiro: Escrita Fina, 2013. 303p.
- ANA – **Agência Nacional de Águas.** Disponível em: <http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/as-12-regioes-hidrograficas-brasileiras/atlantico-sudeste>. Acesso em: fev. /2019.
- ANTUNES, M. A. H.; DEBIASI, P.; SIQUEIRA, J. C. DOS S. **Avaliação Espectral e Geométrica das Imagens RapidEye e seu Potencial para o Monitoramento e Mapeamento Agrícola e Ambiental.** Revista Brasileira de Cartografia, v. 66, n. 1, 11. 2014.
- ASSUMPCÃO, R.S.F.V. **Petrópolis: um histórico de desastres sem solução? Do Plano Koeler ao Programa Cidades Resilientes.** 2015. 246 f. Tese (Doutorado em Saúde Pública) - Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2015.
- BARROS, R. S. **Avaliação da Altimetria de Modelos Digitais de Elevação Obtidos a Partir de Sensores Orbitais.** Rio de Janeiro, 2006. 215 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.
- BATISTA *et al.*, **Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Ribeirão Santo Antônio – GO.** Revista Eletrônica do Curso de Geografia - UFG/ REJ. Jatai-GO, n29. 2017.
- BEDIAGA, Begonha (Org.). **"Diário do Imperador D. Pedro II (1840-1891)".** Petrópolis: Museu Imperial, 1999. Disponível em: <https://museuimperial.museus.gov.br/diarios/>. Acesso em 2021.
- BERNARDES, L.M.C. **Tipos de clima do estado do Rio de Janeiro.** Revista Brasileira de Geografia, v.14, n.1, p.57-80, 1952.
- BERTRAND, G. **Paisagem e geografia física global- esboço metodológico.** Caderno de Ciências da Terra – Instituto de Geografia – USP, n. 13, 1972. 1-27p.
- CARDOSO, R. S. C. P. **Análise espacial da incidência de Dengue e Chikungunya no município de Niterói/RJ.** Rio de Janeiro, 2018. Dissertação (Mestre em Geografia) –

Departamento de Geografia, Instituto de Geociências, Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

CARVALHO.H.W. **Elementos para a História da Colonização Petropolitana**. Câmara Municipal de Petrópolis. 1999. Disponível em: <http://ihp.org.br/?p=1751>. Acesso em 2021.

CASTRO, A. L. C. **Glossário de Defesa Civil: estudos de riscos e medicina de desastres**. Brasília: MPO, 2012. 191p. Disponível em: <https://www.bombeiros.go.gov.br/wp-content/uploads/2012/06/16-Glossario-de-Defesa-Civil-Estudo-de-Risco-e-Medicina-de-Desastres.pdf>. Acesso em: 2021.

CAVALCANTI, I.F.A et al. (orgs). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo, Oficina de texto, 2009. 464p.

CEMADEN. **Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais**.

Disponível em: <https://www.cemaden.gov.br/inundacao/>. Acesso em: março/2019.

CHENG.P, SUSTERA. J. **Using RapidEye Data without Ground Control. Automated High-Speed High-Accuracy**. Geoinformatics. 2009. Disponível em:

[http://www.gisat.cz/images/upload/69ba4\\_geoinformatics-rapideye.pdf](http://www.gisat.cz/images/upload/69ba4_geoinformatics-rapideye.pdf). Acesso em 2020.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. 1º ed. – São Paulo: Edgard Blucher, 1999. 234p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise morfométrica de bacia hidrográficas**. Notícia Geomorfológica, v. 18, n. 9, p. 35-64. 1969.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. Notícia Geomorfológica, v. 18, n. 9, p. 35-64. 1980.

COELHO NETTO, A.L.; AVELAR, A.S.; FERNANDES, M.C. & LACERDA, W.A. **Landslide Susceptibility in a Mountainous Geocosystem, Tijuca Massif, Rio de Janeiro: The Role of Morphometric Subdivision of the Terrain**. Geomorphology. Amsterdam, 2007. 87(3): 120-131

COR, **Centro de Operações Prefeitura do Rio**. Disponível em: <http://cor.rio/>. Acesso em 2020.

CORRÊA, R; ROSENDHAL, Z. **Paisagem, Tempo e Cultura**. Rio de Janeiro. EdUERJ, 1998. 124p.

CRUZ, C. B. M.; VICENS, R. S.; SEABRA, V. S.; REIS, R. B; FABER, O. A.; RICHTER, M.; ARNAUT, P. K. E. & ARAÚJO, M. **Classificação Orientada A Objetos No Mapeamento Dos Remanescentes Da Cobertura Vegetal Do Bioma Mata Atlântica, Na Escala 1:250.000**. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, 2007a. INPE, p. 5691-5698. 2007a.

DUNNE, T.; LEOPOLD, L.B. **Water in Environmental Planning**. W. H. Freeman; First edição. 1978, 818 p.

EPPINGHAUS, G. P. **Em defesa de Petrópolis**. Instituto Histórico de Petrópolis (IHP), 2011. Disponível em: [http://ihp.org.br/26072015/lib\\_ihp/docs/gpe19780316.htm](http://ihp.org.br/26072015/lib_ihp/docs/gpe19780316.htm). Acesso em 2016.

FELGUEIRAS, C.A. **Desenvolvimento de um sistema de modelagem digital de terreno para microcomputadores**. Dissertação de Mestrado em Computação Aplicada - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1987. 92 p

FELGUEIRAS, C; CÂMARA, G. **Modelagem Numérica de Terreno**. In:\_\_\_\_\_. (org.). **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campo, 2001. 345 p.

FELIX, A. M. Kazmierczak, M. L; Espíndola, G. M. **RapidEye: a nova geração de satélites de Observação da Terra**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14, Natal. 2009. Anais... São José dos Campos: INPE, 2009. p 7619-7622.

FERNANDES *et al.*, **Flood dynamics: A geocological approach using historical cartography and giscience in the city of petrópolis (Brazil)**. European Journal of Geography (EJG). Volume 11, Issue 1, pp. 073 – 092. 2020. Disponível em: [http://www.eurogeographyjournal.eu/articles/05\\_FERNANDES\\_073\\_092.pdf](http://www.eurogeographyjournal.eu/articles/05_FERNANDES_073_092.pdf). Acesso em 2021.

FERNANDES, M. C. **Discussões Conceituais e Metodológicas do Uso de Geoprocessamento em Análises Geoecológicas**. In: BICALHO, A. M. S. M., GOMES, P.C. (Org.). **Questões Metodológicas e Novas Temáticas na Pesquisa Geográfica**. Rio de Janeiro: Publit, 2009.

FERNANDES, M.C *et al.* **Comportamento de análise em superfície planimétrica e modelada frente a representações cartográficas e índices geomorfológicos da Bacia do rio Cuiabá – Petrópolis (RJ)**. Revista Brasileira de Geomorfologia, v.18, n°4, 2017. 737-753p.

FERNANDES, M.C. **Desenvolvimento de rotina de obtenção de observações em superfície real uma aplicação em análises geoecológicas. Tese (Doutorado PPGG-UFRJ)** Rio de Janeiro, março de 2004. 252p.

FERNANDES, M.C. **Discussões conceituais e metodológicas do uso de geoprocessamento em análise geoecológica. Questões Metodológicas e Novas temáticas na Pesquisa Geográfica** / Ana Maria S.M. Bicalho, Paulo Cesar da Costa Gomes (organizadores). 1° ed. – Rio de Janeiro: Publit, 2009. 267-282p.

- FERNANDES, N.F e AMARAL, C.P. **Movimento de Massa: Uma Abordagem Geológica-Geomorfológica. In: Geomorfologia e Meio ambiente.** A.J.T. Guerra e S.B. Cunha (orgs.). Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 3° ed, 2000. 342p.
- FIGUEIRO, G.C; VIEIRA, C.A.O. **Estudo do comportamento dos índices de Exatidão Global, Kappa e Tau, comumente usados para avaliar a classificação de imagens do sensoriamento remoto.** Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 5755-5762.
- FONSECA, L. M. G. **Processamento digital de imagens.** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2000.105p.
- FRÓES. C.O. **Detalhes interessantes sobre o plano de Koeler.** Instituto Histórico de Petrópolis. 2002. Disponível em: <http://ihp.org.br/?p=2739>. Acesso em 2021.
- GARDIMAN JUNIOR, B.S et. al. **Análise de técnicas de interpolação para espacialização da precipitação pluvial na bacia do rio Itapemirim (ES).** *Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais* V. 8 N. 1 jan./ abr. 2012.
- GOMES, P. C. C. **Quadros Geográficos, Uma forma de ver, uma forma de pensar.** Bertrand Brasil, Rio de Janeiro. 2017
- GUERRA, A.J.T *et al.* **Características Geográficas e Geomorfológicas da APA Petrópolis, RJ.** *Revista Brasileira de Geomorfologia* – ano 8, n° 1, 2007.
- GUERRA, A.J.T. **Evolução histórico geográfica da ocupação desordenada e movimentos de massa no município de Petrópolis, nas últimas décadas.** *Revista Brasileira de Geomorfologia* - Ano 8, no 1 (2007).
- GUERRA, A.J.T; CUNHA, S.B.: **Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos.** Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 12° ed, 2013. 472p.
- GUERRA, A.J.T; MARÇAL, M.S. **GEOMORFOLOGIA AMBIENTAL.** São Paulo. Bertrand Brasil, 7° ed,2015. 190p.
- HORTON, R. E. **Drainage basin characteristics.** *American Geophysical Union*, v.13, n.1, p.350-361, 1932.
- HORTON, R.E. **Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative geomorphology.** *Geological Society American Bulletin*, 56(3):275-370. 1945.
- HUGGETT, R.J. **Geocology: An Evolutionary Approach.** 1st ed. London and New York: ROUTLEDGE, 1995. 320p.

IBGE- **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em:

<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=330390&search=rio-de-janeiro|petropolis>. Acesso: 2016.

INEA. **Instituto Estadual do Ambiente**. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/>. Acesso em: maio/2018.

INPE. **Instituto de Pesquisas Espaciais**. Disponível em:

<http://www.dgi.inpe.br/documentacao/satelites/rapideye>. Acesso em 2020.

INPE. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**. Disponível em:

<http://www.dgi.inpe.br/documentacao/satelites/rapideye>. Acesso em 2020.

LAETA, T.; FERNANDES, M.C. **Cartografia Histórica de Petrópolis (RJ):**

**Levantamento dos Documentos Cartográficos no período de 1846 a 1861**. VI Simpósio Luso-Brasileiro de Cartografia Histórica. Braga, Portugal – 2015.

LANDIS, J.R. e KOCH, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, v.33, n.1,p. 159-174, 1977.

LIMA, P.H.M. **O índice de eficiência de drenagem como subsídio à análise espacial de áreas suscetíveis à ocorrência de movimentos de massa**. Dissertação de Mestrado.

Programa de Pós-Graduação em Geografia/UFRJ, 140 p, 2015.

LOPES, M.T et al. **Impactos Sócio-Ambientais Em Edificações Populares Em App No Bairro Quitandinha – Petrópolis – RJ**. X SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 2003.

LORDEIRO. M.S. **Atualidade do Plano Urbanístico de Koeler**. Instituto Histórico de Petrópolis - IHP. 2000. Disponível em: <http://ihp.org.br/?p=1839>. Acesso em 2021.

MARCELINO, E. V. 2008. **Desastres Naturais e Geotecnologias: Conceitos Básicos**. Caderno Didático no 1. INPE/CRS, Santa Maria, 2008. 38p.

MARTINELLI, M. **Mapas da Geografia e cartografia temática**. São Paulo: Contexto, 2003.

MEIS, M. R. M; MIRANDA, L. G. H.; FERNANDES, N.F. **Desnívelamento de altitude como parâmetro para a compartimentação do relevo: bacia do Médio Vale do rio Paraíba do Sul**. Anais do XXXII Congresso Brasileiro de Geologia. Salvador 4: 1489-1509. 1982.

MENDONÇA, F.; OLIVEIRA, I. M. D. **Climatologia; noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 208p.

MENESES, P.R; ALMEIDA, T. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Brasília, 2012. 266 p.

- MENEZES, L.S. GeoPlu. Version 1.0. 2020. Disponível em: <https://github.com/Lucas-Me/GePlu>. Acesso em 2020.
- MENEZES, P.M.L. e FERNANDES, M.C. Roteiro de Cartografia. São Paulo: Oficina de Textos, reimpressão, 2018. 288p.
- MMA, **Ministério do Meio Ambiente**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/biomas/mata-atlantica> . Acesso: 2016.
- MONTEZ, B.E *et al.*, **Natural Hazards Explanation And Integration**. 2° Edition. New York and London, 2017. 445 p.
- MOREIRA, M.A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. São José dos Campos : Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE.), 2003.
- NEVES, F.M.B.; ZANATTA, E.M. **Traços de Koeler. A origem de Petrópolis a partir da Planta de 1846**. 1° Ed. - Gráfica Bordout, 2017. 235p.
- NIMER, E. **Climatologia do Brasil. Recursos naturais e meio ambiente**; n4. Rio de Janeiro – IBGE:1979. 419p.
- NOVO. E.M.L.M. **Sensoriamento Remoto. Princípios e Aplicações**. 4ª Edição. Oficina de Texto. 2013. 388p.
- PEDROSO. M.M.M. **Petrópolis: De fazenda a núcleo urbano a cidade Imperial em sua formação**. Instituto Histórico de Petrópolis - IHP. 2007.
- PLÁCIDO, D.T; CUNHA, S.B. **Enchentes na bacia do rio Quitandinha (Petrópolis, RJ:1966 a 2010)**. VIII simpósio nacional de geomorfologia. III Encontro Latino Americano de Geomorfologia em 2010.
- PNDC. **Plano Nacional de Defesa Civil**. Ministério da Integração Nacional Secretaria Nacional de Defesa Civil. Brasília, 2007.
- RABAÇO, H.J. **História de Petrópolis. Petrópolis**: Instituto Histórico de Petrópolis (IHP), 1985.
- RapidEye. **Satellite Imagery Product Specifications**. Version 4.1 September, 2012. Acesso em 2020.
- RODRIGUES *et al.*, **Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Igarapé da Prata, Capitão Poço, Paraná, Brasil**. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável. V11, n°3, p. 143-150. 2016
- SÁ EARP, A.L. **As oito praças desaparecidas**. Instituto Histórico de Petrópolis (IHP), 2000. Disponível em: [http://www.ihp.org.br/26072015/lib\\_ihp/docs/alse20000619.htm](http://www.ihp.org.br/26072015/lib_ihp/docs/alse20000619.htm). Acesso em 2016.

- SÁ EARP, A.L. **As Oito praças Desaparecidas**. Tribuna de Petrópolis Especial Dia do Colono:2000. Disponível em: <http://ihp.org.br/?p=1598>. Acesso em 2021.
- SÁ EARP, A.L. Os quarteirões. Revista de Petrópolis, Ano I, n.º 3, Setembro de 1996. Disponível em: [http://www.ihp.org.br/lib\\_ihp/docs/alse19941025.htm](http://www.ihp.org.br/lib_ihp/docs/alse19941025.htm). Acesso em 2021.
- SANTOS, D.F; LAETA, T; FERNANDES, M.C; SOUSA, G.M. **Manutenção da planta Koeler para digitalização através de levantamento fotográfico**. Revista Brasileira de Geomática. Curitiba, v.5, n.2. abr/jun. 2017.277-290p.
- SANTOS, K.S; ANTUNES, F. de S; FERNANDES, M.C. **Os rio, a Cidade e o Mapa como Objeto de Análise da Dinâmica da Paisagem**. Mercator, Fortaleza, v.19 , e18021, 2019.
- SANTOS, T. C. C. DOS; ANTUNES, M. A. H.; SEOANE, J. C. S. SOUSA, G. M. DE. **Comparação de Modelos de Correção Atmosférica para Imagem WorldView-2**. Revista Brasileira de Cartografia, v. 69, n. 2, 10 fev. 2017.
- SAUER, C.O. **The Morphology of Landscape**. 1st ed. California: University of California Press, 1925. 53p.3
- SCHIER, A. R. **Trajетórias do Conceito de Paisagem na Geografia**. R. RA'E GA, Curitiba, n. 7, p. 79-85, 2003. Editora UFPR. Acesso em 2021.
- SILVA, L. R.; SANO, E. E. **Análise das Imagens do Satélite RapidEye para Discriminação da Cobertura Vegetal do Bioma Cerrado**. Revista Brasileira de Cartografia, v. 68, n. 7, 13 ago. 2016.
- STRAHLER, A.N. **Dynamic basis of geomorphology**. Geological Society American Bulletin, 63: 923 -938. 1952.
- STRAHLER, A.N. **Geografia Física**. Barcelona, Omega, 7º ed; 1984. 767p.
- TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. DO (orgs.). **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. 192p.
- TUCCI, C. E. M; BERTONI, J.C. **Inundações Urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.VIANA NEVES, L. **Estudo Geoecológico de Deslizamentos e Inundações em Petrópolis (RJ): Reflexões sobre o Paradoxo do Primeiro Distrito**. Dissertação (Mestrado PPGG-UFRJ) Rio de Janeiro, 2017. 159p.
- VILLELA, S.M; MATTO, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: MacGraw-Hill do Brasil. 1975, 245p.
- VITTE, A.C. **O Desenvolvimento do Conceito de Paisagem e a sua Inserção na Geografia Física**. Mercator - Revista de Geografia da UFC, ano 06, número 11, 2007

XAVIER, J. **Geomorfologia, Análise Ambiental e Geoprocessamento**. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 1, n°4. 2000. 48-58p.

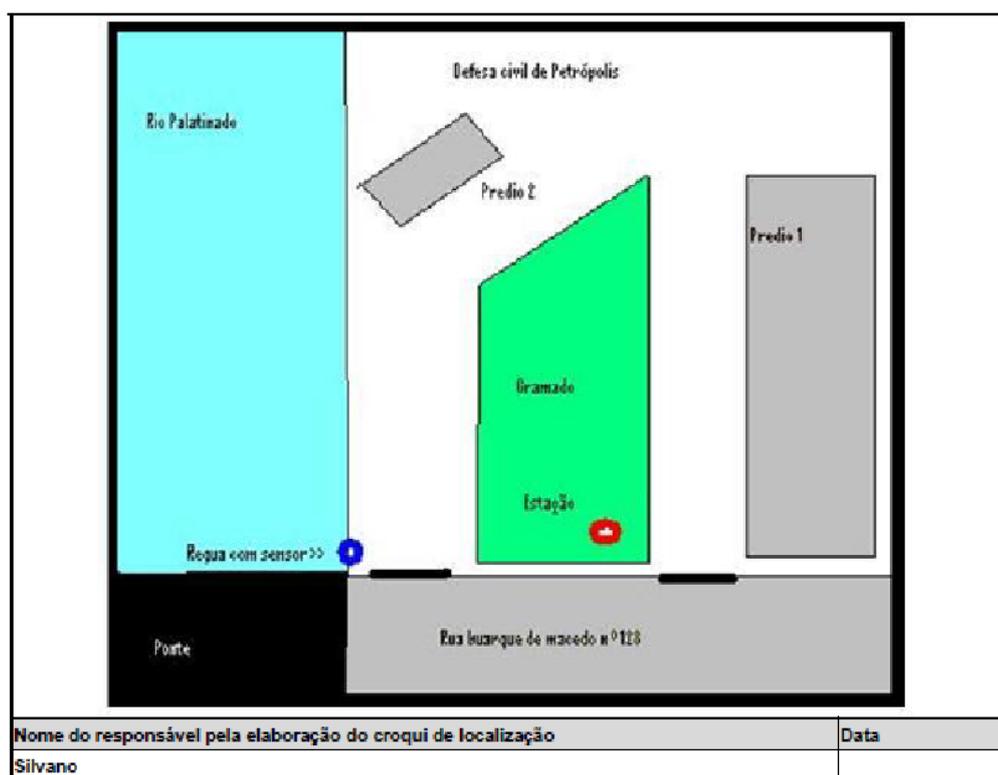
## ANEXOS

## Anexo I – Fichas descritivas das estações pluviométrica da Estação Alto da Serra – INEA.

FICHA DESCRITIVA DE ESTAÇÃO HIDROMETEOROLÓGICA							
 <b>inea</b> Instituto estadual de ambiente	Nome da Estação		Município		U.F.	Roteiro	
	Alto da Serra		Petrópolis		RJ	3	
	Entidade Operadora		Tipo de Estação		Código ANA		
INEA		PFT		2249315 / 58400040			
Curso d'água			Região Hidrográfica		Área de Drenagem		
Rio Palatinado			Piabanha				
REFERÊNCIA CARTOGRÁFICA DA ESTAÇÃO HIDROMETEOROLÓGICA							
Carta	Folha	Escala	Ano	Latitude	Longitude	DATUM	Altitude
				22,513833°S	43,172917°W		
DESCRIÇÃO DOS TIPOS DE MONITORAMENTO							
Item	Tipo de Monitoramento	Data da Instalação	Sigla da Entidade	Data de Desativação	Método de Obtenção	Forma de Transmissão	
1	Fluviométrico	14/11/2011	INFOPER		Telemetria	GSM/GPRS	
1	Pluviométrico	08/10/2011	INFOPER		Telemetria	GSM/GPRS	
EQUIPAMENTOS INSTALADOS							
Equipamento	Serie	Marca	Modelo	Autonomia	Recebido em	Desativado em	
Gabinete inox					09/06/2015		
Datalogger	2624	Campbell	CR300				
Regulador de Tensão	3521	Campbell	CH100				
Modem	724206588	Raven	E3214-C				
Pluviômetro	22098	Hidrological service	TB40.01				
Limímetro	514481	Sitron	LH840				
Pannel Solar	C10310066122268	BP Solar	5X20U				
CHIP	VIVO						
LOCALIZAÇÃO							
Nova sede da Defesa Civil de Petrópolis							
							
ACESSIBILIDADE							
Do centro de Petrópolis entrar sentido morim até o cruzamento com a rua Nelson Saerp, retornar a direita sentido centro, aproximadamente 800m até o início da rua Buarque de Macedo, nº128. A estação está localizada na nova Sede da Defesa Civil.							

INFRA-ESTRUTURA EXISTENTE				
Poste galvanizado com PCD.				
POTAMOGRAFIA				
DADOS CADASTRAIS DO OBSERVADOR OU ZELADOR				
Nome: Defesa Civil de Petrópolis		CPF:	INSS:	Gratificação (R\$):
PIS/PASEP:		RG:	Órgão Exp.:	Banco:
Instrução:		Profissão:		Agência:
Endereço:			C. Bancária:	
Bairro:		CEP:	Cidade:	UF:
Telefones p/ Contato:		( )	Distância da residência à Estação:	
SEÇÃO DE RÉGUAS <small>(SE HOUVER)</small>				
Número de Lances		Descrição dos lances		
1		Lance único de 0 à 5 m		
Margem	Amplitude (m)	Altitude do Zero da Régua com relação ao nível do mar (m)	Lances instalados	
Direita	-	-	1	
REFERÊNCIAS DE NÍVEL:				
RN	Cota (mm)	Altitude dos RN's com relação ao nível do mar (m)	Estabilidade	Descrição dos RN's
RN1	4377			
RN2	4300			
COTA DE TRANSBORDAMENTO (SEÇÃO DE RÉGUAS) (m)				
MARGEM (ESQUERDA OU DIREITA)			COTA (m)	
Direita			4,20	
SEÇÃO DE MEDIÇÃO				
Distância da Seção de Réguas (m)		Localização		Tipo de Travessia
-		-		
Distância P/PP (m)	Natureza do Leito		Processos de Medição	
NATUREZA E INCLINAÇÃO DAS MARGENS (SEÇÃO DE MEDIÇÃO)				
MARGEM	NATUREZA		VEGETAÇÃO	INCLINAÇÃO
	-			-
TIPO DE CONTROLE			DISTÂNCIA DA SEÇÃO DE RÉGUAS (m)	
-				

**CROQUI DA ESTAÇÃO**



## FOTO DA ESTAÇÃO



Legenda: Gabinete.



Legenda: Gabinete.



Legenda: Vista do rio a jusante da estação.



Legenda: Vista do rio a montante da estação.



Legenda: Régua e tubo para passagem do sensor de nível, e localização do PF.



Legenda: Régua e tubo para passagem do sensor de nível

OBSERVAÇÕES:	
Nome do responsável que fotografou a estação	Data
Silvano	08/03/2016

HISTÓRICO
OBSERVAÇÕES: Era patrimônio LNCC; recebeu limnómetro em 2011; Foi realocada em 2013 para dentro do terreno da Defesa Civil de Petrópolis. Antes ficava na residência de um morador. Cetrel assumiu a operação e manutenção em maio de 2015. Fotos e equipamentos atualizados em 06/05/2016. Atualizada pela Ayssa Soares em 20/04/2017.

## Anexo II – Fichas descritivas das estações pluvio fluviométrica da Estação Bingen – INEA.

FICHA DESCRITIVA DE ESTAÇÃO HIDROMETEOROLÓGICA							
 <b>inea</b> Instituto Nacional do Ambiente	Nome da Estação		Município		U.F.	Roteiro	
	Bingen		Petrópolis		RJ	3	
	Entidade Operadora		Tipo de Estação		Código ANA		
INEA		PF		2243316 / 58400005			
Curso d'água			Região Hidrográfica		Área de Drenagem		
Rio Piabanha			Piabanha		11,58 km <sup>2</sup>		
REFERÊNCIA CARTOGRÁFICA DA ESTAÇÃO HIDROMETEOROLÓGICA							
Carta	Folha	Escala	Ano	Latitude	Longitude	DATUM	Altitude
				22°30'33.40"S	43°11'44.50"O	SAD-69	819 m
DESCRIÇÃO DOS TIPOS DE MONITORAMENTO							
Item	Tipo de Monitoramento	Data da Instalação	Sigla da Entidade	Data de Desativação	Método de Obtenção	Forma de Transmissão	
1	Fluviométrico	25/10/2011	INFOPER		Telemetria	GSM/GPRS	
2	Pluviométrico	01/10/2011	INFOPER		Telemetria	GSM/GPRS	
EQUIPAMENTOS INSTALADOS							
Equipamento	Marca	Modelo	Serie	Recebido em	Desativado em		
Modem	ABSOLUT	AM3000/EGS5		07/03/2016			
Operadora	VIVO	PRE-PAGO					
Gabinete							
Bateria							
Painel Solar	BPSOLAR	SX20U					
Controlador de carga	CAMPBELL	CH100			12.02.16		
Límnimetro							
Pluviômetro	HIDROLOGICAL SERVICE	TB4/0.01					
LOCALIZAÇÃO							
Avenida principal do Bingen.							
							

ACESSIBILIDADE				
Em frente a EMOP e a secretaria de serviços públicos.				
INFRAESTRUTURA EXISTENTE				
Poste com PCD.				
POTAMOGRAFIA				
O rio Piabanha nasce na Serra dos Órgãos, no município de Petrópolis e deságua no rio Paraíba do Sul em Três Rios depois de um percurso de oitenta quilômetros. Seu principal afluente é o Rio Preto.				
DADOS CADASTRAIS DO OBSERVADOR OU ZELADOR				
Nome:		CPF:	INSS:	Gratificação (R\$):
PIS/PASEP:		RG:	Órgão Exp.:	Banco:
Instrução:		Profissão:		Agência:
Endereço:			C. Bancária:	
Bairro:		CEP:	Cidade:	UF:
Telefones p/ Contato:		( )	Distância da residência à Estação:	
SEÇÃO DE RÉGUAS (SE HOUVER)				
Número de Lances		Descrição dos lances		
1		Um lance de 5 m.		
Margem	Amplitude (m)	Altitude do Zero da Régua com relação	Lances instalados	
			0/5	
REFERÊNCIAS DE NÍVEL:				
RN	Cota (mm)	Altitude dos RN's com relação ao nível do mar (m)	Estabilidade	Descrição dos RN's
RN1	3946			
RN2	4236			
COTA DE TRANSBORDAMENTO (SEÇÃO DE RÉGUAS) (m)				
MARGEM (ESQUERDA OU DIREITA)			COTA (m)	
Direita			3,35	
SEÇÃO DE MEDIÇÃO				
Distância da Seção de Réguas (m)		Localização		Tipo de Travessia
-		-		
Distância PI/PF (m)	Natureza do Leito		Processos de Medição	
NATUREZA E INCLINAÇÃO DAS MARGENS (SEÇÃO DE MEDIÇÃO)				
MARGEM	NATUREZA	VEGETAÇÃO	INCLINAÇÃO	
	Paredão de pedras(gabião) com fundo do rio areia e pedras.			
CONTROLE (SEÇÃO DE RÉGUAS - JUSANTE)				
TIPO DE CONTROLE			DISTANCIA DA SEÇÃO DE RÉGUAS (m)	
-				
CROQUI DA ESTAÇÃO				

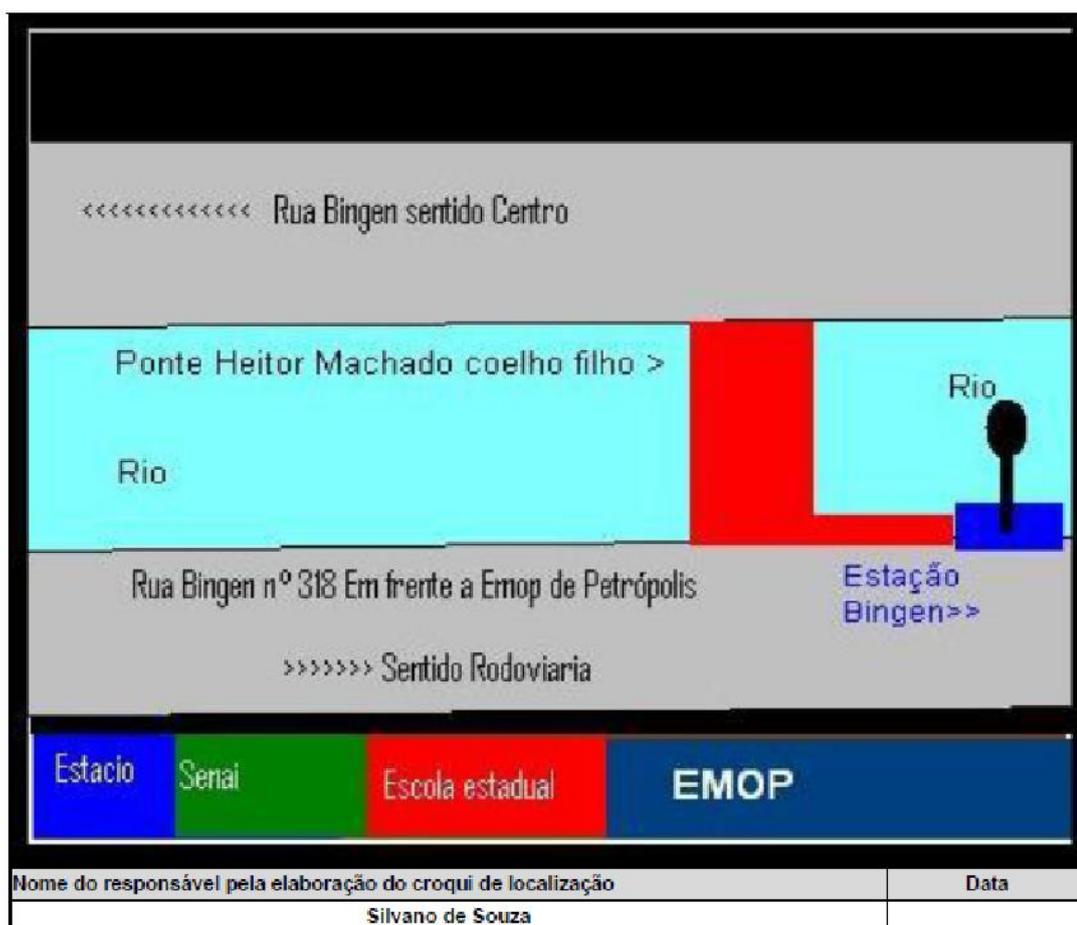


FOTO DA ESTAÇÃO	
	
Modem	Estação
	
Estação	Régua
OBSERVAÇÕES:	
Nome do responsável que fotografou a estação	Data
Silvano de Souza	
<b>HISTÓRICO</b>	
OBSERVAÇÕES: Era patrimônio LNCC. INFOPER instalou régua e telemetrizou em 2011. Em frente ao prédio da EMOP. Sensor limnométrico retirado (12.02.16), pois estava inoperante. PI e PF não foram localizados. Atualizada pela CETREL em 29/05/2016. Atualizada pela Ayssa Soares em 20/04/2017.	

### Anexo III– Fichas descritivas das estações pluvio fluviométrica da Estação Cel. Veiga – INEA.

FICHA DESCRITIVA DE ESTAÇÃO HIDROMETEOROLÓGICA							
	Nome da Estação		Município		U.F.	Roteiro	
	Cel. Veiga		Petrópolis		RJ	3	
	Entidade Operadora		Tipo de Estação		Código ANA		
INEA		PF		2243317 / 58400015			
Curso d'água			Região Hidrográfica		Área de Drenagem		
Rio Quitandinha			Piabanha				
REFERÊNCIA CARTOGRÁFICA DA ESTAÇÃO HIDROMETEOROLÓGICA							
Carta	Folha	Escala	Ano	Latitude	Longitude	DATUM	Altitude
				22°31'34.70"S	43°11'37.60"O		
DESCRIÇÃO DOS TIPOS DE MONITORAMENTO							
Item	Tipo de Monitoramento	Data da Instalação	Sigla da Entidade	Data de Desativação	Método de Obtenção	Forma de Transmissão	
1	Fluviométrico	25/10/2011	INFOPER		Telemetria	GSM/GPRS	
2	Pluviométrico	25/10/2011	INFOPER		Telemetria	GSM/GPRS	
EQUIPAMENTOS INSTALADOS							
Equipamento		Marca	Modelo	Autonomia	Ativado em	Desativado em	
Gabinete					09/06/2015		
Painel Solar		BP SOLAR					
Regulador de tensão		CAMPBELL	CH100				
Bateria							
Pluviômetro		HIDROLOGICA	TB4/0.01				
Modem		Raven	E3214C				
Datalogger		Campbell	CR800				
Operadora		VIVO	PRÉ-PAGO				
Limnômetro		SITRON	LH840	514480			
LOCALIZAÇÃO							
Rua Coronel Veiga.							
							

ACESSIBILIDADE				
No pátio da Ford.				
INFRA-ESTRUTURA EXISTENTE				
Poste com PCD.				
POTAMOGRAFIA				
DADOS CADASTRAIS DO OBSERVADOR OU ZELADOR				
Nome: Não possui		CPF:	INSS:	Gratificação (R\$):
PIS/PASEP:		RG:	Órgão Exp.:	Banco:
Instrução:		Profissão:		Agência:
Endereço:			C. Bancária:	
Bairro:		CEP:	Cidade:	UF:
Telefones p/ Contato:		( )	Distância da residência à Estação:	
SEÇÃO DE RÉGUAS (SE HOUVER)				
Número de Lances		Descrição dos lances		
1		Um lance de 4 metros.		
Margem	Amplitude (m)	Altitude do Zero da Régua com relação	Lances instalados	
	4			
REFERÊNCIAS DE NÍVEL:				
RN	Cota (mm)	Altitude dos RN's com relação ao nível do mar (m)	Estabilidade	Descrição dos RN's
RN1	3766			
RN2	3730			
COTA DE TRANSBORDAMENTO (SEÇÃO DE RÉGUAS) (m)				
MARGEM (ESQUERDA OU DIREITA)			COTA (m)	
A estação margem direita, um lance único de régua na margem esquerda.			2,20	
SEÇÃO DE MEDIÇÃO				
Distância da Seção de Réguas (m)		Localização		Tipo de Travessia
-		-		
Distância P/VPF (m)		Natureza do Leito	Processos de Medição	
NATUREZA E INCLINAÇÃO DAS MARGENS (SEÇÃO DE MEDIÇÃO)				
MARGEM	NATUREZA		VEGETAÇÃO	INCLINAÇÃO
Esquerda	Paredão de pedras			
Direita	Muro de concreto o leito dor rio com areia e pedras.			
CONTROLE (SEÇÃO DE RÉGUAS - JUSANTE)				
TIPO DE CONTROLE			DISTANCIA DA SEÇÃO DE RÉGUAS (m)	
-				
CROQUI DA ESTAÇÃO				

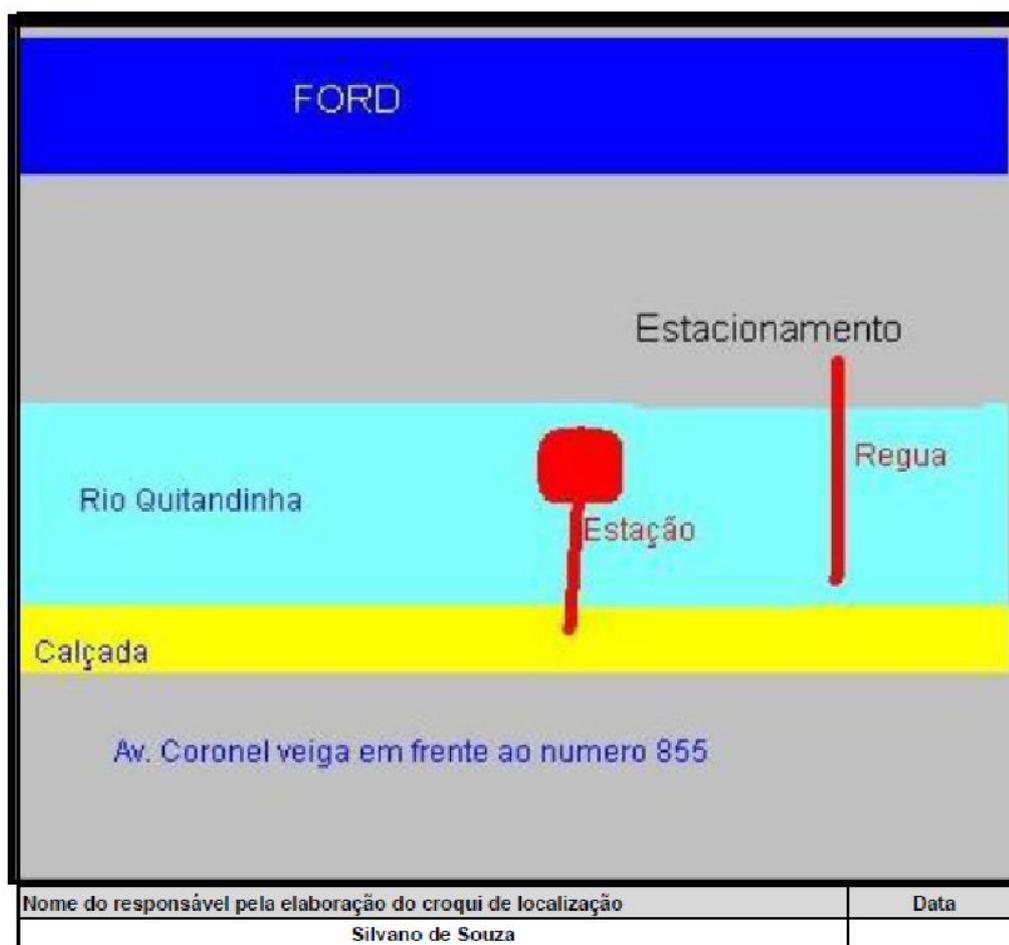


FOTO DA ESTAÇÃO	
	
Linnímetro	Régua
	
Gabinete	Estação
<b>OBSERVAÇÕES:</b>	
Nome do responsável que fotografou a estação	Data
Silvano de Souza	

**HISTÓRICO**

**OBSERVAÇÕES:** Era patrimônio LNCC. Era apenas pluviométrica. INFOPER instalou réguas em 2011. Transborda na margem direita, no lado da estrada. A margem esquerda é bem mais alta. RN's e PF são pintados na calha e na ponte onde os mesmo foram apagados durante pintura da loja de carros que se encontra atrás da estação.

A cota da estação foi alterada no dia 07/12/2015, era no valor de 1,30m e passou a ser 2,20m.

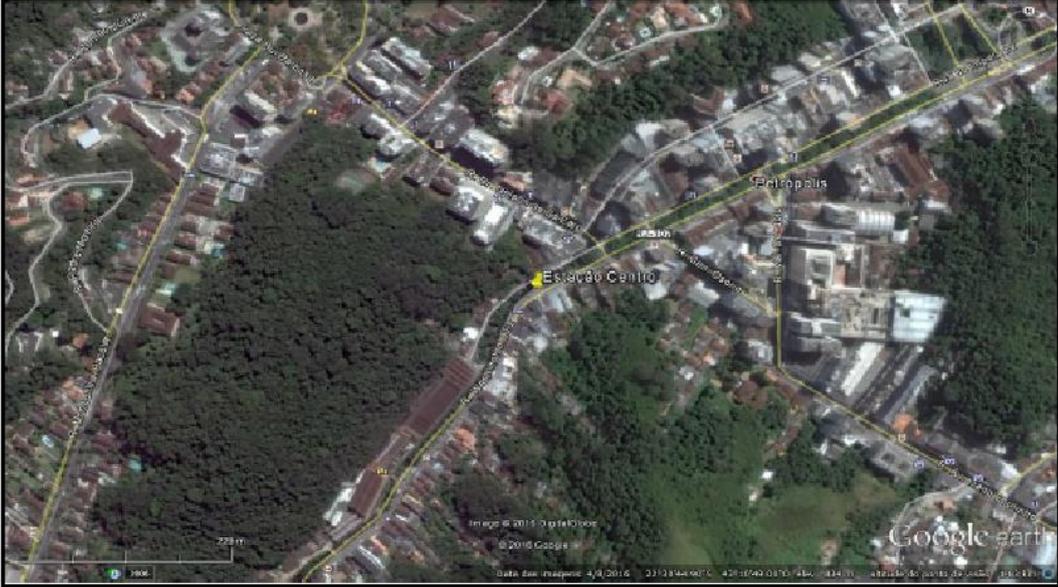
Atualizada pela CETREL em 30/05/2016.

Atualizada pela Ayssa Soares em 20/04/2017.

A cota da estação foi alterada no dia 01/03/2018, era no valor de 2,20m e passou a ser 2,30m.

Atualizada pela Tayane Palma em 06/03/2018.

**Anexo IV – Fichas descritivas das estações pluviométrica da Estação Centro - - INEA.**

FICHA DESCRITIVA DE ESTAÇÃO HIDROMETEOROLÓGICA							
 <b>inea</b> Instituto Estadual do Ambiente	Nome da Estação		Município		U.F.	Roteiro	
	Centro		Petrópolis		RJ	3	
	Entidade Operadora		Tipo de Estação		Código ANA		
	INEA		PF		2243313 / 58400025		
Curso d'água			Região Hidrográfica		Área de Drenagem		
Rio Quitandinha			Piabanha				
REFERÊNCIA CARTOGRÁFICA DA ESTAÇÃO HIDROMETEOROLÓGICA							
Carta	Folha	Escala	Ano	Latitude	Longitude	DATUM	Altitude
				22°30'44.90"S	43°10'49.00"O	SAD-69	
DESCRIÇÃO DOS TIPOS DE MONITORAMENTO							
Item	Tipo de Monitoramento	Data da Instalação	Sigla da Entidade	Data de Desativação	Método de Obtenção	Forma de Transmissão	
1	Fluviométrico	26/10/2011	INFOPER		Telemetria	GSM/GPRS	
2	Pluviométrico	01/10/2011	INFOPER		Telemetria	GSM/GPRS	
EQUIPAMENTOS INSTALADOS							
Equipamento		Marca	Modelo	Serie	Recebido em	Desativado em	
Modem		ABSOLUT	AM3000		09/06/2015		
Gabinete							
Regulador de tensão							
Bateria (12 V)							
Painel Solar		BPSOLAR	SX20U				
Operadora		VIVO	PRÉ-PAGO				
Limnômetro							
Pluviômetro							
LOCALIZAÇÃO							
Na avenida principal do centro de Petrópolis.							
							

ACESSIBILIDADE				
Do Rio de Janeiro, entrar no Quitandinha, seguir Cel. Veiga até o Centro. A Estação encontra-se no início da Av. principal da cidade. Rua Imperador.				
INFRAESTRUTURA EXISTENTE				
Poste com PCD.				
POTAMOGRAFIA				
DADOS CADASTRAIS DO OBSERVADOR OU ZELADOR				
Nome:		CPF:	INSS:	Gratificação (R\$):
PIS/PASEP:		RG:	Órgão Exp.:	Banco:
Instrução:		Profissão:		Agência:
Endereço:			C. Bancária:	
Bairro:		CEP:	Cidade:	UF:
Telefones p/ Contato:		( )	Distância da residência à Estação:	
SEÇÃO DE RÉGUAS (SE HOUVER)				
Número de Lances		Descrição dos lances		
1		Lance único de 4 metros		
Margem	Amplitude (m)	Altitude do Zero da Régua com relação	Lances instalados	
REFERÊNCIAS DE NÍVEL:				
RN	Cota (mm)	Altitude dos RN's com relação ao nível do mar (m)	Estabilidade	Descrição dos RN's
RN1	3452			
RN2	3275			
COTA DE TRANSBORDAMENTO (SEÇÃO DE RÉGUAS) (m)				
MARGEM (ESQUERDA OU DIREITA)			COTA (m)	
Direita			2,0	
SEÇÃO DE MEDIÇÃO				
Distância da Seção de Réguas (m)		Localização		Tipo de Travessia
		junto a régua		
Distância PI/PF (m)	Natureza do Leito		Processos de Medição	
NATUREZA E INCLINAÇÃO DAS MARGENS (SEÇÃO DE MEDIÇÃO)				
MARGEM	NATUREZA		VEGETAÇÃO	INCLINAÇÃO
	Paredão de pedras fundo de areia			Inclinação Alta.
CONTROLE (SEÇÃO DE RÉGUAS - JUSANTE)				
TIPO DE CONTROLE			DISTÂNCIA DA SEÇÃO DE RÉGUAS (m)	
Canal e ponte				
CROQUI DA ESTAÇÃO				

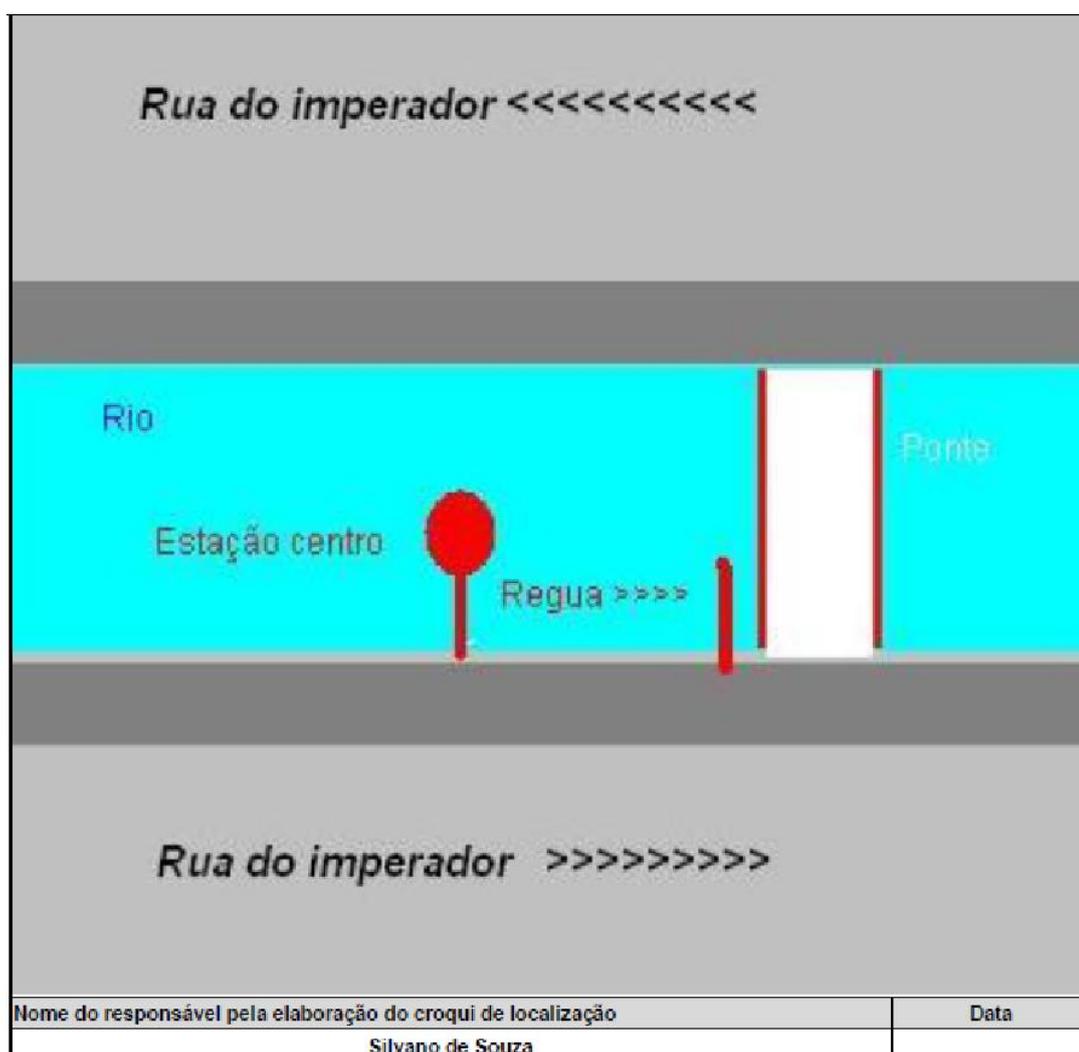


FOTO DA ESTAÇÃO	
	
Estação	Réguas
	
Gabinete por dentro	Sensor de nível
<b>OBSERVAÇÕES:</b>	
<b>Nome do responsável que fotografou a estação</b>	<b>Data</b>
Silvano de Souza	

HISTÓRICO
<p><b>OBSERVAÇÕES:</b> Modem integrado ao Datalogger. Limnmetro e pluviômetro estão enviando dados ao Datalogger. RN's e PF apagados, os mesmos eram pintados na calha do rio.</p> <p>Atualizada pela CETREL em 29/05/2016.</p> <p>Atualizada pela Ayssa Soares em 20/04/2017.</p>