

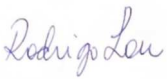
Rua Medeiros Pássaro nº 15
Muda da Tijuca Rio de Janeiro/RJ
20.530-070 - 21-2571.9505
cohidro@cohidro.com.br



ESTUDO DE ALTERNATIVAS E ELABORAÇÃO DE PROJETOS BÁSICOS E EXECUTIVOS PARA CONTROLE DE INUNDAÇÕES DO CENTRO HISTÓRICO DO MUNICÍPIO DE PETRÓPOLIS-RJ

RELATÓRIO 03 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS

REVISÃO 1 - 22/09/2022

	RELATÓRIO DE ESTUDOS HIDROLÓGICOS		Nº. DRM-BPIB-PPP-CHP-0-CHD-S-RT- 03		
	CLIENTE	INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE - INEA			FOLHA 01/157
	LOCAL	PETRÓPOLIS-RJ			
ESTUDO DE ALTERNATIVAS E ELABORAÇÃO DE PROJETOS BÁSICOS E EXECUTIVOS PARA CONTROLE DE INUNDAÇÕES DO CENTRO HISTÓRICO DO MUNICÍPIO DE PETRÓPOLIS-RJ					
ÍNDICE DE REVISÕES					
REV	DESCRIÇÃO E / OU FOLHAS REVISADAS				
0	Emissão Inicial				
1	Revisão Geral				
DESCRIÇÃO	REVISÃO 00	REVISÃO 01	REVISÃO 02	REVISÃO 03	REVISÃO 04
DATA	22/05/2022	22/09/2022			
EXECUÇÃO	COHIDRO	COHIDRO			
VERIFICAÇÃO	 Luiz Borges Costa	 Luiz Borges Costa			
APROVAÇÃO	 RODRIGO LOU	 RODRIGO LOU			

ÍNDICE

1	APRESENTAÇÃO	1
2	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DO PROJETO E DEFINIÇÃO DAS ÁREAS DE INFLUÊNCIA	2
2.1	Localização da Área do Projeto	2
2.2	Cartografia Digital Disponível	2
2.3	Áreas de Influência do Projeto	3
2.3.1	Consideração Gerais	3
2.3.2	Área de Influência Direta (AID)	4
2.3.3	Área de Influência Indireta (AII)	6
3	HISTÓRICO DE DESENVOLVIMENTO DA ÁREA DE INFLUÊNCIA DIRETA	8
4	CARACTERIZAÇÃO DAS ATIVIDADES ECONÔMICAS DA ÁREA DE INFLUÊNCIA DIRETA	12
4.1	Principais Atividades Econômicas	12
4.1.1	Aspectos Gerais	12
4.1.2	Setor de Bebidas	12
4.1.3	Setor Têxtil	13
4.1.4	Setor de Turismo	14
4.1.5	O Polo Moveleiro	15
4.1.6	Agricultura	15
4.1.7	Produto Interno Bruto por Setor	16
4.2	Índice de Gestão Fiscal	16
4.3	Trabalho e Rendimento	18
5	ESTUDOS DE POPULAÇÃO	20
6	CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA REGIONAL	30
6.1	Caracterização Climática	30
6.2	Precipitação	32
6.3	Umidade Relativa do Ar	35
6.4	Velocidade e Direção dos Ventos	36
6.5	Temperatura	37
6.6	Evapotranspiração Potencial	38
7	CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA BACIA HIDROGRÁFICA	39
7.1	Bacia do Rio Piabanha	42
7.2	Bacia do Rio Quitandinha	45
7.3	Bacia do Rio Palatinato	50

7.4	Bacia do Rio Itamarati	54
7.5	Caracterização Geológica, Geomorfológica e Pedológica	55
7.5.1	Geologia	55
7.5.2	Geomorfologia	58
7.5.3	Pedologia	63
7.6	Relevo	67
7.7	Uso e Cobertura do Solo	69
7.7.1	Aspectos Gerais	69
7.7.2	Unidades de Conservação Presentes no Município de Petrópolis	69
7.7.3	Unidades de Conservação mais Relevantes para os Estudos	72
7.7.4	O Uso do Solo na Região de Estudo	78
8	REDE DE MONITORAMENTO HIDROMÉTRICO DISPONÍVEL	83
8.1	Aspectos Gerais	83
8.2	EIBEX - Mata Atlântida Fluminense	88
8.3	Sistema de Alerta de Cheias	90
8.4	Plano de Contingência de Proteção e Defesa Civil - PLANCON	94
9	SUSCETIBILIDADE ÀS ENCHENTES	98
9.1	Histórico da Ocorrência das Enchentes	98
9.2	As Enchentes do Centro Histórico	108
9.3	Danos ao Patrimônio Histórico Causados pela Enchente de Fevereiro de 2022	117
10	COEFICIENTES HIDROLÓGICOS PARA REGIÃO DE ESTUDO	125
10.1	Cálculo do Tempo de Concentração	130
11	ESTUDOS HIDROLÓGICOS	131
11.1	Informações Hidrológicas Existentes	131
11.2	Elaboração de Curvas Intensidade-Duração-Frequência - IDF	133
11.2.1	Relação entre Chuvas de Diferentes Durações	136
11.2.2	Curvas e Equação Intensidade-Duração-Frequência	138
11.3	Cálculo das Chuvas de Projeto	140
12	CONSIDERAÇÕES FINAIS	144
13	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	146

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 10-1 - Coeficiente CN e Runoff para os Diferentes Usos Encontrados na Bacia do Alto Piabanha e Coeficientes Ponderados para a Bacia	125
Tabela 10-2 - Coeficiente CN e Runoff para os Diferentes Usos Encontrados na Sub-bacia do Alto Piabanha e Coeficientes Ponderados para a Bacia	126
Tabela 10-3 - Coeficiente CN e Runoff para os Diferentes Usos Encontrados na Bacia do Rio Palatinato e Coeficientes Ponderados para a Bacia	127
Tabela 10-4 - Coeficiente CN e Runoff para os Diferentes Usos Encontrados na Bacia do Rio Quitandinha e Coeficientes Ponderados para a Bacia.....	127
Tabela 10-5 - Coeficiente CN e Runoff para os Diferentes Usos Encontrados na Bacia do Rio Itamarati e Coeficientes Ponderados para a Bacia.....	128
Tabela 11-1 - Dados de Localização dos Postos Utilizados.....	132
Tabela 11-2 - Alturas de Chuva Máximas Diárias Anuais no Posto Petrópolis.....	133
Tabela 11-3 - Parâmetros da Distribuição de Gumbel, para a Série de Chuvas Diárias, Medidas no Posto Petrópolis	134
Tabela 11-4 - Aplicação do Método de Gumbel para Chuvas Máximas no Posto Petrópolis	135
Tabela 11-5 - Chuvas Máximas Diárias para o Posto Petrópolis - Distribuição de Gumbel	136
Tabela 11-6 - Alturas de Chuva Máximas Anuais. Posto Alto da Serra.....	136
Tabela 11-7 - Cálculo dos Coeficientes de Desagregação do Posto Alto da Serra.....	137
Tabela 11-8 - Comparação dos Coeficientes de Desagregação.....	137
Tabela 11-9 - Chuvas Máximas para o Posto Petrópolis	138
Tabela 11-10 - Intensidades Máximas para o Posto Petrópolis	139
Tabela 11-11 - Valores de Intensidade para a Distribuição Temporal das Chuvas de Projeto	143

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 - Distritos de Petrópolis-RJ.....	2
Figura 2-2 - Mapa de Acesso Rodoviário ao Município de Petrópolis-RJ	2
Figura 2-3 - Área de Influência Direta do Projeto Abrangendo as Bacias dos Rios Quitandinha e Palatinato no 1º Distrito de Petrópolis-RJ	5
Figura 2-4 - Área de Influência Indireta do Projeto Abrangendo o 1º Distrito de Petrópolis-RJ	7
Figura 3-1 - Divisões de Quarteirões do Plano Köeler, Vila Imperial de Petrópolis, 1846, com o Arruamento Atual. (Fonte: FNMA / INSTITUTO ECOTEMA, 2001).....	9
Figura 4-1 - Participação dos Setores Econômicos no PIB de Petrópolis em 2010 (Fonte IBGE)	16
Figura 4-2 - Evolução do Índice de Gestão Fiscal em Petrópolis de 2013 a 2018 (Fonte: FIRJAN).....	18
Figura 5-1 - Evolução da População de Petrópolis no Período de 1970 a 2010 (Fonte IBGE)	20
Figura 5-2 - Participação das Populações Urbanas dos Distritos na População Urbana do Município em 2010.....	22
Figura 5-3 - Densidades Habitacionais dos Distritos em Petrópolis em 2010.....	23
Figura 5-4 - Evolução da Taxa de Urbanização no Município de Petrópolis	24
Figura 5-5 - Projeções de Crescimento Populacional do PMSB	26
Figura 5-6 - Densidade Habitacional em Petrópolis-RJ-Fonte Censo IBGE-2010.....	29
Figura 6-1 - Médias de Temperatura e Precipitação em Petrópolis-RJ (Fonte: Climate-data.org, Acessado em 20 de Outubro de 2021)	32
Figura 6-2 - Ventos Que Atuam Levando a Umidade de Magé Para Petrópolis - Fonte: CANEDO (2011, s-6).....	35
Figura 6-3 - Umidade Relativa do Ar - Petrópolis - Fonte: INMET	36

Figura 7-1 - Limites da Bacia Hidrográfica do Alto Piabanha, Abrangendo as Sub-bacias dos Rios Palatinato, Quitandinha e Itamarati, com o Túnel Extravasor Marcado em Vermelho.	40
Figura 7-2 - Limites das Bacias Hidrográficas dos Rios Quitandinha, Palatinato, Itamarati e da Sub-bacia do Rio Piabanha.	41
Figura 7-3 - Rio Piabanha - 1º Distrito - Fonte: Habitat Ecológico Ltda. (2014)	43
Figura 7-4 - Diagrama Unifilar dos Afluentes do Rio Piabanha no 1º e 2º Distritos de Petrópolis. (Fonte - Prefeitura de Petrópolis-RJ)	44
Figura 7-5 - Rio Quitandinha Margeado pela Rua Coronel Veiga	45
Figura 7-6 - Sistema Interceptor de Esgotos no Rio Quitandinha (Fonte Habitat- 2014)	46
Figura 7-7 - Vista em Planta do Local da Nascente do Rio Quitandinha (Fonte: Google Earth)	47
Figura 7-8 - Vista do Local da Nascente do Rio Quitandinha (Fonte: Google Earth)	47
Figura 7-9 - Trecho do Canal do Centro na Rua da Imperatriz	48
Figura 7-10 - Trecho da Curva de 90º do Canal do Centro entre a Avenida Roberto Silveira e a Rua Alfredo Pachá	48
Figura 7-11 - Diagrama Unifilar do Rio Quitandinha (Fonte - Prefeitura de Petrópolis-RJ)	49
Figura 7-12 - Trecho do Rio Palatinato Confinado pela Ocupação das Margens	52
Figura 7-13 - Tomada do Túnel Extravasor do Rio Palatinato Obstruída	52
Figura 7-14 - Diagrama Unifilar do Rio Palatinato (Fonte - Prefeitura de Petrópolis-RJ)	53
Figura 7-15 - Local de Desague do Túnel Extravasor no Rio Itamarati	55
Figura 7-16 - Mapa Geológico do 1º Distrito de Petrópolis-RJ - (Fonte: Penha, 1979)	57
Figura 7-17 - Mapeamento da Geologia na Sub-bacia do Alto Piabanha, Abrangendo o Trecho mais de Montante do Rio Piabanha, a Bacia do Rio Quitandinha, a Bacia do Rio Palatinato e a Bacia do Rio Itamarati	58

Figura 7-18 - Geomorfologia na Sub-bacia do Alto Piabanha, abrangendo o Trecho mais de Montante do Rio Piabanha, a Bacia do Rio Quitandinha, a Bacia do Rio Palatinato e a Bacia do Rio Itamarati.	62
Figura 7-19 - Mapa Pedológico da Sub-bacia do Alto Piabanha, abrangendo o Trecho mais de Montante do Rio Piabanha, a Bacia do Rio Quitandinha, a Bacia do Rio Palatinato e a Bacia do Rio Itamarati.	64
Figura 7-20 – Mapa com o Relevo da Bacia do Alto Piabanha, com os Principais Rios da Região e a Delimitação das Bacias do Rio Quitandinha, do Rio Palatinato, do Rio Itamarati e da Sub-bacia do Alto Piabanha.	68
Figura 7-21 - Principais Unidades de Conservação na Área dos Estudos (Fonte: Prefeitura de Petrópolis-RJ)	76
Figura 7-22 - Monumento Natural Serra da Maria Comprida (Fonte: INEA-RJ)	77
Figura 7-23 - Mapeamento do Uso e Cobertura do Solo no Estado do Rio de Janeiro (INEA, 2011).	81
Figura 7-24 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo na Sub-bacia do Alto Piabanha, Abrangendo Apenas o Trecho mais de Montante do Rio Piabanha, Bacia do Rio Quitandinha, Bacia do Rio Palatinato e Bacia do Rio Itamarati.	82
Figura 8-1 - Distribuição Espacial dos Postos Hidrométricos Disponíveis para a Região do Projeto.	87
Figura 8-2 - Escala de Alerta Atualmente Utilizada pelo Sistema do INEA.	91
Figura 8-3 - Rotina de Monitoramento e Leitura do Índice Pluviométrico Fonte: PLANCON, 2014.	95
Figura 8-4 - Índices Pluviométricos e Nível de Alerta - Fonte: PLANCON, 2014	97
Figura 8-5 - Nível dos Rios e Nível de Alerta - Fonte: PLANCON, 2014.	97
Figura 9-1 - Enchente Junto à Câmara de Petrópolis, Década de 30 do Século XX - Terceiro / Agência O Globo	100
Figura 9-2 - Enchente que Atingiu a Avenida XV de Novembro e a Praça Dom Pedro II - janeiro/1966	100

Figura 9-3 - Cheia no Centro da Cidade de Petrópolis em 1988.....	101
Figura 9-4 - Cheia no Centro da Cidade de Petrópolis em 2011	101
Figura 9-5 - Cheia no Centro da Cidade de Petrópolis em 2013.....	102
Figura 9-6 - Alagamento na Rua Coronel Veiga em Novembro de 2016	102
Figura 9-7 - Centro da Cidade Alagado em Fevereiro de 2022.....	103
Figura 9-8 - Carro em uma Rua Alagada em Petrópolis (RJ) - 2022 - Foto: Ricardo Moraes/Reuters.....	105
Figura 9-9 - Carros Submersos no Centro de Petrópolis-2022 - Foto: Ricardo Moraes/Reuters.....	106
Figura 9-10 - Alagamento na Rua Coronel Veiga em 2011 (Fonte: Ana Paula Valente)...	111
Figura 9-11 - Mancha e Inundação do Rio Quitandinha para TR=20 Anos na Rua Coronel Veiga. Fonte: Adaptado de Programa Estadual de Investimentos da Bacia do Rio Paraíba do Sul - RJ (1998)	112
Figura 9-12 - Mancha e Inundação do Rio Quitandinha para TR=20 Anos no Centro Histórico. Fonte: Adaptado de Programa Estadual de Investimentos da Bacia do Rio Paraíba do Sul - RJ (1998)	112
Figura 9-13 - Encontro dos Rios Quitandinha e Palatinato.....	113
Figura 9-14 - Encontro dos Rios Quitandinha e Palatinato Atual (Fonte Habitat Ecológico)	114
Figura 9-15 - Tomada D'Água do Túnel Extravasor em abril de 2022	115
Figura 9-16 - Trecho do Túnel Extravasor na Rua do Túnel Danificado em 2021	116
Figura 9-17 - Muro da Casa da Princesa Isabel Destruído pela Força das Águas na Enchente de 15 de fevereiro de 2022.....	118
Figura 9-18 - Vista do Muro Tombado com a Casa da Princesa Isabel ao Fundo.....	119
Figura 9-19 - Vista do Palácio Rio Negro Após as Chuvas.....	119

Figura 9-20 - Inundação da Praça Visconde Mauá (Praça da Águia) em Frente ao Palácio Amarelo Sede da Câmara Municipal de Petrópolis. Observe a Estátua da Águia Quase Encoberta pelas Águas	120
Figura 9-21 - Situação da Praça Visconde de Mauá após a Enchente. Palácio Amarelo ao Fundo	120
Figura 9-22 - Praça Visconde de Mauá. Bombeiros Retirando um Corpo Levado pela Enchente	121
Figura 9-23 - Vista do Alto da Enchente no Início do Canal do Centro (Rio Quitandinha). Ao Fundo o Obelisco e na Margem Direita o Museu Imperial.....	121
Figura 9-24 - Passarela Situada no Rio Quitandinha em Frente ao Museu Imperial.....	122
Figura 9-25 - Entrada do Museu Imperial Cheia de Lama, Dois Dias Depois da Enchente	122
Figura 9-26 - Vista do Alto do Palácio dos Cristais. Lama Acumulada Após a Passagem da Enchente	123
Figura 9-27 - Palácio de Cristal, 48 Horas Depois da Tempestade	123
Figura 9-28 - Mureta de Proteção na Margem Direita do Rio Quitandinha em Frente a Catedral São Pedro de Alcântara. Ver Nível d'Água Atingido na Escadaria da Catedral.	124
Figura 9-29 - Lama Acumulada no Estacionamento Situado ao Lado da Catedral São Pedro de Alcântara. Nível d'Água Atingiu a Capota dos Veículos Estacionados	124
Figura 10-1 - Mapeamento dos Coeficientes Curva-Número (CN) na Bacia do Alto Piabanha, abrangendo os Rios Itamarati, Palatinato e Quitandinha, além do Próprio Trecho mais de Montante do Rio Piabanha.....	129
Figura 11-1 - Localização dos Postos Pluviométricos Petrópolis, Alto da Serra, Dr. Thouzet e São Sebastião	132
Figura 11-2 - Curvas Precipitação-Duração- Frequência para o Posto Petrópolis.....	138
Figura 11-3 - Curvas Intensidade-Duração- Frequência para o Posto Petrópolis.....	139
Figura 11-4 - Hietograma de Projeto da Chuva de TR de 25 anos.....	141

Figura 11-5 - Hietograma de Projeto da Chuva de TR de 50 anos..... 142

Figura 11-6 - Hietograma de Projeto da Chuva de TR de 100 anos..... 142

1 APRESENTAÇÃO

O presente documento intitulado Relatório de Estudos Hidrológicos (RT-03), tem por objetivo apresentar a caracterização dos padrões hidrológicos encontrados na região do entorno da área de interesse em Petrópolis, referente ao Contrato INEA nº 24/2019 firmado entre o Governo do Estado do Rio de Janeiro, por meio da Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade - SEAS e do Instituto Estadual do Ambiente - INEA e a COHIDRO Consultoria, Estudos e Projetos Ltda. com vistas à elaboração dos “ESTUDOS DE ALTERNATIVAS E ELABORAÇÃO DE PROJETOS BÁSICOS E EXECUTIVOS PARA CONTROLE DE INUNDAÇÕES DO CENTRO HISTÓRICO DO MUNICÍPIO DE PETROPÓLIS - RJ”, cuja ordem de início é datada de 23/08/2021.

O escopo dos serviços do edital concernente a CN 01/2017, pelo nosso entendimento, objetiva a proposição de uma solução abrangente que enxergue o problema das enchentes no Centro Histórico de Petrópolis de forma integrada, buscando o ponto de equilíbrio ideal entre as concepções com melhor performance hidráulica e menores custos, viabilizando efetivamente a implantação das obras e intervenções propostas mitigando e resolvendo os problemas decorrentes das intervenções tanto para montante quanto para jusante.

Os estudos apresentados nesse relatório irão subsidiar os estudos hidrodinâmicos para avaliação das alternativas de intervenções na área do projeto, contemplando a caracterização fisiográfica das bacias hidrográficas do entorno (rio Quitandinha, rio Itamarati, rio Palatinato e rio Piabanha), o levantamento das séries históricas de precipitações na região, bem como um estudo estatístico para definição de equações gerais de chuvas intensas para a área de interesse (equações IDF - intensidade-duração-frequência).

2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DO PROJETO E DEFINIÇÃO DAS ÁREAS DE INFLUÊNCIA

2.1 Localização da Área do Projeto

O município de Petrópolis está situado ao norte da cidade do Rio de Janeiro, entre as coordenadas geográficas de longitudes 43°04' - 43°14' W e latitudes 22°33' - 22°35' S e pertence à Região Metropolitana (desde 2019) localizando-se no topo da Serra da Estrela, pertencente ao conjunto montanhoso da Serra dos Órgãos, a 845 metros de altitude média, com sua sede a 810 metros do nível do mar.

O município está inserido na Região Hidrográfica do Piabanha (RH IV) e parcialmente na Região Hidrográfica da Baía de Guanabara (RH V). A maior parte de seu território (96%) está localizada no alto curso do rio Piabanha. Os outros 4% do território Petropolitano são drenados para a Bacia da Baía de Guanabara. O rio Piabanha, afluente pela margem direita do rio Paraíba do Sul possui um Comitê de Bacia Hidrográfica em conformidade com as leis nº 9433/97 e nº 3239/99, que respectivamente estabelecem Políticas Nacional e Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos. O Município de Petrópolis representa 1,8% da área do Estado do Rio de Janeiro e 12,5% da Região Metropolitana e possui uma área territorial de 797,1 km², distribuídos em 5 Distritos (**Figura 2-1**).



- 1º Petrópolis, com área total de 143 km²;
- 2º Cascatinha, com área total de 274 km²;
- 3º Itaipava, com área total de 121 km²;
- 4º Pedro do Rio, com área total de 210 km² e,
- 5º Posse, com área total de 63 km².

Figura 2-1 - Distritos de Petrópolis-RJ

Segundo os Decretos-Lei nº 1.056/43 e nº 1.255/87, o Município de Petrópolis tem como limites: ao Norte, com São José do Vale do Rio Preto; a Leste, com Teresópolis, Guapimirim e Magé; ao Sul, com Duque de Caxias e Miguel Pereira; e a Oeste, com Paty de Alferes, Paraíba do Sul e Areal.

O Município encontra-se às margens de uma das principais rodovias do país, a BR-040, que liga o Rio de Janeiro ao Distrito Federal, passando por Juiz de Fora e Belo Horizonte, conforme pode visto na **Figura 2-2**.

Outra rodovia federal que corta o município é a BR-495, que liga o distrito de Itaipava a Teresópolis, denominada Philuvio Cerqueira Rodrigues.

A nordeste do Centro de Petrópolis, encontra-se a histórica Estrada União Indústria que em Itaipava se junta à RJ-134, conhecida como Estrada Silveira da Mota, seguindo para São José do Vale do Rio Preto.

Em direção a Baixada Fluminense, tem-se a RJ-107 que desce a serra conectando-se a Magé.

O Município tem três “entradas” principais, que o articulam com o sistema viário regional: pelo Quitandinha, conectada à BR-040; pelo Bingen, também vinculada à BR-040 e à Estrada União Indústria; pela Estrada Velha da Estrela, RJ-107, que liga Petrópolis à Baixada Fluminense. Secundariamente, Petrópolis se articula com os municípios limítrofes através da BR-495, de acesso à Teresópolis e através da RJ-117, ligação ao Vale das Videiras e seguindo a Paty do Alferes, com acesso não calçado até Porto Real e Resende, já na Rodovia Presidente Dutra.

Essa malha de rodovias que serve ao município lhe confere uma situação logística interessante, sobretudo se considerarmos sua proximidade com o Centro da Cidade do Rio de Janeiro, da qual dista apenas 65 Km.

A economia do município tende a se beneficiar desta condição privilegiada em termos locais e logísticos, pois num raio de 500 km, com ligações rodoviárias de qualidade, encontra-se cerca de 43% do PIB e 70% da movimentação de cargas do país.



É possível gerar Modelos Digitais do Terreno (MDTs) partindo-se das diversas escalas das cartas topográficas disponíveis, 1:10.000, 1:50.000 e 1:250.000 geradas pela CPRM, além de 1:25.000 gerada pelo INEA.

2.3 Áreas de Influência do Projeto

2.3.1 Consideração Gerais

A área de influência de um empreendimento para um estudo ambiental pode ser descrita como o espaço passível de alterações em seus meios físico, biótico e/ou socioeconômico, decorrentes da sua implantação e/ou operação. A definição dos limites geográficos da área de influência de um determinado projeto é um dos requisitos legais para avaliação dos impactos ambientais, sendo legalmente requerida pela Resolução CONAMA nº 01/86, no item III, de seu artigo 5:

Artigo 5º - O estudo de impacto ambiental, além de atender à legislação, em especial os princípios e objetivos expressos na Lei de Política Nacional do Meio Ambiente, obedecerá às seguintes diretrizes gerais:

III - Definir os limites da área geográfica a ser direta ou indiretamente afetada pelos impactos, denominada área de influência do projeto, considerando, em todos os casos, a bacia hidrográfica na qual se localiza;

Além dos preceitos da Resolução CONAMA nº 01/86, a delimitação das áreas de influência é determinante para todo o trabalho, uma vez que somente após esta etapa, é possível orientar as diferentes análises temáticas, bem como a intensidade dos impactos e a sua natureza.

Desta forma, as áreas de influência do Projeto de Intervenções estruturantes para controle de inundações do Centro Histórico do município de Petrópolis-RJ, foram definidas a partir da análise das intervenções de engenharia, e outros aspectos decorrentes, inerentes a este tipo de empreendimento confrontadas com as vulnerabilidades de cada meio afetado, considerando os componentes ambientais que, de alguma forma, tenham seus aspectos alterados pela implantação do empreendimento em questão.

Para o enfoque dos estudos ambientais a serem desenvolvidos em uma fase posterior a área de influência do empreendimento foi dividida em Direta (AID) e Indireta (AI). A Área de Influência Direta (AID) é aquela sujeita a interferências diretas de execução das obras e serviços previstos à implantação e operação do empreendimento. A Área de Influência Indireta (AI) é aquela real ou potencialmente ameaçada pelos impactos decorrentes de alterações ocorridas na Área de Influência Direta do empreendimento. As peculiaridades de cada uma destas áreas estão descritas a seguir.

2.3.2 Área de Influência Direta (AID)

Os limites da AID foram definidos pela abrangência dos possíveis impactos diretos oriundos da implantação, operação e manutenção das intervenções estruturantes para mitigação das cheias do Centro Histórico de Petrópolis, que incidirão sobre os recursos ambientais e a rede de relações sociais, econômicas e culturais locais. Assim, a Área de Influência Direta para os meios físico e biótico foi definida como sendo a área física que abrange as bacias hidrográficas dos rios Quitandinha e Palatinato, que por sua vez estão compreendidas pelo primeiro distrito de Petrópolis.

A definição desta área se justifica tendo em vista que a natureza das intervenções e seu porte, indicam que nas áreas definidas por estas bacias hidrográficas é que ocorrerão as maiores modificações estruturais, a partir da implantação das intervenções que deverão ser projetadas e implantadas.

Sob o aspecto de influência no Meio Socioeconômico a AID é definida pelo limite do primeiro distrito município de Petrópolis, uma vez que as bacias hidrográficas dos rios Quitandinha e Palatinato encontram-se abrangidas por esse distrito e os principais efeitos socioeconômicos decorrentes das intervenções deverão se dar nesse distrito e, por ser o mesmo, utilizado para atividades de apoio e serviços tais como: aquisição de equipamentos, insumos e áreas das obras civis (jazidas, canteiro de obras e bota-foras).

A **Figura 2-3** apresenta a Área de Influência Direta (AID) estabelecida para o Projeto.

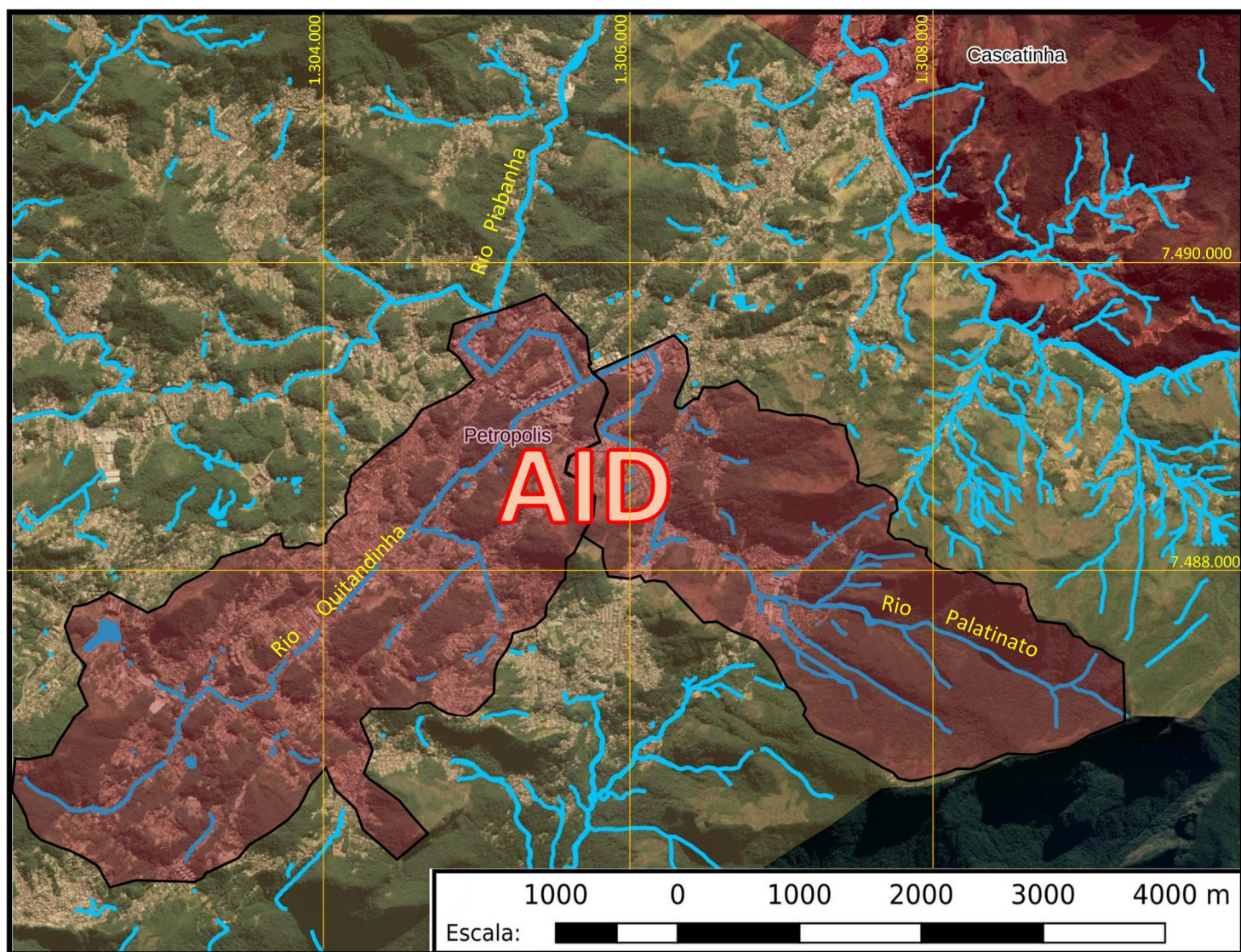


Figura 2-3 - Área de Influência Direta do Projeto Abrangendo as Bacias dos Rios Quitandinha e Palatinato no 1º Distrito de Petrópolis-RJ

2.3.3 Área de Influência Indireta (AII)

A Área de Influência Indireta (AII) contempla áreas ameaçadas pelos impactos gerados pelo empreendimento sob os meios físico, biótico e socioeconômico.

Sob o aspecto de impacto no meio físico o limite é definido pelas áreas potencialmente afetadas à jusante das intervenções do empreendimento, sobretudo, às áreas das bacias hidrográficas do rio Itamarati que receberá as novas vazões do túnel extravasor reformado e do rio Piabanha a jusante do seu encontro com o rio Quitandinha. Estas áreas apresentam grande probabilidade de ocorrência de modificações na quantidade e qualidade de suas águas, bem como, a modificação das condições de seus escoamento fluviais nas cheias com possíveis rebatimentos nos processos erosivos de suas calhas fluviais.

Sob o aspecto de impactos no meio Biótico e Socioeconômico a AII também pode ser considerada com a mesma delimitação proposta para o aspecto de impacto no meio físico.

Tendo em vista os parâmetros acima considerados, delimitou-se a Área de Influência Indireta (AII) sob os aspectos de impactos nos meios físico, biótico e socioeconômico como a área do Município de Petrópolis compreendida pelas áreas das bacias hidrográficas do rio Piabanha e Itamarati respectivamente a jusante dos encontros com o rio Quitandinha e com o Túnel Extravasor.

A **Figura 2-4** apresenta a Área de Influência Direta (AID) estabelecida para o Projeto.

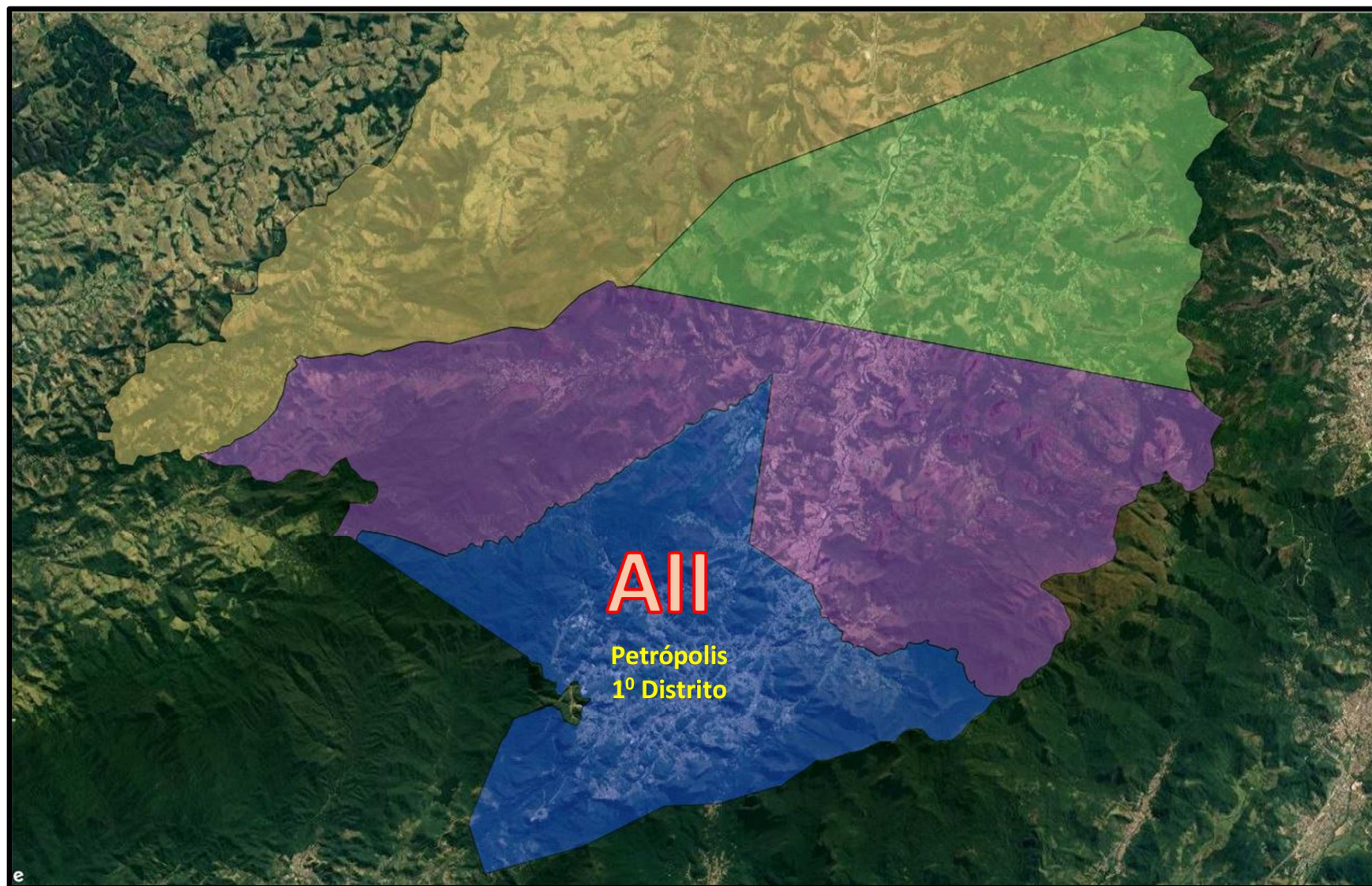


Figura 2-4 - Área de Influência Indireta do Projeto Abrangendo o 1º Distrito de Petrópolis-RJ

3 HISTÓRICO DE DESENVOLVIMENTO DA ÁREA DE INFLUÊNCIA DIRETA

O conhecimento da formação e da evolução histórica do espaço urbano, sua implantação, parcelamento e ocupação, oferecem uma visão dinâmica da realidade, pois permite, através dos anos, a compreensão de como o espaço urbano atingiu o seu estado atual e as mudanças que a sociedade vem promovendo.

A decisão da Coroa Portuguesa, tomada em 1698, para a abertura do Caminho Novo, ligando as Minas de Ouro de Minas Gerais à Baía de Guanabara, fez com que o homem branco penetrasse, conquistasse e ocupasse o território.

O processo de ocupação de Petrópolis pode ser dividido em três períodos distintos de evolução de 1725 a 1843; de 1843 até 1857 e de 1857 em diante.

A primeira etapa da ocupação referente ao período de 1725 a 1843 pode ser designada período Pré-Colonial de Petrópolis, na qual ocorreu o condicionamento e a ocupação das futuras terras petropolitanas.

A segunda etapa abrangendo o período de 1843 a 1857, pode ser designada como período Colonial de Petrópolis, no decorrer da qual se verificou a implantação e evolução da Imperial Colônia de Petrópolis a partir do Plano do engenheiro Major Júlio Frederico Köeler que concebeu a ideia de criação de uma colônia agrícola-industrial, estabelecendo-a no eixo rodoviário que estava sendo modernizado para integração da Província de Minas Gerais à Corte, projeto acolhido com simpatia pelo então Imperador D. Pedro II (Ver **Figura 3-1**).

A partir de 1845, a colônia recebeu o primeiro contingente de imigrantes alemães, o que o estimulou a ampliar a base territorial do projeto que teve início com a doação da Fazenda Quitandinha a D. Pedro II, em 1846, cuja integração constituiu o embrião da Imperial Fazenda de Petrópolis.

Dez anos após, os movimentos de emancipação político-administrativos têm êxito e Petrópolis é elevada à categoria de cidade, pela Lei Provincial nº 961, de 29 de setembro de 1857, instalando-se o Município em 17 de junho de 1859.

A terceira etapa, de 1857 em diante consolidou o Território Municipal de Petrópolis, quando se consolida a formação e ocupação urbana do município.

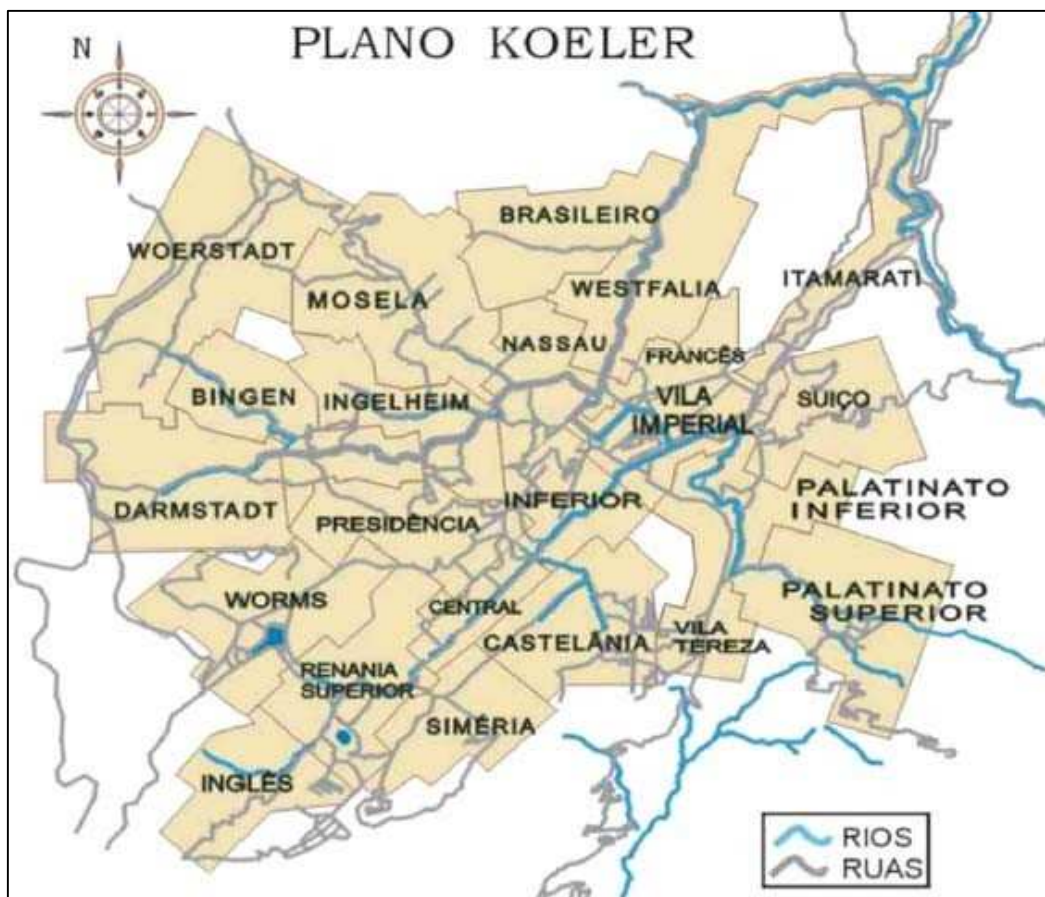


Figura 3-1 - Divisões de Quarteirões do Plano Köeler, Vila Imperial de Petrópolis, 1846, com o Arruamento Atual. (Fonte: FNMA / INSTITUTO ECOTEMA, 2001)

No período compreendido entre 1857 e 1945 houve um intenso crescimento populacional proveniente de pessoas originárias de outros países e de outras cidades do Estado do Rio de Janeiro e do Estado de Minas Gerais.

A atividade fabril estimulada a partir de meados do séc. XIX com o fracasso da colônia agrícola e com as restrições à atividade madeireira, além do apoio da Coroa Imperial, transformaram Petrópolis, que viu sua população crescer e ocupar novos espaços.

Entre 1945 e 1964, com a grande expansão urbana da cidade e as mudanças nas leis de ocupação do município, ocorre o parcelamento indiscriminado dos lotes, com a ocupação de encostas adjacentes às áreas já urbanizadas, além de encostas com menor declividade, como os terrenos extremamente perigosos, as faixas de sopé de encostas íngremes e rochosas (IPT, 1991).

Considerando-se os dados do censo de 1991 observa-se que a maior parte da população do Município já se concentrava no principal núcleo urbano referente ao 1º Distrito. Os dados

históricos da expansão urbana levam-nos à constatação de um crescimento desordenado em direção às áreas periféricas do principal núcleo urbano.

A partir de meados da década de 80, a população passou a concentrar-se nos 1º e 2º distritos, Petrópolis e Cascatinha respectivamente. Entretanto, a expansão populacional já se fazia presente nos 3º e 4º distritos (Itaipava e Pedro do Rio) com a transformação da região, até então caracterizada por sítios e moradias de lazer, em áreas mais intensamente ocupadas por condomínios e residências de uma população oriunda dos bairros de classe média da cidade do Rio de Janeiro.

A cidade de Petrópolis não foge à regra do rápido crescimento populacional observado na maioria das cidades dos países em desenvolvimento e, principalmente, no Brasil, onde a taxa de urbanização atinge hoje cerca de 80%. Verifica-se que esse crescimento não foi acompanhado pela expansão e melhoria das infraestruturas, que contribuem decisivamente para a qualidade de vida, e nem foi objeto de políticas públicas que evitassem os impactos negativos sobre os recursos naturais, que vêm tornando-se escassos diante da forma desordenada de sua expansão sobre a periferia (FNMA/INSTITUTO ECOTEMA, 2001).

As áreas mais desvalorizadas ou de preservação permanente, como topos de morros e margens de rios, passaram a ser ocupadas por famílias operárias, que não tinham onde morar ou não foram contempladas nem pelos grandes empreendedores imobiliários nem pelo poder público, com moradias próprias e adequadas. Essas famílias foram atraídas pela construção civil, em decorrência de um “boom” do mercado imobiliário na região.

Segundo Gonçalves (1998), de 1964 até 1976, a expansão urbana ocorreu sobre setores de encosta cada vez mais problemáticos, onde se conjugam as dificuldades impostas pela alta declividade dos terrenos, a sua instabilidade e as formas inadequadas de parcelamento e edificação. Entretanto, ainda se preservam setores da encosta mais problemáticos, como trechos de alta declividade (maior do que 75%) e os terrenos ao longo das linhas de drenagem naturais intermitentes e mesmo perenes, localizados dentro ou junto à malha urbana, não só pelas características topográficas menos favoráveis (maior declividade), como pela preservação da cobertura vegetal próxima da área urbana consolidada.

A partir de 1976, com destaque para segunda metade da década de 80 até os dias atuais, além da abertura de loteamentos executados sem qualquer critério quanto às limitações dos terrenos, a expansão urbana passa a se dar também através de invasões em áreas públicas ou em terrenos não ocupados, até por apresentarem maior declividade e/ou se

constituírem áreas sob legislação da APA de Petrópolis, convertendo-se em áreas de risco, situadas no sítio urbano (Gonçalves, 1998; Guerra et al, 2007).

Quanto à Cascatinha (2º distrito), existe uma clara tendência de expansão desordenada, com a ocupação cada vez maior de encostas e os topos de morros, reforçada pela conurbação com o 1º distrito.

Os loteamentos irregulares, ali estabelecidos, transformaram-se em áreas de risco.

A maior parte desse distrito não possui legislação urbanística e os pedidos de licenciamento de uso, ocupação e parcelamento do solo são analisados por similaridade à legislação vigente, particularmente o Decreto nº 90/81, que tem vigência apenas na área central de Cascatinha (Gonçalves, 1998).

Essa ocupação irregular é uma das variáveis responsáveis pelo aumento gradual dos movimentos de massa que ocorrem no 1º e 2º distritos, que aliada ao desmatamento e assoreamento dos rios principais, coloca em sério risco a população de Petrópolis.

Vale destacar que as características naturais da região já propiciam tal fenômeno natural, uma vez que o município se encontra em uma região com características típicas da cordilheira da Serra do Mar, onde a espessura da camada de solo, predominantemente composta por argila, é muito pequena, e está, em sua maioria, sobre maciços rochosos. Estas características favorecem o fenômeno da liquefação do solo e o fenômeno de escorregamento para eventos de média e alta precipitação.

4 CARACTERIZAÇÃO DAS ATIVIDADES ECONÔMICAS DA ÁREA DE INFLUÊNCIA DIRETA

4.1 Principais Atividades Econômicas

4.1.1 Aspectos Gerais

A economia de Petrópolis é baseada no turismo histórico e cultural, e nos setores secundário e terciário. Merece destaque o comércio de roupas e a fabricação de cerveja e chocolate, sobretudo nos polos da Rua Teresa e Itaipava, que atraem compradores atacadistas e varejistas de todo o país.

Petrópolis é também grande exportadora de serviços, nas áreas de tecnologia e mecânica leve, com faturamento superior a US\$ 1 bilhão no ano 2012. Esse setor, além de gerar empregos, vem reativando galpões que estavam sem utilização na cidade.

Petrópolis possui o 9º maior PIB do estado do Rio de Janeiro, sendo a maior economia da região, e em âmbito nacional, superior a seis capitais de estado, tais como Aracaju, Palmas e Macapá. A economia da cidade ainda é maior que estados inteiros da federação, como Roraima e Acre.

Atualmente desenvolve-se o projeto Distrito Industrial da Posse, que visa ao incentivo às indústrias no 5º distrito da cidade.

Outras empresas importantes também possuem sede na cidade, como a rede Mundo Verde (varejista brasileira de produtos naturais) e a fabricante de chocolates Katz.

4.1.2 Setor de Bebidas

Um segmento que apresenta um grande dinamismo é o de bebidas. Petrópolis é a cidade sede de inúmeras cervejarias do Brasil e é o segundo maior polo cervejeiro do país. É onde estão instaladas as sedes do Grupo Petrópolis, da Cervejaria Cidade Imperial e da Cervejaria Bohemia. A cidade ainda possui fábricas da Heineken Brasil (subsidiária do grupo holandês Heineken International), e da AmBev, a maior empresa de bebidas do país.

Em 2013, a AmBev promoveu a reforma da antiga Fábrica da Bohemia, primeira cervejaria do Brasil. Nesse projeto a AmBev investiu na criação do Museu da Cerveja, um Centro de Tradições Petropolitano, o Empório Bohemia, um Espaço de Exposições Temporárias, a

Sala do Mestre Cervejeiro e Bar do Mestre, gerando 120 empregos diretos e 600 indiretos, neste empreendimento.

Em 2017, o legislativo municipal aprovou uma lei de incentivo fiscal para microcervejarias e Brewpubs (restaurantes que fabricam a cerveja no mesmo local que ela é vendida). Segundo a Associação das Cervejarias Artesanais de Petrópolis (ACAP), a cidade emprega cerca de 1,5 mil pessoas com esse tipo de venda (o que não inclui os empregados de megacervejarias). A cidade atualmente possui 21 produtoras de cerveja.

“Fortalecendo o caráter de cidade cervejeira, destacam-se ainda: a Cervejaria Itaipava, com produção que redunde em significativa parcela da arrecadação tributária do Município, e a Cervejaria Imperial, atualmente localizada na Mosela. Em paralelo, uma série de cervejarias artesanais amplia a diversificação da oferta, agregando sabores e tipos diferenciados dessa bebida”.

“Ainda no campo das bebidas, embora não alcoólica, a água mineral Petrópolis, de propriedade da NESTLÉ, aparece como uma marca que divulga o Município por todo país.

4.1.3 Setor Têxtil

O setor têxtil conta com as fábricas de tecido e do comércio de roupas (Polos de Moda da Rua Teresa e Bingen, além das lojas em Itaipava e no Centro), tendo Petrópolis um dos maiores shoppings a céu aberto do País - o Polo de Modas da Rua Teresa que tem 900 lojas em seus dois quilômetros de extensão. Somente o Polo corresponde a 14% do PIB do Município e gera 40 mil empregos diretos e indiretos.

Não é de hoje que a Rua Teresa tem uma importância significativa para Petrópolis. Ainda nos primórdios da formação da cidade, no século XIX, mesmo antes do desenvolvimento como polo têxtil, a rua era uma das mais importantes da região por ser o único acesso possível da Serra da Estrela a então Fazenda do Córrego Seco. A Vila Teresa, como era chamada na ocasião, foi até a inauguração da atual estrada Rio/Petrópolis, em 1928, a única via que levava ao centro da cidade.

A vocação para o polo de moda começou em 1916, quando foi impulsionada a indústria têxtil, a então Vila Teresa ganhou sua primeira malharia. Mas foi só nos anos 50 e 60, com o declínio das fábricas, que a rua virou, de fato, um ponto de confecções. Os operários demitidos que moravam na circunvizinhança da rua aproveitaram o conhecimento que

tinham para montar suas próprias casas de costuras e as garagens acabaram sendo utilizadas como ponto de venda.

As confecções de Petrópolis formam um dos maiores polos industriais do Brasil e estão muito além dos limites de um bairro ou rua. Por toda a cidade e distritos, a moda é reflexo do desenvolvimento e aprimoramento de fábricas de pequeno e médio porte, que surgiram na década de 50, e que se firmaram ocupando o espaço do modelo econômico anterior, constituído até então por indústrias têxteis de grande porte.

O Município conta atualmente com cerca de 700 confecções que, em todo o processo da produção à comercialização, é responsável pela geração de aproximadamente 40 mil empregos.

4.1.4 Setor de Turismo

O setor de Turismo é seguramente um dos setores mais importantes na economia do Município. Petrópolis é a cidade que, não sendo uma capital, mais progrediu no Índice de Competitividade do Turismo Nacional em 2014, elaborado pelo Ministério do Turismo. Segundo os elaboradores, a cidade está entre as 15 mais bem colocadas do Brasil no ranking geral de competitividade no turismo e é um dos 65 destinos indutores do turismo no Brasil e um dos 5 no Estado do Rio de Janeiro, por promover a aceleração econômica e o incremento em diversas áreas, como ambiental, cultural e social.

O Turismo Histórico e o Ecoturismo estão cada vez mais em expansão. O setor é responsável por 8.500 postos de trabalho direto e indireto. Por ano, o Município recebe 1,8 milhões de turistas e visitantes.

Em 2022, entre os dias 8 e 10 de abril, a cidade recebeu uma das etapas da Copa do Mundo de Mountain Bike, marcando o retorno da competição ao Brasil após 17 anos.

Somente o circuito no Centro Histórico conta com: O Museu Imperial (o mais visitado do Brasil) construído em estilo neoclássico que está localizado no antigo Palácio Imperial, residência de veraneio de D. Pedro II. Conta ainda com o Palácio de Cristal (estrutura em aço, ferro, metal que foi transportada peça por peça da França para o Rio de Janeiro), com o Museu Casa de Santos Dumont, com a Avenida Köeler, ladeada por belos casarões e onde se localiza o Palácio Rio Negro, com a Catedral São Pedro de Alcântara, construída em estilo neogótico, que abriga um dos maiores órgãos da América Latina e com os mausoléus com os restos mortais do imperador Pedro II e D. Teresa Cristina, da Princesa

Isabel, do Conde D'Eu, além das tumbas do príncipe Pedro de Alcântara de Orleans e Bragança e sua esposa D. Elisabeth.

Também apresenta expressão o ecoturismo do Município que reúne trilhas ecológicas e de aventura, com montanhismo, banhos de cachoeira, cavalgadas, arvorismo, rapel e outros, podendo aproveitar o Parque Nacional da Serra dos Órgãos, Pedra do Açu, Cachoeira Véu da Noiva, Cachoeira Véu das Andorinhas, Pedra Comprida, Gruta do Presidente e outras com vistas encantadoras.

4.1.5 O Polo Moveleiro

Petrópolis teve no século XIX a 1ª empresa moveleira legalizada no Brasil. O Polo de Móveis de Petrópolis foi criado há mais de 100 anos e se destaca como um dos principais polos industriais e comerciais de movelaria do país.

Constituído por mais de 70 indústrias formais e informais, o Polo é formado principalmente por micro e pequenas empresas que atuam na fabricação e comercialização de móveis prontos e de montagem, esquadrias, tecidos e outros artigos para decoração.

Reconhecido também pela qualidade de seus artigos, o Polo de Móveis de Petrópolis tem suas fábricas distribuídas por toda a cidade e distritos. Sua amplitude e o fato de ser um polo industrial e comercial, isto é, que fabrica e vende seus produtos, apresenta vários benefícios para o Município.

As lojas do Polo Moveleiro estão concentradas em grande número no Bingen e Itaipava. O Polo Moveleiro de Petrópolis reúne 70 empresas, gerando 700 empregos diretos e outros 400 indiretos.

4.1.6 Agricultura

Os municípios localizados na região metropolitana do Rio de Janeiro são responsáveis por 70% das frutas, legumes e verduras produzidas no Estado e é uma das regiões que mais cresce na produção de alimentos orgânicos. No Brasil, os negócios do setor já atingem US\$ 100 milhões e, por conta disso o acesso à informação e a troca de experiências tornam-se primordiais para qualificar produtores e produtos.

No município atualmente vem crescendo de importância a produção de alimentos orgânicos que apresenta dois grupos fortes localizados nos bairros do Brejal e do Jacó. Seus produtos são comercializados na Feira de orgânicos do município, Hortomercado e Feiras do Rio.

4.1.7 Produto Interno Bruto por Setor

O Produto Interno Bruto é um indicador que busca mensurar a atividade econômica de uma determinada região (nacional, estadual ou municipal), através de cálculos que levam em consideração a oferta e a demanda de bens e serviços. O indicador leva em conta três grupos principais de atividades: Agropecuária, formada por Agricultura, Extração Vegetal e Pecuária; Indústria, que engloba Extrativa Mineral, Transformação, Serviços de Utilidade Pública e Construção Civil e Serviços, que incluem Comércio, Transporte, Comunicação, Serviços de Administração Pública e outros serviços.

Em 2018 o PIB do Município de Petrópolis foi de R\$ 12.672.637.000,29, o que colocava o Município décima posição dentre os 92 municípios do Estado do Rio de Janeiro.

Com relação a distribuição do PIB pelos setores produtivos, como já ressaltado, a economia de Petrópolis tem seus pilares econômicos nas atividades da Indústria de Transformação, dos Serviços e no Comércio, como mostra a **Figura 4-1**.

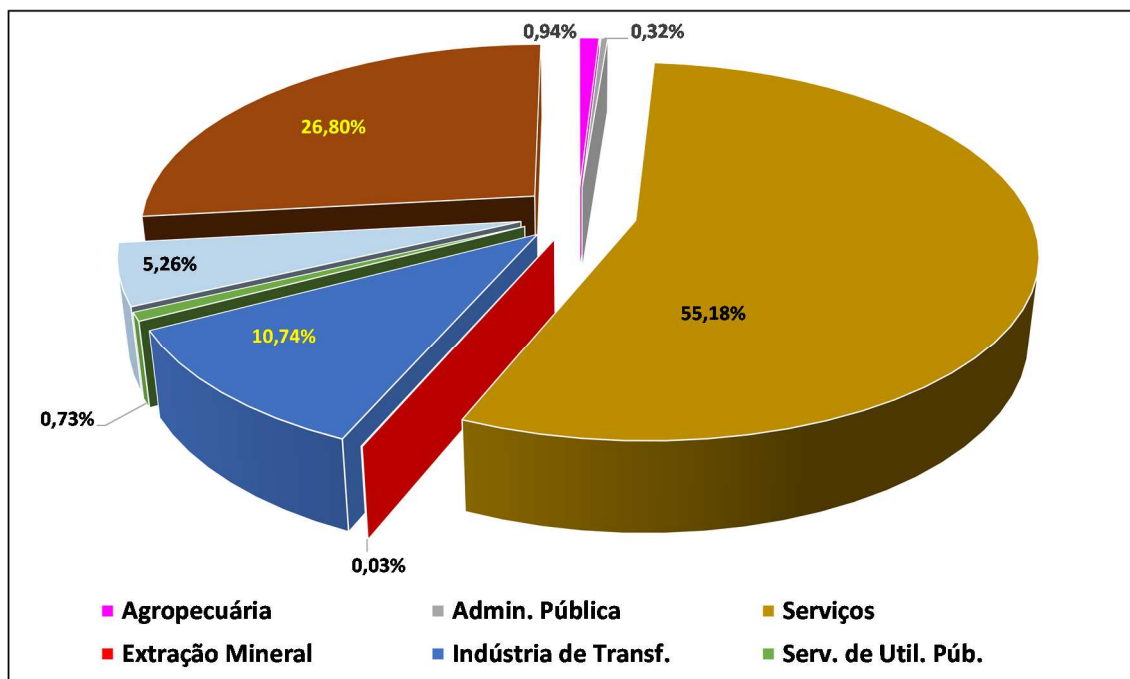


Figura 4-1 - Participação dos Setores Econômicos no PIB de Petrópolis em 2010 (Fonte IBGE)

4.2 Índice de Gestão Fiscal

Além da análise do PIB municipal, como forma de verificar a gestão fiscal do município, foi utilizado o Índice FIRJAN de Gestão Fiscal. Este índice é construído pela Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (Sistema SENAI, SESI, IEL, CIRJ), desde 2013 para praticamente a totalidade dos municípios do Brasil. No ano de 2019 os resultados foram

publicados para 5.337 dos 5.570 municípios brasileiros, atingindo o correspondente a 97,8% da população brasileira. Baseado em dados oficiais fornecidos pelas próprias prefeituras e disponibilizadas anualmente pela Secretaria do Tesouro Nacional (STN), por meio do Sistema de Informações Contábeis e Fiscais do Setor Público Brasileiro.

As informações são prestadas pelas prefeituras municipais em atendimento a Lei de Responsabilidade Fiscal, artigos 48 e 51 (Lei Complementar nº 101/2000).

De acordo com Firjan (2019), o índice é composto por quatro indicadores:

- IFGF Autonomia - analisa a relação entre as receitas oriundas da atividade econômica do município e os custos para financiar sua existência;
- IFGF Gastos com Pessoal - mostra quanto os municípios gastam com pagamento de pessoal em relação ao total da Receita Corrente Líquida.
- IFGF Liquidez - verifica a relação entre o total de restos a pagar acumulados no ano e os recursos em caixa disponíveis para cobri-los no ano seguinte.
- IFGF Investimentos - mede a parcela da receita total dos municípios destinada aos investimentos, aqueles que geram bem-estar à população e melhoram o ambiente de negócios.

Os resultados são, por fim, apresentados para o Índice Firjan (global) e para cada um dos indicadores. Os resultados também são classificados por Firjan (2019) em faixas de referência:

- Resultados acima de 0,8 ponto → Gestão de Excelência
- Resultados entre 0,6 e 0,8 ponto → Boa Gestão
- Resultados entre 0,4 e 0,6 ponto → Gestão em Dificuldade
- Resultados inferiores a 0,4 ponto → Gestão Crítica

A **Figura 4-2** apresenta a evolução do índice de gestão fiscal para o município de Petrópolis no período 2013 a 2018.

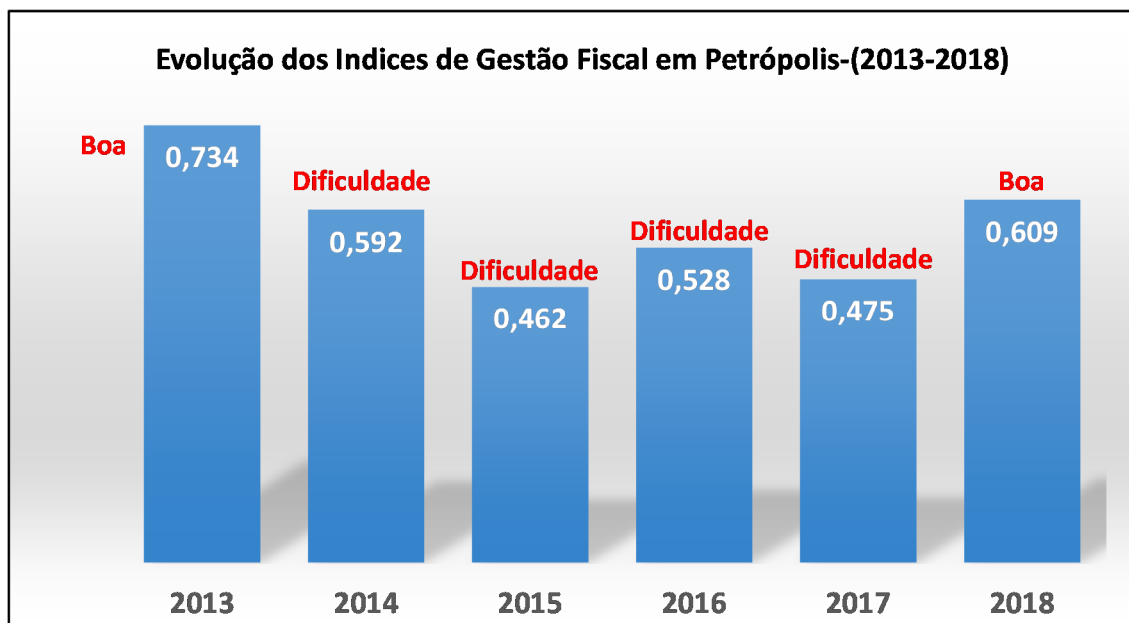


Figura 4-2 - Evolução do Índice de Gestão Fiscal em Petrópolis de 2013 a 2018 (Fonte: FIRJAN)

4.3 Trabalho e Rendimento

Em 2019, o salário médio mensal dos habitantes de Petrópolis era de 2,3 salários mínimos. A proporção de pessoas ocupadas em relação à população total era de 27,3%. Na comparação com os outros municípios do estado, ocupava as posições 20 de 92 e 19 de 92, respectivamente.

Considerando domicílios com rendimentos mensais de até meio salário mínimo por pessoa, tinha 30,6% da população nessas condições, o que o colocava na posição 89 de 92 dentre as cidades do estado.

Em 2019 o IBGE mostra que o contingente de pessoal ocupado no município era de 83.496 pessoas que representava 27,3% da população municipal e colocava o município na oitava posição no ranking estadual composto por 92 municípios.

Outro dado interessante se refere ao percentual da população com rendimento nominal mensal per capita de até meio salário mínimo que era de 30,6%, colocando o Município entre os três municípios do estado com menor contingente de trabalhadores nessa faixa de rendimento nominal vergonhosa.

Ainda com relação ao trabalho e rendimento um outro indicador frequentemente utilizado para medir o desempenho econômico de um município, estado ou nação é o PIB per capita.

O PIB per capita é basicamente o valor do Produto Interno Bruto dividido pelo número de habitantes da unidade avaliada.

Segundo os dados do IBGE o PIB per capita de Petrópolis em 2018 foi de R\$ 41.456,25 o que colocava o Município na vigésima sexta posição dentre os noventa e dois municípios do Estado do Rio de Janeiro.

Esse dado mostra que enquanto o município se encontra entre os dez maiores PIB's do Estado o PIB per capita o coloca na vigésima sexta posição no Estado.

Cabe ressaltar que o Produto Interno Bruto não determina, necessariamente, a riqueza total de uma unidade, e sim o seu crescimento econômico ao longo do tempo.

O cálculo do Produto Interno Bruto não leva em consideração os níveis de desigualdade de renda e social e, por isso, nem todos os economistas concordam com a eficácia do conceito do PIB per capita para determinar a distribuição de riqueza de um país.

Portanto, podemos dizer que uma nação pode ter um PIB elevado e ter habitantes em níveis extremos de pobreza, como é o caso do próprio Brasil. Da mesma forma, podemos ter uma região onde o Produto Interno Bruto não atinge patamares expressivos, mas seus habitantes têm um padrão de vida mais elevado do que uma outra região que tenha uma renda per capita maior.

A conclusão que se pode tirar é que o PIB per capita não deve ser utilizado como indicador de qualidade de vida e de distribuição de renda, mas sim como um indicador econômico para fins comparativos entre unidades de avaliação.

Adicionalmente, surge como possibilidade de avaliar de maneira mais adequada o município, o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM). O IDHM é uma adaptação do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), ajustado em metodologia para os municípios brasileiros. Segundo o Atlas de Desenvolvimento Humano do Brasil (2013) o IDHM para o município de Petrópolis corresponde a 0,745. Levando em conta este valor, o município se posiciona em 648º no cenário nacional e em 10º lugar no cenário estadual do Rio de Janeiro, empatado com Miguel Pereira e Nova Friburgo.

Porém, vale destacar que as informações foram realizadas com base no censo demográfico de 2010, e por isso, podem apresentar uma realidade ultrapassada quanto ao atual estado de desenvolvimento do município.

5 ESTUDOS DE POPULAÇÃO

Os levantamentos e estudos sobre a população residente na AID e no Município de Petrópolis foram baseados nos censos demográficos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e nos estudos de projeção de população elaborados no Plano Municipal de Saneamento Básico de Petrópolis-PMSB elaborado pela Empresa Habitat Ecológico Ltda. para a Prefeitura Municipal de Petrópolis em 2014.

De acordo com o Censo Demográfico do IBGE, Petrópolis contava em 2010 com 463 setores censitários (431 urbanos e 32 rurais) e apresentava uma população de 295.917 habitantes que resultou em uma densidade demográfica de 371,85 hab./km² para aquele ano. A população na área urbana em 2010 correspondia a 95,06% da população municipal.

A **Figura 5-1** apresenta a evolução das populações urbana e rural do Município no período entre 1970 a 2010.

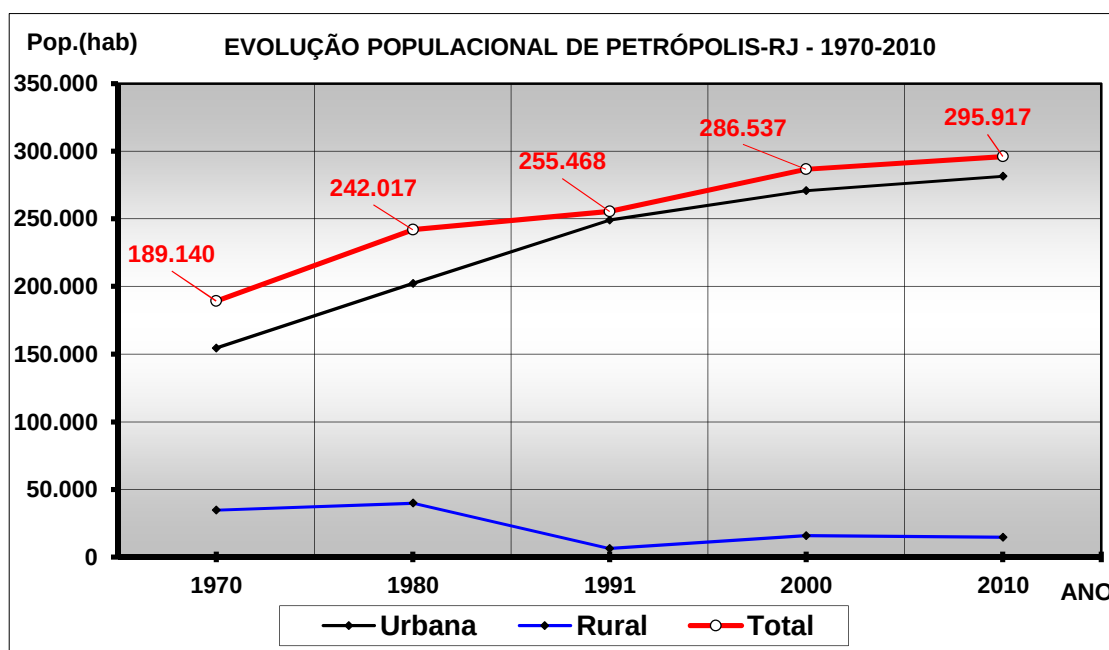


Figura 5-1 - Evolução da População de Petrópolis no Período de 1970 a 2010 (Fonte IBGE)

Olhando Petrópolis, dentro da Região Metropolitana, se constata que o município tem a posição demográfica mais destacada, em função de sua base econômica mais dinâmica e diversificada.

Os municípios de Nova Friburgo e Teresópolis são aqueles que em termos demográficos secundam Petrópolis, sendo que Friburgo teve agravado seu processo de

desindustrialização por conta do desastre ecológico de 2011, que danificou gravemente algumas instalações fabris.

O crescimento populacional do Município de Petrópolis manteve-se bastante regular e constante no período entre os Censos de 1940 e 2000, a partir do qual estabeleceu uma inflexão para baixo, acompanhando o mesmo movimento desse indicador relativo à Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

Na distribuição populacional do Município destaca a predominância absoluta do 1º Distrito atingindo montante maior do que o da soma dos demais distritos. O 2º Distrito - Cascatinha, o maior em superfície, assume o segundo lugar em população, por razões territoriais e de proximidade com o 1º Distrito, principal centro de empregos.

Do ponto de vista da compreensão do crescimento populacional dos distritos e sua evolução no tempo, a partir do Censo de 1980, o Crescimento populacional do 1º Distrito foi de 21,55%, inferior aos dos outros distritos, que apresentaram as seguintes taxas de crescimento: Cascatinha = 34, 82%; Itaipava = 42,39%; Pedro do Rio = 32,28%; Posse = 31,37%.

Isso significa que já está havendo uma descentralização do peso populacional, em direção aos outros Distritos, não correspondida em relação ao comércio e aos serviços, ainda majoritariamente concentrados no 1º Distrito.

Se considerarmos os distritos, o número de domicílios acompanha a mesma distribuição percentual da população, fortalecendo a ideia da centralidade predominante do 1º Distrito.

O **Quadro 5-1** apresenta a evolução do crescimento populacional dos distritos de Petrópolis.

Quadro 5-1 - Evolução da População dos Distritos de Petrópolis (1970-2010)

Município e Distrito	Situação do domicílio	Ano					Partic. 2010 (%)
		1970	1980	1991	2000	2010	
Petrópolis	Total	189.140	242.017	255.468	286.537	295.917	100,0%
	Urbana	154.545	2.022.133	249.080	270.671	281.286	95,1%
	Rural	34.595	39.804	6.388	15.866	14.631	4,9%
Dist. Sede	Total	-	-	164.816	181.638	185.876	100,0%
	Urbana	-	-	164.816	181.638	185.876	100,0%
	Rural	-	-	-	-	-	0,0%
Cascatinha	Total	-	-	56.937	61.939	64.936	100,0%
	Urbana	-	-	56.937	61.939	64.936	100,0%
	Rural	-	-	-	-	-	0,0%
Itaipava	Total	-	-	13.088	18.862	20.444	100,0%
	Urbana	-	-	12.893	12.436	13.843	67,7%
	Rural	-	-	195	6426	6601	32,3%
Pedro do Rio	Total	-	-	12.572	14.549	14.079	100,0%
	Urbana	-	-	8.063	7.824	8.694	61,8%
	Rural	-	-	4.509	6.725	5.385	38,2%
Posse	Total	-	-	8.055	9.549	10.582	100,0%
	Urbana	-	-	6.371	6.834	7.937	75,0%
	Rural	-	-	1684	2715	2645	25,0%

A participação das populações urbanas dos cinco distritos na população urbana do Município em 2010 pode ser observada na **Figura 5-2**.

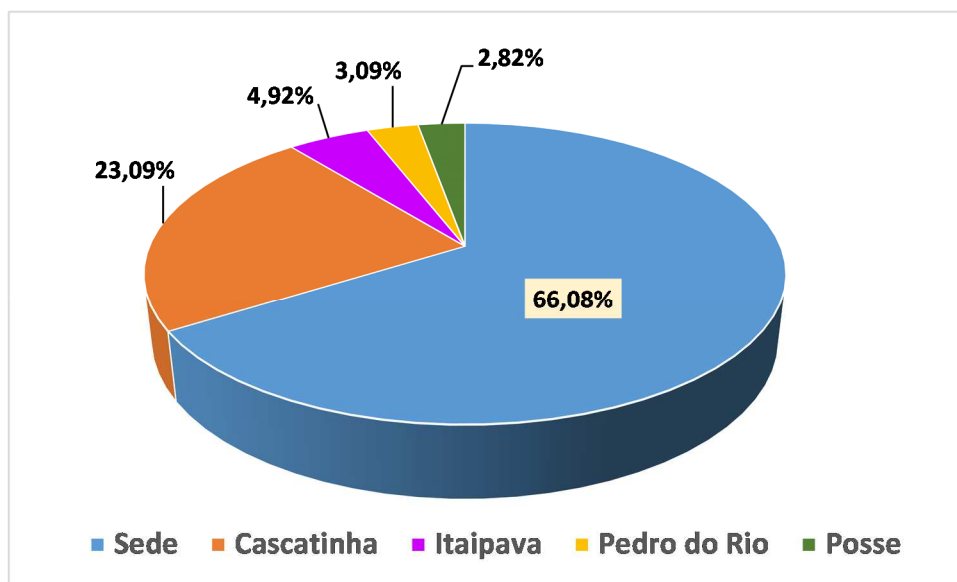


Figura 5-2 - Participação das Populações Urbanas dos Distritos na População Urbana do Município em 2010.

A **Figura 5-3** apresenta a densidade habitacional dos distritos de Petrópolis em 2010.

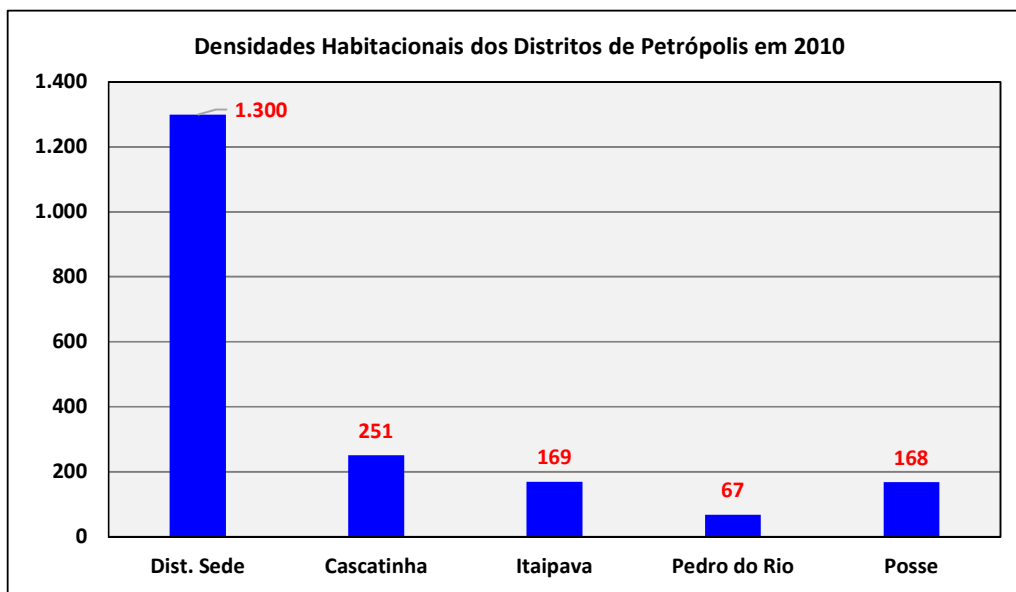


Figura 5-3 - Densidades Habitacionais dos Distritos em Petrópolis em 2010

A urbanização é um processo temporal contínuo, sendo marcado por importantes variáveis políticas, econômicas e sociais. O processo de urbanização no planeta ocorreu de maneira diferente entre as diversas nações. Nos países desenvolvidos, ela ocorreu de maneira lenta e estruturada; já nos países subdesenvolvidos e emergentes, de forma rápida e desordenada. No Brasil, predominou o segundo modelo, sendo que o rápido crescimento das cidades brasileiras foi marcado pela desigualdade espacial e de renda, que caracteriza o país.

Seu desenvolvimento foi impactado, no geral, pela saída da população das áreas rurais para as áreas urbanas, em busca de melhores condições de vida, trabalho e renda.

As consequências da urbanização das cidades estão relacionadas à perda da qualidade ambiental e humana dos centros urbanos. Via de regra, a urbanização desordenada provoca o aumento de ocupações irregulares, a piora dos índices de poluição e o aumento da criminalidade.

A urbanização brasileira, em especial nos grandes centros e nas cidades médias, ocorreu de maneira acelerada e desestruturada. O êxodo rural no Brasil foi iniciado a partir de 1940, sendo intensificado entre as décadas de 1970 e 1980, até meados dos anos de 1990. Nesse período, houve uma ampla migração do campo para as cidades em razão do processo de industrialização.

O rápido crescimento urbano, marcado pela desigualdade social característica do Brasil e pela ausência de políticas públicas de planejamento territorial, gerou muitos problemas urbanos e agravou o cenário de pobreza e violência típico das grandes cidades brasileiras.

Com relação ao processo de urbanização no Município de Petrópolis, a **Figura 5-1** mostra que o município vem sofrendo, como a maior parte dos municípios brasileiros, um forte e rápido processo de urbanização que pode ser melhor observado na **Figura 5-4**.

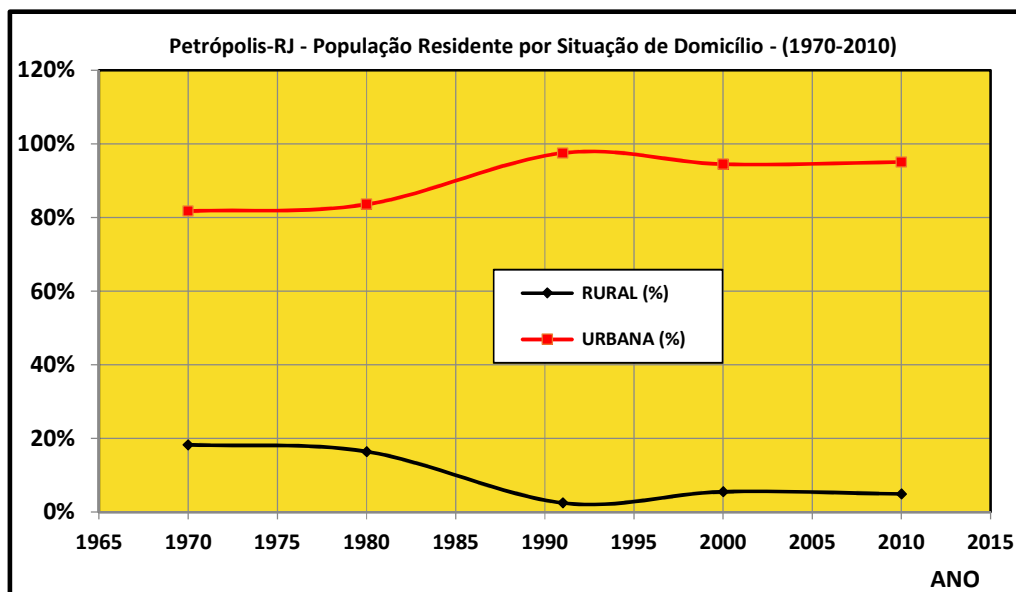


Figura 5-4 - Evolução da Taxa de Urbanização no Município de Petrópolis

Com relação ao ordenamento do uso do solo, no município, atualmente, Petrópolis deve seguir as determinações da política de ordenamento urbano-ambiental dada pela Lei de Uso e Ocupação do Solo (LUPOS) e as do Plano Diretor da cidade além disso, existe a necessidade de conjugar as questões econômicas e ambientais com o desejável crescimento econômico - através da captação de IPTUs, da fomentação das atividades econômicas e da valorização da renda da terra, através de projetos de reurbanização do Centro Histórico.

Também é importante lembrar que grande parte do 1º Distrito abrange a APA-Petrópolis que constitui a maior APA urbana do país. Atualmente, várias políticas municipais visam mediar tais interesses com as necessidades impostas pela unidade de conservação, como a aprovação da LUPOS - Lei de Uso, Parcelamento e Ocupação do Solo do Município de Petrópolis. No entanto, após dez anos de seu decreto, observamos vários conflitos de ordem jurídica e social, como a ampliação da ocupação em áreas de risco (sujeitas aos

deslizamentos e/ou inundações) e a aprovação de projetos imobiliários em zonas de preservação permanente.

Com relação às perspectivas de crescimento populacional para um cenário futuro de planejamento por uma questão de coerência, foram adotadas as projeções populacionais do Plano Municipal de Saneamento Básico de Petrópolis cujas informações foram condensadas no **Quadro 5-2** e na **Figura 5-5**.

Quadro 5-2 - Projeção de Crescimento Populacional para o Município de Petrópolis e para o 1º Distrito

ANO	Pop. (Hab.)	
	Município	1º Distrito
2021	301.011	194.275
2022	302.349	194.794
2023	303.665	195.301
2024	304.960	195.796
2025	306.236	196.279
2026	307.492	196.752
2027	308.729	197.215
2028	309.948	197.669
2029	311.149	198.113
2030	312.333	198.548
2031	313.500	198.974
2032	314.650	199.392
2033	315.785	199.802
2034	316.904	200.204
2035	318.009	200.599
2036	319.098	200.987
2037	320.174	201.368
2038	321.235	201.743
2039	322.283	202.111
2040	323.318	202.473
2041	324.340	202.828
2042	325.349	203.178

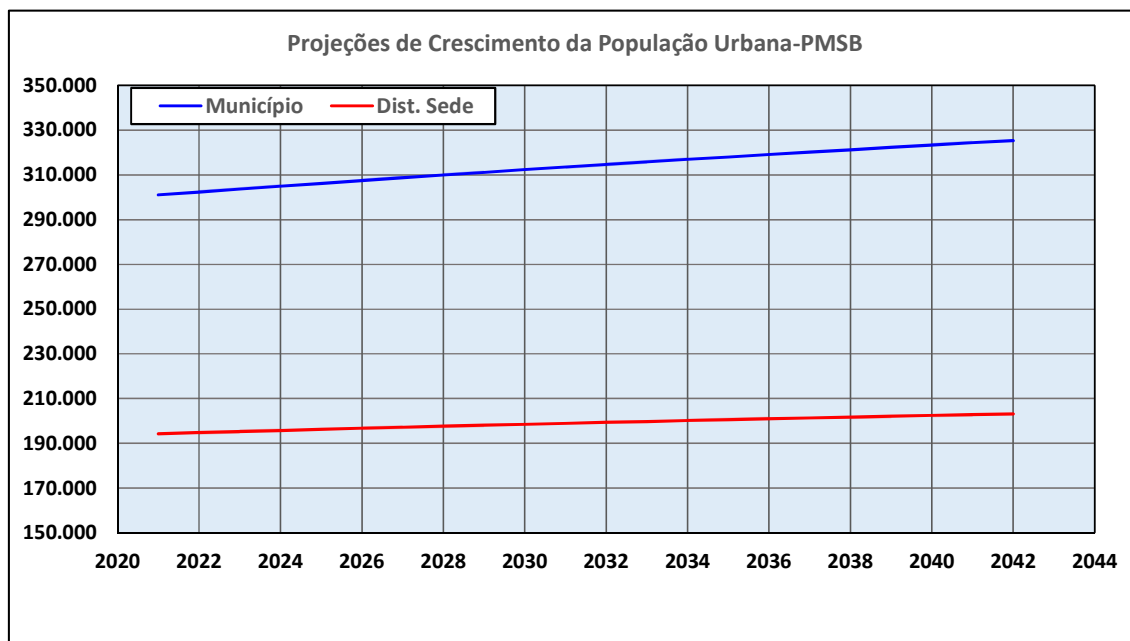


Figura 5-5 - Projeções de Crescimento Populacional do PMSB

A lei de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo (LUPOS) de Petrópolis ao delimitar o zoneamento do município e suas especificações urbanísticas possibilita a análise da distribuição espacial da população na zona urbana. Por meio da LUPOS, foram instituídas quatro zonas, consideradas como parcelas do território diferenciadas pelas características gerais de uso e ocupação do solo. São elas: Rural (ZRL), Rururbana (ZRB), Urbana (ZRU) e Proteção Especial (ZPE). Essas zonas, por sua vez, são subdivididas em setores, definidos como parcelas menos extensas do território, correspondentes a logradouros e manchas. Quanto a esses setores, são definidos alguns índices e parâmetros urbanísticos, tais como gabarito, afastamento frontal, índice do aproveitamento, taxa de ocupação, área mínima por unidade de lote, taxa de permeabilidade e altura máxima das edificações.

Quadro 5-3 - Zoneamento Municipal de Petrópolis: Zonas, Setores e Parâmetros Urbanísticos

Zona	Setor	Características	Parâmetros urbanísticos
Rurbana	Rururbano (SRU)	Mescla de atividades urbanas e rurais	Gabarito: máx. 3 / 10 a 13m afast. frontal: mín. 5m taxa de ocup.: 5 a 40% taxa de perm.: 50 a 60%
	Setor de Atividades Rururbano (SAR)	Eixo ou núcleo de atividades de comércio, serviços e indústria (até classe B)	Gabarito: máx. 3 / 13m afast. frontal: mín. 3m taxa de ocup.: 60% taxa de perm.: 10%
Urbana	Setor Residencial (SRE)	Áreas nas quais prevalece o uso residencial	Gabarito: máx. 4 / 13 a 20,50m afast. frontal: mín. 3 a 5m taxa de ocup.: 25 a 50% taxa de perm.: 15 a 25%
	Setor de Atividades Urbano (SAU)	Eixo ou núcleo de atividades de comércio, serviços e indústria integrado ao uso residencial	Gabarito: máx. 3 / 13 a 15,50m afast. frontal: mín. 3m taxa de ocup.: 70% taxa de perm.: 10%
	Setor de Uso Diversificado (SUD)	Áreas de atividades predominantemente comerciais, de serviços e indústrias	Gabarito: máx. 3 / 13 a 15,50m afast. frontal: mín. 3m taxa de ocup.: 70% taxa de perm.: 10%
	Setor Histórico (SEH)	Contém os imóveis, logradouros, sítios, praças, elementos e monumentos tombados	Parâmetros definidos pela legislação federal, estadual e municipal específica
	Setor de Interesse à Proteção (SIP)	Áreas de entorno e tutela dos bens tombados	Gabarito: máx. 4 / 14m afast. frontal: mín. 3 m taxa de ocup.: 30 a 70% taxa de perm.: 15 a 60%
Área de Especial Interesse	Social (AEIS)	Áreas para as quais se estabelecem regras específicas em função de suas peculiaridades e relevância para o desenvolvimento municipal, proteção do meio ambiente e do patrimônio e para o bem-estar da população	Parâmetros definidos pela legislação federal, estadual e municipal específica
	Urbanístico (AEIU)		
	À Proteção (AEIP)		
	Econômico (AEIE)		

Fonte: Prefeitura Municipal de Petrópolis-RJ

A análise do mapa de densidade habitacional com base no último censo de IBGE (**Figura 5-6**) mostra que a área central da cidade - no 1º Distrito de Petrópolis - de maior densidade populacional e de edificações, é composta, além de setores residenciais e de uso diversificado, por setores mais restritivos do zoneamento, a exemplo dos setores histórico e de interesse à proteção no entorno dos equipamentos urbanos tombados. Isso posto, Petrópolis se desenvolve e expande de forma tentacular, nas bordas dos cursos d'água, sem se emancipar do centro inicial (hoje considerado histórico) no que se refere às atividades de comércio e serviços, principalmente. Fato interessante e condicionante da dinâmica urbana ao considerar que a área mais pujante da cidade, que centraliza as funções administrativa e econômica, coincide com uma área de restrição de uso.

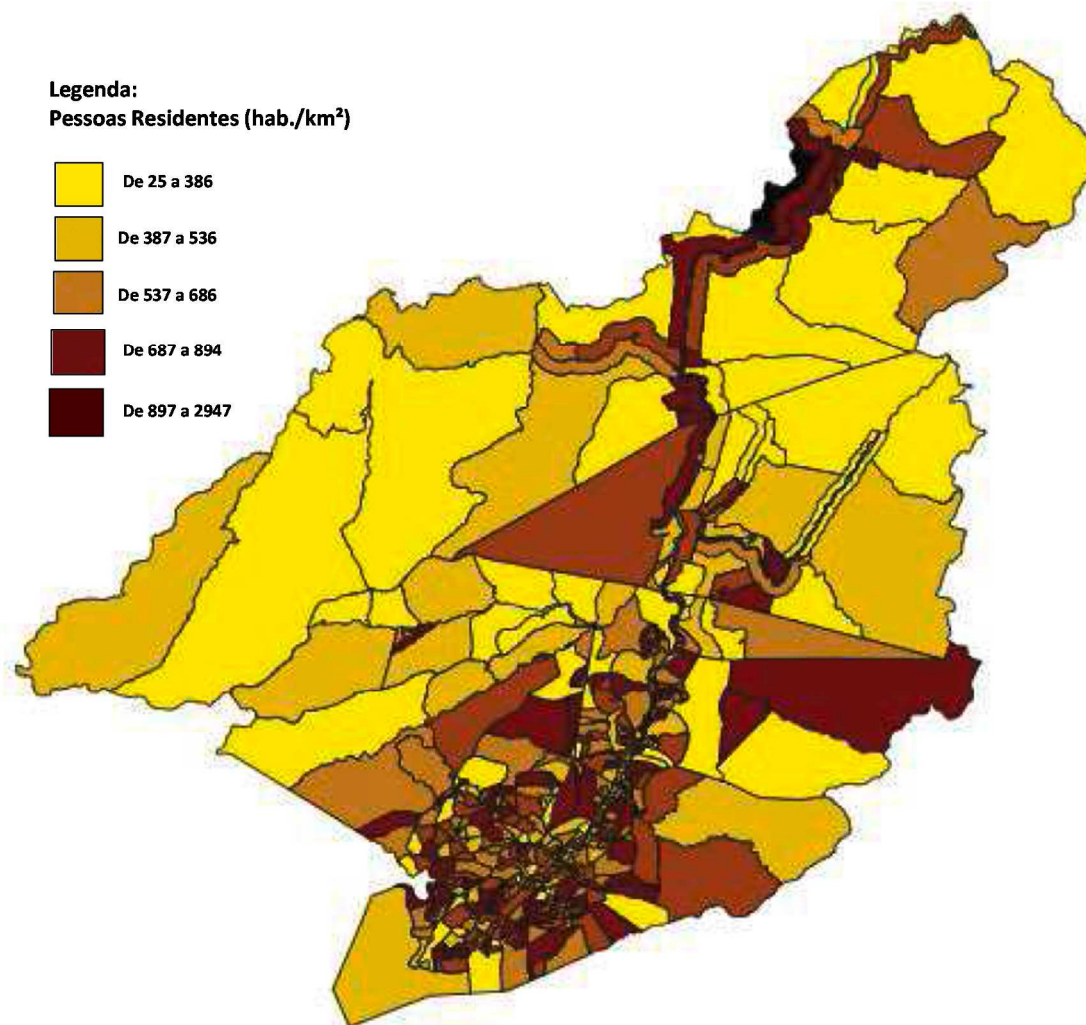


Figura 5-6 - Densidade Habitacional em Petrópolis-RJ-Fonte Censo IBGE-2010

6 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA REGIONAL

6.1 Caracterização Climática

Segundo o IBGE (2009), a cidade de Petrópolis possui clima tropical de altitude, característico das áreas mais altas do relevo brasileiro, cujas temperaturas médias costumam variar entre 18° e 22° C, com amplitudes térmicas anuais de 7° a 9° C. Precipitações médias variando de 1.500 a 1.917 mm/ano. Não existem maiores diferenças entre o clima tropical de altitude e o tropical, pois os meses mais chuvosos, nas áreas de ocorrência deste tipo de clima, coincidem com a primavera e o verão (setembro a março) e os de estiagem, com o outono e inverno (abril a setembro). O verão tem chuvas mais intensas, devido à ação úmida da massa tropical atlântica.

NIMER (1989 apud GUERRA, 2007) classifica o clima da região como mesotérmico brando superúmido, com temperaturas média de 18,4°, e umidade relativa de cerca de 83% ao longo de todo o ano.

A determinação do padrão climático no município ocorre por uma combinação de sua posição geográfica com o relevo montanhoso e a proximidade do oceano. (NIMER, 1989 apud GUERRA, 2007)

O relevo presente no município atua como barreira para umidade vinda do mar, ao passo que a massa de ar perde temperatura com a altitude, o que contribui para um cenário de chuvas frequentes e por vezes extremamente fortes.

Para HACK (HACK et al., 2003), o clima determinante da região é o mesotérmico, embora esteja situado em domínio tropical. Verifica-se que, esta cidade permanece “a maior parte do ano sob o domínio da massa Tropical Atlântica”. Está também sob a influência do confronto desta com a massa polar, e consequentemente, da atuação das “frentes frias e/ou linhas de instabilidade” (HACK et al., 2003, p.94).

As condições de frontogênese resultantes do confronto destas duas massas de ar são mais frequentes no inverno, contudo as condições de instabilidade são menores, causando quedas acentuadas de temperatura, nevoeiros de encosta e diminuição da pluviosidade (HACK et al., 2003).

No verão, este fenômeno provoca fortes chuvas e trovoadas. A elevada topografia local está relacionada à dinâmica atmosférica regional, provocando o aumento da turbulência do ar. Em consequência, há uma boa frequência de chuvas, durante a maior parte do ano,

principalmente a barlavento do relevo. No verão, estas precipitações podem tornar-se muito intensas, resultando nas tempestades que assolam o município (HACK et al., 2003).

O clima urbano é produto de um conjunto complexo constituído de inter-relações da atividade ecológica natural, associada aos fenômenos urbanos. Petrópolis, portanto, é considerado como um “sítio urbano propício a sofrer danos com as chuvas intensas de verão através de cheias calamitosas e, sérios riscos de deslizamentos e desmoronamentos de encostas” (HACK, 2002, p.91). Isto ocorre em decorrência do relevo do local onde a cidade foi implantada que condicionou a sua forma de expansão.

Uma outra classificação climática muito utilizada é a de Köppen, conforme Pereira et al. (2002) e Vianello & Alves (1991), que estabelece possíveis grupos climáticos baseados em temperatura, relevo e regime de chuva entre outros, como apresentado a seguir.

- **Cfa** (inverno frio e verão quente);
- **Cfb** (climas mesotérmicos, úmido e verão brando);
- **Cwa** (temperaturas moderadas com verão quente);
- **Cwb** (inverno frio e verão brando);
- **Awa** (temperaturas elevadas com chuvas de verão);
- **Bsh** (semiárido com temperaturas elevadas).

O clima de Petrópolis encontra-se localizado na classificação **Cfa** de acordo com Köppen e Geiger, ou seja, existe uma pluviosidade significativa ao longo do ano. Mesmo o mês mais seco ainda assim tem muita pluviosidade. Em Petrópolis a temperatura média é 19.7 °C. 1.917 mm é o valor da pluviosidade média anual.

O mês mais seco é julho e apresenta uma precipitação média de 45 mm. O mês de maior precipitação é janeiro, com uma média de 313 mm.

O **Quadro 6-1** e a **Figura 6-1** apresenta a média das temperaturas e precipitações em Petrópolis-RJ.

Quadro 6-1 - Principais Variáveis Climatológicas de Petrópolis-RJ (Fonte: Climate-data.org, acessado em 20 de outubro de 2021)

Variável	Mês											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Temp. Méd. (°C)	22,6	22,7	21,8	20,2	17,7	17,0	16,5	17,3	18,8	20,2	20,4	21,8
Temp. Mín. (°C)	19,5	19,4	18,9	17,3	14,6	13,7	12,9	13,4	18,9	18,9	18,9	18,9
Temp. Máx. (°C)	26,8	27,2	25,9	24,2	21,8	21,5	21,3	22,5	23,9	27,2	25,9	24,2
Precip.(mm)	313	232	252	116	76	46	45	46	95	144	255	297
Umid. Rel.(%)	79%	78%	82%	82%	81%	80%	78%	74%	74%	77%	81%	81%
Dias de Chuva (d)	16	13	16	11	9	6	5	6	9	12	15	17
Horas de Sol (h)	8,4	8,7	7,3	6,4	6,0	6,3	6,5	6,7	6,5	6,3	6,2	7,3

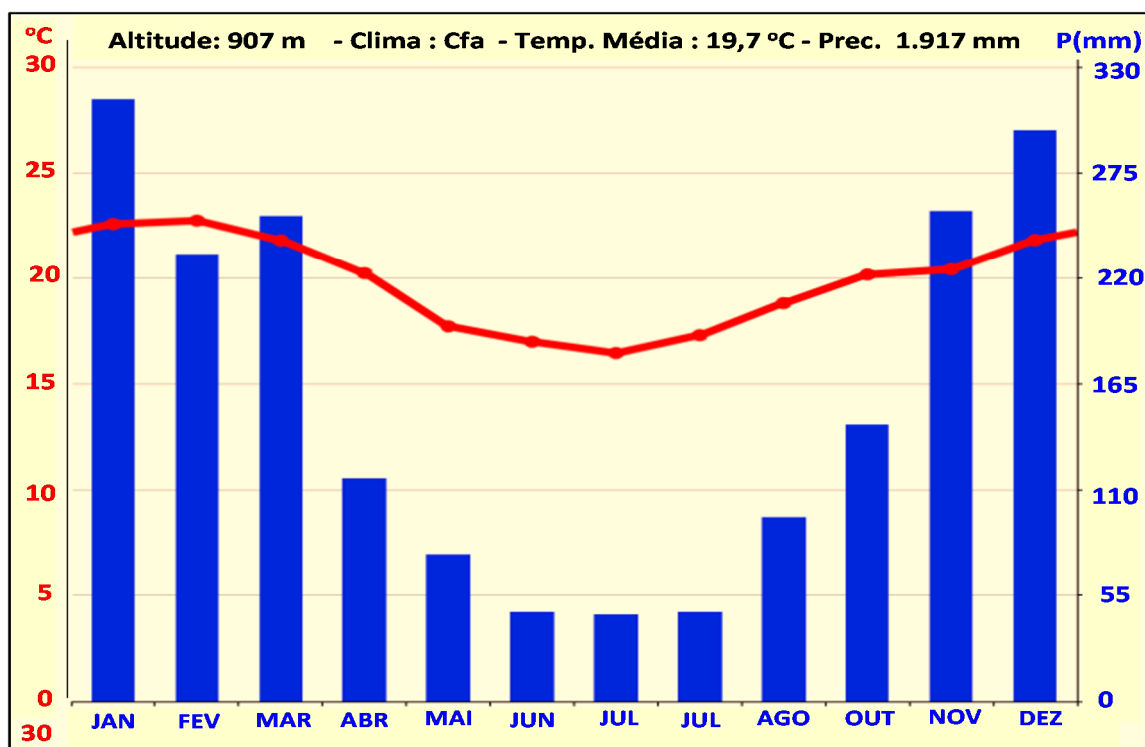


Figura 6-1 - Médias de Temperatura e Precipitação em Petrópolis-RJ (Fonte: Climate-data.org, Acessado em 20 de Outubro de 2021)

6.2 Precipitação

A pluviosidade média anual da cidade de Petrópolis, segundo o ICMBIO (2007) varia entre 1.500 mm e 1.917 mm.

O regime de chuvas em Petrópolis obedece a dois sistemas principais: o Sistema de Correntes Perturbadas de Sul e o Sistema de Correntes Perturbadas de Oeste.

Correntes Perturbadas de Sul, mais comumente denominadas Frentes Frias, são as principais responsáveis pela formação de nuvens na área. Essas frentes deixam o continente Antártico e penetram no Oceano Atlântico onde se aquecem e umedecem

rapidamente, invadindo o continente Sul Americano, condicionando-se pela orografia e pelo contraste térmico, sendo então as responsáveis pelo maior aporte de umidade ao local, sobretudo no verão, quando a radiação solar chega em maior quantidade devido ao maior tempo de insolação do hemisfério sul, com o aumento da evaporação e da temperatura, a qual aumenta a capacidade do ar de transportar água.

No verão elas frequentemente estacionam provocando chuvas persistentes. Quando a frente fria se dissipa, o Anticiclone do Atlântico volta a dominar a costa e caminha para Oeste, provocando um vento Leste que traz umidade do mar para a terra. Por efeito do relevo, esta umidade acumula-se nas serras do entorno da área, em maior ou menor quantidade e em função do predomínio do Anticiclone do Atlântico e da sua extensão no mar, fazendo com que ocorra uma maior evaporação.

As frentes frias acarretam precipitações pouco expressivas no inverno devido a pouca umidade específica, tanto do anticiclone polar como da massa tropical marítima, devido à baixa radiação e evaporação no hemisfério sul neste período.

São, porém, as principais responsáveis pelos aguaceiros de grande concentração/hora, principalmente na região das serras, bem como pela abundante precipitação ocorrida normalmente no Sudeste no verão, podendo permanecer semi-estacionárias de 2 a 3 dias e até mesmo 10 dias, pelos sucessivos avanços e recuos, com permanência de mau tempo pelo seu confronto com a alta do Atlântico.

Avançando de sudoeste para nordeste, elas têm sua intensidade de duração, avanço ou dissipação condicionados pela energia acumulada e atinge áreas continentais do litoral ou próximas a ele.

As Correntes Perturbadas de Oeste atingem a região entre outubro e abril, com ventos de leste a noroeste trazidas pelas linhas de instabilidade tropicais (IT). Causam as chamadas “chuvas de verão”, de intensa precipitação e curta duração. Nas linhas de depressão barométrica formadas ao norte da frente polar ocorrem chuvas e trovoadas, eventualmente granizos, ventos moderados a fortes com rajadas de até 60 a 90 km/hora.

A formação de nuvens do tipo cumulus (Cu - nuvens densas, com contornos salientes, ondulados e bases frequentemente planas, com extensão vertical pequena ou moderada, podendo ocorrer isoladamente ou dispostas próximas umas das outras) sobre as serras, evolui para os cumulonimbus (Cb - nuvens altas, algumas vezes espalhadas no topo de modo a formar uma "bigorna". Associadas com chuvas fortes, raios, granizo e tornados) que

ocupam grandes áreas do céu, culminando com os temporais, normalmente no final da tarde, que se desloca junto à massa de CB, normalmente seguindo a linha de instabilidade de baixa pressão atmosférica.

Esses dois fatores de perturbação explicam o fato de Petrópolis apresentar o trimestre mais chuvoso coincidindo com o mais quente do ano, ou seja, novembro, dezembro e janeiro.

Nos meses onde a influência da frente fria é preponderante, isto é, no trimestre mais chuvoso, a distribuição espacial é praticamente uniforme. Nos outros meses ocorre um decréscimo de precipitação quando se dirige de Petrópolis em direção ao vale do médio Paraíba. No semestre mais seco, a precipitação tende a se concentrar nas áreas de relevo mais acentuado, isto é, na Serra do Couto, na Serra das Araras em sua parte Oeste mais elevada e na Serra dos Órgãos.

A Serra dos Órgãos é um obstáculo para que as massas de ar vindas do Anticiclone do Atlântico cheguem à área de Itaipava, tornando essa área, no período de inverno, extremamente seca, quase sem precipitações.

O relevo, principal responsável pelas chuvas nos meses de inverno, é mais aplainado no Médio Piabanha, na área de Itaipava, o que contribui para as baixas precipitações.

Segundo o Prof. Dr. Paulo Canedo, da COPPE/UFRJ (2011) as grandes chuvas no município de Petrópolis são geradas por empilhamento de massas úmidas advindas da planície de Magé". Segundo o autor, a principal região-fonte é o centro de pluviosidade de Magé, que utiliza o vale do rio Palatinato como principal corredor de acesso ao centro histórico. Isto é, o trajeto se dá pelo alinhamento de Magé - Piabetá - Palatinato, trajeto esse entre as montanhas "Dois Irmãos" e "Pedra do Cortiço". Alternativamente, há o alinhamento Magé - Caxambu - Itamarati, com trajeto situado entre as montanhas "Dois Irmãos" e "Pico de Deus". Há, ainda, uma terceira entrada que segue o alinhamento Magé - Saracuruna - Mato Grosso - Quitandinha, com trajeto entre as montanhas "Pedra do Cortiço" e "Pedra Branca", acessando, também, a cidade histórica. Entretanto, todas as três entradas têm como região fonte de umidade o centro de pluviosidade de Magé, cuja massa úmida é empurrada pelos ventos contra o contraforte da Serra de Petrópolis. Quando movimentos frontais se juntam como fator reativante da convecção local e dos efeitos orográficos, o ar quente e úmido é forçado, de forma rápida, para o contraforte e tem-se o quadro dos grandes transbordamentos dos rios urbanos de Petrópolis. Ver setas azuis abaixo. Quando não, a massa de ar quente e úmido de Magé tende a se expandir para oeste, com empilhamento em Itaguaí. Ver setas pontilhadas (CANEDO, 2011, slide 5-6).

A **Figura 6-2** ilustra a teoria do Professor Canedo na qual o movimento dos ventos na encosta da Serra do Mar leva a umidade da Baía de Guanabara, concentrada no município de Magé, para o centro urbano de Petrópolis.

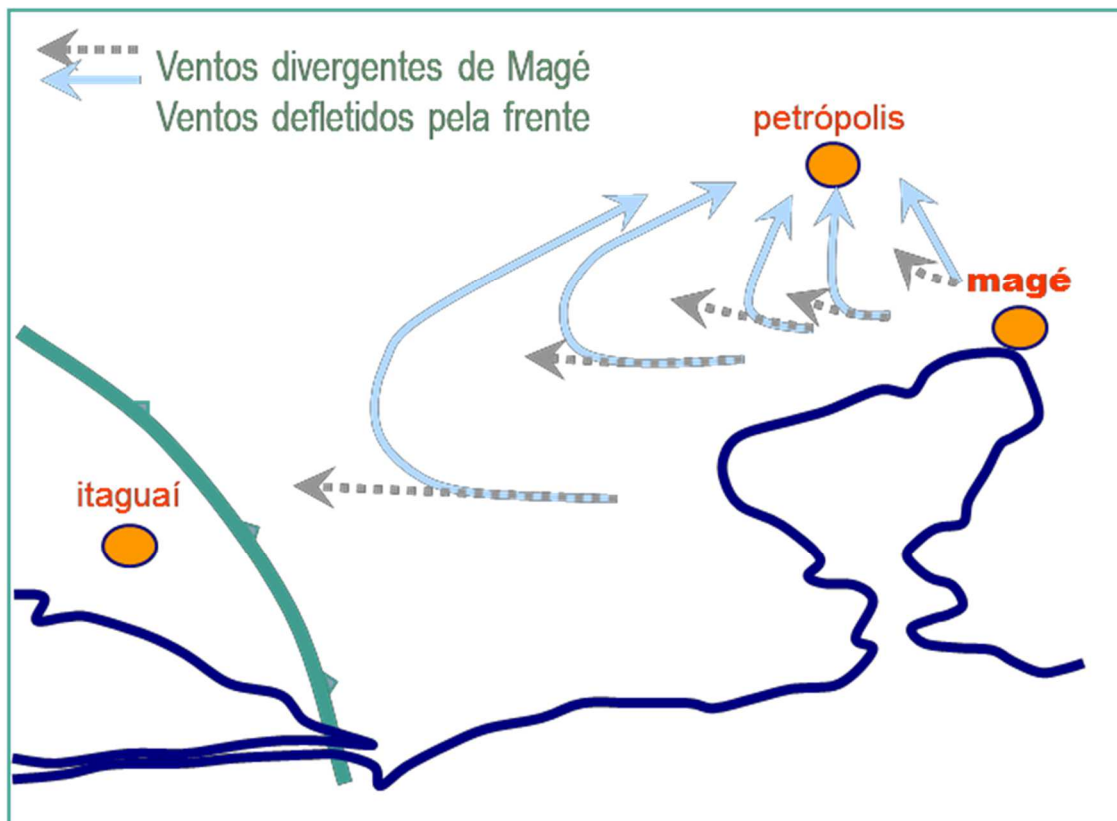


Figura 6-2 - Ventos Que Atuam Levando a Umidade de Magé Para Petrópolis - Fonte: CANEDO (2011, s-6)

6.3 Umidade Relativa do Ar

A umidade relativa do ar é a relação entre a quantidade de água existente no ar (umidade absoluta) e a quantidade máxima que poderia haver na mesma temperatura (ponto de saturação). Ela é um dos indicadores usados na meteorologia para se fazer previsões meteorológicas.

Ao contrário da precipitação, ao longo do ano, a umidade relativa média no município de Petrópolis é pouco variável, mantendo-se sempre próxima aos 80% (**Figura 6-3**).

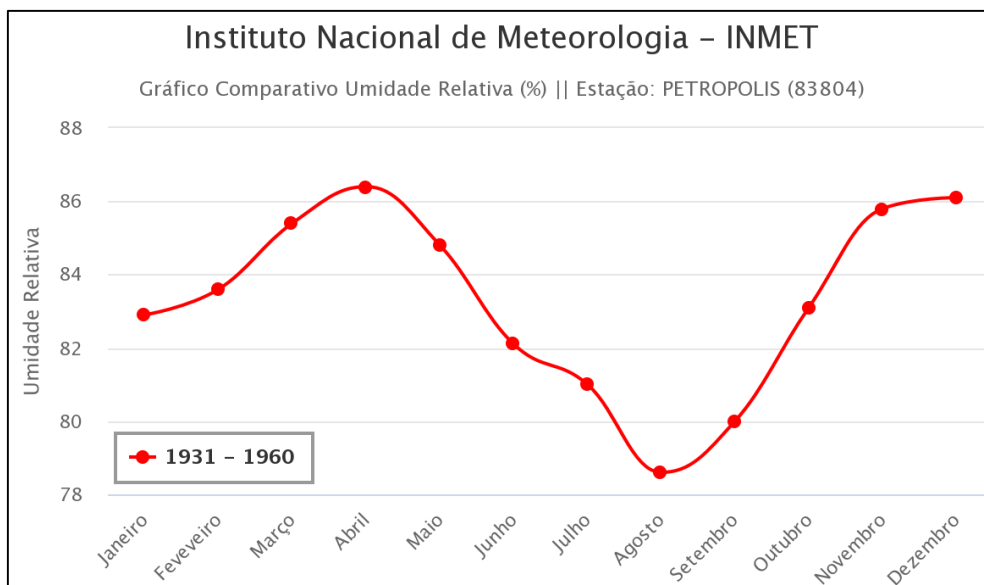


Figura 6-3 - Umidade Relativa do Ar - Petrópolis - Fonte: INMET

6.4 Velocidade e Direção dos Ventos

Os ventos são responsáveis pela homogeneização do ar, espalhando a umidade proveniente da evapotranspiração local, das frentes frias e da evaporação do oceano trazida pelo Anticiclone do Atlântico.

Sendo assim, existem basicamente três tipos de circulação atmosférica, em função de sua energia:

Provocada pelas Frentes Frias

A de maior energia é a proveniente dos ventos que acompanham as frentes frias.

Esses vêm do Sul e quando encontram a Serra do Mar tomam a direção Sudoeste-Nordeste na Serra do Couto e das Araras. Esta circulação é predominante e, quando acontece, ocupa toda a área do Município de Petrópolis.

Em diversos locais, ainda devido às frentes frias, podemos ver a ocorrência de ventos localizados, devido ao relevo, como na Serra da Estrela e Corrêas.

Esses ventos trazem chuva forte e durável.

Oriunda do Deslocamento do Anticiclone do Atlântico

A segunda circulação importante, em termos de energia, é a oriunda do deslocamento do Anticiclone do Atlântico para Oeste, gerando um vento Leste, que traz umidade do oceano para a área.

Essa circulação concentra umidade nas cabeceiras das bacias, podendo trazer chuva fina e durável por perturbação orográfica, ou chuva forte por perturbação convectiva.

Oriunda da Orografia

A terceira circulação é a circulação local, gerada pelas brisas térmicas que ocorrem nas bacias hidrográficas.

Os ventos gerados vão de jusante para montante durante o dia levando umidade para a parte alta das bacias. Durante a noite a situação se inverte e os ventos ocorrem de montante para jusante trazendo umidade para a parte baixa das bacias, amenizando e diminuindo o calor sensível com o aumento do calor latente.

Os ventos observados pela estação telemétrica de Petrópolis (Simerj, 2006) apontam para uma velocidade média pouco variável ao longo dos meses, girando em torno de 1,4 a 1,8 m/s.

6.5 Temperatura

A temperatura é resultante da radiação solar (pequeno comprimento de onda) e da radiação terrestre (grande comprimento de ondas térmicas) e sua absorção pelo solo/ atmosfera, resultando em calor latente (evaporação) e calor sensível (temperatura).

A existência de água no solo para a evapotranspiração reduz a absorção sob forma de calor sensível, diminuindo a temperatura local.

A relação entre o calor sensível e o calor latente é conhecida como Relação de Bowen e está ligada diretamente à presença de água para evaporar e da vegetação para transpirar e bloquear a circulação. A fraca existência de calor latente nos leva a altas temperaturas durante o período de radiação solar (dia) e grandes gradientes térmicos na umidade do dia. O equilíbrio entre o calor sensível e o calor latente traz climas com gradientes mínimos de temperatura e umidade.

Com a altitude também ocorre o efeito de perda de temperatura devido à diminuição da densidade do ar.

A temperatura média anual do Município de Petrópolis é de 19,8° C, com a temperatura máxima média em janeiro variando entre 26° e 28° C, enquanto a temperatura máxima média do ano é de 24,4° C. O mês mais frio é julho, com a temperatura mínima média de 17,1° C.

6.6 Evapotranspiração Potencial

A Evapotranspiração (ETP) resulta em aporte de água para a atmosfera devido a perda de água do solo por evaporação e a perda de água da planta por transpiração, aumentando a umidade do ar. Para que ela ocorra é necessária a presença de um estoque de água no solo oriundo da chuva.

Ela é ligeiramente menor no trimestre mais chuvoso e maior no período seco.

Sua distribuição espacial revela que temos um aumento da ETP de montante para jusante considerando-se a bacia hidrográfica do Piabanha em Petrópolis, acentuando-se na área dos Distritos de Itaipava e Pedro do Rio. Nota-se que, nesta área, a vegetação apresenta adaptações ao período mais seco, como por exemplo a perda das folhas durante os meses de menor precipitação, os dados disponíveis para o município de Petrópolis do Inmet mostram uma evapotranspiração potencial média anual de 820 mm.

7 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA BACIA HIDROGRÁFICA

O rio Piabanha, um dos principais rios de Petrópolis, tem sua nascente no Parque Nacional da Serra dos Órgãos e seu deságue no rio Paraíba do Sul, com uma extensão de cerca de 80km.

A área de estudo para avaliação das cheias no centro histórico pode ser vista na **Figura 7-1**, e compreende a bacia do Alto Piabanha, a qual abrange as bacias do rio Quitandinha, Palatinato e Itamarati. Adicionalmente foi acrescentada a bacia do Rio Itamarati por receber parte da contribuição do túnel extravasor.

Para o estudo hidrológico foram delimitadas as bacias do rio Quitandinha, do rio Palatinato, do rio Itamarati e a sub-bacia mais a montante do Alto Piabanha, como mostra o mapa da **Figura 7-2**.

O limite da região de estudo poderá ser expandido caso os resultados das simulações hidrodinâmicas indiquem que as alternativas de mitigação de inundações no centro histórico agravem a situação de jusante.

Em relação ao desenvolvimento do presente capítulo, os primeiros 4 tópicos apresentam de maneira mais detalhada as principais características fisiográficas de cada sub-bacia estudada. A partir do quinto tópico são apresentadas as características geológicas, geomorfológicas, pedológicas, de relevo e de uso e cobertura do solo levando em conta a delimitação apresentada na **Figura 7-1**.

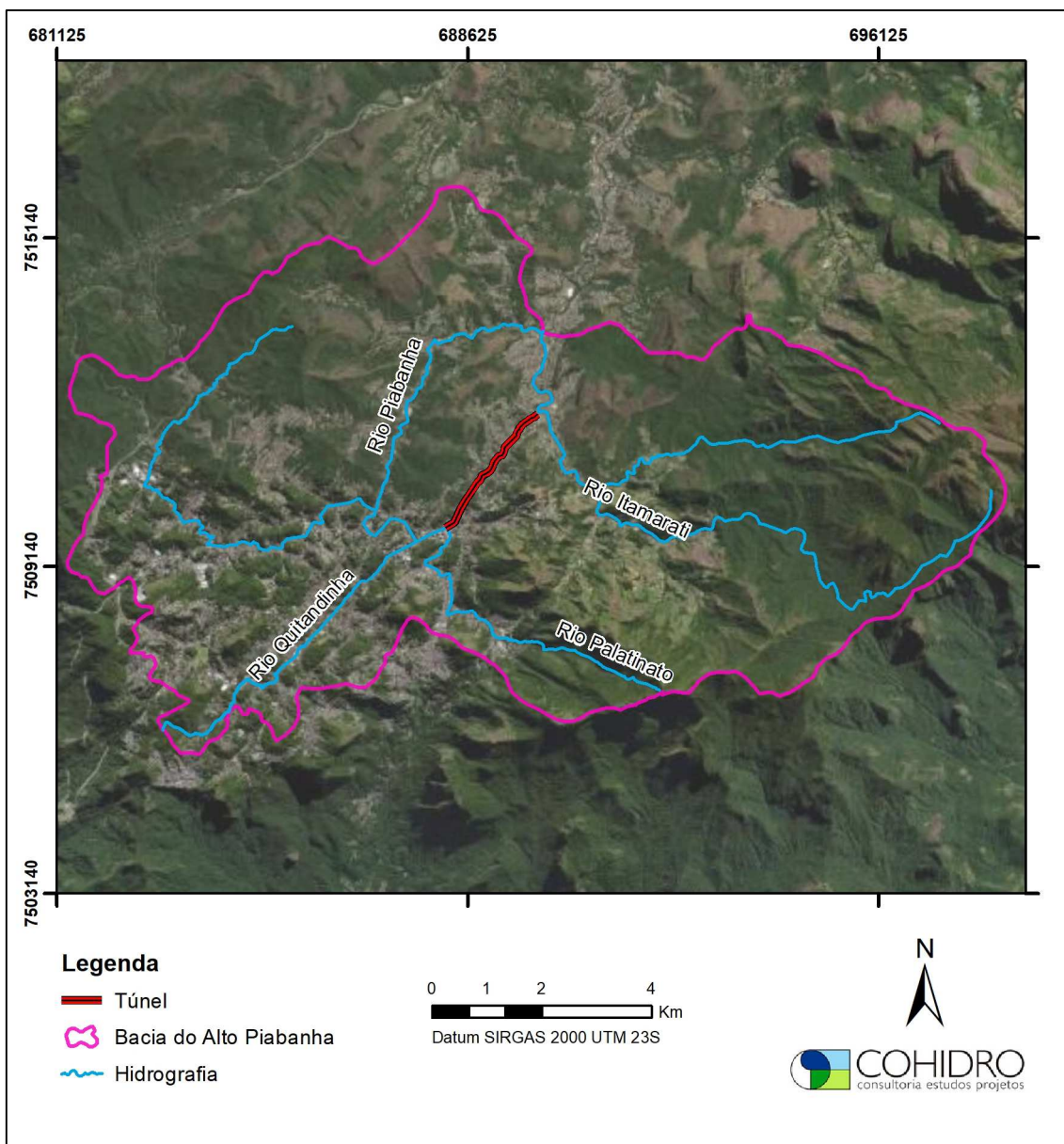


Figura 7-1 - Limites da Bacia Hidrográfica do Alto Piabanha, Abrangendo as Sub-bacias dos Rios Palatinato, Quitandinha e Itamarati, com o Túnel Extravasor Marcado em Vermelho.

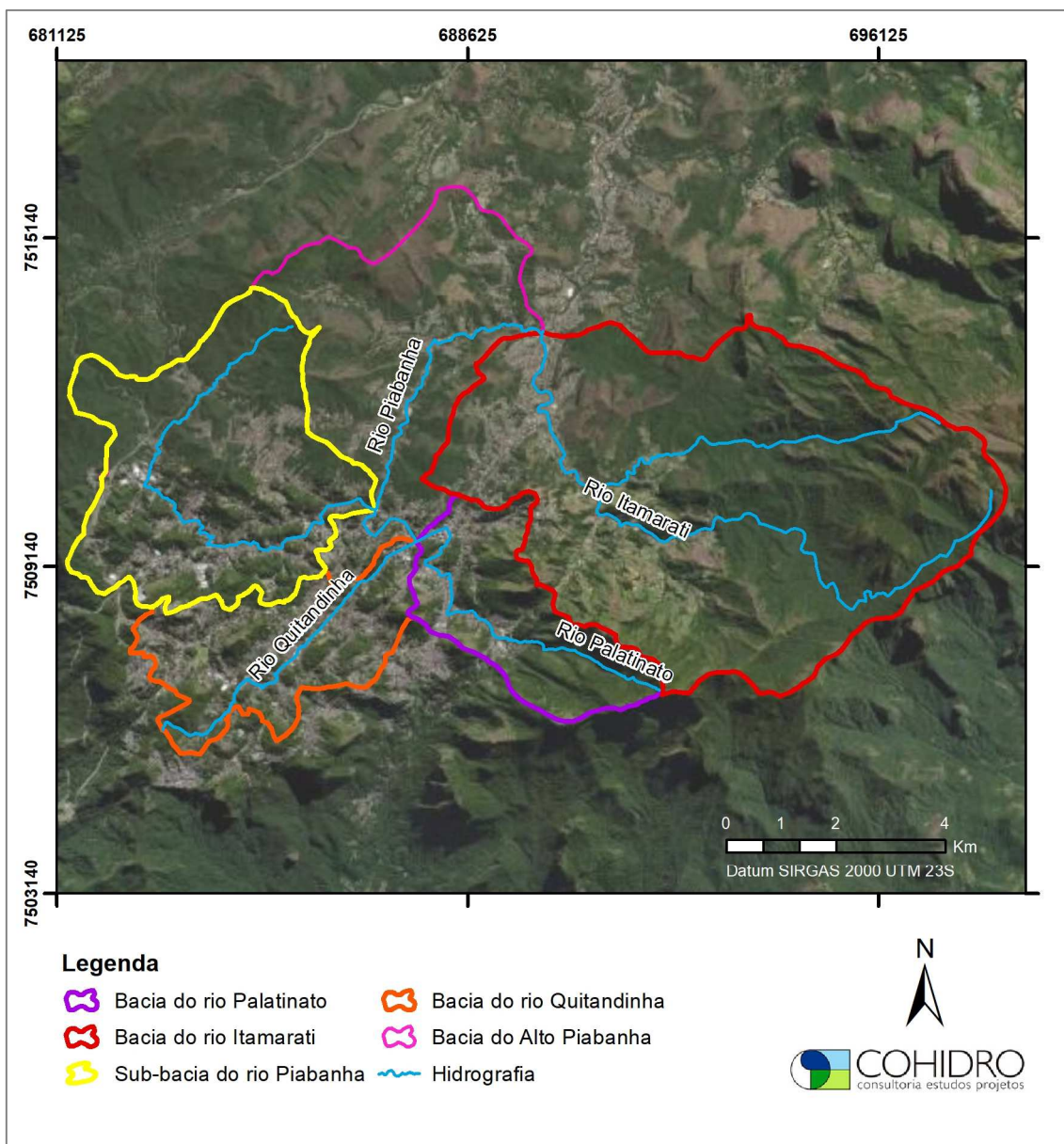


Figura 7-2 - Limites das Bacias Hidrográficas dos Rios Quitandinha, Palatinato, Itamarati e da Sub-bacia do Rio Piabanha.

7.1 Bacia do Rio Piabanha

O rio Piabanha, nasce na Serra da Estrela, na fralda ocidental do penhasco do Retiro e tem 80 km de extensão. Sua bacia de drenagem tem uma área de 2.065 km², abrangendo quatro municípios fluminenses - Areal, Petrópolis, Teresópolis e São José do Vale do Rio Preto, onde vivem cerca de 430 mil pessoas.

Como em grande parte das bacias brasileiras, o ano hidrológico na bacia do rio Piabanha corresponde ao período de setembro a agosto. Ao longo do ano os meses mais chuvosos na bacia estão entre dezembro e fevereiro e os meses mais secos entre junho e agosto. As maiores vazões ocorrem entre dezembro e março e as mínimas entre julho e setembro.

Seu principal afluente é o rio Paquequer, de 75 km de curso, que banha Teresópolis e São José do Vale do Rio Preto.

A bacia do rio Piabanha é uma das bacias formadoras do rio Paraíba do Sul que apresenta a maior cobertura florestal, estimada em mais de 20% de suas terras, onde estão os mais expressivos remanescentes da Mata Atlântica. Destaca-se também que a sub-bacia do rio Paquequer afluente do Piabanha apresenta o maior percentual de cobertura florestal (46%) entre todas as sub-bacias individualizadas do rio Paraíba do Sul.

No que se refere ao trecho do rio Piabanha no Município de Petrópolis, dentro do quadro geomorfológico que integra o município, toda a rede hídrica que banha Petrópolis, corre encaixada nos fundos dos vales e é estruturada pelo Rio Piabanha, que é o principal canal de macrodrenagem do município de Petrópolis, pois recebe contribuição das águas pluviais dos cinco Distritos de Petrópolis, diretamente ou através de seus afluentes.

No 1º Distrito, o rio é canalizado, com muro de concreto, gabião e alvenaria de pedra nas suas margens. Várias obras de manutenção e de recuperação do revestimento das margens vem sendo realizadas periodicamente pela Prefeitura Municipal e pelo INEA, que também realiza obras de dragagem e limpeza do rio (**Figura 7-3**).

Já dentro da Cidade de Petrópolis, em seu 1º Distrito (Sede), mais precisamente na Praça da Confluência, antiga Praça Koblenz, onde foi construído o Palácio de Cristal, o rio Piabanha recebe a contribuição do Canal do Centro, que na realidade consiste em uma continuação do rio Quitandinha, após receber as águas do rio Palatinato nas proximidades do Monumento dos Colonizadores / Obelisco.

O **Quadro 7-1** apresenta as principais características fisiográficas da Bacia do rio Piabanha considerando como ponto de exutório o limite do município de Petrópolis.

Quadro 7-1 - Principais Características Fisiográficas da Bacia do Rio Piabanha com Ponto de Exutório no Limite de Petrópolis-RJ

Bacia	Área de Drenagem (Km ²)	Talvegue Principal (km)	Cota Maior (m)	Cota Menor (m)	Desnível (m)	Decl. Média Talvegue (%)
Rio Piabanha	162,4	59,4	1.150	450	700	1,20%



Figura 7-3 - Rio Piabanha - 1º Distrito - Fonte: Habitat Ecológico Ltda. (2014)

A **Figura 7-4** apresenta o diagrama unifilar dos afluentes do rio Piabanha no 1º e 2º Distritos de Petrópolis.

A - CURSO :

[Face ocidental da Pedra do Retiro, João Xavier, Duarte da Silveira, Bingen Paulino Afonso, Carlos Gomes-Francisco Manoel, Piabanha, Barão do Rio Branco, Hermogêneo Silva, Cascatinha, Itaipava, Pedro do Rio, Areão, Três Rios - Paraíba do Sul]

B - Esquema do Recebimento dos Afluentes

Margem Esquerda

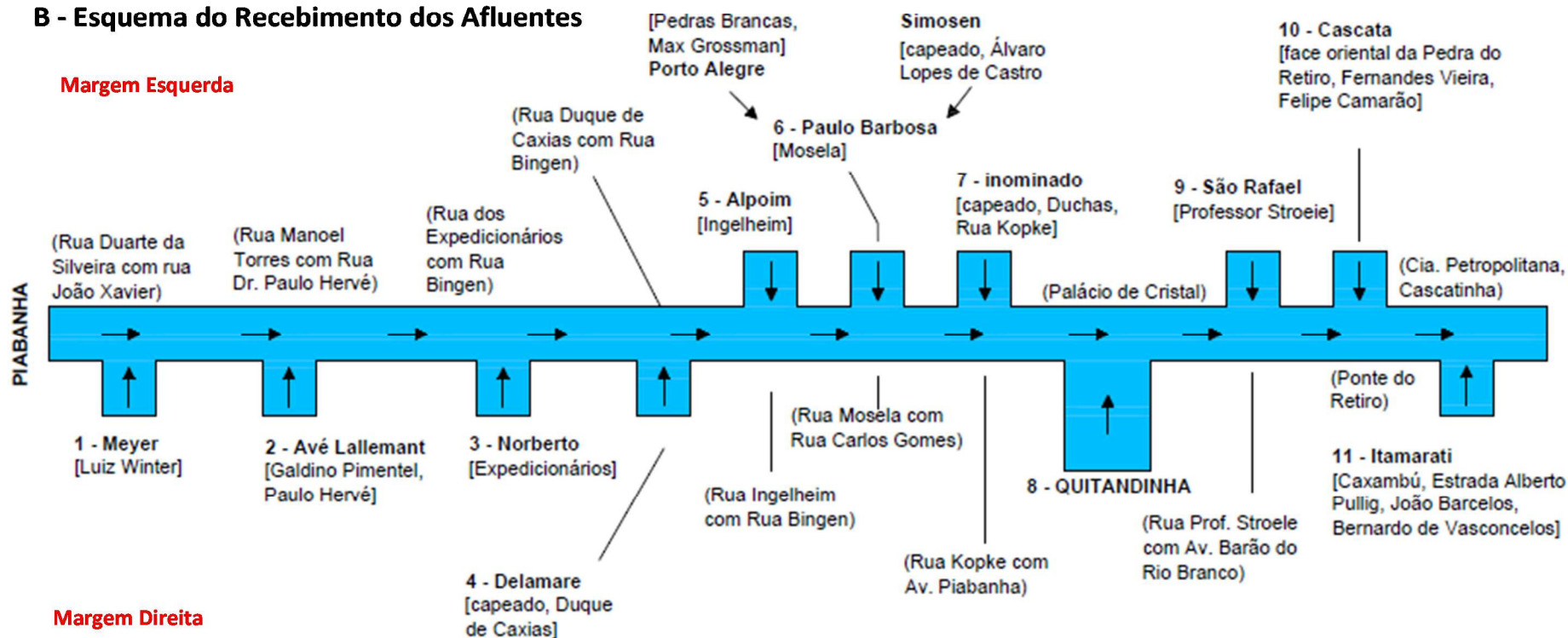


Figura 7-4 - Diagrama Unifilar dos Afluentes do Rio Piabanha no 1º e 2º Distritos de Petrópolis. (Fonte - Prefeitura de Petrópolis-RJ)

7.2 Bacia do Rio Quitandinha

A bacia do rio Quitandinha encontra-se totalmente confinada no 1º Distrito (Sede) e abrange totalmente os bairros Quitandinha, Siméria, Independência, Castelânea, Valparaíso e Alto da Serra, além de parte do centro da cidade de Petrópolis. Seu nome é uma referência direta ao famoso hotel que deu origem ao nome de seu rio principal.

Também é importante ressaltar que a bacia está totalmente inserida dentro da APA de Petrópolis, e no entanto, encontra-se com bastante ocupação urbana, inclusive em áreas próximas a corpos d'água, nascentes e áreas com inclinação superior a 45°, apesar da proibição do código florestal. (Ministério do Meio Ambiente, 2011).

A ocupação do bairro Quitandinha ocorreu de forma irregular, principalmente nas encostas do morro no entorno do lago, criando diversas áreas com risco de deslizamentos e inundações.

O rio Quitandinha, atravessa uma área bastante urbanizada em seu percurso até o centro da cidade. Desenvolve-se ao longo da rua Coronel Veiga, que possui seção de escoamento extremamente reduzida em alguns trechos e com inúmeras travessias (pequenas pontes) para acesso a residências e estabelecimentos comerciais, algumas delas estreitando ainda mais a seção do canal. (Figura 7-5)

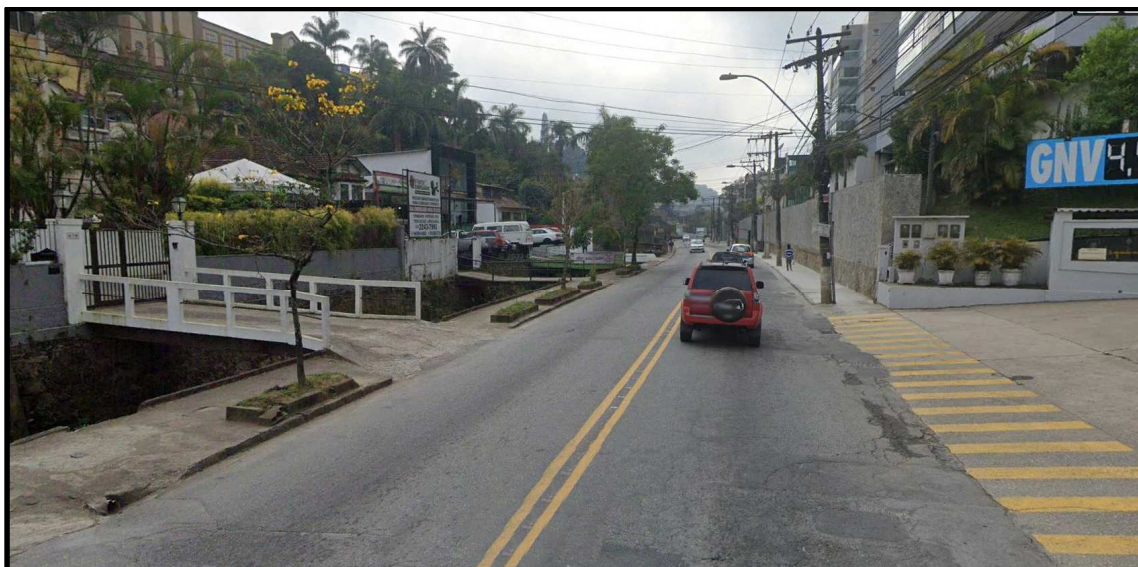


Figura 7-5 - Rio Quitandinha Margeado pela Rua Coronel Veiga

Na rua Coronel Veiga, o Quitandinha possui seção transversal retangular, com largura variada, fundo em solo e muros laterais de pedra e de concreto armado. Além da impossibilidade de alargamento de sua calha, já que a margem direita encontra-se ocupada

pela avenida e a esquerda pela presença de casas e estabelecimentos comerciais, o rio também sofre com o assoreamento do canal que torna todo seu percurso com profundidade limitada e sujeito à transbordamentos.

Outro aspecto relevante que contribui para as frequentes inundações é o grande número de pontes que atravessam o rio. Como não há calçadas na margem esquerda, as residências e estabelecimentos comerciais junto ao rio necessitam das pontes para efetuarem seu comércio e saírem de suas residências.

Deve-se ressaltar ainda que qualquer alteração na canalização do rio Quitandinha torna-se complexa, pois ele se desenvolve em vias altamente utilizadas, dentre as quais destaca-se a rua Coronel Veiga que tem a função de ligar cerca de 5 bairros ao centro de Petrópolis e via de acesso à saída da cidade pela BR-040, principal acesso à cidade do Rio de Janeiro e que segue até Brasília.

Além das frequentes inundações, um outro problema relevante na bacia do Rio Quitandinha é a contribuição de esgotos sanitários. O sistema implantado no município pela concessionária Águas do Imperador, utiliza interceptores no leito do rio para coletar o esgoto sanitário e encaminhar para as Estações de Tratamento de Esgoto. Ainda assim, é possível encontrar despejos de esgotos sanitários diretamente no rio, sem o tratamento adequado (Figura 7-6).



Figura 7-6 - Sistema Interceptor de Esgotos no Rio Quitandinha (Fonte Habitat- 2014)

A nascente do rio Quitandinha se encontra na encosta que margeia a rodovia BR-040, de onde o rio segue percorrendo um estirão de cerca de 1,0 km até o Lago do Quitandinha (Figura 7-7 e Figura 7-8). Após o lago o rio percorre mais 5,30 km até a confluência com o rio Palatinato no Centro, próximo ao Obelisco, e dali, passa a receber alternativamente o nome de Canal do Centro, percorrendo mais 1,86 km pelo Centro Histórico até desaguar

no rio Piabanha cujas águas seguem para a região de Corrêas e Nogueira (Figura 7-9 e Figura 7-10).

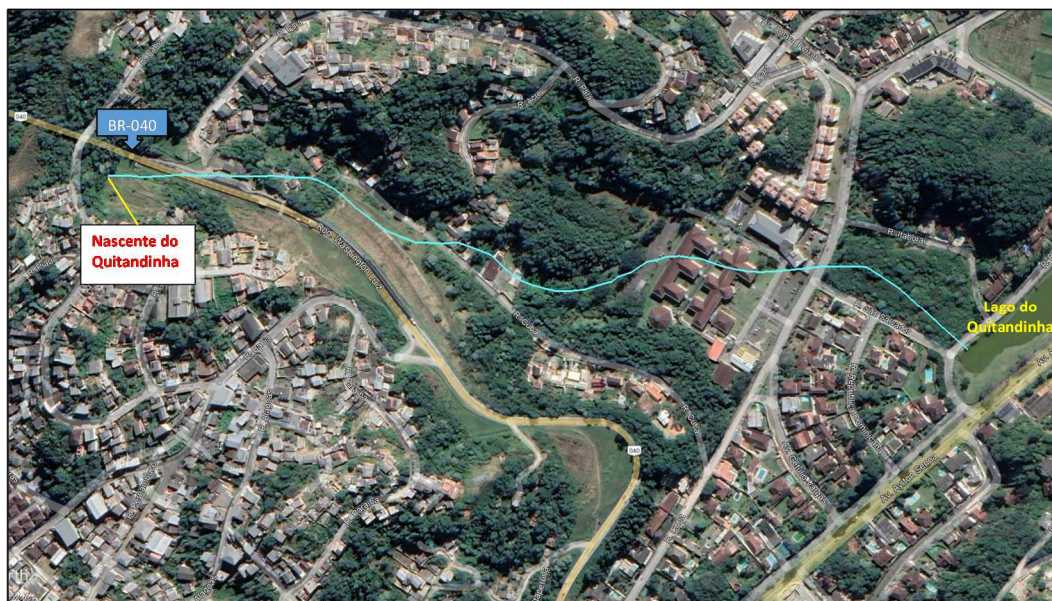


Figura 7-7 - Vista em Planta do Local da Nascente do Rio Quitandinha (Fonte: Google Earth)

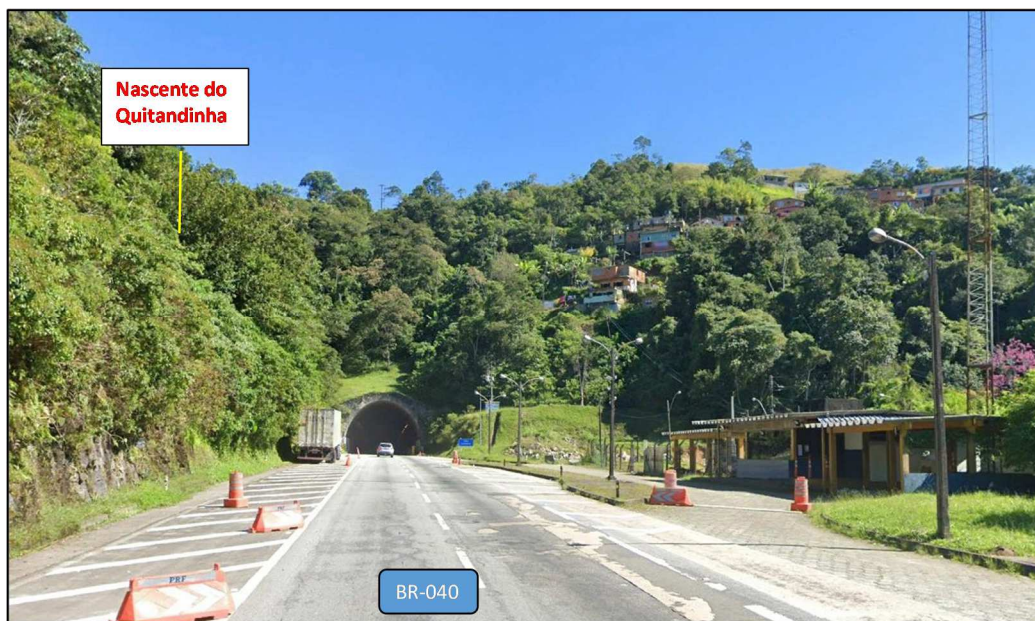


Figura 7-8 - Vista do Local da Nascente do Rio Quitandinha (Fonte: Google Earth)

Em seu curso de cerca de 6,3 km de extensão até o encontro com o rio Palatinato, drena uma área total de 9,6 km² que abrange parte dos bairros Quitandinha, Crémerie, Castelânea e do centro da cidade de Petrópolis.

Os principais afluentes do rio Quitandinha são: o rio Crémerie, o córrego Saturnino e o rio Aureliano, todos pela margem direita.



Figura 7-9 - Trecho do Canal do Centro na Rua da Imperatriz



Figura 7-10 - Trecho da Curva de 90° do Canal do Centro entre a Avenida Roberto Silveira e a Rua Alfredo Pachá

O **Quadro 7-2** apresenta as principais características fisiográficas da Bacia do rio Quitandinha.

Quadro 7-2 - Principais Características Fisiográficas da Bacia do Rio Quitandinha

Bacia	Área Total (Km ²)	Talvegue Principal (km)	Cota Maior (m)	Cota Menor (m)	Desnível (m)	Decl. Média Talvegue (%)
Rio Quitandinha	10,8	6,3	860	810	50	0,79

A Figura 7-11 apresenta o diagrama unifilar dos afluentes do rio Quitandinha.

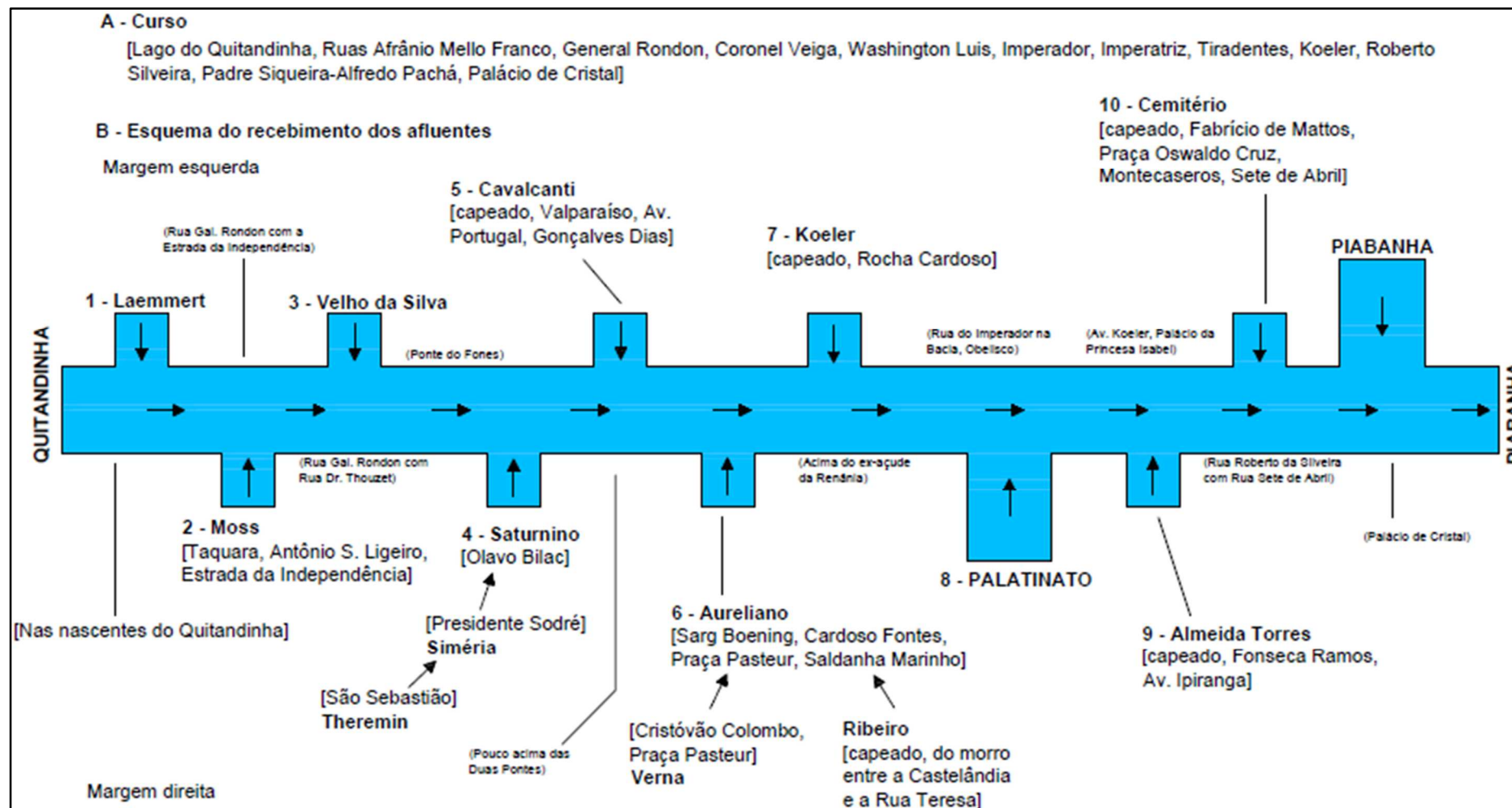


Figura 7-11 - Diagrama Unifilar do Rio Quitandinha (Fonte - Prefeitura de Petrópolis-RJ)

7.3 Bacia do Rio Palatinato

O rio Palatino ou Palatinato é um dos principais rios urbanos de Petrópolis com nascente na serra do Cobiçado na cota 1.710 m drenando completamente as águas do bairro Morin, e parcialmente os bairros de Alto da Serra, Caxambu e Centro, até desaguar no rio Quitandinha, no Centro Histórico do município.

A bacia do rio Palatinato, assim como a do rio Quitandinha, está totalmente inserida no 1º Distrito (Sede). A bacia do rio Palatinato também se encontra situada dentro da APA de Petrópolis e também apresenta bastante ocupação urbana, inclusive em áreas próximas a corpos d'água, nascentes.

O nome palatino vem da palavra latina "palatinus", que quer dizer "palaciano", "do palácio", "imperial", "real". O nome foi dado por Köeler para substituir o de Córrego Seco porque suas águas, depois de banhar os Quarteirões Palatinato Superior e Palatinato Inferior, entravam na Vila Imperial e seguiam no trecho final junto ao terreno do palácio na parte dos jardins que ia até a rua do Imperador. Este contato palaciano desapareceu mais tarde, quando os limites dos jardins foram recuados para permitir a remodelação que, entre outras novidades, formou a porção leste da Praça D. Pedro, de denominação hoje destacada daquela e dita Praça dos Expedicionários. O encontro do Palatino com o rio Quitandinha, na Rua do Imperador, na altura das duas praças e do Obelisco, ainda é chamado pelos mais antigos de "a bacia".

Pela sua localização, a bacia do rio Palatinato possui grande importância para o turismo de Petrópolis, já que nela encontram-se os principais pontos turísticos da cidade.

O histórico dessa região é rico em prédios que abrigaram Fábricas Têxteis e que empregavam centenas e mais centenas de operários como sua mão de obra por algumas décadas. Atualmente, muitos desses prédios encontram-se desativados, outros são utilizados para outros fins. Os Bairros do Morin e do Alto da Serra, que são drenados pelo rio Palatinato são densamente povoados.

As margens do rio Palatinato encontram-se as instalações da antiga Fábrica Dona Isabel fundada em 08 de maio de 1889, cujo nome foi uma homenagem à Princesa Isabel que, um ano antes, havia assinado a Lei Aurea que pôs fim à escravidão no Brasil.

A fábrica, que foi a maior Indústria Têxtil dessa região hoje é um espaço ocioso; “especula-se” que possa surgir futuramente um Condomínio nessa área, por se tratar de um endereço muito valorizado.

Também na bacia do rio Palatinato encontra-se provavelmente um dos locais mais conhecidos de Petrópolis e de vital importância para a economia local, o Shopping Aberto da rua Teresa, que é referência em todo o Brasil nos artigos que comercializa.

Quanto a capacidade de escoamento fluvial desse rio a mesma é limitada pelo confinamento da calha principal que se desenvolve em meio urbano com ruas e construções adjacentes às suas margens (**Figura 7-12**). Também nesse rio observa-se inúmeras travessias e obstáculos que concorrem para a diminuição da sua capacidade de escoamento. Em alguns trechos observam-se tubulações de esgotos sanitários lançando diretamente nas águas do rio Palatinato.

No bairro Quissamã, próximo à antiga estação rodoviária, há uma captação de parte de suas águas que são desviadas através de um túnel extravasor com cerca de 3,2 km de extensão para o rio Itamarati e dali para seguindo para o Piabanha. O túnel serve como “bypass” (desvio) para que as águas sejam levadas diretamente ao 2º Distrito, diminuindo os riscos de inundação na região central da cidade. Segundo técnicos da Secretaria Municipal de Obras, o túnel foi construído na década de 1970 pelo extinto DNOS - Departamento Nacional de Obras e Saneamento, e nos registros da Prefeitura Municipal não há projetos ou detalhes da execução da obra (**Figura 7-13**).

A bacia do rio Palatinato possui diversas áreas consideradas de risco: entorno das ruas Lucerne, Pedro Ivo, rua Teresa, rua 14 Bis.

No Centro Histórico, a rua do Imperador possui alguns trechos com risco de alagamento.

O **Quadro 7-3** apresenta as principais características fisiográficas da bacia do rio Palatinato

Quadro 7-3 - Principais Características Fisiográficas da Bacia do Rio Palatinato

Bacia	Área de Drenagem (Km ²)	Talvegue Principal (km)	Cota Maior (m)	Cota Menor (m)	Desnível (m)	Decl. Média Talvegue (%)
Rio Palatinato	9,74	9,3	1.700	850	850	9,10%



Figura 7-12 - Trecho do Rio Palatinato Confinado pela Ocupação das Margens



Figura 7-13 - Tomada do Túnel Extravasador do Rio Palatinato Obstruída

A **Figura 7-14** apresenta o diagrama unifilar dos afluentes do rio Palatinato.

A - CURSO :

[R. Marciano Magalhães, R. Dr. Sá Earp, R. Souza Franco, R. do Imperador]

B - Esquema do Recebimento dos Afluentes

Margem Esquerda

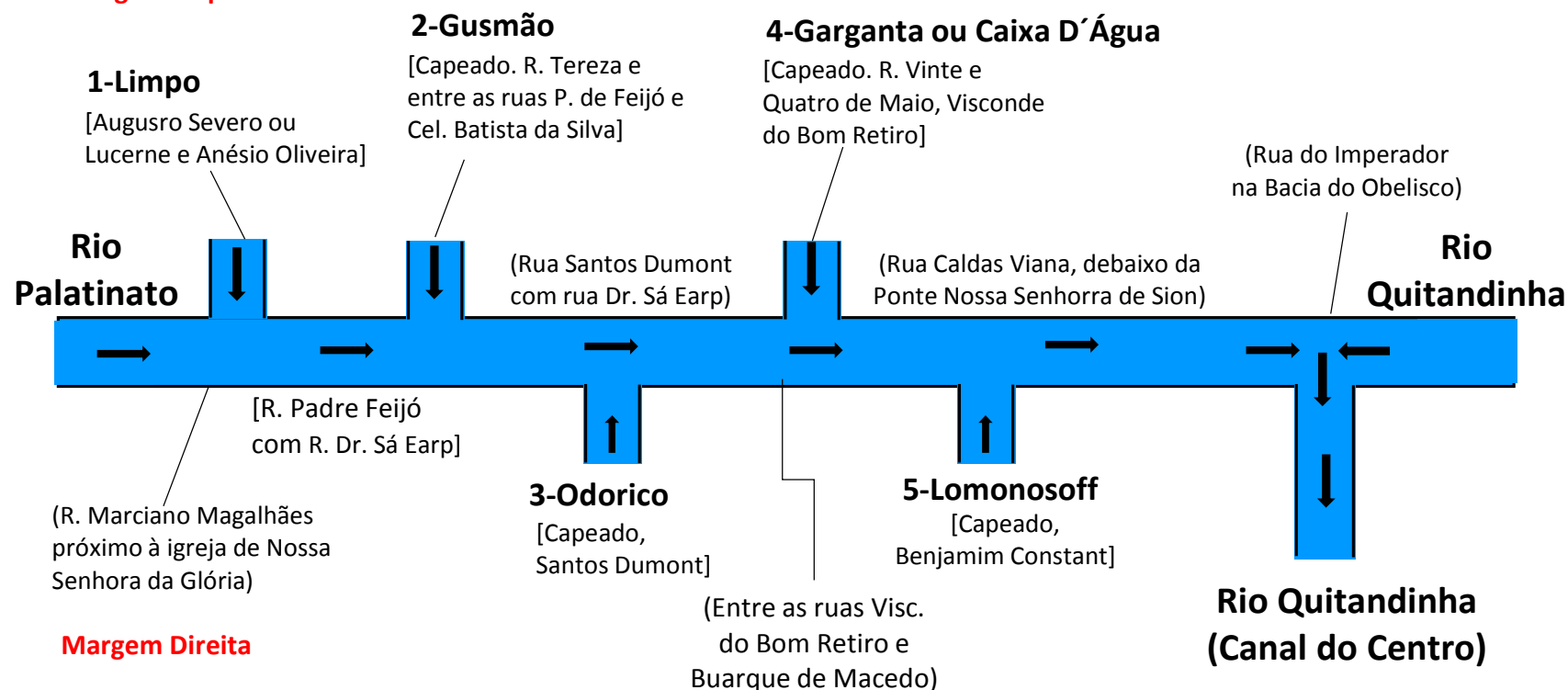


Figura 7-14 - Diagrama Unifilar do Rio Palatinato (Fonte - Prefeitura de Petrópolis-RJ)

7.4 Bacia do Rio Itamarati

O rio Itamarati é um importante rio urbano de Petrópolis com nascente na serra da Estrela na cota 1.250 m drenando completamente as águas dos bairros Itamarati, Cascatinha e Caxambu e parcialmente os bairros de Floresta, Provisória e Quissamã, até desaguar rio Piabanha. A origem do nome Itamarati em língua tupi-guarani quer dizer “pedra brilhante”, devido a uma cachoeira que existia no rio Itamarati e que brilhava ao sol.

A bacia do rio Itamarati drena uma área de 47,5 km² e está totalmente inserida no 1º (Sede) e 2º Distritos (Cascatinha) de Petrópolis. Seu curso tem uma extensão total de 12,6 km. Os principais afluentes do Itamarati são o córrego do Caxambu e rio das Três Pedras.

As áreas de preservação permanente (APP) representam cerca de 22% do território da bacia, compreendendo áreas de declividade (3%) e de topo de morro (19%). As classes de uso e cobertura do solo preponderantes nessa bacia são as áreas florestais (73,98%) e as antrópicas agrícolas (15,45%). O Parque Nacional da Serra dos Órgãos abrange 61% de todo o território da bacia, protegendo as principais nascentes da bacia.

No baixo curso da bacia, há grande concentração urbana e diversas áreas cadastradas pelo Plano Municipal de Redução de Riscos - PMRR como áreas críticas sujeitas a alagamentos e deslizamentos.

O rio Itamarati também tem sua importância acentuada por ser o principal manancial de captação de água que atende ao Município de Petrópolis. O subsistema de abastecimento denominado de Montevideo é o principal sistema produtor de água do município, com capacidade nominal de produção de água de 350 l/s e é alimentado por três captações superficiais, a primeira e a segunda no rio Itamarati (Barragem Caxambu Grande e Barragem da Ponte de Ferro) e a terceira no Córrego da Ponte de Ferro (afluente do rio Itamarati).

Um aspecto importante dessa bacia é que a mesma recebe as águas do rio Palatinato desviada pelo túnel extravasor que lança suas águas no baixo curso do Itamarati a cerca de 2,5 km da foz no rio Piabanha.

O **Quadro 7-4** apresenta as principais características fisiográficas da bacia do rio Itamarati.

Quadro 7-4 - Principais Características Fisiográficas da Bacia do Rio Itamarati

Bacia	Área de Drenagem (Km ²)	Talvegue Principal (km)	Cota Maior (m)	Cota Menor (m)	Desnível (m)	Decl. Média Talvegue (%)
Rio Itamarati	47,5	12,6	1.250	700	550	4,40%

A **Figura 7-15** apresenta uma vista do desague do túnel extravasor no rio Itamarati.



Figura 7-15 - Local de Desague do Túnel Extravasor no Rio Itamarati

7.5 Caracterização Geológica, Geomorfológica e Pedológica

7.5.1 Geologia

Para o reconhecimento do meio físico é importante a caracterização da geologia, geomorfologia e da pedologia local. A Geologia possibilita a compreensão de fenômenos tais como a formação dos solos, o transporte e deposição de sedimentos e a acumulação de água subterrânea. Esses fenômenos estão relacionados ao entendimento das diferenciações dos relevos e solos e são de grande relevância para os recursos hídricos e essencial para a avaliação dos riscos de deslizamentos.

Os principais mapeamentos geológicos realizados na região de Petrópolis foram executados por PENHA et al. (1979) e SOUZA (1983). O primeiro trabalho corresponde à Folha Petrópolis 1:50.000 e o segundo, à região entre Itaipava e Araras (Folha Itaipava) elaborado na escala de 1:20.000. Tais trabalhos aliados a estudos posteriores, levaram PENHA (1989) a identificar as duas principais unidades geotectônicas localizadas na região

central do Estado do Rio de Janeiro, onde se situa o município de Petrópolis. São elas: Unidade Rio Negro e Batólito da Serra dos Órgãos.

Petrópolis situa-se em um relevo que varia de uma altitude média de 845 metros até altitudes superiores a 2.000 m em suas montanhas mais elevadas. Particularmente, neste trecho se estende um substrato geológico associado às rochas do Complexo Rio Negro, uma das unidades centrais da Faixa Móvel Ribeira, caracterizada como um arco magmático metamorfozado composto por ortognaisses, graníticos e migmatitos, de idade Pré-Cambriana, portanto rochas resistentes ao intemperismo que permitem seu entalhe concentrados em planos de fraqueza como fraturas, falhas e foliações.

Estas rochas encontram-se intensamente seccionadas por fraturas e falhas de extensão regional, com forte reflexo na topografia, pois toda região de abrangência destas unidades foi submetida a eventos tectônicos caracterizados durante o período Pré-Cambriano (DRM, 1981; Penha et al, 1981). Geologicamente, observa-se a seguinte distribuição:

- Unidade de migmatitos heterogêneos: presente na porção noroeste e sudeste, constituindo a Unidade Santo Aleixo.
- Unidade de granitos gnáissicos: ocorre na porção central e sudeste e constitui a Unidade Batólito Serra dos Órgãos.
- Unidade de migmatitos homogêneos: na porção central e sudoeste, correspondendo a Unidade Bingen.
- Unidade de granitos intrusivos: em corpos menores na porção leste, correspondente ao Granito Andorinha.

Dentre as quatro unidades litológicas presentes no município como um todo, a Unidade Bingen é predominante, correspondendo a 61,58% da área, seguindo-se pela Unidade Santo Aleixo, com 21,2%, Unidade Batólito Serra dos Órgãos, com 13,3% e Unidade Granito Andorinha, com 0,9% da área delimitada.

Os estudos e intervenções previstas neste documento se darão predominantemente no 1º Distrito do Município de Petrópolis onde afloram rochas de Unidade Rio Negro (Unidade Santo Aleixo e Bingen). As porções onde ocorrem as litologias que compõe o Batólito da Serra dos Órgãos não foram englobadas pelo mapeamento de PENHA et al. (1979) que serviu de base para essa caracterização geológica. Esse mapeamento abrangeu, principalmente os bairros a sul do 1º Distrito (parte do Quitandinha, Bingen, Independência, Siméria, São Sebastião, Castelânea, Valparaíso, Alto da Serra, Morin, Centro e Caxambu) e o bairro do Rocío.

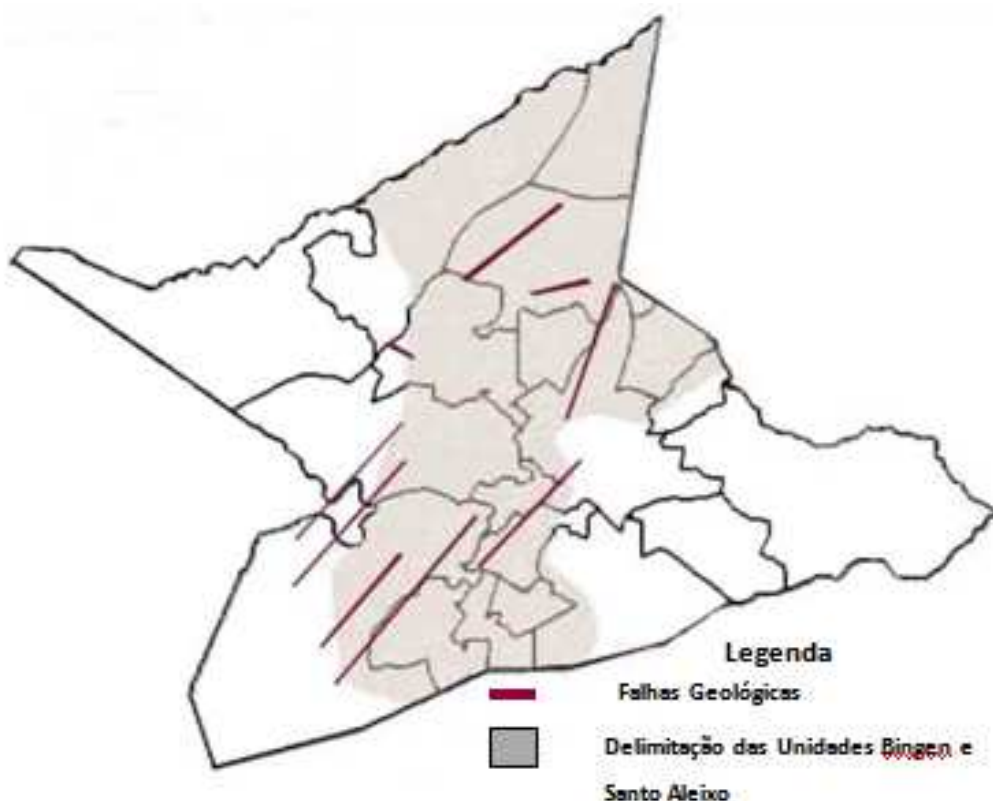


Figura 7-16 - Mapa Geológico do 1º Distrito de Petrópolis-RJ - (Fonte: Penha, 1979)

As características gerais do relevo são determinadas pelo controle estrutural, padrão de fraturamento e posição em relação à escarpa principal (limite meridional do domínio serrano). As estruturas regionais desempenham um notável controle na organização da rede de drenagem e no modelado do relevo.

Para a identificação da geologia local, que será utilizada como base para o cálculo dos coeficientes hidrológicos, foi utilizado o *shapefile* disponibilizado pelo INEA, proveniente do Projeto Carta Geológica, que faz parte do mapeamento geológico do Estado do Rio de Janeiro, em escala 1:50.000, sob a responsabilidade do Departamento de Recursos Minerais (DRM)¹. O mapa das **Figura 7-17** mostra o mapeamento da geologia da sub-bacia do Alto Piabanha, da bacia do rio Quitandinha, da bacia do rio Itamarati e da bacia do rio Palatinato. Observa-se a predominância da litologia denominada pCllrn - Unidade Rio Negro, seguida por uma área considerável de pCbso (GRGD) Batolito Serra dos Órgãos (Granodiorito) e alguns pequenos fragmentos de pCgrad - Granito Andorinha.

¹ http://www.inea.rj.gov.br/cs/idcplg?IdcService=GET_FILE&dID=40194&dDocName=Publicacoes/INEA0047931

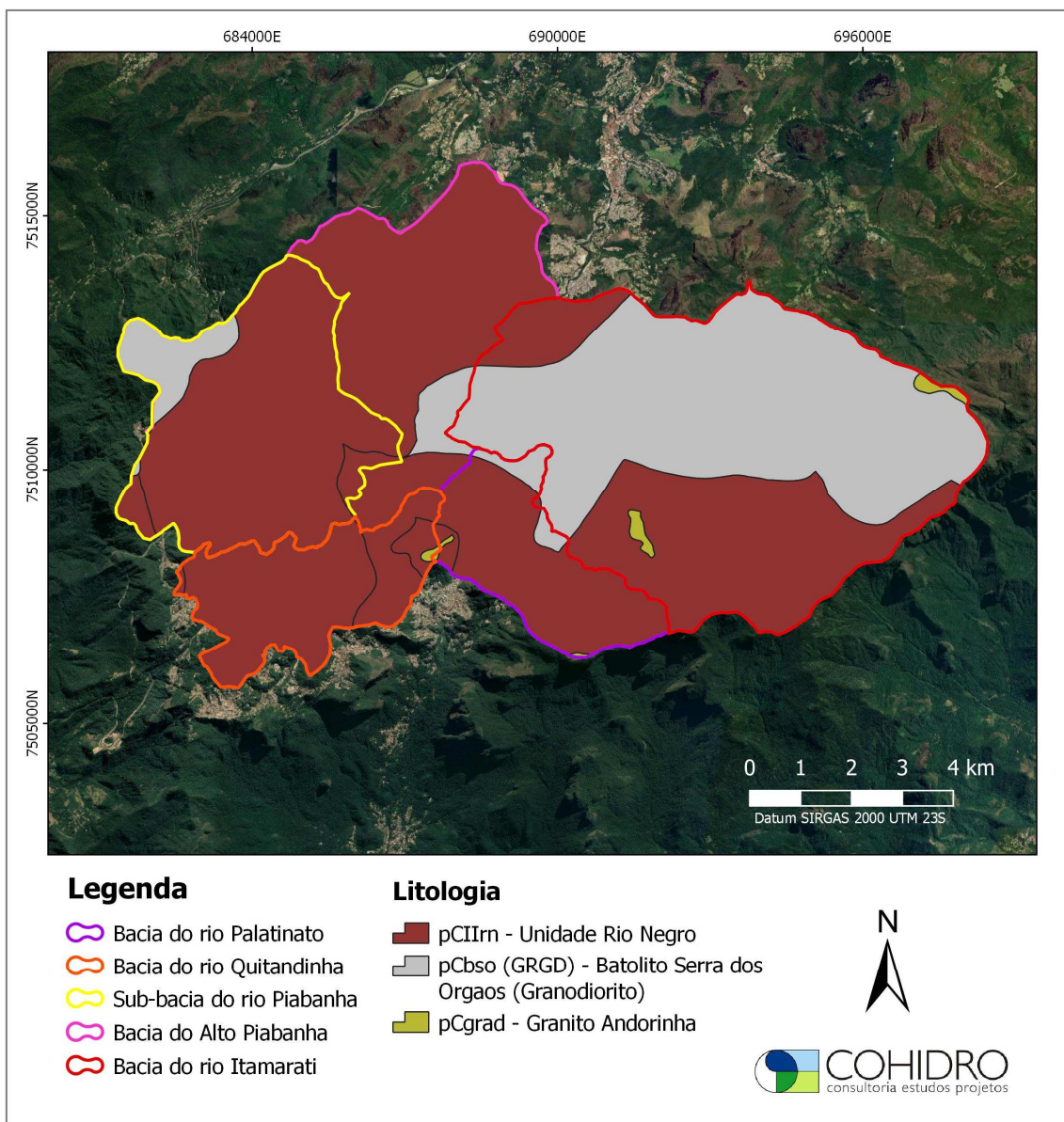


Figura 7-17 - Mapeamento da Geologia na Sub-bacia do Alto Piabanha, Abrangendo o Trecho mais de Montante do Rio Piabanha, a Bacia do Rio Quitandinha, a Bacia do Rio Palatinato e a Bacia do Rio Itamarati.

7.5.2 Geomorfologia

A geomorfologia é uma ciência natural cujo foco está no estudo das formas de relevo e nos processos de produção, armazenagem e circulação de sedimentos na paisagem e na caracterização dos recursos que esses processos produzem. O mapeamento da geomorfologia possibilita identificar as áreas mais suscetíveis a inundações, deslizamentos, assoreamentos e erosões e compreender a dinâmica dos fatores influenciados diretamente pelo relevo.

O município de Petrópolis está situado em um trecho da Serra do Mar formado por um conjunto de escarpas festonadas com alta densidade de drenagens e vales encaixados. Atribui-se a sua formação a processos tectônicos de movimentação vertical de conjuntos rochosos que lhe imprimem um formato de relevo, hoje, dissecado em planos de falhas e fraturas que garantem o entalhe dos vales fluviais.

As feições encontradas na paisagem da Serra do Mar são produtos do trabalho intempérico e erosivo sobre tais estruturas herdadas desses eventos tectônicos que atualmente se mostram marcantes no relevo local.

A ocupação dos vales da região em estudo acomodando na atualidade um expressivo contingente populacional em um modo de vida, em grande parte urbano infelizmente, propicia uma condição de grande risco de deslizamentos de encostas e inundações e por consequência um grande número de vítimas fatais em acidentes dessa natureza.

Pobreza, baixa escolaridade, ilegalidade no uso e na ocupação do solo, baixos índices de saúde e baixa qualidade do meio físico são parte da realidade de muitos dos moradores das encostas e margens de rios do município de Petrópolis.

As frequentes tragédias ligadas a enchentes e desmoronamentos causando centenas de mortes estão relacionadas à história predatória do uso e da ocupação do solo na cidade. A lógica concentradora e patrimonialista que domina a história do acesso à terra na cidade também está vinculada a degradação ambiental. Sem recursos e alternativas, a população de baixa renda ocupa áreas de proteção (ou áreas de proteção são criadas sobre estes) criando impasses para os governos e sujeitando os moradores à condição de risco.

A questão urbana, especialmente aquela que envolve os problemas relativos à moradia em uma cidade como Petrópolis se associa à morfologia da paisagem na construção de desastres ambientais e de conflitos sociais.

Em um município onde todo o 1º distrito, onde vive mais de 60% da população, constitui-se em terra foreira, incidindo também o imposto laudêmio sobre os terrenos, para os herdeiros da família real portuguesa, o preço da terra já seria alto.

Ao mesmo tempo, os vales estreitos, já ocupados, e as encostas íngremes limitam a disponibilidade de espaços planos, disponíveis para construção de imóveis seguros fazendo com que o quinhão de terras que resta para a população de baixa renda habitar fique ainda mais restrito.

Em relação à geomorfologia, pode-se dizer que o município de Petrópolis se insere na Região das Escarpas e Reversos da Serra do Mar, inserida em uma das quatro unidades que compõem esta região, a Unidade Geomorfológica da Serra dos Órgãos (Brasil, 1983).

O município está situado em um vale suspenso no reverso da Serra do Mar, cuja linha de cumeada constitui o divisor de drenagens, com destaque para o pico do Açú, o mais alto deste alinhamento serrano, com 2180 m. A cidade de Petrópolis está instalada em dois vales estreitos, que se estendem subparalelamente na direção aproximada NE.

As áreas do município apresentam um quadro morfológico relacionado aos efeitos de um tectonismo regional e de sucessivas fases erosionais. Trata-se de uma área resultante de dobramentos, reativações de falhas e remobilização de blocos. A topografia reflete esses condicionamentos geológicos predominantes, e em toda a sua extensão são registrados vales alongados, segmentos de drenagem retilíneos, maciços graníticos, linhas de cristas e cumeadas paralelas, relevos com grandes desníveis altimétricos, escarpas íngremes e alvéolos intermontanos.

As drenagens são interrompidas por estrangulamentos na forma de cachoeiras (knickpoints) com pequenas retenções de sedimentos aluvionares, representando estreitas planícies locais. Estes vales, cercados por paredões rochosos, serviram de caminho do desenvolvimento do processo de urbanização da cidade, transformando as estreitas planícies e íngremes encostas em áreas ocupadas.

As rochas encontradas na região são predominantemente pertencentes ao complexo granítico - gnáissico - migmatito de idade Pré-Cambriana. Nessas rochas encontram-se frequentes fraturas e falhas de extensão regional, com fortes consequências na topografia, pois toda região de abrangência destas unidades foi submetida aos mesmos eventos tectônicos, durante a era de sua formação.

Em decorrência desse fato, as características gerais do seu relevo são determinadas por um mesmo padrão de fraturamento e posição em relação à escarpa principal (limite meridional do domínio serrano).

Essas estruturas geológicas regionais desempenham um importante papel na organização da rede de drenagem e na formação do relevo Municipal. Dessas características resultaram solos objetos de sucessivas fases erosionais, com intensa remobilização de blocos graníticos, agravadas pela presença de vales alongados, segmentos de drenagem retilíneos, maciços graníticos circundados por camadas de solo, relativamente pouco

espessas. Por conta do descrito, as encostas de toda a região são afeitas a movimentos de massa, especialmente escorregamentos, o que recomenda especial atenção aos processos de ocupação antrópica, desmatamento e localização de culturas agrárias.

Na região, encontram-se as Escarpas Serranas e as zonas montanhosas, que “constituídas por solos rasos ou paredões subverticais rochosos, evidentemente, devem ser mantidos preservados” (Diagnóstico Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro - CPRM, 2000). Ainda segundo o documento, “a suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa é muito elevada”.

A avaliação do mapa geomorfológico do município demonstra um predomínio de duas feições na área, como as rampas que ocupam 41,35% e o embasamento cristalino com 41,8%. Os terraços fluviais representam 9,3%, localizando-se ao longo dos rios expandindo-se quando o relevo permite. Os afloramentos correspondem a 6,3%, ocorrendo sempre em áreas de maior altitude, nos topos das elevações ou sob a forma de rampas.

Quanto à declividade em Petrópolis, a avaliação dos resultados da carta de declividade, mostra um predomínio do relevo montanhoso e escarpado para onde a área urbana se expande através da abertura de loteamentos irregulares e invasões.

Para a identificação da geomorfologia local foi utilizado o *shapefile* disponibilizado pelo INEA². O mapa da **Figura 7-18** apresenta a geomorfologia da área de estudo. Observa-se o predomínio de morros e serras escarpadas, com algumas áreas de relevo de serras isoladas e colinas.

² http://www.inea.rj.gov.br/cs/idcplg?IdcService=GET_FILE&dID=40196&dDocName=Publicacoes/INEA0047932

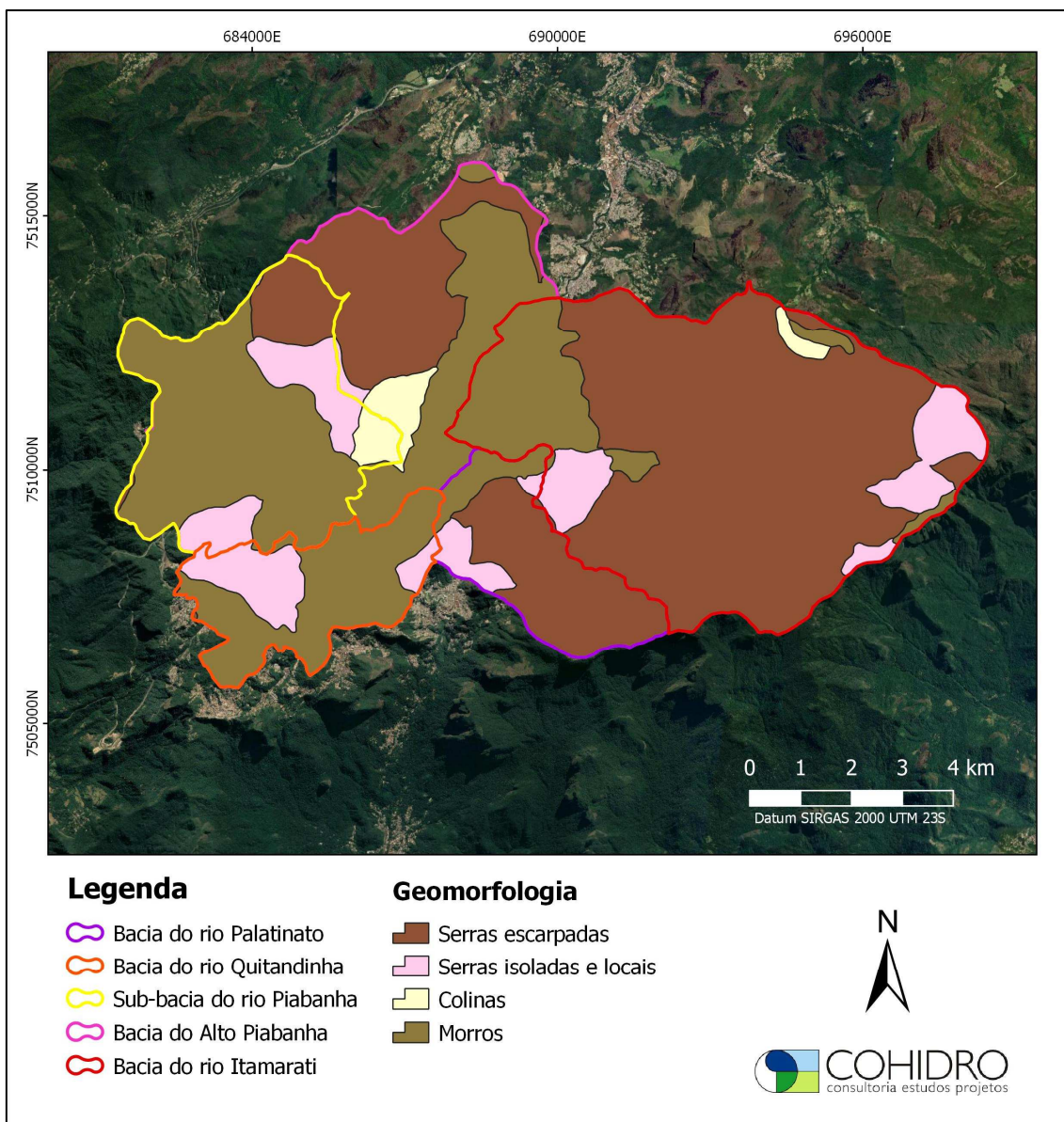


Figura 7-18 - Geomorfologia na Sub-bacia do Alto Piabanha, abrangendo o Trecho mais de Montante do Rio Piabanha, a Bacia do Rio Quitandinha, a Bacia do Rio Palatinato e a Bacia do Rio Itamarati.

O aumento de área antropizada frente à redução de áreas naturais é marcante no município de Petrópolis, apesar de sua histórica relação com a floresta e o clima que compõem a região. O aumento da ocupação de áreas de alta suscetibilidade à movimentos gravitacionais de massa aliado à redução de áreas florestadas em 20 anos, indica que as políticas de gestão de risco, do território e ambiental têm sido paulatinamente negligenciadas pelos gestores do município, uma vez que este continua recorrentemente sofrendo com desastres, historicamente conhecidos.

Por possuir características físicas mais suscetíveis à deslizamentos é notório que o primeiro distrito do município seja mais atingido por esse tipo de evento. No entanto por seu longo

período de ocupação, histórico de ocorrências e densidade demográfica elevada espera-se que esta área receba o maior número de intervenções públicas e privadas para a redução de movimentos gravitacionais de massa, afim de minimizar os efeitos e as perdas advindas desses eventos. No entanto percebe-se que esta área tem sido paulatinamente vítima de uma série de ocorrências, em alguns casos que se repetem nos mesmos pontos, o que aponta que essa gestão tem sido negligenciada.

O aumento de áreas antropizadas em Petrópolis reforça a necessidade de preocupação com as questões de proteção ambiental e organização do território, uma vez que a manutenção de espaços sem a intervenção humana possibilita uma melhor manutenção dos sistemas naturais, que aliado à um planejamento territorial que defina as reais possibilidades e potencialidades de uso daquele espaço, permitirá uma gestão que permita o desenvolvimento e a redução de eventos adversos.

Desta forma é possível apontar que aliado aos processos naturais intrínsecos da região, a organização do espaço Petropolitano é fator marcante na ocorrência de desastres. Seja pelo aumento da ocupação de áreas suscetíveis à movimentos gravitacionais de massa ou pelo adensamento sobre áreas já conhecidas como de risco.

7.5.3 Pedologia

O conhecimento da pedologia, isto é, das propriedades dos solos, é de extrema importância para a redução da degradação destes e, conseqüentemente, redução dos riscos de deslizamentos, erosões, sedimentação e assoreamento dos rios.

A área de estudo foi mapeada tendo como base o *shapefile* disponibilizado pela Embrapa Solos³, o qual é proveniente dos levantamentos de solos atualmente cadastrados no GeoInfo da instituição.

O mapa da **Figura 7-19** apresenta a pedologia da área de interesse, onde é possível observar a existência de áreas com afloramento de rocha, Cambissolo álico, Latossolo Vermelho-Amarelo álico, além de área urbana.

³ <http://geoinfo.cnps.embrapa.br/maps/461>

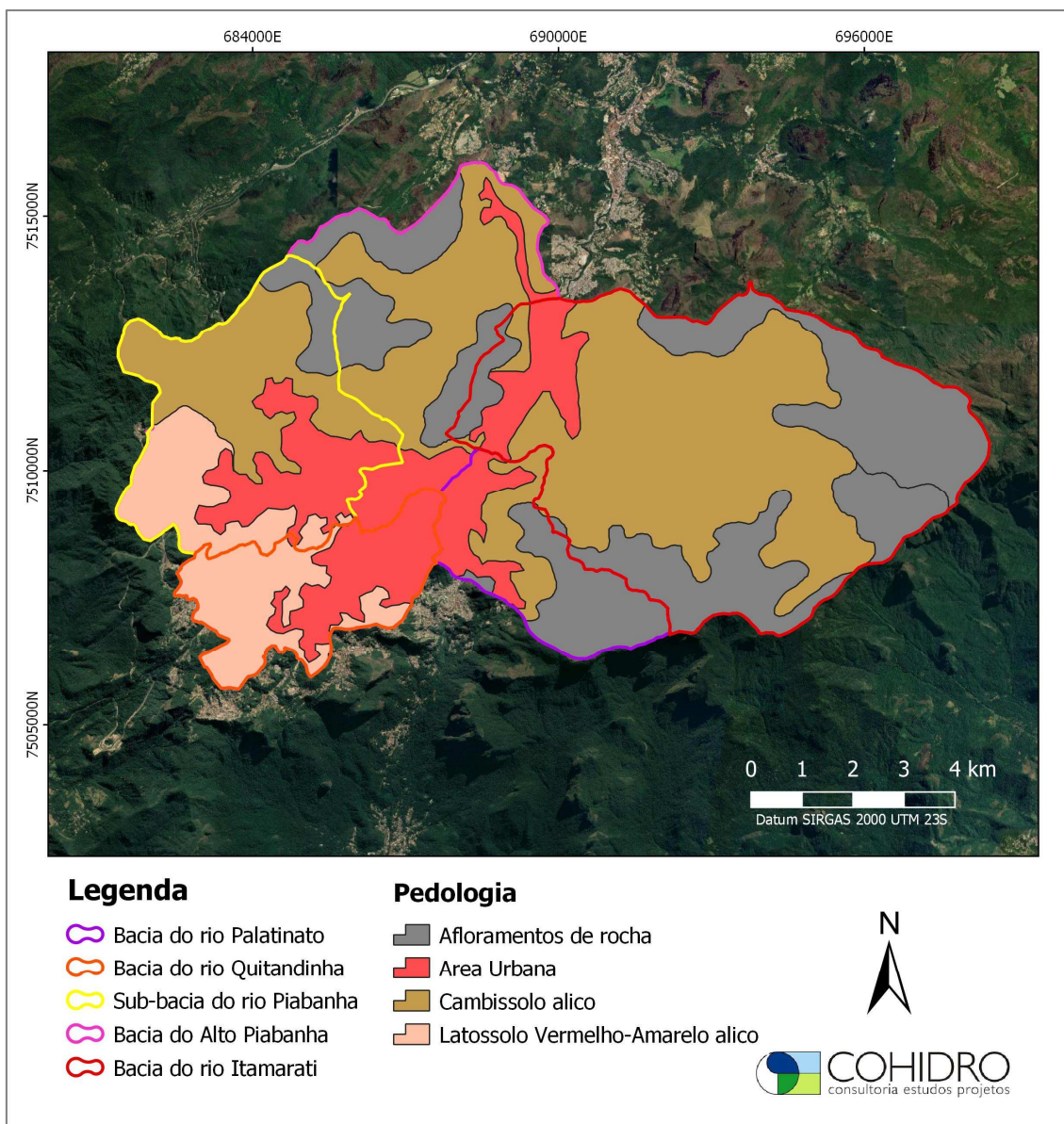


Figura 7-19 - Mapa Pedológico da Sub-bacia do Alto Piabanha, abrangendo o Trecho mais de Montante do Rio Piabanha, a Bacia do Rio Quitandinha, a Bacia do Rio Palatinato e a Bacia do Rio Itamarati.

Os Cambissolos são solos tipicamente pouco desenvolvidos, entretanto podem se apresentar com boa drenagem nesta região (Pereira et al., 2021). Outra classe de solos no município de Petrópolis são os Latossolos Vermelho-Amarelos que apresentam textura argilosa ou muito argilosas, associados frequentemente aos topos de morro e áreas com relevo mais aplainados (Pereira et al. 2021).

Um aspecto interessante no município de Petrópolis é o grande percentual do município coberto por afloramentos de rochas, cerca de 20 % de sua área, totalizando cerca de 16.000 hectares. Os corpos de água somam aproximadamente 112 hectares da área do município.

Já as áreas urbanas totalizam cerca de 2.800 hectares e estas devem ser agrupadas com áreas de baixa ou nula impermeabilidade às estradas pavimentadas.

A ordem dos Cambissolos abrange solos minerais com características bastante variáveis, mas que sempre apresentam textura média ou mais fina e ausência de grande desenvolvimento pedogenético. São solos com pequena profundidade, elevado teor de minerais primários (minerais herdados da rocha), presença significativa de fragmentos de rocha na massa do solo e outros indícios do intemperismo incipiente do solo. Em alguns casos, a presença de maiores quantidades de minerais primários nos Cambissolos contribui para uma maior reserva nutricional para as plantas, especialmente importante em cultivos florestais e perenes.

Os Latossolos Vermelho-Amarelos são solos identificados em extensas áreas dispersas em todo o território nacional associados aos relevos, plano, suave ondulado ou ondulado. Ocorrem em ambientes bem drenados, sendo solos bem desenvolvidos, profundos e uniformes em características de cor, textura e estrutura em profundidade e apresentando baixa erodibilidade.

Grupos Hidrológicos dos Solos da Área dos Estudos

O escoamento superficial é uma das fases do ciclo hidrológico e seu estudo é de grande importância para o correto dimensionamento de obras de drenagem e de manejo agrícola. A quantificação do escoamento superficial é uma tarefa complexa e dependente de vários fatores tais como: geomorfologia; regime, distribuição e intensidade das chuvas; tipo de solo, uso e cobertura do solo; entre outros, sendo estes os considerados os principais.

Atualmente perante a escassez dos recursos hídricos, ora pelo crescimento de sua demanda, ora pela necessidade do desenvolvimento humano, surge a necessidade de se considerar as influências do uso e do tipo de solo sobre a geração do escoamento superficial, seja para analisar o potencial do escoamento num futuro próximo ou para planejar a conservação de uma bacia hidrográfica.

Nesse aspecto, modelos chuva-vazão são muito úteis graças, entre outras coisas, a sua flexibilidade em prever comportamentos futuros ocasionados por alterações de ocupação do solo e também num país como o Brasil, pela carência de dados fluviométricos, principalmente em bacias as quais se encontram em crescente processo de ocupação, como as bacias dos rios estudados. Para tanto, existem vários modelos de estimativa do escoamento superficial, mas um dos mais utilizado na prática da engenharia, com um

número razoável de informações disponíveis e que permite considerar o tipo de solo e sua cobertura é o método do Serviço de Conservação do Solo (SCS) baseado no método do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América (USDA).

A metodologia do SCS reúne os solos em quatro grandes grupos, conforme sua capacidade de infiltração e produção de escoamento, sendo a cada um deles atribuído uma letra, A, B, C e D, nesta mesma ordem, representando o acréscimo do escoamento superficial e consequentemente a diminuição da taxa de infiltração de um grupo para outro.

Adotando o critério do USBR (1977), o SCS formou os grupos hidrológicos do solo baseando-se na premissa de que os perfis de solo com características semelhantes (espessura, textura, conteúdo de matéria orgânica, estrutura e grau de expansão) responderão de forma semelhante a uma chuva de grande duração e intensidade considerável.

São as seguintes as características ou definições dos grupos hidrológicos do solo, apresentadas pelo SCS:

Grupo A: Compreende os solos com baixo potencial de escoamento e alta taxa de infiltração uniforme quando completamente molhados, consistindo principalmente de areias ou cascalhos, ambos profundos e excessivamente drenados. Taxa mínima de infiltração: > 7,62 mm/h.

Grupo B: Compreende os solos contendo moderada taxa de infiltração quando completamente molhados, consistindo principalmente de solos moderadamente profundos a profundos, moderadamente a bem drenados, com textura moderadamente fina a moderadamente grossa. Taxa mínima de infiltração: 3,81-7,62 mm/h.

Grupo C: Compreende os solos contendo baixa taxa de infiltração quando completamente molhados, principalmente com camadas que dificultam o movimento da água através das camadas superiores para as inferiores, ou com textura moderadamente fina e baixa taxa de infiltração. Taxa mínima de infiltração: 1,27-3,81 mm/h.

Grupo D: Compreende os solos que possuem alto potencial de escoamento, tendo uma taxa de infiltração muito baixa quando completamente molhados, principalmente solos argilosos com alto potencial de expansão. Pertencem a este grupo, solos com grande permanência de lençol freático elevado, solos com argila dura ou camadas de argila próxima da superfície e solos expansivos agindo como materiais impermeabilizantes próximos da superfície. Taxa mínima de infiltração: < 1,27 mm/h.

Com relação ao enquadramento dos solos nos grupos hidrológicos dos solos que consiste em um parâmetro fundamental para estimativa do escoamento superficial no município temos o seguinte enquadramento:

Grupo Hidrológico A

Latosolos Vermelho-Amarelos de textura argilosa ou muito argilosa, se enquadram no Grupo A - (Solos muito profundos (prof. > 200 cm) ou profundos (100 a 200 cm) com alta taxa de infiltração e com alto grau de resistência e tolerância à erosão.

Grupo Hidrológico B

Os Latossolos Vermelho de textura média, se enquadram no Grupo B - (Solos profundos (prof. > 100 cm e < 200 cm) com moderada taxa de infiltração e com moderado grau de resistência e tolerância à erosão.

Grupo Hidrológico C

Os Cambissolos Háplicos, se enquadram no Grupo C - Solos profundos (100 a 200 cm) ou pouco profundos (50 a 100 cm); com baixa taxa de infiltração e com baixo grau de resistência e tolerância à erosão.

Grupo Hidrológico D

Os Neossolos litólicos se enquadram no Grupo D (Solos pouco profundos (50 a 100 cm) com baixa taxa de infiltração e baixa taxa de resistência e tolerância à erosão.

Cabe ainda salientar a ocorrência de uma quantidade expressiva dos afloramentos de rocha na área em estudo. Esse fato retrata as características peculiares e diferenciadas da pedogênese, principalmente influenciada pelo relevo movimentado, com relevo montanhoso e escarpado em boa parte dessa área, regulando e restringindo em diferentes graus essas áreas para o uso agrícola.

7.6 Relevo

O relevo de Petrópolis segue a conformação do Vale da Serra da Estrela. Seu entorno é marcado por um relevo rico onde se destacam encostas abruptas e montanhas de largas pedreiras. Além disso, Petrópolis abriga, em conjunto com os Municípios de Magé, Guapimirim e Teresópolis, o Parque Nacional da Serra dos Órgãos.

O Município de Petrópolis faz parte da Região das Escarpas e Reversos da Serra do Mar, inserida em uma das quatro unidades que compõem esta região, a Unidade Geomorfológica da Serra dos Órgãos.

A **Figura 7-20** apresenta o relevo da bacia do Alto Piabanha, com os principais rios da região e a delimitação das bacias do rio Quitandinha, do rio Palatinato, do rio Itamarati e da sub-bacia do Alto Piabanha. A observação do relevo da bacia mostra o padrão descrito na caracterização geomorfológica, com a presença de terreno montanhoso com altas declividades. Tal característica propicia a formação de inundações rápidas, como as enxurradas, as quais podem ocorrer associadas ao deslizamento de encostas e corrida de detritos, intensificando o potencial de destruição do evento de inundação.

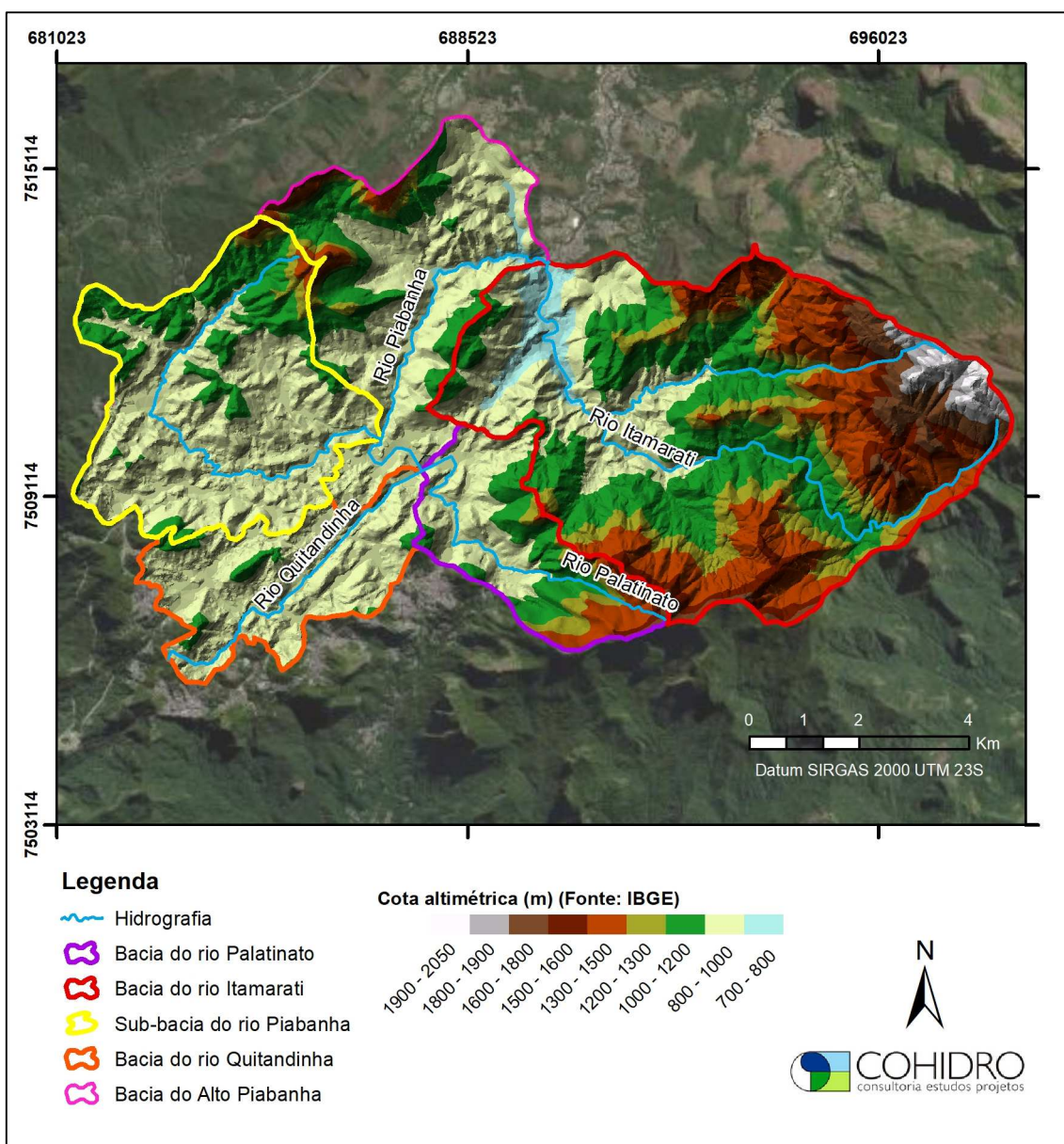


Figura 7-20 – Mapa com o Relevo da Bacia do Alto Piabanha, com os Principais Rios da Região e a Delimitação das Bacias do Rio Quitandinha, do Rio Palatinato, do Rio Itamarati e da Sub-bacia do Alto Piabanha.

7.7 Uso e Cobertura do Solo

7.7.1 Aspectos Gerais

A cobertura da terra é o revestimento da superfície terrestre, relacionado com os meios biótico, abiótico e antrópico, podendo ser uma paisagem natural ou não. O uso é a atividade empreendida pelo homem, desenvolvida com propósito socioeconômico, sobre alguma cobertura. O mapeamento de uso e cobertura da terra é um levantamento que identifica de forma homogênea a tipologia de uso dentro de um determinado espaço, possibilitando a interpretação de elementos naturais e antrópicos na paisagem. Fornecem informações para análises e avaliação de impactos ambientais, como os gerados por desmatamento, mudanças climáticas, além de impactos gerados pela urbanização. O que se espera de levantamentos da cobertura e do uso da terra é que eles forneçam informações do território ao maior número possível de usuários, nas mais variadas escalas (regional, estadual e local) de maneira que possam ser comparadas entre si e periodicamente atualizadas (IBGE, 2006).

Um dos métodos utilizados para a análise do uso e cobertura da terra é a fotointerpretação, a qual para Anderson (1982) é o ato de examinar imagens fotográficas com o fim de identificar objetos e determinar seus significados. A análise qualitativa nesse processo de interpretação das imagens ou fotografias, depende de atributos espaciais como forma, tamanho, textura, densidade, padrão, cor, tonalidade posição geográfica, declividade, entre outros. Essa identificação visa a associar cada imagem a uma classe distinta (vegetação, área agrícola, edificações, arruamentos, rios, etc.) de acordo com o objetivo do estudo. Como mapeamento do uso e cobertura da terra é possível dimensionar o tipo e a intensidade do uso, o que fornece suporte para a tomada de decisões e execução de medidas mitigadoras para o processo de degradação ambiental. O conhecimento sobre o uso da terra ganha importância pela necessidade de garantir a sua sustentabilidade diante das questões ambientais, sociais e econômicas (IBGE, 2006).

7.7.2 Unidades de Conservação Presentes no Município de Petrópolis

O Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC) agrupa as unidades de conservação em dois grupos, de acordo com seus objetivos de manejo e tipos de uso: Proteção Integral e Uso Sustentável.

O Município de Petrópolis por se tratar de uma região que ainda mantém uma área extensa de remanescentes da Floresta Atlântica - bioma brasileiro muito ameaçado -

conta com uma grande quantidade de Unidades de Conservação (áreas de importância ecológica protegidas por lei).

Estão presentes no Município de Petrópolis Unidades de Conservação de âmbito Federal, Estadual e Municipal de proteção Integral e de uso sustentável.

O objetivo das Unidades de Proteção Integral é a preservação da natureza bem como a utilização dos recursos naturais de forma indireta. Assim, segundo a legislação nacional, as unidades de proteção integral não podem ser habitadas pelo homem, sendo admitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais - em atividades como pesquisa científica e turismo ecológico, por exemplo.

As unidades de conservação de uso sustentável têm como objetivo a conservação da natureza, aliado ao uso sustentável dos seus recursos naturais. Assim, admitem a presença de moradores que devem compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável dos recursos naturais da área onde vivem.

Também estão presentes no município Unidades de Conservação particulares como as reservas particulares do patrimônio natural (RPPN's). Estas unidades têm caráter privado e consistem de áreas naturais que objetivam a conservação da biodiversidade de modo sustentável. Pesquisas, manejo de recursos, ecoturismo são permitidos nessas áreas.

Na sequência são apresentadas as Unidades de Conservação presentes no Município de Petrópolis.

Unidades de Conservação de Âmbito Federal de Proteção Integral

Parque Nacional da Serra dos Órgãos - PARNASO - sob gestão do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Abrange área dos municípios de Petrópolis, Teresópolis, Guapimirim e Magé. Possui área total de 20.050 ha (200,50 km²).

Reserva Biológica do Tinguá - Rebio Tinguá. - sob gestão do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Abrange área dos municípios de Nova Iguaçu, Duque de Caxias, Miguel Pereira, Petrópolis e Japeri. Possui área total de 24.903 ha (249,03 km²).

Refúgio de Vida Silvestre (Antiga ZVS) - Sob gestão da APA Petrópolis - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Com área apenas no município de Petrópolis.

Unidades de Conservação de Âmbito Federal de Uso Sustentável

Área de Proteção Ambiental de Petrópolis - APA Petrópolis - sob gestão do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Abrange área dos municípios de Petrópolis, Duque de Caxias, Magé e Guapimirim. Possui área total de 58.960 ha (589,60 km²).

Unidades de Conservação de Âmbito Estadual de Proteção Integral

Reserva Biológica de Araras - sob gestão do INEA. Unidade de conservação de proteção integral. Abrange área dos municípios de Petrópolis e Miguel Pereira. Possui área total de 2.131 ha (21,31 km²).

Monumento Natural Serra da Maria Comprida - sob gestão do INEA. Unidade de conservação de proteção integral. Abrange áreas apenas do município de Petrópolis. Possui área total de 7.800 ha (78 km²).

REWISEST - Refúgio da Vida Silvestre da Serra da Estrela (Lei nº 7826 de 27/12/2017), engloba os municípios de Petrópolis, Magé e Duque de Caxias.

Unidades de Conservação de Âmbito Municipal de Proteção Integral

Parque Natural Municipal Padre Quinha - sob gestão da Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Petrópolis. Unidade de conservação de proteção integral. Possui área total de 16,71 ha.

Monumento Natural da Pedra do Elefante - sob gestão da Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Petrópolis, localizado na estrada do Taquaril, com aproximadamente 530 ha. Sendo classificada como Unidade de Conservação de Proteção Integral pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza - SNUC.

Unidades de Conservação Particular de Âmbito Federal

- Reserva Particular do Patrimônio Natural - RPPN - Pedra dos Amarílis. Área de 39,64 ha.
- Reserva Particular do Patrimônio Natural - RPPN - RPPN Fazenda da Limeira. Área de 18,73 ha.
- RPPN Graziela Maciel Barroso. Área de 184,00 ha.
- RPPN Mata dos Pilões. Área de 316,18 ha.

Unidades de Conservação Particular de Âmbito Municipal

- RPPN-M Sítio Casal Buono, Moinho Preto. Área de 44,037 ha.

7.7.3 Unidades de Conservação mais Relevantes para os Estudos

Dentre as unidades de conservação que integram o município podemos destacar como as mais relevantes para os estudos a Área de Proteção Ambiental (APA) de Petrópolis, a qual cobre uma extensa área dentro de diversos municípios (incluindo Petrópolis, sobretudo, quase que integralmente o 1º Distrito de interesse direto para os estudos) e tem como principal função a conservação de processos naturais e da biodiversidade, orientando e promovendo um desenvolvimento mais sustentável; e o Parque Nacional da Serra dos Órgãos (PARNASO), uma das maiores Unidades de Conservação (UC) da Serra do Mar.

A Área de Proteção Ambiental de Petrópolis (APA-Petrópolis) foi criada através do Artigo 6º do Decreto Presidencial nº 87.561, de setembro de 1982, e delimitada pelo Decreto nº 527, de 20 de maio de 1992, tendo sido a primeira APA Federal sob a jurisdição do IBAMA

Com sua sede administrativa localizada no distrito de Itaipava a APA conta com mais de 59.600 hectares abrangendo locais urbanos, rurais e florestais de Petrópolis (com aproximadamente 70 % do seu território) e parte dos municípios de Duque de Caxias, Magé e Guapimirim, que se encontram dentro da área de distribuição da chamada Floresta ou Mata Atlântica.

Sendo a APA-Petrópolis uma Unidade de Conservação de Uso Sustentável, tem como objetivo tornar compatível a conservação da natureza com o uso sustentável dos recursos, conciliando a presença humana nas áreas protegidas.

A representatividade da APA Petrópolis no contexto Federal é muito significativa quando analisado o tamanho de sua dimensão dentro da geografia que ocupa no bioma Mata Atlântica. A APA está sujeita a uso e ocupação especial tanto em terras públicas ou particulares, visando o desenvolvimento sustentável e a manutenção e conservação dos ecossistemas.

A Área de Proteção Ambiental de Petrópolis é uma Unidade de Conservação Federal e, portanto, seu gerenciamento é feito pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), considerado sua Unidade Administrativa. No entanto, a administração financeira dos projetos desenvolvidos na APA e dos recursos provenientes do Ibama é de responsabilidade da própria unidade de conservação.

O Parque Nacional da Serra dos Órgãos (PARNASO) foi criado no governo Getúlio Vargas, pelo Decreto-Lei nº 1822 de 1939, abrangendo uma área de aproximadamente 9.000 hectares situada em parte nos municípios de Magé, Petrópolis e Teresópolis no Estado do Rio de Janeiro (ICMBio, 2007).

O PARNASO é gerido pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) e veio a ser o terceiro parque do Brasil, criado logo após do Parque Nacional Itatiaia (1937) e do Parque Nacional do Iguaçu (1939). Hoje o Parque conta com uma área aproximada de 20.050 hectares, fazendo limites com os municípios de Teresópolis, Petrópolis, Magé e Guapimirim. Devido à sua localização geográfica, o PARNASO sofre uma grande pressão antrópica pelos mais de 700 mil habitantes das cidades do entorno (CORREA, 2009). O Parque Nacional da Serra dos Órgãos teve sua importância reconhecida internacionalmente ao ser incluído na Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, criada no cenário da Conferência Mundial do Meio Ambiente (ECO92). Além do reconhecimento formal da UNESCO, o Parque Nacional da Serra dos Órgãos é considerado uma importante área para conservação da biodiversidade da Mata Atlântica, bioma caracterizado como uma das Áreas Críticas para Conservação da Biodiversidade Mundial.

Por ser uma Unidade de Conservação de proteção integral, o Parque proíbe a presença de moradores dentro de sua área. Além das restrições impostas à comunidade pela legislação das unidades de conservação, outra lei tem um papel muito decisivo para a conservação dos recursos naturais e manutenção dos serviços ecossistêmicos: a Lei nº12.651, de 25 de maio de 2012, que regulamenta as Áreas de Preservação

Permanente (APPs). Desde 1934, quando foi assinado o primeiro Código Florestal Nacional, as APPs têm função de controlar e regular o crescimento urbano e rural dentro de áreas consideradas importantes para o bem-estar humano e ecológico, a exemplo de nascentes de rios, entorno de cursos d'água, topos de morros, entre outros.

Além destas duas importantes unidades de conservação encontra-se também presente no 1º distrito de Petrópolis uma parcela da Reserva Biológica do Tinguá - Rebio Tinguá, que consiste em uma Unidade de Conservação proteção integral sendo uma área destinada à preservação da diversidade biológica, na qual as únicas interferências diretas permitidas são a realização de medidas de recuperação de ecossistemas alterados e ações de manejo para recuperar o equilíbrio natural e preservar a diversidade biológica, podendo ser visitadas apenas com o objetivo educacional.

Essa UC é gerida pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade.

Recentemente em 24 de fevereiro de 2022 a Assembleia Legislativa do Estado do Rio de Janeiro (ALERJ) aprovou a criação do Monumento Natural Serra da Maria Comprida, no município de Petrópolis, com uma área de 7.800 hectares. Sendo esta, uma modalidade de Unidade de Conservação de Proteção Integral destinada à preservação de lugares singulares, raros e de grande beleza cênica, permitindo apenas atividades de visitação.

A criação do Monumento Natural (Mona) protegerá montanhas notáveis da Serra das Araras como João Grande, Monte de Milho, Serra das Antas e a própria Maria Comprida, que dá nome à unidade de conservação.

O território proposto para o Mona está sobreposto à Área de Proteção Ambiental (APA) de Petrópolis, categoria de unidade de conservação de uso sustentável. Com a criação do Mona, que é de proteção integral, ocorrerá um aumento do grau de preservação legal da área que está dentro do território reconhecido pela Unesco como Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, o que atesta a importância desta Unidade de conservação.

Todas as unidades de conservação citadas contam com uma área na qual se encontram diversas espécies de plantas e animais endêmicas e ameaçadas de extinção originárias dos remanescentes da Mata Atlântica, sendo um importantíssimo centro de biodiversidade em escala internacional.

A **Figura 7-21** e a **Figura 7-22** apresentam respectivamente, as principais unidades de conservação presentes na área de interesse direto para os estudos e os limites do Monumento Natural Serra da Maria Comprida recém criado.

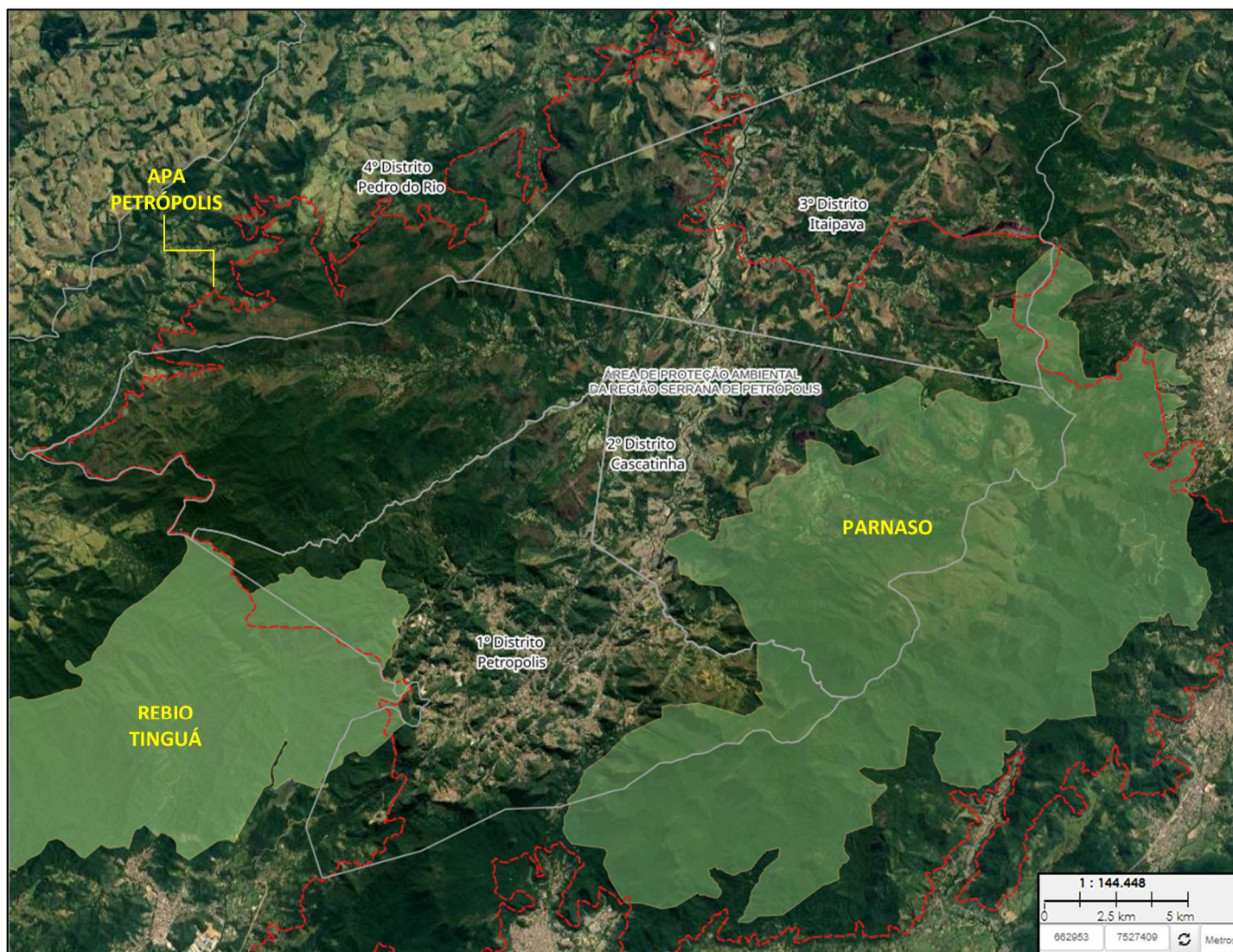


Figura 7-21 - Principais Unidades de Conservação na Área dos Estudos (Fonte: Prefeitura de Petrópolis-RJ)

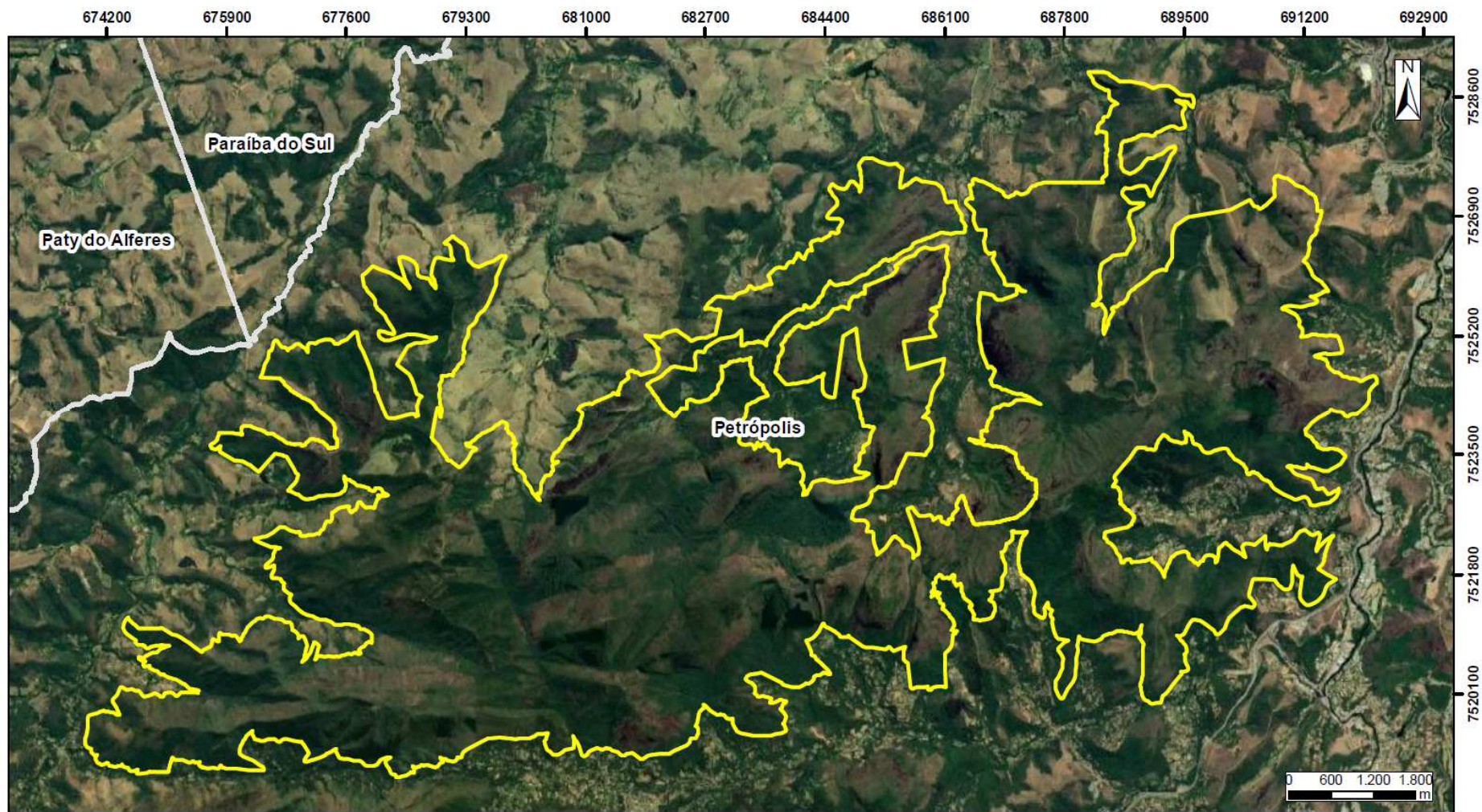


Figura 7-22 - Monumento Natural Serra da Maria Comprida (Fonte: INEA-RJ)

7.7.4 O Uso do Solo na Região de Estudo

Em relação ao uso e ocupação do solo as bacias hidrográficas do presente estudo se destacam por elevadas intervenções antrópicas e manutenção de áreas de pastagem.

Estas informações são de suma importância para a definição dos coeficientes hidrológicos que serão apresentados a seguir, já que possuem relação direta com o potencial da bacia de gerar escoamento superficial.

Baseado nas teorias de disciplinas como Geografia, Ecologia e Geoecologia de Paisagens, o entendimento histórico da evolução do uso e ocupação do solo fornece muitas informações para avaliar o estado atual da paisagem frente ao seu uso e conservação dos recursos naturais. Esse conhecimento também auxilia para um planejamento territorial mais completo e efetivo, que respeite a identidade e singularidade de cada local, assim como a cultura e necessidade de sua população. Atualmente, com o auxílio de ferramentas de geoprocessamento, o processo de gestão e planejamento da paisagem pode se dar de maneira muito mais rápida e eficaz, pois o ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica) permite a análise de uma grande quantidade de informações a baixo custo.

Há mapas de uso e cobertura do solo abrangendo o município de Petrópolis de variadas fontes e escalas com destaque para o mapa do Zoneamento Ecológico Econômico do Estado do Rio de Janeiro (ZEERJ, 2008) em escala 1:100.000.

Em um panorama atual a região em estudo possui vegetação tropical de altitude e está cercada por 50% por Mata Atlântica. A vegetação remanescente abrange a totalidade de vegetação primária e secundária em estágio inicial, médio e avançado de regeneração. Os trechos da floresta mais preservados estão em sua maior parte restritos às áreas de relevo acidentado.

Boa parte da mata original foi substituída por culturas e campos antrópicos. Nas áreas devastadas e depois abandonadas é comum a ocorrência de florestas secundárias em diversos estágios sucessionais. O estado da vegetação do perímetro urbano do município de Petrópolis demonstra bem a intensidade da pressão causada pela ocupação humana: nas encostas dos morros urbanos a vegetação original foi em grande parte substituída por áreas alteradas de sucessão secundárias e plantas daninhas. As pequenas ilhas de vegetação que sobrevive nessas áreas constituem formações em diversos estágios de regeneração, que variam de acordo com o tempo de abandono da terra, tipo de atividade praticada anteriormente e extensão da área desmatada.

Os dados e estudos mais apropriados para a caracterização do uso do solo referente a área de interesse para os estudos se referem aos estudos desenvolvidos para a APA de Petrópolis que, como já visto, abrange quase que integralmente o 1º Distrito de Petrópolis. Segundo os dados disponíveis, apesar de possuir muitos fragmentos de vegetação natural, a APA como um todo corresponde a 72,4% de áreas com formações vegetais típicas de Mata Atlântica, segundo o Instituto Terra Nova (2005). São 63,9% de formações florestais somadas a 8,2% de Formações Vegetais Rupestres e 0,25% de Campos de Altitude. Isso representa uma alta proporção de vegetação, pois, considerando o tamanho da APA e a quantidade de vegetação natural da Mata Atlântica por ela conservada obtém-se números maiores que várias unidades de conservação de proteção integral no bioma. O papel da APA é também manter a conectividade entre os grandes fragmentos, atualmente representados pela Rebio do Tinguá e o Parque Nacional da Serra dos Órgãos (PARNASO), mantendo corredores de vegetação.

Em maio de 2003, a Fundação Centro de Informações e Dados do Rio de Janeiro - CIDE publicou o IQM - Verde II, sequência do primeiro estudo, lançado em julho de 2001.

Ambos comparam as áreas cobertas pelos remanescentes da cobertura vegetal com as ocupadas pelos diversos tipos de uso do solo, criando, desta forma, o Índice de Qualidade de Uso do Solo e da Cobertura Vegetal (IQUS). O monitoramento dos diferentes ambientes fitoecológicos pode servir de guia para o estabelecimento de políticas públicas confiáveis. As informações do mapeamento digital têm base em dados coletados em 1994 (primeiro IQM) e em 2001 (segundo estudo).

Petrópolis, com base no levantamento de 1994, tinha sua área distribuída da seguinte maneira: 34% de floresta ombrófila densa, 35% de vegetação secundária, 6% de área urbana, 18% de pastagens, 3% de área degradada e 5% de afloramento rochoso e campos de altitude. O município se encaixava no cluster J1 - NATIVO/VERDE, agrupamento com domínio de vegetação secundária, seguidas de pastagens e, em percentual menor, de formações originais.

Já no estudo de 2001, ocorreu expressiva redução de formações florestais para 13% do território municipal, com aumento substancial de campo/pastagem para 37%. Houve equivalência de vegetação secundária nos 35% e crescimento de área urbana para 10%. Dentre os fatores históricos que levaram ao desmatamento no primeiro distrito de Petrópolis é importante citar que, além da própria ocupação urbana, entre os séculos XIX e início do século XX houve uma tentativa por parte dos colonos que moravam em Petrópolis em implantar uma atividade agrícola que possibilitasse a comercialização. Não sendo possível, pela limitação dos lotes e pelo clima frio,

houve um período de comercialização de madeira, levando a administração da cidade a implantar um código de postura para evitar o desmatamento. (GONÇALVES & GUERRA, 2006).

Dessa forma, enquanto se buscava uma vocação dentro da economia, no final do século XIX começava a se desenvolver a atividade industrial em Petrópolis, inicialmente de fabricação têxtil, que teve sua maior expansão por volta de 1960. Essa nova atividade passou a atrair moradores de diversas regiões do Brasil, sobretudo entre 1960 e 1990, e assim surgiram diversos bairros que anteriormente estavam previstos no plano de Köeler como área a ser preservada.

Os estudos de evolução do Uso e Ocupação do Solo em Petrópolis apresentado pelo Tribunal de Contas do Estado do Rio de Janeiro em 2006 (**Quadro 7-5**) permitem perceber que o território florestal sofreu uma diminuição de 34% para 13%, enquanto a área de pastagens aumentou de 18% para 37%, e a área urbana aumentou de 6% para 10% em 7 anos.

Quadro 7-5 - Evolução do Uso e Ocupação do Solo em Petrópolis-RJ (1994-2001). Fonte: TCE, 2006

<i>Tipo de uso do solo</i>	<i>Percentual em 1994</i>	<i>Percentual em 2001</i>
<i>Floresta Ombrófila Densa</i>	34%	13%
<i>Vegetação Secundária</i>	35%	35%
<i>Área Urbana</i>	6%	10%
<i>Pastagens</i>	18%	37%
<i>Área Degradada</i>	3%	*
<i>Afloramento Rochoso</i>	5%	*

* Dados não disponíveis

É importante ressaltar ainda que a área urbana do município se encontra concentrada no primeiro distrito de Petrópolis, onde há a maior concentração de desastres envolvendo deslizamentos, e que em 14 anos desde que o estudo realizado pelo Tribunal de Contas do Estado (TCE, 2006) foi realizado, o aumento populacional no município acompanhou seguramente o aumento da área urbana. Com o aumento populacional ocorrendo nas áreas mais habitadas do município, o vetor de expansão de ocupação continuou a apontar para as áreas de difícil acesso antes desocupadas, isto é, as encostas.

A análise do uso e cobertura do solo nas bacias foi feita com base no estudo “O estado do ambiente: indicadores ambientais do Rio de Janeiro”⁴ (INEA, 2011). Esse mapa é apresentado na **Figura 7-23**. A **Figura 7-24** apresenta o mapa do uso e cobertura do solo recortado para as bacias do Alto Piabanha.

⁴ Disponível: www.inea.proderj.rj.gov.br/basetematica_estadoambiente - Acesso em 07/2013

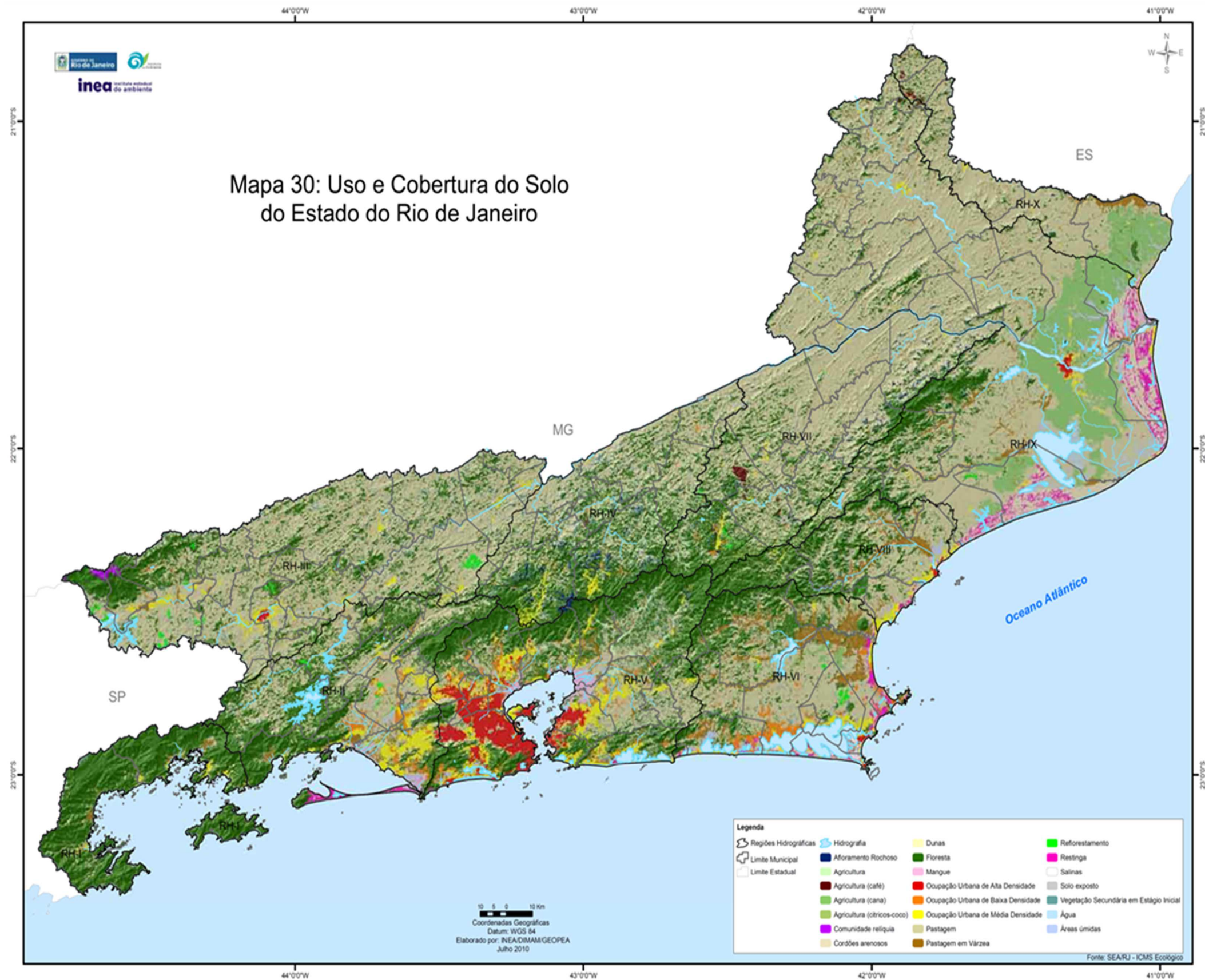


Figura 7-23 - Mapeamento do Uso e Cobertura do Solo no Estado do Rio de Janeiro (INEA, 2011).

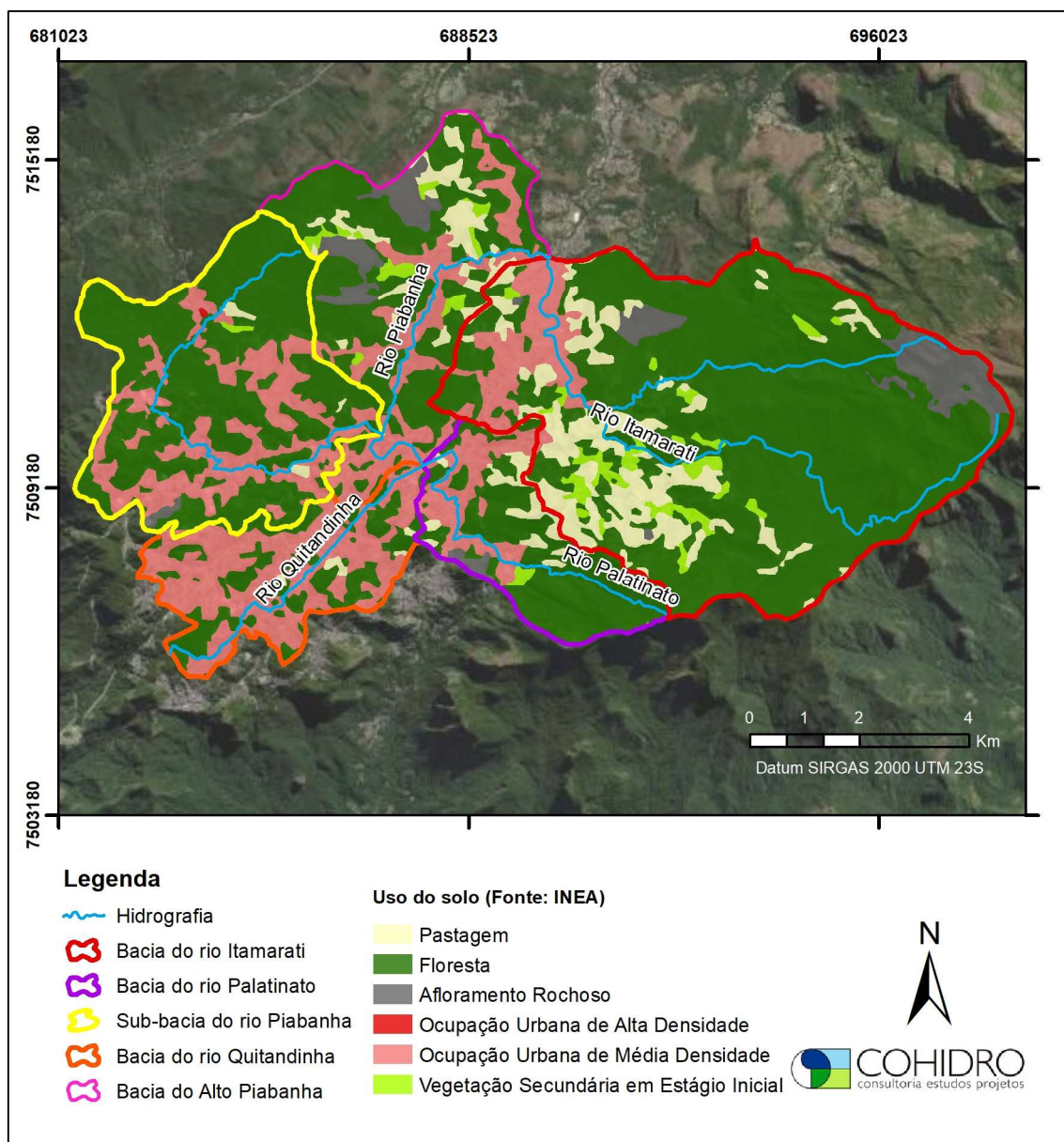


Figura 7-24 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo na Sub-bacia do Alto Piabanha, Abrangendo Apenas o Trecho mais de Montante do Rio Piabanha, Bacia do Rio Quitandinha, Bacia do Rio Palatinato e Bacia do Rio Itamarati.

8 REDE DE MONITORAMENTO HIDROMÉTRICO DISPONÍVEL

8.1 Aspectos Gerais

A estruturação e o planejamento do setor elétrico em nosso país garantiram o histórico de dados pluviométricos e fluviométricos disponíveis e, até hoje, contribuem com 75% das informações de cobertura nacional, atualizadas e disponíveis em bancos de dados de acesso irrestrito.

Por outro lado, essa setorialização inicial da informação hidrológica teve uma desvantagem quanto à distribuição espacial e à forma de aquisição e consolidação dos dados. A rede de interesse do setor elétrico teve estações instaladas em locais que atendiam a demanda de geração de energia elétrica, ou seja, de potencial hidráulico alto, controlando bacias de porte maior, para garantir maiores vazões, ou em bacias menores de cabeceiras, somente onde o relevo acidentado propiciasse queda que compensasse a menor vazão.

Por interessar mais ao planejamento energético, as séries de vazões médias mensais, os dados tratados e armazenados de forma organizada, segura e acessível são os dados médios diários de níveis e vazões e totais de precipitação diária. As medições de vazão são realizadas em condições médias de níveis de água, raramente obtidas em cotas altas ou muito baixas, que constituem os eventos extremos menos frequentes. Assim, as curvas-chaves resultam bem ajustadas em seu trecho médio, onde há maior quantidade de pontos (medições).

Essas características persistem na rede atual e ainda devem se manter por algum tempo, fazendo com que os dados disponíveis, em sua grande maioria, não sejam os mais adequados aos estudos para a gestão dos recursos hídricos - outorga, enquadramento, planos de bacia, licenciamento -, ou para controle de cheias em bacias menores como no caso do projeto em pauta. Nas bacias menores, a rede de monitoramento não é representativa dos processos hidrológicos e é justamente, nessas bacias, onde a informação é mais frequentemente requerida para estudos de disponibilidade hídrica (vazões mínimas) - para dar suporte à outorga de direitos de uso da água -, ou para estudo de cheias e desastres naturais, na determinação de vazões e precipitações máximas.

As redes hidrometeorológicas estaduais complementaríamos essa densidade, porém problemas sistêmicos estruturais, na maioria dos estados, em sua administração e operação fazem com que a continuidade do monitoramento seja comprometida. Há períodos de muitas instalações eventuais, porém com pouca duração de funcionamento.

Considerando-se como referência a bacia do rio Piabanha que recebe direta ou indiretamente, os rios Quitandinha, Palatinato e Itamarati que são objetos específicos dos estudos, pode-se dizer que não restaram estações meteorológicas na bacia do rio Piabanha instaladas no século XX, nem mesmo seus dados históricos estão disponíveis no endereço eletrônico do INMET. As estações climatológicas com dados disponíveis que cobrem a bacia do Piabanha foram instaladas, em 2006, no Pico do Couto, em Petrópolis e em Teresópolis e no Parque Nacional, situado em Teresópolis. Vizinha à bacia do rio Piabanha, a estação meteorológica do INMET mais próxima é a Avelar, no município de Paty do Alferes, com dados disponíveis desde 1985.

Na bacia do Piabanha, há algumas estações fluviométricas com dados desde 1931, evidenciando-se, dentre elas, a de Pedro do Rio no rio Piabanha, que dispõe de uma série histórica de descargas médias diárias de 1931 até os dias atuais. Esse posto tem sido bastante utilizado no âmbito dos estudos hidrológicos desenvolvidos pelo projeto EIBEX - Mata Atlântica Fluminense, desenvolvido pela CPRM e que é caracterizado adiante.

Especificamente a para as bacias de interesse direto para os estudos (Quitandinha, Palatinato e Itamarati) existem poucas estações fluviométricas e todas com dados muito recentes o que dificulta o desenvolvimento de estudos estatísticos.

Com relação a rede pluviométrica a situação é bem melhor. Há na bacia do Piabanha, estações pluviométricas instaladas desde 1939. A rede pluviométrica que cobre a bacia do Piabanha é administrada pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) desde 2002 e tem como responsáveis diversos órgãos tais com: INEA, CEMADEN e COOPE/UFRJ.

O **Quadro 8-1** e o **Quadro 8-2** apresentam respectivamente os principais postos Pluviométricos e Fluviométricos situados na área de interesse para o Projeto. Os postos são integrantes do sistema de informações hidrológicas HIDROWEB, disponibilizado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).

Quadro 8-1 - Postos Pluviométricos de Interesse para o Projeto

CODIGO	NOME	RESPONSAVEL	LAT. (°)	LONG. (°)	TELEM.	INÍCIO DA OPERAÇÃO
2243289	LICEU CARLOS CHAGAS	COPPE/UFRJ	-22,49	-43,18	Não	31/03/2007
2243288	MORIN	COPPE/UFRJ	-22,52	-43,17	Não	31/03/2007
2243287	ESPERANÇA	COPPE/UFRJ	-22,51	-43,21	Não	31/03/2007
2243011	RIO DA CIDADE	ANA	-22,44	-43,17	Sim	30/06/1938
2243010	ITAMARATI - SE	ANA	-22,49	-43,15	Não	30/06/1938
2243332	MORIN	INEA-RJ	-22,53	-43,16	Sim	30/09/2011
2243331	QUITANDINHA	INEA-RJ	-22,53	-43,22	Sim	30/09/2011
2243329	LNCC	INEA-RJ	-22,53	-43,22	Sim	31/05/2011
2243328	SAMAMBAIA	INEA-RJ	-22,46	-43,14	Sim	31/08/2011
2243327	BOMFIM	INEA-RJ	-22,46	-43,10	Sim	30/09/2011
2243324	BARÃO DO RIO BRANCO	INEA-RJ	-22,49	-43,18	Sim	30/09/2011
2243320	ITAMARATI	INEA-RJ	-22,49	-43,15	Sim	30/09/2011
2243318	CORRÊAS	INEA-RJ	-22,45	-43,14	Sim	30/09/2011
2243317	CORONEL VEIGA	INEA-RJ	-22,53	-43,19	Sim	30/09/2011
2243316	BINGEN	INEA-RJ	-22,51	-43,20	Sim	30/09/2011
2243315	ALTO DA SERRA	INEA-RJ	-22,51	-43,17	Sim	30/09/2011
2243313	CENTRO	INEA-RJ	-22,51	-43,18	Sim	30/09/2011
2243441	PETRÓPOLIS_Mosela	CEMADEN	-22,48	-43,22	Sim	31/12/2013
2243439	PETRÓPOLIS_Correias	CEMADEN	-22,46	-43,10	Sim	31/12/2013
2243435	PETRÓPOLIS_Morin	CEMADEN	-22,53	-43,16	Sim	31/12/2013
2243433	PETRÓPOLIS_Rua Amazonas/Quitandinha	CEMADEN	-22,53	-43,22	Sim	31/12/2013
2243432	PETRÓPOLIS_Rua Araruama/Quitandinha	CEMADEN	-22,52	-43,22	Sim	31/12/2013
2243431	PETRÓPOLIS_Alto da Serra2	CEMADEN	-22,53	-43,17	Sim	31/12/2013
2243429	PETRÓPOLIS_CIEP Brizolão137	CEMADEN	-22,45	-43,14	Sim	31/12/2013
2243419	PETRÓPOLIS_Rua Parana/Quitandinha	CEMADEN	-22,52	-43,21	Sim	31/12/2013
2243418	PETRÓPOLIS_Alto da Serra1	CEMADEN	-22,53	-43,17	Sim	31/12/2013
2243285	CAMPO DE AVENTURAS	ÁGUAS IMPERADOR	-22,46	-43,09	Não	30/11/2006
2243301	VILA AÇU	INEA-RJ	-22,46	-43,10	Não	31/10/2009
2243291	SÍTIO DAS NASCENTES	INEA-RJ	-22,47	-43,10	Não	30/09/2007
2243284	PETRÓPOLIS	INEA-RJ	-22,52	-43,19	Não	31/10/2008
2243302	ROCIO 2	COPPE/UFRJ	-22,48	-43,26	Não	28/02/2010
2243290	POÇO TARZAN	COPPE/UFRJ	-22,45	-43,11	Não	30/09/2008

Quadro 8-2 - Principais Postos Fluviométricos de Interesse para o Projeto

RIO	RESPONSÁVEL	CODIGO	NOME	ÁREA DE DRENAGEM (KM²)	LAT. (°)	LONG. (°)	INÍCIO DA OPERAÇÃO	TELEM.	INÍCIO DA TELEMETRIA
RIO ALCOBAÇA	COPPE/UFRJ	58400108	JOÃO CHRIST	5	-22,46	-43,10	30/09/2007	Não	
CÓRREGO DA CIDADE	COPPE/UFRJ	58400212	ROCIO 2 - PONTE	13	-22,48	-43,26	31/03/2010	Sim	31/05/2010
CÓRREGO DA CIDADE	COPPE/UFRJ	58400211	ROCIO 2 - BRAÇO	13	-22,48	-43,26	28/02/2010	Não	-
CÓRREGO DA CIDADE	COPPE/UFRJ	58400210	ROCIO 2 - BRAÇO	13	-22,48	-43,26	28/02/2010	Não	-
RIBEIRÃO DO BONFIM	COPPE/UFRJ	58400110	POÇO TARZAN	17,6	-22,45	-43,11	31/03/2007	Não	-
RIO AÇU	COPPE/UFRJ	58400104	POÇO DO CASINHO	8,5	-22,46	-43,09	30/09/2007	Não	-
RIO PALATINATO	COPPE/UFRJ	58400030	MORIN	6,8	-22,52	-43,17	31/03/2007	Não	-
RIO PALATINATO	INEA-RJ	58400040	ALTO DA SERRA		-22,51	-43,17	30/09/2011	Sim	30/09/2011
RIO QUITANDINHA	INEA-RJ	58400020	PETRÓPOLIS	9,8	-22,52	-43,19	31/10/2008	Sim	31/10/2008
RIO QUITANDINHA	INEA-RJ	58400025	CENTRO		-22,51	-43,18	30/09/2011	Sim	30/09/2011
RIO QUITANDINHA	INEA-RJ	58400015	CORONEL VEIGA		-22,53	-43,19	30/09/2011	Sim	30/09/2011
RIO PIABANHA	COPPE/UFRJ	58400050	LICEU CARLOS	46,4	-22,49	-43,18	31/03/2007	Não	-
RIO PIABANHA	COPPE/UFRJ	58400010	ESPERANÇA (Petrópolis)	14	-22,50	-43,18	31/03/2007	Não	-
RIO PIABANHA	INEA-RJ	58400102	CORRÊAS		-22,45	-43,14	30/09/2011	Sim	30/09/2011
RIO PIABANHA	INEA-RJ	58400005	BINGEN	11,58	-22,51	-43,20	30/09/2011	Sim	30/09/2011
RIO PIABANHA	ANA	58405000	PEDRO DO RIO	435	-22,33	-43,13	31/07/1930	Sim	30/11/2015

A Figura 8-1 apresenta a distribuição espacial dos postos hidrométricos disponíveis na área de interesse para o Projeto.



8.2 EIBEX - Mata Atlântica Fluminense

Um advento interessante para a área dos estudos é que a CPRM iniciou os estudos em *Bacias Experimentais e Representativas* em 2007, numa iniciativa conjunta com universidades e agências públicas de fomento, em duas regiões: Semiárido e Cerrado Mineiro e Mata Atlântica Fluminense. No estado do rio o projeto foi denominado de EIBEX - Mata Atlântica Fluminense - Estudos Integrados em Bacias Experimentais e Representativas.

As Bacias Representativas podem ser definidas como bacias hidrográficas intensamente monitoradas que representariam o comportamento das variáveis hidroclimáticas de uma região considerada homogênea do ponto de vista hidrológico.

Já as Bacias Experimentais correspondem a sub-bacias de uma bacia hidrográfica que se pretende estudar, normalmente com uso do solo predominante, nas quais informações em relação à cobertura do solo, tipo de solo e características hidrológicas são muito bem conhecidas.

O projeto institucional “Estudos Integrados em Bacias Experimentais e Representativas - EIBEX: Mata Atlântica Fluminense” tem como objetivo a avaliação do comportamento hidrológico em região com bioma natural Mata Atlântica, em áreas de ocupação agrícola e urbanizada, na escala de bacia experimental, a partir da operação de uma rede de monitoramento hidrometeorológica quantitativa inserida numa bacia representativa da bacia do rio Piabanha. Nessa região são desenvolvidos estudos na área de hidrologia, com ênfase em climatologia, qualidade da água, solos e GIS, com uso de diferentes tecnologias de medição de dados.

A bacia representativa, com exutório na estação fluviométrica de Pedro do Rio, tem 429 km² de superfície e contém três subconjuntos de bacias experimentais, aninhadas segundo diferentes usos e cobertura do solo, variando de 3 km² a 30 km. Essas bacias experimentais estão contidas na sub-bacia da estação Parque Petrópolis de 260 km², que, por sua dimensão, pode ser considerada também uma bacia representativa.

A área é monitorada intensivamente quanto a variáveis hidrometeorológicas e processos hidrológicos, desde a parcela de solo a bacias hidrográficas de diferentes tamanhos, e continuamente novos equipamentos de medição com diferentes propósitos têm sido incorporados às bacias experimentais.

São monitorados os níveis de água dos rios, suas vazões e 33 parâmetros de qualidade da água (conforme Moraes et al., 2009), além de precipitação, temperatura e umidade relativa do ar,

velocidade e direção do vento, pressão atmosférica, radiação solar incidente e radiação líquida, umidade do solo, e evaporação em tanque Classe A.

A finalidade da bacia experimental do rio Piabanha é funcionar como um laboratório de pesquisas, em escala de bacia hidrográfica, para teste de equipamentos e métodos de aquisição de dados, e experimentação de modelos hidrológicos e metodologias de análise hidrológica, abrangendo a Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE e Escola Politécnica/UFRJ e IGEO/UFRJ), a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) - Serviço Geológico do Brasil (SGB), a Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), o Instituto Estadual do Ambiente (INEA/RJ), e, mais recentemente, também, o Instituto de Biofísica, o Museu Nacional e o Programa de Ecologia, todos da UFRJ, o Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), a Universidade Federal Fluminense (UFF) e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

A área foi escolhida por sua proximidade aos diversos centros de pesquisa, até cerca de 100 km de distância de qualquer deles, e por apresentar problemas reais desafiadores que estão relacionados a insuficiência de saneamento básico, disposição inadequada de resíduos sólidos, drenagem urbana deficiente, erosão, poluição industrial e difusa, com reflexos na qualidade da água, no assoreamento dos rios. Além disso, a região está sujeita a chuvas intensas e frequentes que provocam enchentes e escorregamento de encostas, com inúmeras vítimas, como ocorrido no conhecido megadesastre de janeiro de 2011, que afetou com mais intensidade a região serrana do Rio de Janeiro e no megadesastre do 1º Distrito de Petrópolis de fevereiro de 2022.

O monitoramento da bacia experimental do Piabanha teve início em dezembro de 2006, com o Projeto EIBEX-I - Estudos Integrados de Bacias Experimentais - Parametrização Hidrológica na Gestão de Recursos Hídricos das Bacias da Região Serrana do Rio de Janeiro, apoiado pela Chamada Pública MCT/FINEP/CT-HIDRO - Bacias Representativas 04/2005, que teve, como executora, a COPPETEC-COPPE-UFRJ e, como colaboradores, IGEO/UFRJ-UERJ-CPRM-SERLA (INEA). Essa rede de monitoramento propicia a adoção da região como bacia-escola.

Sua manutenção, ao longo desses dez anos, tem sido garantida pelo projeto institucional da CPRM - EIBEX - Estudos em Bacias Experimentais e Representativas - que aporta recursos financeiros significativos necessários a despesas correntes, de modo a garantir as instalações e a operação, e a investimentos em novos equipamentos para reposição e experimentação de novas tecnologias. Esse apoio garante o monitoramento contínuo com equipes de campo e escritório que fazem a coleta e a análise dos dados.

Nos últimos três anos, os estudos na bacia experimental receberam novos recursos da Chamada MCT/FINEP/CT-HIDRO 01/2010 - Redes HIDROECO (Projeto EIBEX-V) e RHIMA (Projeto EIBEX-IX), bem como de projetos FAPERJ (Cientista do Nosso Estado, Pensa Rio e Emergencial) e CNPq Universal e recursos arrecadados pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Piabanha (CBH Piabanha) por meio da cobrança pelo uso da água na bacia.

Ao longo do período de existência do projeto da bacia experimental, houve, na região, pelo menos, quatro eventos extremos de precipitações com desastres naturais associados - 2008, 2011, que ficou conhecido como o megadesastre que atingiu os municípios de Nova Friburgo, Petrópolis e Teresópolis, o de 2013 que atingiu principalmente o 1º Distrito de Petrópolis e o megadesastre de fevereiro / março 2022, este mais restrito à cidade de Petrópolis. Houve, ainda, o período de estiagem prolongada dos anos 2013-2014-2015.

A existência dos dados gerados pelo projeto, alguns deles monitorados de modo contínuo por equipamentos automáticos, motiva e torna possível estudar os processos hidrológicos que ocorrem em diversas escalas e ainda contribuir para a solução de alguns problemas reais da bacia.

A despeito dos estudos e projetos implementados na área dos estudos no âmbito do EIBEX, ao que parece as ações implementadas decorrentes dos resultados dos estudos foram tímidas e com resultados incipientes, haja vista a tragédia registrada nos meses de fevereiro / março de 2022.

8.3 Sistema de Alerta de Cheias

O uso desordenado do solo, a degradação ambiental e a ocupação de áreas de risco, aliados à intensificação dos eventos extremos, têm provocado o aumento da vulnerabilidade da sociedade aos desastres e, conseqüentemente, ao crescimento da frequência e magnitude de catástrofes dessa natureza no Brasil e no mundo (INEA-2022).

O Governo do Estado do Rio de Janeiro atua na gestão de risco de inundações, por meio de seu órgão executor, o Instituto Estadual do Ambiente (INEA-RJ). O objetivo atual é substituir a histórica concentração de gastos do poder público na remediação e na reconstrução pós-desastres por uma efetiva gestão de riscos.

O sistema de Alerta de Cheias foi criado pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA) para informar as autoridades e população sobre a possibilidade de chuvas intensas e inundações graduais (cheias) que possam causar perdas humanas e materiais.

Esse importante instrumento de gestão de riscos foi iniciado no ano de 2007 para apoiar as Defesas Civas municipais, com a implantação inicial do Sistema de Alerta de Cheias para a Baixada Fluminense. Atualmente, o sistema de alerta de cheias do INEA monitora mais de 120 estações telemétricas, entre as operadas pelo INEA, o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e outros agentes. O objetivo principal desse Sistema de Alerta é informar às autoridades e à população quanto à possibilidade de chuvas intensas e de inundações graduais capazes de causar perdas materiais e humanas. Quando há previsão de chuvas fortes ou possibilidades de transbordamento dos rios monitorados, o INEA envia alertas via mensagens SMS e e-mails para agentes da Defesa Civil. Em 2015, dois radares meteorológicos de última geração foram instalados no bairro de Guaratiba, na Zona Oeste do Rio de Janeiro, e no município de Macaé, no Norte Fluminense, para ampliar a cobertura do Sistema de Alerta de Cheias, que alcançará todo o Estado e áreas de divisa com Minas Gerais, São Paulo e Espírito Santo.

O Sistema de Alerta de Cheias possui uma rede de estações telemétricas e de radares meteorológicos que enviam, em tempo real, dados de chuva e do nível dos rios monitorados.

Na Sala de Situação do INEA, a quem cabe o monitoramento e o envio de alerta de cheias em apoio às Defesas Civas na prevenção de desastres, meteorologistas e técnicos da área acompanham as condições de tempo e o nível dos rios monitorados 24 horas por dia.

A **Figura 8-2** apresenta a escala de alerta atualmente utilizada pelo Sistema do INEA.

Estágio	Situação
Vigilância	Sem Previsão de chuva significativa que possa causar elevação dos níveis dos rios.
Atenção	Possível elevação dos níveis dos rios sem função da ocorrência de chuva.
Alerta	Subida acima do normal do nível de um rio monitorado, com previsão de elevação.
Alerta Máximo	Iminência de transbordo de um rio monitorado, com previsão de elevação.
Transbordamento	Registro de um rio monitorado acima da cota de transbordamento.

Figura 8-2 - Escala de Alerta Atualmente Utilizada pelo Sistema do INEA.

A região dos estudos é coberta parcialmente pelo sistema de Alerta de Cheias.

O **Quadro 8-3** apresenta as estações de monitoramento do sistema de alerta de cheias no município de Petrópolis.

Quadro 8-3 - Estações Integrantes do Sistema de Alerta de Cheias em Petrópolis-RJ

Curso D'Água Monitorado P/Estação Linimétrica	Nome da Estação	Status do Monitoramento	Status de Monitoramento
rio Quitandinha	Centro	Estação Linimétrica	Vigilância
rio Palatinado	Alto da Serra	Estação Linimétrica	Vigilância
rio Piabanha	Bingen	Estação Linimétrica	Vigilância
rio Quitandinha	Cel Veiga	Estação Linimétrica	Vigilância
rio Santo Antônio	Itaipava	Estação Linimétrica	Vigilância
rio Cuiabá	Cuiabá	Estação Linimétrica	Vigilância
-	Itamarati	Estação Pluviométrica	Rede básica
-	Independência	Estação Pluviométrica	Rede básica
-	Barão do Rio Branco	Estação Pluviométrica	Rede básica
-	Posse	Estação Pluviométrica	Rede básica
-	Samambaia	Estação Pluviométrica	Rede básica
-	LNCC	Estação Pluviométrica	Rede básica
-	Capim Roxo	Estação Pluviométrica	Rede básica
-	Quitandinha	Estação Pluviométrica	Rede básica
-	Morin	Estação Pluviométrica	Rede básica

Quando é confirmada a possibilidade de ocorrência destes eventos adversos, são acionadas as 18 sirenes distribuídas por diversas comunidades de Petrópolis (**Quadro 8-4**), alertando os moradores para se direcionarem aos 21 pontos de apoio cadastrados (**Quadro 8-5**).

Quadro 8-4 - Localização das Sirenes de Alerta

Cód.	Bairro	Comunidade	Local de Instalação	Funciona como Ponto de Apoio?
1	Quitandinha	Amazonas	Escola Municipal Stefan Zweig	Sim
2	Quitandinha	Duques	Escola Municipal Odete da Fonseca	Sim
3	Quitandinha	Espírito Santo	Escola municipal Dr. Marcelo Alencar	Sim
4	Quitandinha	Ceará	Residência Particular Rua Rio Grande do Sul Lt11 QD 62	Não
5	Quitandinha	Rio de Janeiro	Clube do Inspetor da Polícia Rodoviária	Não
6	Quitandinha	São Sebastião 1	Centro de Educação Infantil André Rebouças	Não
7	Quitandinha	São Sebastião / Vital Brasil	Residência Particular Rua Vital brasil s/n	Não
8	Quitandinha	Siméria	Residência Particular Est Presidente Sodre s/n	Não
9	Valparaíso	Dr. Thouzet	Residência Particular Rua Dr. Thouzet Lt 6 Qd 88	Não
10	Alto da Serra	24 de Maio	Igreja Católica	Não
11	Alto da Serra	Rua Nova	Shopping 608 (Rua Teresa)	Não
12	Alto da Serra	Sargento Boening	Residência Particular Rua E s/n	Não
13	Alto da Serra	Ferrovários	Condomínio Príncipe Grão Pará	Não
14	Alto da Serra	Vila Felipe 1	Escola Municipal Dr. Rubens de Castro Bomtempo	Sim
15	Alto da Serra	Vila Felipe 2	Residência Particular Rua Paulino Guimarães nº 175	Não
16	Quitandinha	Independência 1	Escola Conveniada (Leonor Maia 1056)	Não
17	Quitandinha	Independência 2	Residência Particular Rua O (rua Alexandre Fiani próx. Ao 208)	Não
18	Bingen	João Xavier	Vídeo Locadora / Bar Rua João Xavier 799	Não

Fonte: SEMPDEC, 2014.

Quadro 8-5 - Localização dos Pontos de Apoio

Código	Bairro	Comunidade	Local de Instalação
PA1	Quitandinha	Amazonas	Escola Municipal Stefan Zweig
PA2	Quitandinha	Duques	Escola Municipal Odete da Fonseca
PA3	Quitandinha	Espírito Santo	Escola Municipal Dr. Marcello Alencar
PA4	Quitandinha	Ceará	Igreja Universal do Reino de Deus
PA5	Quitandinha	Rio de Janeiro	Posto de Saúde da Família (PSF - Vila Saúde)
PA6	Quitandinha	São Sebastião	Escola Papa João Paulo II
PA7	Quitandinha	São Sebastião / Vital Brasil	Associação de Moradores de São Sebastião
	Quitandinha	Siméria	
PA8	Valparaíso	Dr. Thouzet	1- Escola Paroquial Bom Jesus
PA9			2- Igreja Universal do Reino de Deus
PA10	Alto da Serra	24 de Maio	Escola Estadual Augusto Meshick
PA11	Alto da Serra	Rua Nova	Igreja Metodista Wesleyana
PA12	Alto da Serra	Sargento Boening	Escola Municipal Ana Mohhamed
PA13 PA14	Alto da Serra	Ferrovários	Escola Estadual Rui Barbosa Escola Municipal Vereador José Fernandes da Silva
PA15	Alto da Serra	Vila Felipe 1	Escola municipal Dr. Rubens de Castro Bomtempo
	Alto da Serra	Vila Felipe 2	
PA16 PA17 PA18	Quitandinha	Independência 1	Guarda Civil Comunitária Igreja Universal do Reino de Deus Escola Municipal do Alto da Independência
PA19 PA20	Quitandinha	Independência 2	Igreja do Evangelho Quadrangular Igreja São Jorge
PA21	Bingen	João Xavier	Salão Paroquial São Paulo Apóstolo

Fonte: SEMPDEC, 2014.

8.4 Plano de Contingência de Proteção e Defesa Civil - PLANCON

O Plano de Contingência de Proteção e Defesa Civil - PLANCON foi elaborado em 2013/2014. Tem como finalidade estabelecer responsabilidades e ações a serem adotadas pelos órgãos envolvidos na resposta às emergências e desastres, quando da atuação direta ou indireta, para deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos no município de Petrópolis, recomendando e padronizando, a partir da adesão dos órgãos signatários, os aspectos relacionados ao monitoramento para emissão dos níveis de avisos de vigilância, atenção, alerta e alerta máximo, tal como na resposta, incluindo as ações de socorro, assistência e reabilitação de cenários, a fim de reduzir os danos e prejuízos decorrentes de desastres e restabelecer a normalidade no menor prazo possível.

Foram apontadas pelo PLANCON as seguintes localidades como áreas de risco de deslizamento de grande impacto:

Quitandinha, Duques, Independência, São Sebastião, Siméria, Valparaíso, Dr. Thouzet, Alto da Serra, Morin, Vila Felipe, Chácara Flora, Sargento Boening, Centro, 24 de Maio, Floresta, Caxambu, Quissamã, Estrada da Saudade, Bingen, Mosela, Duarte da Silveira, João Xavier, Pedras Brancas, Quarteirão Brasileiro, Atílio Marotti, Retiro, Vale dos Esquilos, Carangola, Jardim Salvador, Roseiral, Itamarati, Provisória, Alcobacinha, Nova Cascatinha, Cascatinha, Glória, Frias, Castelo São Manoel, Corrêas, Calembe, Nogueira, Moinho Preto, Fazenda Inglesa, Araras, Vale das Videiras, Mata Cavalo, Itaipava, Madame Machado, Gentio, Cuiabá, Santa Mônica, Pedro do Rio, Vila Rica, Posse, Brejal e Xingú.

O levantamento dessas áreas levou em consideração o histórico de desastres em Petrópolis, o PMRR, além de outros estudos realizados pelo DRM (Projeto Carta Geológica do Estado do Rio de Janeiro – 1979 e 1981 e Projeto Folha Itaipava).

Para o monitoramento dessas áreas, foi proposto pelo PLANCON, um sistema de mobilização, de acordo com a criticidade da previsão de chuvas para o período.

O Plano definiu ainda uma rotina de monitoramento e leitura do índice pluviométrico, conforme **Figura 8-3**.

EQUIPE DE PLANTÃO CENTRO OPERACIONAL DA DEFESA CIVIL DE PETRÓPOLIS	
Todos os dias às 7h, a equipe de plantão que sai de serviço deverá realizar a leitura dos pluviômetros;	
Em caso de ocorrências de chuva deverá ser feita a leitura pluviométrica para, em seguida, ser registrado no livro o início e o fim da precipitação, bem como a quantidade em milímetros (mm);	
As informações acima registradas deverão ser repassadas ao diretor operacional;	
Obs: mesmo que o acumulado de chuva em 24 horas seja de 0 mm, deverá ser registrado e informado.	

Figura 8-3 - Rotina de Monitoramento e Leitura do Índice Pluviométrico Fonte: PLANCON, 2014

Além desse monitoramento, o Plano propõe o monitoramento geológico, com o cruzamento dos dados pluviométricos com as características de cada região, podendo antecipar a previsão de deslizamentos.

Com relação às inundações, foram identificadas as seguintes localidades como principais áreas de risco: Centro, Quitandinha, Bingen, Corrêas, Nogueira, Itaipava, Pedro do Rio e Posse.

Atualmente o monitoramento dos rios é realizado pelo INEA como já visto, que informa a Defesa Civil municipal quando os níveis estão em estado de alerta.

Ainda foram identificadas áreas de alto risco de alagamento: Centro, Quitandinha, Bingen, Corrêas, Nogueira, Itaipava, Pedro do Rio e Posse. A Defesa Civil adota o mapeamento territorial das áreas alagáveis para auxiliar nas ações operacionais, proporcionando avisos à população vulnerável a esse risco.

O PLANCON ainda define os índices de chuva e nível dos rios que deverão ser observados para colocar em prática as ações de emergência propostas no Plano (**Figura 8-4 e Figura 8-5**).

	NORMAL	ATENÇÃO	ALERTA	ALERTA MÁXIMO
Últimos 15 minutos	5 mm	10 mm	15 mm	50 mm
1h	...20 mm	30mm	40mm	90mm
4h	...40mm	50mm	60mm	130mm
24h	...80mm	90mm	100mm	210mm
72h	...120mm	130mm	140mm	250mm
96h	...160mm	170mm	180mm	370mm

Figura 8-4 - Índices Pluviométricos e Nível de Alerta - Fonte: PLANCON, 2014

BAIRRO	RIO	TRANSBORDAMENTO
ALTO DA SERRA	PALATINATO	4,20 m
CORONEL VEIGA	QUITANDINHA	1,80 m
CENTRO	QUITANDINHA	2,00 m
BINGEN	PIABANHA	3,35 m
CORRÊAS	PIABANHA	6,50 m
ITAIPAVA	SANTO ANTÔNIO	8,20 m

Figura 8-5 - Nível dos Rios e Nível de Alerta - Fonte: PLANCON, 2014

Quando os níveis de atenção, alerta e alerta máximo são atingidos, o PLANCON define as ações a serem tomadas e os responsáveis por cada uma delas.

9 SUSCETIBILIDADE ÀS ENCHENTES

9.1 Histórico da Ocorrência das Enchentes

As inundações na Cidade de Petrópolis, em particular no Centro Histórico, datam da época do Império afetando diretamente a população pelas enchentes e inundações que ocasionaram perdas de vidas e enormes prejuízos, além de severos danos ambientais.

Segundo a arquivista do setor de Arquivo Histórico do Museu Imperial, a historiadora e pesquisadora Fátima Argon que mantém referências do histórico das enchentes na cidade de Petrópolis, a primeira enchente registrada em Petrópolis é anterior ao próprio decreto de fundação da cidade de 1843. A enchente foi registrada em 1834 sendo então seguida pelas enchentes de 1856, 1859 e a de 1862, quando então o próprio Imperador D. Pedro II relata sua preocupação quanto aos temporais em um diário de viagem. “(...) pouco se fez do anos passado para cá. Os estragos que fez a enchente levaram dois meses a reparar, segundo me disse o engenheiro”, pontuou o Imperador.

O registro da enchente de 1859 foi o primeiro que se refere a mortos e feridos em desabamentos.

A inundação ocorrida, em 5 de janeiro de 1862, consta do diário de SMI Dom Pedro II. Este anotou ter chovido quase todos os dias no mês anterior, indicando que pode ter havido a saturação do solo e do lençol freático. O pluviômetro imperial registrou que a chuva, neste dia, totalizou 161 mm.

Outras ocorrências históricas foram registradas nos anos de 1866, 1873, 1875, 1882, 1883, 1886 e 1889. Observa-se que os registros passaram a ser mais elaborados quando os eventos deixaram maiores rastros de destruição, como na chuva que assolou a cidade no ano de 1895.

Percebe-se pelos relatos da época que a chuva de 1895 teve o maior impacto dentre as chuvas até então registradas. No entanto, ressalta-se que não havia um registro oficial da medição da quantidade de chuva na ocasião, mas os relatos se referem a abrangência dos impactos até então. Deduz-se que, conforme a cidade foi sendo ocupada cresceram os riscos potenciais de desabamentos e inundações.

O problema das inundações percorreu o Império, adentrou a República, perenizou-se no século XX e prosseguiu pelo século XXI.

Mais recentemente outras enchentes de grande magnitude foram registradas como as de: 1935, 1945, 1964, 1965, 1966.

A grande enchente de 1945 ensejou a construção de um extravasor ligando o rio Palatinato ao rio Itamarati. Segundo os registros as obras se iniciaram em 01/03/1953 e foram finalizadas em 1975.

Após a implantação do túnel extravasor, durante um período, com a realização de dragagens anuais, Petrópolis teve um período de baixa incidência de grandes enchentes. Entretanto, no início de fevereiro de 1988, uma forte chuva deixou um saldo de 171 mortos e mais de 3.000 desabrigados. A partir desse ano, as chuvas fortes repetiram-se, com menor ou maior intensidade, por quase todos os anos, deixando suas marcas nas estatísticas da cidade. No século XXI, as chuvas de 2001, 2004, 2008, 2011, 2013, 2019 e 2022 foram as que mais impactaram o município. Destacam-se, dentre elas, o Desastre de 2011 e a Catástrofe de 2022.

Os dados referentes aos números de mortos e prejuízos decorrentes de eventos catastróficos tais como enchentes, via de regra não são muito precisos e normalmente divergem, de acordo com a fonte dos dados.

O **Quadro 9-1** obtido site G1 da rede Globo, registra as principais enchentes que marcaram a história de Petrópolis a partir da enchente de 1930, como grandes eventos catastróficos.

Quadro 9-1 - Registros de Ocorrência de Grandes Enchentes em Petrópolis-RJ

Data da Ocorrência	Descrição
1930	Enchente em Petrópolis com 30 mortos.
1966	Enchente em Petrópolis com 100 mortos e 200 casas destruídas.
1988	Enchente em Petrópolis com 171 mortos e mais de 3.000 desabrigados.
2011	Enchente em Petrópolis com 73 mortos.
2013	Enchente em Petrópolis com 33 mortos.
2022	Enchente em Petrópolis com 232 mortos.

Fonte: Site G1

Além desses registros também tiveram expressões as chuvas de 2001, 2004, 2008 e 2019.

A **Figura 9-1 a Figura 9-7** mostram registros de inundações desde o início do século passado.



Figura 9-1 - Enchente Junto à Câmara de Petrópolis, Década de 30 do Século XX - Terceiro / Agência O Globo



Figura 9-2 - Enchente que Atingiu a Avenida XV de Novembro e a Praça Dom Pedro II - janeiro/1966



Figura 9-3 - Cheia no Centro da Cidade de Petrópolis em 1988



Figura 9-4 - Cheia no Centro da Cidade de Petrópolis em 2011

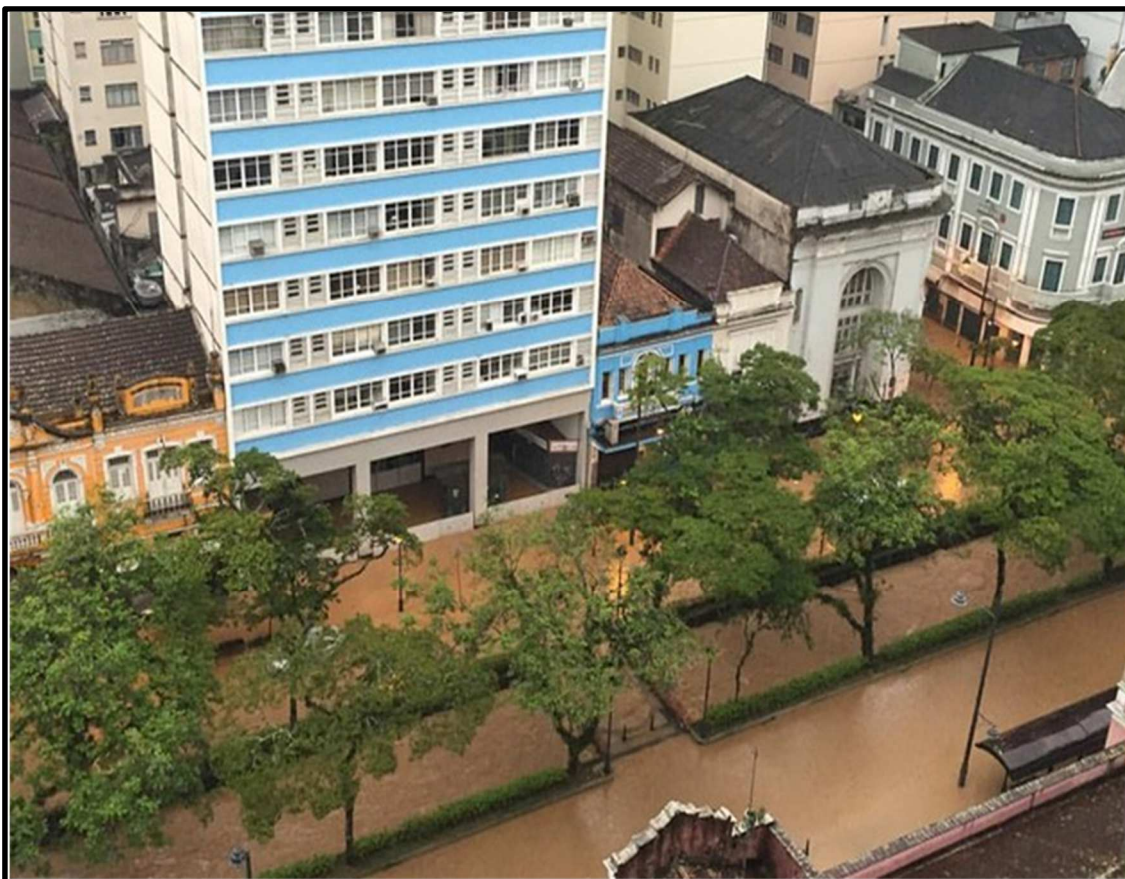


Figura 9-5 - Cheia no Centro da Cidade de Petrópolis em 2013



Figura 9-6 - Alagamento na Rua Coronel Veiga em Novembro de 2016



Figura 9-7 - Centro da Cidade Alagado em Fevereiro de 2022

A Enchente de 2011

Entre 11 e 12 de janeiro de 2011, uma sequência de chuvas fortes atingiu a diversos municípios do Rio de Janeiro, causando grandes enxurradas e vários deslizamentos de terra. Os municípios mais afetados foram: Nova Friburgo, Teresópolis, Petrópolis, Sumidouro, São José do Vale do Rio Preto, Bom Jardim e Areal. Além destes, também foram afetados os municípios de Santa Maria Madalena, Sapucaia, Paraíba do Sul, São Sebastião do Alto, Três Rios, Cordeiro, Carmo, Macuco e Cantagalo.

Além das enchentes, registraram-se deslizamentos de terra, soterramento de casas e casos de leptospirose. O desastre provocou 905 mortes em sete cidades, afetando mais de 300 mil pessoas. A tragédia é considerada um dos dez maiores deslizamentos do mundo registrados desde 1900.

Uma particularidade dessa cheia de 2011 em Petrópolis é que as chuvas ocorridas na ocasião não atingiram o 1º distrito com tanta intensidade, atingindo mais os vales dos rios Santo Antônio e Cuiabá no Distrito de Itaipava. Como o 1º Distrito é o mais populoso e o que apresenta maiores

problemas relacionados à ocupação das encostas, na ocasião o município foi menos afetado em termos de comparação que os municípios de Friburgo e Teresópolis.

Segundo o INPE o que ocasionou esse sistema meteorológico foi a Zona de Convergência do Atlântico Sul, em dois dias a estação do INMET registrou 166 mm de chuva em Nova Friburgo, mais de 70% do valor histórico registrado para o mês.

De acordo com o Relatório Avaliação de Perdas e Danos: inundações e deslizamentos na Região Serrana do Rio de Janeiro, janeiro de 2011, elaborado pelo Banco Mundial, este desastre é considerado o pior desastre brasileiro em termos de danos humanos. As perdas e danos totais foram estimados em 4,8 bilhões de reais.

Após o desastre decorrentes das fortes chuvas de 2011, o Governo do Estado Rio de Janeiro assumiu a tarefa de realizar as obras de recomposição das margens dos rios e a construção de casas populares.

Na tentativa de responder às questões provocadas pelo desastre, destacam-se três 'acontecimentos':

- No Estado do Rio de Janeiro, a instauração de uma Comissão Parlamentar de Inquérito (CPI) pela Assembleia Legislativa Estadual (ALERJ), que gerou um Relatório;
- Em Petrópolis, a Câmara Municipal de Vereadores (CMP), também instaurou Comissão Parlamentar de Inquérito Municipal (CPIM) em que se buscou explicações para o ocorrido e se sugeriu providências para prevenir novos desastres, como seu principal resultado foi instituída a Comissão das Chuvas;
- O Comitê de Bacia Hidrográfica do rio Piabanha (CBHP) realizou, no município de Teresópolis, o Seminário “Eventos Críticos Naturais”, nos dias 29 e 30 de novembro de 2012. Este evento foi destacado por ter sido referido pelo Anuário Brasileiro de Desastres Naturais de 2011, como onde “foram apresentados pela primeira vez dados da chuva nos dias 11 e 12 de janeiro de 2011” (Brasil, 2012, p. 67).

Após o desastre, também, houve várias palestras na região, com a apresentação do Relatório da ALERJ e de técnicos que tentavam dar explicações e soluções diversas sobre o ocorrido.

A Enchente de 2022

No dia 15 de fevereiro de 2022, uma tempestade inesperada fez cair três horas seguidas de chuvas. De acordo com o Cemaden, foram registrados 259,8 milímetros de chuva durante o dia todo, sendo 250 mm entre 16h20 e 19h20. O total precipitado no dia foi superior à média climatológica para fevereiro na cidade que era de 185 milímetros. Este evento foi até então, a maior tempestade da história de Petrópolis, desde que se iniciaram as medições, em 1932. O recorde anterior havia ocorrido no dia 20 de agosto de 1952, quando choveu 168,2 mm em 24 horas.

Um pouco mais de um mês depois da tragédia, em 20 de março de 2022, novos temporais atingiram o município, registrando então a maior tempestade da história de Petrópolis, quando em seis horas foram registrados 260 mm de chuva, ultrapassando a média climatológica normal do mês de março, que era de 232 mm.

As enchentes e deslizamentos de terra causados pelas chuvas de fevereiro e de março, deixaram um total de 241 mortos; 1 pessoa está desaparecida, segundo o portal de desaparecidos da Polícia Civil. A tragédia é a maior da história da cidade, superando a de 1988, que deixou 171 vítimas e a de 2011 cujo número total de vítimas fatais no município foi de 73 (**Figura 9-8 e Figura 9-9**).



Figura 9-8 - Carro em uma Rua Alagada em Petrópolis (RJ) - 2022 - Foto: Ricardo Moraes/Reuters



Figura 9-9 - Carros Submersos no Centro de Petrópolis-2022 - Foto: Ricardo Moraes/Reuters

O Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), órgão criado para permitir o planejamento e execução de ações preventivas após o desastre ocorrido em janeiro de 2011, avisou as autoridades locais sobre a possibilidade de ocorrência "de chuvas isoladas ao longo do dia, que podiam deflagrar deslizamentos pontuais, especialmente nas regiões de serra e/ou densamente urbanizadas". Entretanto, a despeito da intensidade da tragédia que viria a se desenhar algumas horas mais tarde, este alerta foi emitido colocando a situação apenas sob uma classificação de "risco moderado de ocorrência de deslizamentos". O próprio Cemaden reconheceu ter sido incapaz de prever com antecedência a intensidade do fenômeno. O órgão alegou que não havia condições que possibilitassem a previsão de uma chuva dessa magnitude num espaço tão curto de tempo.

Uma pesquisa realizada pelo Instituto de Pesquisas e Análises da Fecomércio e divulgada em 17 de fevereiro, mostrou que as fortes chuvas provocaram um prejuízo de mais de 78 milhões de reais no setor de bens, serviços e turismo do município.

Em 21 de fevereiro, a Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (Firjan) divulgou os resultados de uma pesquisa sobre o impacto financeiro da tragédia. A perda estimada foi de 665 milhões de reais, o equivalente a 2% do PIB do município. Segundo o presidente da entidade, Eduardo Eugenio Gouvêa Vieira, as perdas superam 1 bilhão de reais, se incluídos os gastos com

a reconstrução. Ainda segundo a instituição, as chuvas afetaram 65% das empresas da cidade, sendo que 85% ainda não haviam retomado as atividades.

Após a tragédia de fevereiro as governanças de âmbito Municipal, Estadual e Federal constituíram uma Comissão Temporária composta pelos seguintes membros: Prefeito de Petrópolis, Subsecretário de Habitação do Estado do Rio de Janeiro, Secretário de Infraestrutura e Obras do Estado do Rio de Janeiro, Representante do Ministério do Desenvolvimento Regional, Representante do Instituto de Arquitetos do Brasil (IAB) Representante do Instituto Estadual do Ambiente (INEA) e Representantes da Comissão de Vítimas das enchentes.

Esta comissão foi criada com um objetivo específico de garantir assistência às vítimas e planejar as medidas para evitar tragédia semelhante no futuro tendo então sido realizadas audiências públicas para tal.

No âmbito dessa comissão vários técnicos e especialistas vem se manifestando em relação as causas e ações que poderiam ter ao menos, atenuado os efeitos das fortes chuvas ocorridas. Em sua maioria os relatos convergem para a localização da cidade que se encontra em uma região serrana, com encostas muito íngremes e rios entre elas. Segundo os técnicos, a probabilidade de ocorrência de chuvas concentradas ali é alta havendo uma interação de fatores importantes na deflagração do processo de movimentação de massa: chuva, relevo, rocha, solo e vegetação.

Quando há movimentos de massa, e se o evento tem maior magnitude, isso contribui para a elevação das águas dos rios e alagamentos nas áreas impermeabilizadas. A ocorrência apenas de movimento de massa ou de inundação de forma isolada é remota. A chuva que cai na encosta satura o solo concorrendo para os deslizamentos. Com o deslizamento das encostas os canais naturais de drenagem acabam ficando assoreados concorrendo para as inundações do fundo do vale. Em fevereiro choveu muito em todo o 1º Distrito, onde fica o Alto da Serra, e além dos inúmeros deslizamentos ocorridos a água acabou se acumulando no fundo do vale, causando o transbordamento em diversos pontos da cidade.

Ainda de acordo com os especialistas, os deslizamentos podem ser evitados por meio de obras de engenharia. No entanto, uma outra forma de atuar nessa área, e que está entre as principais ações do sistema brasileiro de defesa civil, é mapear os riscos relacionados a deslizamentos e implantar medidas não-estruturais. Por exemplo, a implantação de sistemas de alerta antecipado mais eficazes. Esta medida não estrutural permite evacuar as áreas onde estão os habitantes e eventualmente também os bens em risco, antes que sejam atingidos por um escorregamento.

Alguns especialistas que integram essa comissão apresentam uma visão mais abrangente e com enfoque ambiental do problema recorrente das enchentes em Petrópolis e das soluções possíveis, como Engenheiro Civil e Professor da UERJ Adacto Ottoni que resumidamente acredita que o problema pode ser mitigado através das seguintes intervenções:

- Apenas refazer as paredes destruídas ou colapsadas do túnel extravasor, sem mexer na rugosidade de suas paredes;
- Promover a limpeza e desassoreamento permanentes do sistema de microdrenagem (galerias de águas pluviais e bocas de lobo) e de macrodrenagem (rios Palatinato, Quitandinha e Piabanha) de Petrópolis;
- Elaborar um estudo para implantação de tubos, “tipo suspiros”, para melhorar a ventilação nos trechos dos rios urbanos canalizados sob o arruamento;
- Desenvolver um estudo de diagnóstico sobre a macrodrenagem dos rios Palatinato, Quitandinha e Piabanha, com as sugestões das soluções para os problemas de sua macrodrenagem;
- Desenvolver estudos e projetos de construção de pequenas e médias barragens de cheias nos trechos médio e superior dos rios Quitandinha e Palatinato;
- Desenvolver estudo para implantação de soleiras de admitância no trecho médio e superior da calha dos Rios Quitandinha e Palatinato e, por último, reflorestamento (priorizando as APPs) e controle de erosão do solo nas bacias hidrográficas dos rios Quitandinha, Palatinato e Piabanha.
- Implantar possíveis parques fluviais nas áreas urbanas e nas áreas rurais implantar vegetação ciliar nas margens dos rios.
- Desenvolver estudos para implantação de prismas de ventilação ligando a parte abaixo do arruamento dos rios Palatinato e Quitandinha com o ar, permitindo a boa ventilação dentro deste trecho do rio, para reduzir os riscos de transbordamento hídrico de calha fluvial.

9.2 As Enchentes do Centro Histórico

A vulnerabilidade da população, que convive com os riscos socioambientais em Petrópolis, é traduzida normalmente pela imprensa e pelos discursos políticos como vinculada à negligência do poder público frente ao próprio risco e suas consequências mais imediatas, ou seja, tragédias recorrentes com mortes e desabrigados.

Por essa ótica, poder-se-ia afirmar que há, no município, dois problemas de magnitudes diferenciadas. As pequenas inundações dos diversos afluentes do rio Piabanha, que nem sempre atingem o centro histórico e as grandes inundações, com o alagamento do Centro Histórico e movimentos de massa nas áreas de risco. A recente tragédia de 2022 se encaixa plenamente na segunda tipificação acima descrita.

Os estudos mais recentes da relação causa e efeito das tragédias decorrentes das enchentes em Petrópolis estão relacionados mais diretamente aos eventos catastróficos de 1988 e de 2011, uma vez que a tragédia de 2022 é muito recente e será preciso mais tempo para que se desenvolvam estudos mais consistentes sobre esse evento.

Diferentes documentos oficiais sobre a análise dos acontecimentos do evento de janeiro de 2011 revelam um incômodo consenso sobre os fatores determinantes do desastre: primeiro, o próprio evento meteorológico, associado às características geoambientais da região. Segundo um conjunto de problemas ligados ao ordenamento territorial, como a política dos usos de solos e o crescimento urbano descontrolado. E, terceiro, a falta de planos de prevenção e emergência locais. Todos esses fatores, em conjunto, teriam criado um ambiente de difícil gestão naquela noite de janeiro de 2011.

Apesar do desastre de 2011, de certa forma, ter impulsionado a elaboração do Plano Municipal de Habitações de Interesse Social, publicado em 2013, o panorama atual mostra que o Município de Petrópolis apresenta um déficit habitacional, somente para a população em área de risco, estimado em mais de 15.000 UH's. o que de certa forma, inviabiliza qualquer política intervencionista que não trate prioritariamente da questão habitacional, sobretudo, para os moradores em áreas de risco.

Os diversos estudos desenvolvidos após a tragédia de 2011 buscam responder basicamente qual a causa principal daquela ocorrência de tão grandes proporções.

O Prof. Dr. Paulo Canedo (2011, s.11) explicou que “três eventos chuvosos se somaram para geração dos temporais da Serra”. O primeiro ocorreu nos dez dias anteriores ao desastre. Toda a região recebeu chuvas de baixas e médias intensidades ininterruptamente, o que deixou o solo saturado.

O segundo, uma frente fria estacionária, que agiu como “cobertor” sobre a área atingida. O terceiro, a formação de nuvens do tipo Cumulonimbos, com altitude de 13 ou 14 km, ou seja, no limite da troposfera e que foram retroalimentadas pela Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). No epicentro do evento, essas nuvens atingiam até 10 km de altura.

O somatório desses eventos provocou uma chuva de intensidade extraordinária que, segundo Canedo (2011, s.3), mesmo as “áreas pouco habitadas sofreram erosões que obstruíram os talwegues e desviaram os cursos d’água para fora de seus leitos naturais”.

O Prof. Dr. Paulo Canedo (2011, s.49-55) explanou que houve dificuldade para calcular o Tempo de Recorrência (TR) da chuva, porque grande parte dos pluviômetros se localizava fora da região, onde a tormenta foi mais intensa. O único que se encontrava na área foi destruído e levado pela enxurrada. Efetivamente, os “valores destas tormentas são raros e as correlações estatísticas nas séries temporais necessitam extrapolações grandes”, com isso, “perdendo precisão no cálculo do TR”. Contudo, Canedo (2011) afirmou que calculou o TR em “mais de 500 anos”.

De acordo com Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991-2012, volume Rio de Janeiro, Petrópolis foi o município com maior incidência de deslizamentos e inundações no período, num total de 28 ocorrências.

O Anuário Brasileiro de Desastres Naturais confirma o que apresentou Canedo (2011), ao dizer que os dados acusados pelo pluviômetro da localidade Santa Paula no bairro Quitandinha, antes de sua destruição, às 4 horas da manhã do dia 12 de janeiro, foram das “2h 45 min do dia 12 de janeiro, uma intensidade significativa de 57.4 mm/h e acumulados também altos de 210.8 mm em 24 horas e 233.8 mm em 96 horas, além de um antecedente de 554.2 mm em um mês” (Brasil, 2012, p.67).

Existem disponíveis vários estudos, teses e artigos, que tratam dos efeitos das cheias do rio Quitandinha em Petrópolis, sobretudo, quanto aos efeitos na região adjacente a rua Coronel Veiga, que consiste em uma via altamente utilizada pela cidade e que tem a função de ligar cerca de 5 bairros ao centro de Petrópolis além de constituir a via de acesso à saída da cidade pela BR-040, principal acesso à cidade do Rio de Janeiro e que segue até Brasília (**Figura 9-10**).

Os estudos existentes para a bacia do Quitandinha, que serão objeto de um relatório específico de “Avaliação dos Estudos Existentes”, normalmente tratam dos efeitos das cheias desse rio na rua Coronel Veiga e no Centro Histórico de Petrópolis. O que é interessante de se ressaltar é que a maior parte dos estudos abordam o problema das cheias do Quitandinha e seu efeitos na rua Coronel Veiga e no Centro Histórico como um problema único e que ocorre de maneira conjugada na presença de um evento pluviométrico expressivo. Na realidade, dependendo da intensidade do evento natural, o próprio extravasamento do rio Quitandinha na região da rua Coronel Veiga contribui para a atenuação dos efeitos da cheia no Centro Histórico proporcionando um retardamento da onda de cheia no centro histórico e seu consequente amortecimento.



Figura 9-10 - Alagamento na Rua Coronel Veiga em 2011 (Fonte: Ana Paula Valente)

Uma grande parte dos estudos que tratam do Quitandinha apresentam soluções diversas, com efeitos diversos tais como: a duplicação da calha fluvial do Quitandinha através da implantação de uma galeria de drenagem auxiliar sob a rua Coronel Veiga, a construção de reservatórios de retenção (Piscinões) para atenuação da cheia, transposição de águas da bacia do Quitandinha para outra bacia, entre outras. Todas essas soluções clássicas carecem necessariamente de serem avaliadas sob a ótica de seus feitos ambientais de tal sorte que não venhamos a resolver um problema de inundação local transferindo esse problema para outro local.

Dentre os estudos que apresentam resultados de modelagens hidrodinâmicas com manchas de inundação para o rio Quitandinha destaca-se o estudo desenvolvido pela Fundação COPPETEC, através do Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente da COPPE/UFRJ que desenvolveu para a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) no ano de 1998 o Plano Diretor de Gestão dos Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. No bojo dos estudos realizados no Plano Diretor, mais especificamente no Relatório do Programa Estadual de Investimentos da Bacia do Rio Paraíba do Sul - RJ - Sub-Região B - Enchentes e Drenagem Urbana, foram desenvolvidos estudos de modelagem hidráulica na calha do rio Quitandinha que ensejaram manchas de inundação, que em uma primeira análise oferecem uma

avaliação inicial do porte das áreas inundadas para um cheia de 20 anos na região da rua Coronel Veiga e no centro histórico, como mostram as **Figura 9-11** e **Figura 9-12**.

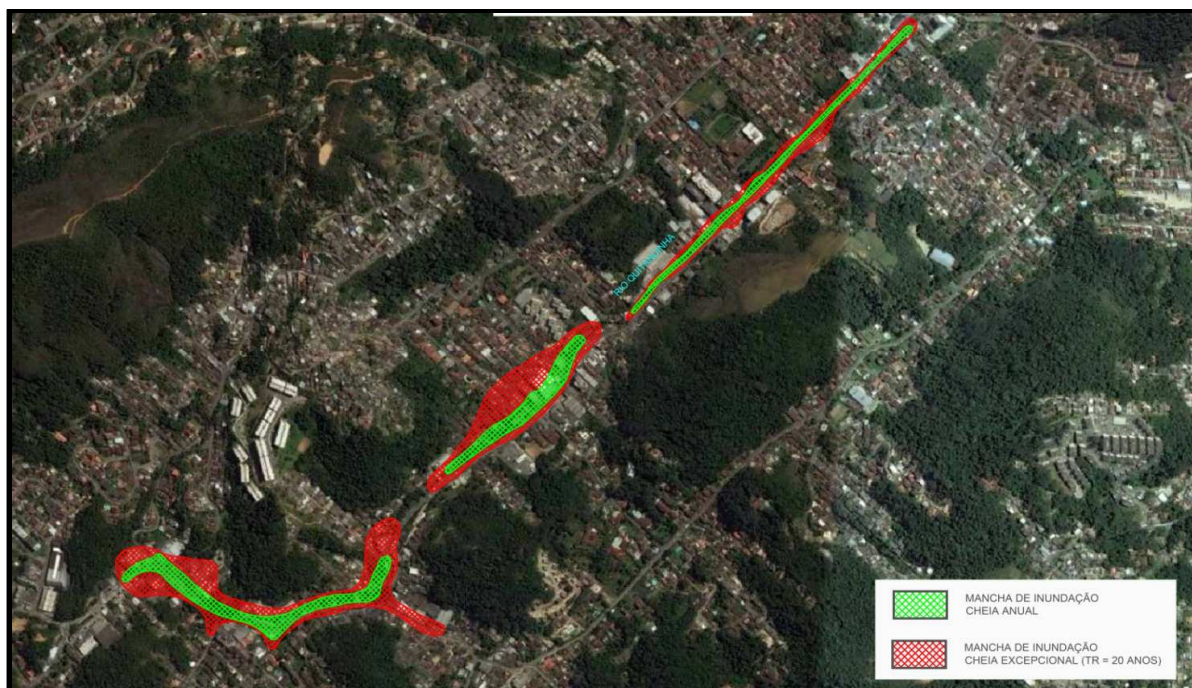


Figura 9-11 - Mancha e Inundação do Rio Quitandinha para TR=20 Anos na Rua Coronel Veiga. Fonte: Adaptado de Programa Estadual de Investimentos da Bacia do Rio Paraíba do Sul - RJ (1998)



Figura 9-12 - Mancha e Inundação do Rio Quitandinha para TR=20 Anos no Centro Histórico. Fonte: Adaptado de Programa Estadual de Investimentos da Bacia do Rio Paraíba do Sul - RJ (1998)

Tendo em vista que o objeto desse contrato trata apenas da resolução dos problemas decorrentes das inundações do Centro Histórico de Petrópolis, as soluções estudadas estarão focadas no problema alvo, ou seja: Recuperação do Túnel do Palatinato, Construção de Galeria entre o Canal do Centro e o rio Piabanha no trecho compreendido entre a foz do rio Quitandinha até a foz do rio Itamarati.

O Centro Histórico de Petrópolis além de receber as águas do rio Quitandinha, recebe as águas do rio Palatinato que drena completamente as águas do bairro Morin, e parcialmente os bairros de Alto da Serra, Caxambu e Centro, até desaguar no rio Quitandinha no local do Obelisco.

Segundo os estudos existentes, o encontro desses dois rios de forma quase que frontal também concorria para o agravamento das inundações do Centro Histórico devido ao aumento das perdas de carga localizadas no escoamento fluvial no local, com consequentes sobrelevações dos níveis d'água que durante os eventos extremos transbordavam inundando as adjacências do local onde se encontra o Obelisco. No entanto, com a construção do túnel extravasor e o consequente desvio de parte das vazões do rio Palatinato para o rio Itamarati, ocorreu uma atenuação do problema já que atualmente a maior parte da vazão que aflui para o Canal do Centro é oriunda apenas do rio Quitandinha (**Figura 9-13 e Figura 9-14**).

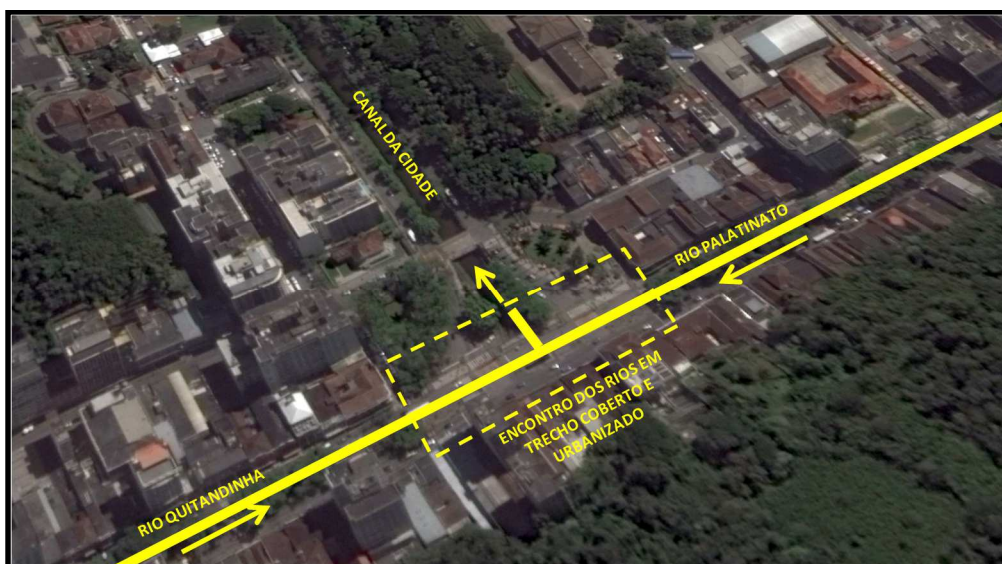


Figura 9-13 - Encontro dos Rios Quitandinha e Palatinato

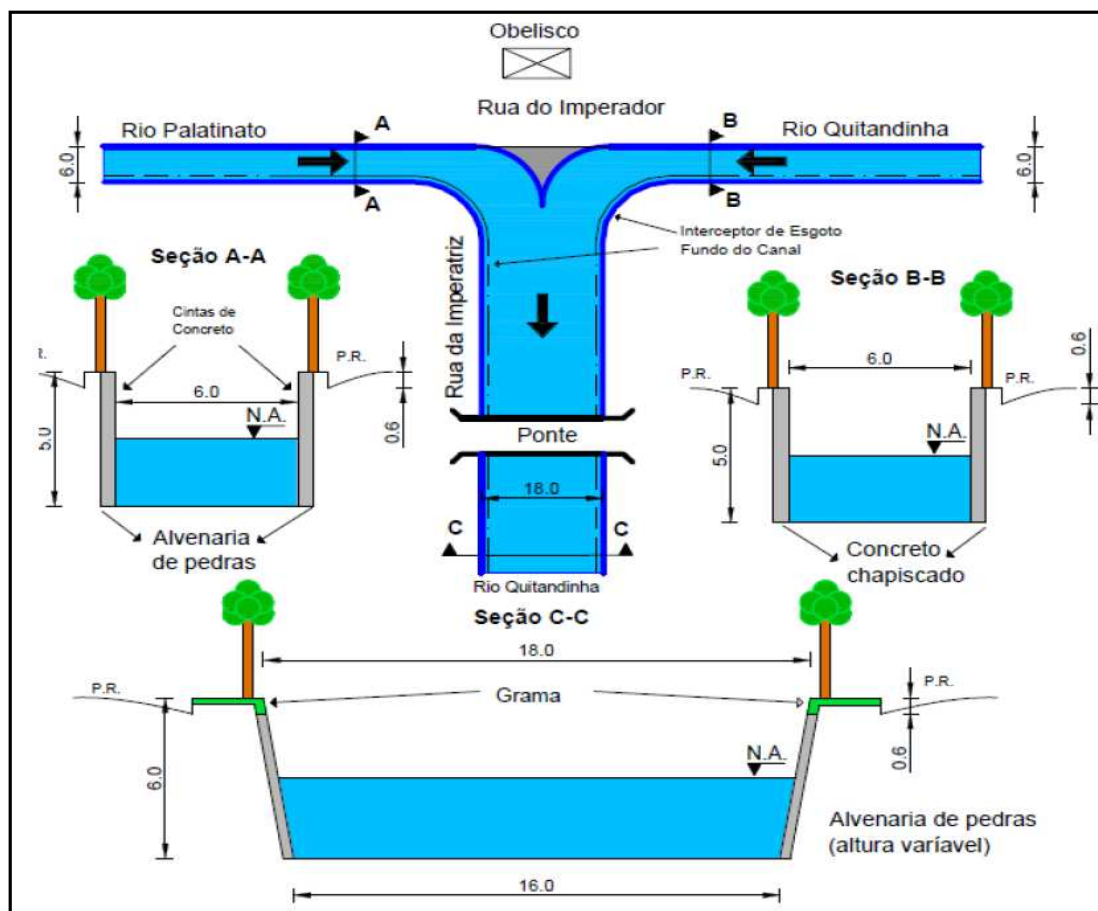


Figura 9-14 - Encontro dos Rios Quitandinha e Palatinato Atual (Fonte Habitat Ecológico)

Antes da implantação do túnel extravasor as águas desse rio se juntavam as águas do rio Quitandinha e percorriam um trecho canalizado de cerca de 2,5 km no coração do Centro Histórico, denominado de “Canal do Centro” até desaguar no rio Piabanha.

A incapacidade desse trecho denominado de Canal do Centro de veicular sem transbordamento as vazões dos rios Quitandinha e Palatinato somadas, em eventos mais extremos, ensejou na década de 70 a construção no bairro Quissamã, próximo à antiga estação rodoviária, uma captação de parte das águas do rio Palatinato que passaram a ser desviadas através de um túnel extravasor com cerca de 3,2 km de extensão para o rio Itamarati e dali para seguindo para o Piabanha. Esse túnel foi projetado como “by-pass” (desvio) para que parte das águas do rio Palatinato fossem levadas diretamente ao 2º Distrito, diminuindo os riscos de inundação na região central da cidade.

Com o tempo, ocorreu uma degradação da tomada d’água com o afundamento da soleira do túnel extravasor, que passou a não mais funcionar como extravasor que desviava apenas parte das águas do Palatinato a partir de uma determinada cota do nível d’água, passando então a desviar quase que integralmente a pequenas vazões ocorrentes no rio Palatinato (Figura 9-15).



Figura 9-15 - Tomada D'Água do Túnel Extravasor em abril de 2022

Também é fato que o túnel se encontra com sérios problemas de conservação, apresentando risco de colapsar em vários trechos de circuito, o que vem sendo objeto de obras de intervenções pontuais de manutenção por parte do INEA-RJ (**Figura 9-16**).



Figura 9-16 - Trecho do Túnel Extravasor na Rua do Túnel Danificado em 2021

9.3 Danos ao Patrimônio Histórico Causados pela Enchente de Fevereiro de 2022

Dentre os prédios históricos de Petrópolis afetados pelo forte temporal que atingiu a cidade no dia 15 de fevereiro de 2022 provocando a morte de 232 pessoas, podemos destacar a Casa da Princesa Isabel, o Palácio Rio Negro, o Palácio Amarelo, o Museu Imperial, o Palácio de Cristal e a Catedral São Pedro de Alcântara.

Na Avenida Köeler, às margens do rio Quitandinha que transbordou diante do grande volume de chuva, praticamente todos os casarões históricos tiveram seus subsolos completamente inundados e por pouco a altura da água não atingiu os andares principais.

O maior cenário de destruição ocorreu na Casa da Princesa Isabel, localizada às margens do rio Quitandinha, na Avenida Köeler. A água, que na verdade era uma mistura barrenta, derrubou o muro que sustenta as grades da propriedade e atingiu a exposição sobre a colonização germânica da cidade (**Figura 9-17 e Figura 9-18**).

De acordo com o Ibram, o Palácio Rio Negro, antiga residência de verão dos presidentes da República, sofreu inundações do piso térreo devido à cheia repentina do rio Quitandinha que corre próximo ao museu, mas o acervo foi preservado e o mobiliário foi transferido para o andar superior, livre da água. As análises preliminares do Ibram dizem que o piso de madeira não foi danificado (**Figura 9-19**).

O Palácio Amarelo, sede da Câmara Municipal de Petrópolis também foi afetado, porém sem danos mais contundentes. (**Figura 9-20, Figura 9-21 e Figura 9-22**).

O Museu Imperial, o mais conhecido da cidade, não sofreu danos, a construção e o acervo foram preservados. Os jardins do complexo foram afetados, porém sem grandes prejuízos ao espaço, a lama atingiu a parte baixa e não houve quedas de árvores ou de peças externas, como estátuas e postes. Todo gramado e os canteiros estão preservados, no entanto, dois prédios do complexo, onde funcionam o refeitório e vestiário dos funcionários, ficaram comprometidos em decorrência de um deslizamento no terreno anexo. Ambos foram interditados por medidas de segurança.

O Pavilhão das Viaturas também está com suas peças preservadas e a Casa Claudio de Souza sucursal do Museu Imperial localizada na Praça da Liberdade também não sofreu danos (**Figura 9-23, Figura 9-24 e Figura 9-25**).

Orgulho da cidade e palco de festas e exposições, o Palácio de Cristal localizado na Praça da Confluência, assim chamada por ser o ponto geográfico de união entre os rios Quitandinha e Piabanha sofreu com o transbordamento dos rios que invadiu o Palácio. Até a tempestade, 350

m³, o equivalente a 60 caminhões de terra, já haviam sido peneirados no local. O trabalho de arqueologia desvenda o contorno do jardim original, criado provavelmente por Auguste François Marie Glaziou, conhecido como "o paisagista do imperador". Pedras e contornos dos jardins do palácio estão 40 centímetros abaixo das valas abertas. Com a inundação, tudo virou lama. Nos jardins, as marcas da água chegaram a 1,5 m de altura. Não houve relatos de danos ao imóvel (Figura 9-26 e Figura 9-27).

A Catedral São Pedro de Alcântara foi atingida com lixo e lama. Em frente a Catedral o muro de contenção da ponte sobre o rio Quitandinha desabou (Figura 9-28 e Figura 9-29).

Diante das consequências do desastre para áreas tombadas na cidade, o corpo técnico do IPHAN está promovendo vistorias para avaliar o impacto das chuvas para o Patrimônio Cultural local.



Figura 9-17 - Muro da Casa da Princesa Isabel Destruído pela Força das Águas na Enchente de 15 de fevereiro de 2022



Figura 9-18 - Vista do Muro Tombado com a Casa da Princesa Isabel ao Fundo

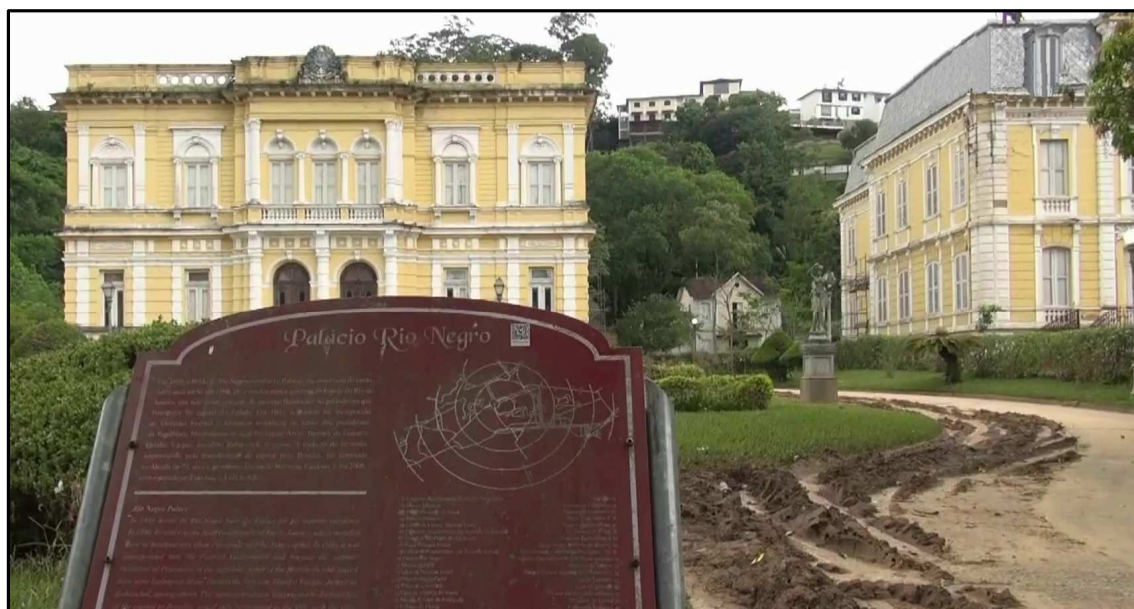


Figura 9-19 - Vista do Palácio Rio Negro Após as Chuvas



Figura 9-20 - Inundação da Praça Visconde Mauá (Praça da Águia) em Frente ao Palácio Amarelo Sede da Câmara Municipal de Petrópolis. Observe a Estátua da Águia Quase Encoberta pelas Águas



Figura 9-21 - Situação da Praça Visconde de Mauá após a Enchente. Palácio Amarelo ao Fundo



Figura 9-22 - Praça Visconde de Mauá. Bombeiros Retirando um Corpo Levado pela Enchente



Figura 9-23 - Vista do Alto da Enchente no Início do Canal do Centro (Rio Quitandinha). Ao Fundo o Obelisco e na Margem Direita o Museu Imperial



Figura 9-24 - Passarela Situada no Rio Quitandinha em Frente ao Museu Imperial



Figura 9-25 - Entrada do Museu Imperial Cheia de Lama, Dois Dias Depois da Enchente



Figura 9-26 - Vista do Alto do Palácio dos Cristais. Lama Acumulada Após a Passagem da Enchente



Figura 9-27 - Palácio de Cristal, 48 Horas Depois da Tempestade



Figura 9-28 - Mureta de Proteção na Margem Direita do Rio Quitandinha em Frente a Catedral São Pedro de Alcântara. Ver Nível d'Água Atingido na Escadaria da Catedral.

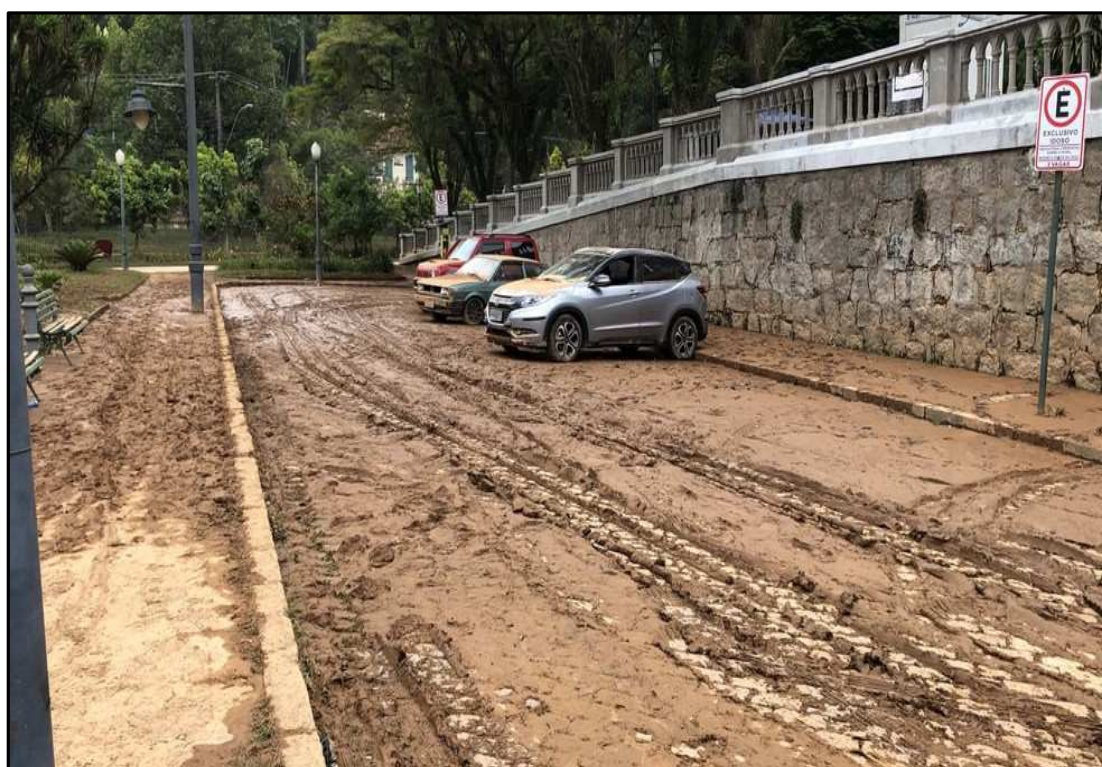


Figura 9-29 - Lama Acumulada no Estacionamento Situado ao Lado da Catedral São Pedro de Alcântara. Nível d'Água Atingiu a Capota dos Veículos Estacionados

10 COEFICIENTES HIDROLÓGICOS PARA REGIÃO DE ESTUDO

As metodologias utilizadas para transformação de chuva em vazão, levam em consideração os coeficientes de *runoff* ou do Curve Number (CN) para determinação do escoamento superficial e consequente vazões em cada um dos dispositivos hidráulicos analisados.

A determinação dos coeficientes de *runoff* e dos CNs partiram da análise do uso do solo local e enquadramento dos usos identificados em percentuais de coeficientes disponíveis em diversas bibliografias. Os resultados são apresentados na **Tabela 10-1**, **Tabela 10-2**, **Tabela 10-3**, **Tabela 10-4** e **Tabela 10-5**.

Tabela 10-1 - Coeficiente CN e Runoff para os Diferentes Usos Encontrados na Bacia do Alto Piabanha e Coeficientes Ponderados para a Bacia

Uso	Grupo Hidrológico	Runoff	CN	Área (km²)
Afloramento Rochoso	-	0,86	98	4,59
Floresta	A	0,08	36	7,92
Floresta	B	0,11	60	0,19
Floresta	C	0,13	70	37,01
Floresta	D	0,16	76	20,65
Ocupação Urbana de Alta Densidade	D	0,86	94	0,02
Ocupação Urbana de Média Densidade	A	0,71	77	6,91
Ocupação Urbana de Média Densidade	C	0,72	90	15,15
Ocupação Urbana de Média Densidade	D	0,73	92	0,66
Pastagem	A	0,20	49	0,21
Pastagem	C	0,34	79	5,35
Pastagem	D	0,40	84	3,50
Vegetação Secundária em Estágio Inicial	C	0,34	86	1,77
Vegetação Secundária em Estágio Inicial	D	0,40	91	0,76
Total				104,70
Média Ponderada		0,32	74,63	

Tabela 10-2 - Coeficiente CN e Runoff para os Diferentes Usos Encontrados na Sub-bacia do Alto Piabanha e Coeficientes Ponderados para a Bacia

Uso	Grupo Hidrológico	Runoff	CN	Área (km ²)
Afloramento Rochoso	-	0,86	98	0,14
Floresta	A	0,08	36	4,46
Floresta	B	0,11	60	0,06
Floresta'	C	0,13	70	9,03
Floresta	D	0,16	76	0,65
Ocupação Urbana de Alta Densidade	D	0,86	94	0,02
Ocupação Urbana de Média Densidade	A	0,71	77	2,20
Ocupação Urbana de Média Densidade	C	0,72	90	3,90
Pastagem	A	0,20	49	0,02
Pastagem	C	0,34	79	0,16
Vegetação Secundária em Estágio Inicial	C	0,34	86	0,06
Vegetação Secundária em Estágio Inicial	D	0,40	91	0,01
Total				20,71
Média Ponderada		0,30	67,68	

Tabela 10-3 - Coeficiente CN e Runoff para os Diferentes Usos Encontrados na Bacia do Rio Palatinato e Coeficientes Ponderados para a Bacia

Uso	Grupo Hidrológico	Runoff	CN	Área (km²)
Afloramento Rochoso	-	0,86	98	0,21
Floresta	A	0,08	36	0,16
Floresta	B	0,11	60	0,12
Floresta	C	0,13	70	2,10
Floresta	D	0,16	76	3,43
Ocupação Urbana de Média Densidade	A	0,71	77	0,06
Ocupação Urbana de Média Densidade	C	0,72	90	1,99
Ocupação Urbana de Média Densidade	D	0,73	92	0,14
Pastagem	A	0,20	49	0,04
Pastagem	C	0,34	79	0,52
Pastagem	D	0,40	84	0,35
Vegetação Secundária em Estágio Inicial	C	0,34	86	0,10
Vegetação Secundária em Estágio Inicial	D	0,40	91	0,01
Total				9,24
Média Ponderada		0,32	77,99	

Tabela 10-4 - Coeficiente CN e Runoff para os Diferentes Usos Encontrados na Bacia do Rio Quitandinha e Coeficientes Ponderados para a Bacia

Uso	Grupo Hidrológico	Runoff	CN	Área (km²)
Floresta	A	0,08	36	3,12
Floresta	C	0,13	70	0,34
Ocupação Urbana de Média Densidade	A	0,71	77	4,49
Ocupação Urbana de Média Densidade	C	0,72	90	2,30
Pastagem	A	0,20	49	0,14
Pastagem	C	0,34	79	0,02
Total				10,42
Média Ponderada		0,50	66,97	

Tabela 10-5 - Coeficiente CN e Runoff para os Diferentes Usos Encontrados na Bacia do Rio Itamarati e Coeficientes Ponderados para a Bacia

Uso	Grupo Hidrológico	Runoff	CN	Área (km²)
Afloramento Rochoso	-	0,86	98	2,69
Floresta	C	0,13	70	19,55
Floresta	D	0,16	76	13,21
Ocupação Urbana de Média Densidade	A	0,71	77	0,11
Ocupação Urbana de Média Densidade	C	0,72	90	2,87
Ocupação Urbana de Média Densidade	D	0,73	92	0,27
Pastagem	C	0,34	79	3,68
Pastagem	D	0,40	84	2,37
Vegetação Secundária em Estágio Inicial	C	0,34	86	1,30
Vegetação Secundária em Estágio Inicial		0,40	91	0,35
Total				46,40
Média Ponderada		0,26	76,75	

A **Figura 10-1** apresenta o mapa de CNs das bacias hidrográficas do Piabanha e Alto Piabanha, Palatinato, Quitandinha e Itamarati que constam nas tabelas apresentadas anteriormente.

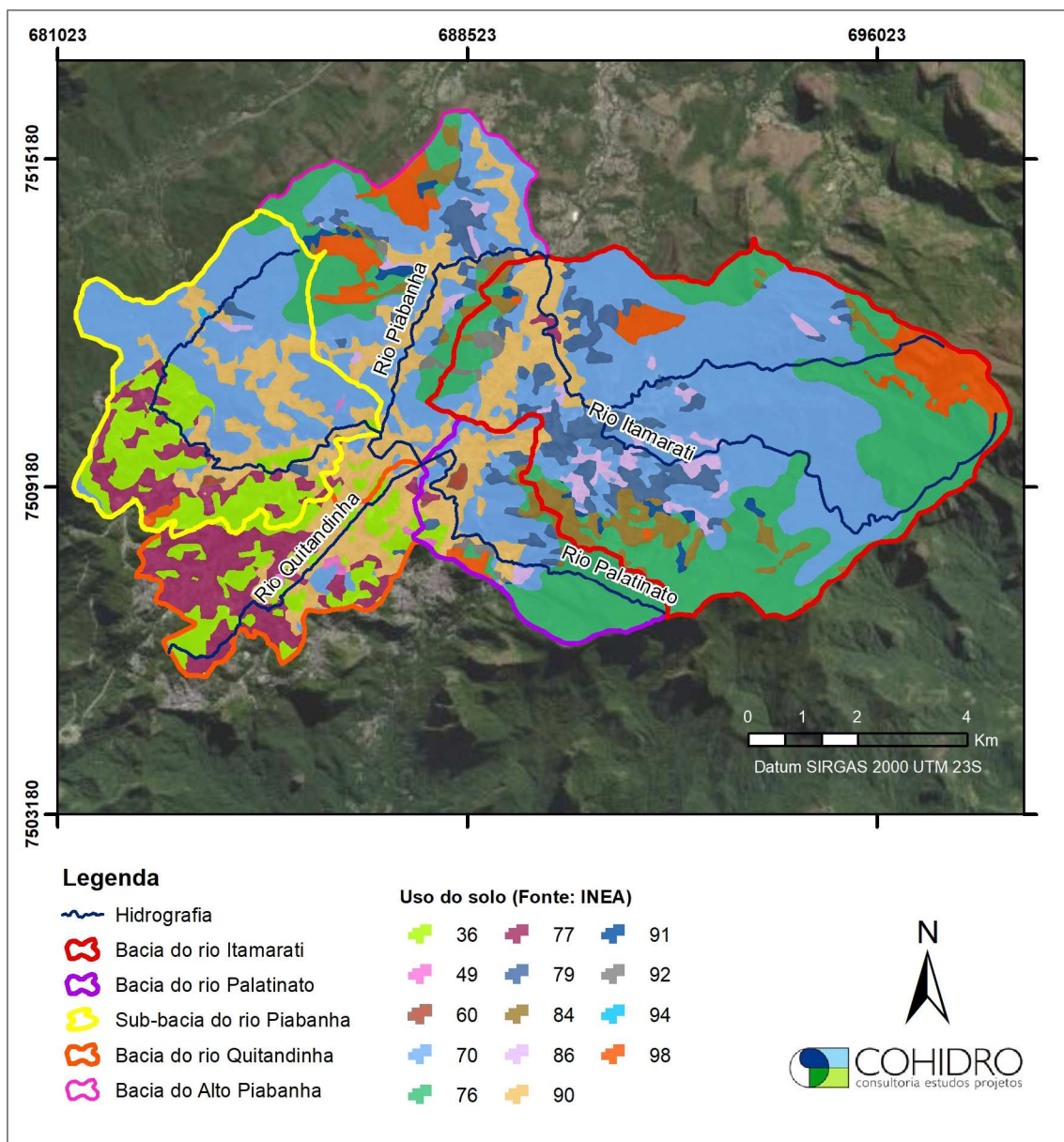


Figura 10-1 - Mapeamento dos Coeficientes Curva-Número (CN) na Bacia do Alto Piabanha, abrangendo os Rios Itamarati, Palatinato e Quitandinha, além do Próprio Trecho mais de Montante do Rio Piabanha.

10.1 Cálculo do Tempo de Concentração

O tempo de concentração foi estimado através da equação de George Ribeiro, definida da seguinte maneira:

$$t_c = \frac{16 \cdot L}{(1,05 - 0,2 \cdot p) \cdot (100 \cdot S)^{0,04}} \quad (1)$$

Na qual:

- $L \rightarrow$ comprimento do talvegue principal da bacia (km);
- $p \rightarrow$ percentagem da bacia com cobertura vegetal (entre 0 e 1) - Considerando todos os usos e ocupação do solo com características de cobertura vegetal (Floresta, Pastagem, Vegetação Secundária etc.);
- $S \rightarrow$ declividade média da bacia (m/m).

As informações físicas foram obtidas através da observação de imagens de satélite do *software Google Earth*, das cartas topográficas do IBGE e dos mapas de Uso e Ocupação do Solo apresentados anteriormente.

Assim, pela equação (1), os tempos de concentração serão:

- Bacia do rio Palatinato $\rightarrow t_c = \frac{16 \cdot 9,3}{(1,05 - 0,2 \cdot 0,740) \cdot (100 \cdot 0,091)^{0,04}} = \mathbf{151 \text{ min}}$
- Bacia do rio Quitandinha $\rightarrow t_c = \frac{16 \cdot 6,3}{(1,05 - 0,2 \cdot 0,348) \cdot (100 \cdot 0,008)^{0,04}} = \mathbf{104 \text{ min}}$
- Bacia do rio Itamarati $\rightarrow t_c = \frac{16 \cdot 12,6}{(1,05 - 0,2 \cdot 0,872) \cdot (100 \cdot 0,044)^{0,04}} = \mathbf{217 \text{ min}}$
- Bacia do Alto Piabanha (Centro Histórico)
 $\rightarrow t_c = \frac{16 \cdot 10,547}{(1,05 - 0,2 \cdot 0,698) \cdot (100 \cdot 0,006)^{0,04}} = \mathbf{189 \text{ min}}$
- Bacia do Piabanha (encontro com o Itamarati)
 $\rightarrow t_c = \frac{16 \cdot 16,420}{(1,05 - 0,2 \cdot 0,739) \cdot (100 \cdot 0,006)^{0,04}} = \mathbf{297 \text{ min}}$

11 ESTUDOS HIDROLÓGICOS

Os estudos hidrológicos têm como objetivo a elaboração de chuvas de projeto para transformação em hidrogramas de cheia, que serão utilizados no dimensionamento dos dispositivos de drenagem, em fase posterior. Esses estudos são realizados por meio de características físicas da região, como relevo, cobertura vegetal e uso do solo, características hidráulicas e dados hidrológicos existentes.

As informações hidrológicas necessárias são séries históricas de chuva medidas na região, que possibilitam a elaboração de equações de chuva IDF (intensidade-duração-frequência), podendo haver equações elaboradas em estudos precedentes. As chuvas de projeto foram calculadas com base em dados pluviométricos de postos existentes na região e respectivas equações IDF.

11.1 Informações Hidrológicas Existentes

A metodologia adotada utiliza dados de séries históricas de chuva de postos pluviométricos próximos à bacia hidrográfica em estudo. Para o cálculo da chuva de projeto das bacias dos rios Itamarati, Palatinato, Piabanha e Quitandinha, objeto deste relatório, foi utilizado o Posto Pluviométrico Petrópolis, localizado aproximadamente nas coordenadas 22°30'42.0" Sul e 43°10'15.0" Oeste, operada pela ANA, com os dados da série histórica de chuvas disponibilizados pelo Portal HidroWeb e o Posto Pluviométrico Alto da Serra, localizado aproximadamente nas coordenadas 22°30'49.7" Sul e 43°10'22.1" Oeste, operado pelo Sistema de Alerta de Cheias do INEA, com os dados da série histórica de chuvas disponibilizados pelo Sistema de Alerta de Cheias do INEA, conforme observado na **Figura 11-1**. Este posto foi escolhido para a elaboração da equação IDF (Intensidade, Duração e Frequência) por apresentar registros anuais suficientes que permitissem análises estatísticas satisfatórias.

Os demais postos no interior da região de estudo (Dr. Thouzet e São Sebastião) poderão ser utilizados para o processo de calibração e validação a ser realizado posteriormente, em outra etapa do estudo.

A **Figura 11-1** apresenta os postos inseridos na região de estudo.

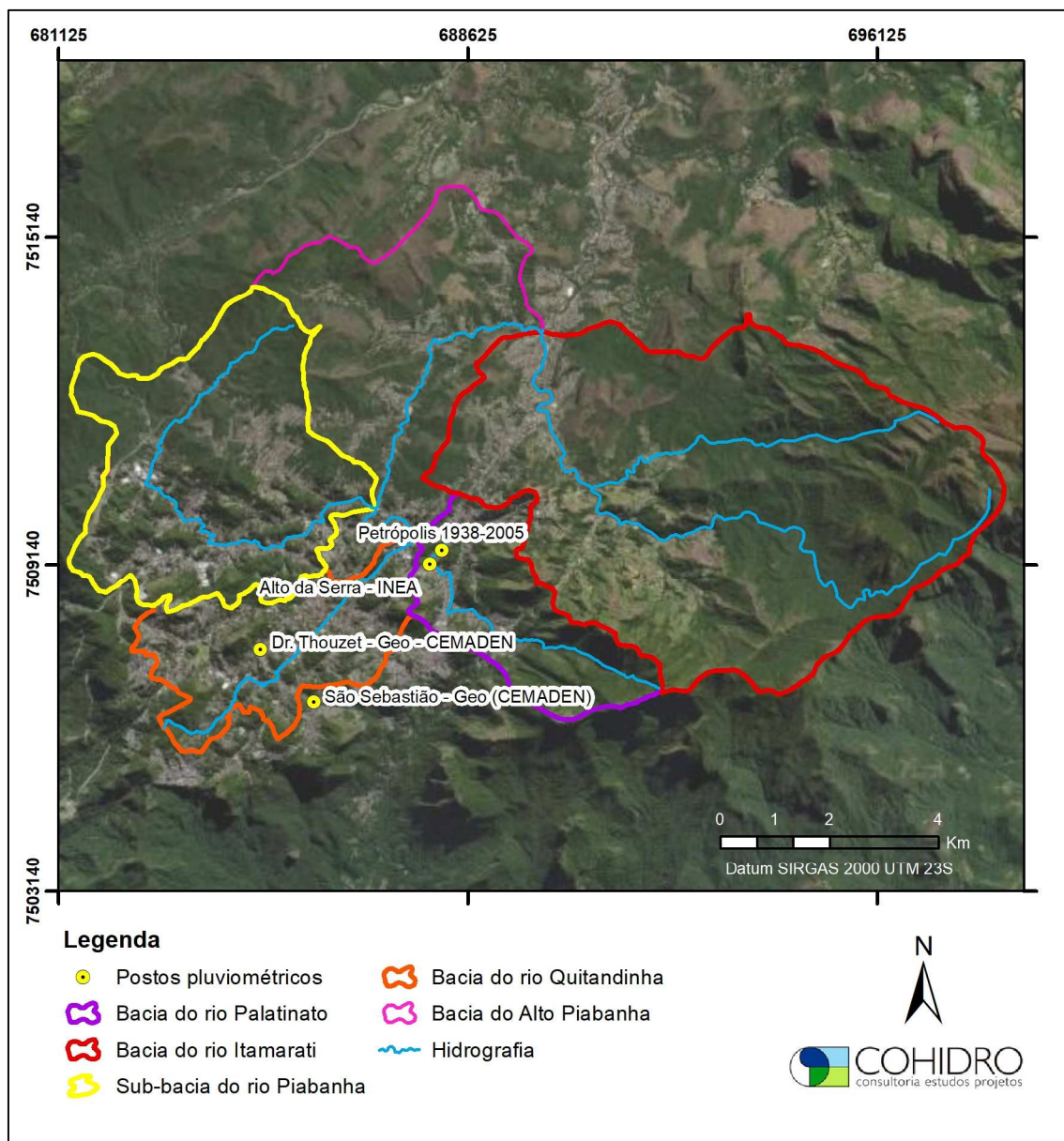


Figura 11-1 - Localização dos Postos Pluviométricos Petrópolis, Alto da Serra, Dr. Thouzet e São Sebastião

Os dados de localização dos Postos Petrópolis e Alto da Serra estão apresentados na **Tabela 11-1**.

Tabela 11-1 - Dados de Localização dos Postos Utilizados

Nome	Petrópolis	Alto da Serra
Número	2243009	02243315
Latitude	22°30'42.0" S	22°30'49.7" S
Longitude	43°10'15.0" O	43°10'22.1" O
Operadora	ANA	INEA
Período de Funcionamento	1938 - 2005	2011 - 2022
Dados	Diários	A cada 15 minutos.

11.2 Elaboração de Curvas Intensidade-Duração-Frequência - IDF

A partir dos dados de chuvas diárias do Posto Petrópolis, foi realizado estudo estatístico para definição dos valores de máximos prováveis, de acordo com as probabilidades de ocorrência. Para isso, foi utilizado o *Método de Gumbel*, aplicado aos valores de chuva máxima diária anual, para a série existente.

O posto possui medição de chuvas diárias entre os anos de 1939 e 2004, estando atualmente inoperante. Para montagem da série de máximos anuais, foi destacado o maior valor de chuva diária para os anos com dados consolidados e sem falhas. A **Tabela 11-2** apresenta as chuvas máximas diárias anuais, medidas no Posto Petrópolis.

Tabela 11-2 - Alturas de Chuva Máximas Diárias Anuais no Posto Petrópolis

Ano	P _{max} (mm)	Ano	P _{max} (mm)
2004	218,2	1962	135,4
2003	92,5	1961	118
2002	107,3	1960	114,2
2001	220,1	1959	87,2
1995	88	1958	108
1994	180,6	1957	131,4
1993	50	1956	95,8
1991	71,6	1953	78
1990	91	1952	176
1989	78,3	1951	94
1988	145	1950	108,6
1987	105	1949	92,7
1986	78	1948	115,2
1983	160,8	1947	105,8
1982	82,8	1946	98,8
1976	75,4	1945	139
1975	73,2	1944	97,4
1974	70,8	1943	122
1972	63,6	1942	86,5
1971	91,2	1941	91,8
1965	151	1940	58
1964	150,4	1939	80
1963	68,2		

A **Tabela 11-3** e a **Tabela 11-4** apresentam os dados e parâmetros para aplicação do *Método de Gumbel* à série histórica de precipitações do Posto Petrópolis.

A aplicação da distribuição de Gumbel aos dados pluviométricos do Posto Petrópolis, para definição dos máximos de precipitação, considerando chuvas com duração diária, resultou nos valores apresentados na **Tabela 11-5**.

Tabela 11-3 - Parâmetros da Distribuição de Gumbel, para a Série de Chuvas Diárias, Medidas no Posto Petrópolis

Distribuição de Gumbel	
N = 45	$y = -\ln\{-\ln[1 - (1/TR)]\}$
ΣP = 4846,80	$\Sigma(P - P_{média})^2 =$ 66713,11
P_{média} = 107,71	$\Sigma(y - y_n)^2 =$ 59,70
Σy = 24,58	S = 38,94
y_n = 0,55	S_n = 1,15

Tabela 11-4 - Aplicação do Método de Gumbel para Chuvas Máximas no Posto Petrópolis

m	P _{ordenada} (mm)	P - P _{média}	(P - P _{média}) ²	P (%)	TR (anos)	y	y - y _n	(y - y _n) ²
1	220.1	112.39	12632.26	2.17	46.00	3.82	3.27	10.70
2	218.2	110.49	12208.78	4.35	23.00	3.11	2.57	6.59
3	180.6	72.89	5313.44	6.52	15.33	2.70	2.15	4.62
4	176	68.29	4663.98	8.70	11.50	2.40	1.85	3.43
5	160.8	53.09	2818.90	10.87	9.20	2.16	1.62	2.61
6	151	43.29	1874.31	13.04	7.67	1.97	1.42	2.02
7	150.4	42.69	1822.72	15.22	6.57	1.80	1.26	1.58
8	145	37.29	1390.79	17.39	5.75	1.66	1.11	1.23
9	139	31.29	979.27	19.57	5.11	1.52	0.98	0.96
10	135.4	27.69	766.92	21.74	4.60	1.41	0.86	0.74
11	131.4	23.69	561.37	23.91	4.18	1.30	0.75	0.56
12	122	14.29	204.30	26.09	3.83	1.20	0.65	0.42
13	118	10.29	105.95	28.26	3.54	1.10	0.56	0.31
14	115.2	7.49	56.15	30.43	3.29	1.01	0.47	0.22
15	114.2	6.49	42.16	32.61	3.07	0.93	0.38	0.15
16	108.6	0.89	0.80	34.78	2.88	0.85	0.30	0.09
17	108	0.29	0.09	36.96	2.71	0.77	0.23	0.05
18	107.3	-0.41	0.17	39.13	2.56	0.70	0.15	0.02
19	105.8	-1.91	3.64	41.30	2.42	0.63	0.08	0.01
20	105	-2.71	7.33	43.48	2.30	0.56	0.01	0.00
21	98.8	-8.91	79.33	45.65	2.19	0.49	-0.05	0.00
22	97.4	-10.31	106.23	47.83	2.09	0.43	-0.12	0.01
23	95.8	-11.91	141.77	50.00	2.00	0.37	-0.18	0.03
24	94	-13.71	187.87	52.17	1.92	0.30	-0.24	0.06
25	92.7	-15.01	225.20	54.35	1.84	0.24	-0.30	0.09
26	92.5	-15.21	231.24	56.52	1.77	0.18	-0.36	0.13
27	91.8	-15.91	253.02	58.70	1.70	0.12	-0.42	0.18
28	91.2	-16.51	272.47	60.87	1.64	0.06	-0.48	0.23
29	91	-16.71	279.11	63.04	1.59	0.00	-0.54	0.29
30	88	-19.71	388.35	65.22	1.53	-0.05	-0.60	0.36
31	87.2	-20.51	420.52	67.39	1.48	-0.11	-0.66	0.44
32	86.5	-21.21	449.72	69.57	1.44	-0.17	-0.72	0.52
33	82.8	-24.91	620.34	71.74	1.39	-0.23	-0.78	0.61
34	80	-27.71	767.66	73.91	1.35	-0.30	-0.84	0.71
35	78.3	-29.41	864.75	76.09	1.31	-0.36	-0.90	0.82
36	78	-29.71	882.49	78.26	1.28	-0.42	-0.97	0.94
37	78	-29.71	882.49	80.43	1.24	-0.49	-1.04	1.07
38	75.4	-32.31	1043.72	82.61	1.21	-0.56	-1.11	1.22
39	73.2	-34.51	1190.71	84.78	1.18	-0.63	-1.18	1.39
40	71.6	-36.11	1303.69	86.96	1.15	-0.71	-1.26	1.58
41	70.8	-36.91	1362.10	89.13	1.12	-0.80	-1.34	1.80
42	68.2	-39.51	1560.78	91.30	1.10	-0.89	-1.44	2.07
43	63.6	-44.11	1945.40	93.48	1.07	-1.00	-1.55	2.40
44	58	-49.71	2470.75	95.65	1.05	-1.14	-1.69	2.85
45	50	-57.71	3330.06	97.83	1.02	-1.34	-1.89	3.57

Tabela 11-5 - Chuvas Máximas Diárias para o Posto Petrópolis - Distribuição de Gumbel

TR (anos)	y	y - y _n	K	P _{máx-1 dia} (mm)
2	0,37	-0,18	-0,16	101,63
5	1,50	0,95	0,83	139,94
10	2,25	1,70	1,48	165,31
15	2,67	2,13	1,85	179,63
20	2,97	2,42	2,10	189,65
25	3,20	2,65	2,30	197,37
50	3,90	3,36	2,91	221,15
75	4,31	3,76	3,27	234,97
100	4,60	4,05	3,52	244,75

11.2.1 Relação entre Chuvas de Diferentes Durações

Quando não há informações de chuvas disponível em escala temporal sub-diária, o Manual de Projeto de Drenagem Urbana (DAEE/CETESB, 1980) propõe o cálculo de alturas de precipitação sub-diária através de coeficientes de desagregação para o Brasil. Trata-se de aproximações muito utilizadas, atualmente, em diferentes estudos hidrológicos. Considerando que estes coeficientes foram obtidos com dados anteriores a 1957 e são uma média de todo o país, o presente trabalho realizou uma avaliação de coeficientes de desagregação utilizando os dados medidos a cada 15 minutos do posto Alto da Serra.

Para isso, foram obtidas as máximas anuais para os intervalos de tempo de: 15 minutos, 30 minutos, 1 hora, 2 horas, 3 horas, 6 horas, 8 horas, 12 horas, 24 horas e diário do posto Alto da Serra. Os resultados são apresentados para cada intervalo de tempo considerado, como demonstrado na **Tabela 11-6**.

Tabela 11-6 - Alturas de Chuva Máximas Anuais. Posto Alto da Serra

Ano	15 min.	30 min.	1h	2h	3h	6h	8h	10h	12h	24h	Diária
2013	30,5	51,8	68,3	74,3	74,5	121,3	165,3	198,5	229,5	317,5	269,0
2014	23,5	39,8	49,8	53,0	55,0	96,3	98,3	98,5	98,5	98,8	98,5
2015	45,8	61,8	73,8	85,8	93,8	155,5	177,5	185,5	190,5	190,5	181,5
2016	35,0	44,5	51,7	55,5	57,5	83,5	89,0	109,0	126,0	154,0	147,0
2017	24,8	41,8	66,5	73,0	74,2	90,2	98,0	101,0	103,2	106,2	105,2
2018	35,5	49,7	65,0	75,7	77,2	85,0	86,5	88,5	91,5	104,0	101,3
2019	30,0	41,0	48,8	55,3	61,5	67,0	68,8	71,5	73,5	103,0	82,8
2020	46,8	55,0	76,5	106,3	128,5	132,3	132,3	132,3	132,5	135,0	132,5
2021	26,3	37,3	54,8	70,5	73,0	92,3	105,0	141,0	145,5	174,0	156,5

Com os dados de chuvas máximas anuais, foram calculados as médias de chuvas máximas para cada período de tempo analisado, com essas médias foram calculados os coeficientes de desagregação do Posto Alto da Serra, conforme observado na **Tabela 11-7**.

Tabela 11-7 - Cálculo dos Coeficientes de Desagregação do Posto Alto da Serra

	15 min.	30 min.	1h	2h	3h	6h	8h	10h	12h	24h	Diária
Média	33,1	46,9	61,7	72,1	77,2	102,6	113,4	125,1	132,3	153,7	141,6
Coeficientes	0,705	0,761	0,415	0,485	0,519	0,690	0,762	0,841	0,889	1,085	

Por fim, foi realizada uma comparação dos coeficientes de desagregação encontrados com os propostos pela DAEE/CETESB (1980). Os resultados são apresentados na **Tabela 11-8**.

Tabela 11-8 - Comparação dos Coeficientes de Desagregação

Relação	CETESB/DAEE, 1979	Alto da Serra, 2022	Diferença
P24h (mm) / P1dia	1,095	1,085	-0,9%
P12h (mm) / P24h	0,85	0,889	4,6%
P10h (mm) / P24h	0,82	0,841	2,6%
P8h (mm) / P24h	0,78	0,762	-2,3%
P6h (mm) / P24h	0,72	0,690	-4,2%
P3h (mm) / P24h	-	0,519	-
P2h (mm) / P24h	-	0,485	-
P1h (mm) / P24h	0,42	0,415	-1,3%
P30min (mm) / P1h	0,74	0,761	2,9%
P25min (mm) / P30min	0,91	-	-
P20min (mm) / P30min	0,81	-	-
P15min (mm) / P30min	0,70	0,705	0,8%
P10min (mm) / P30min	0,54	-	-
P5min (mm) / P30min	0,34	-	-

Nota-se que os coeficientes de desagregação de alturas de chuva, pelo presente estudo, apresentam resultados similares aos do estudo da DAEE/CETESB (1980), o que indica coerência dos resultados. Tendo em vista essa coerência foram adotados nesse estudo os coeficientes de desagregação elaborados com os dados do Posto Alto da Serra, de forma a considerar o padrão local de distribuição da chuva.

11.2.2 Curvas e Equação Intensidade-Duração-Frequência

Com os coeficientes de desagregação de chuvas calculados anteriormente, é possível elaborar o cálculo das alturas de precipitação sub-diária aplicando estes aos resultados de chuvas máximas diárias apresentados na **Tabela 11-5**. Os resultados são as precipitações máximas para diferentes períodos de tempo, apresentadas na **Tabela 11-9** e na **Figura 11-2**, bem como as intensidades máximas para diferentes períodos de tempo, apresentadas na **Tabela 11-10** e na **Figura 11-3**.

Tabela 11-9 - Chuvas Máximas para o Posto Petrópolis

TR (anos)	P1dia (mm)	P24h (mm)	P12h (mm)	P10h (mm)	P8h (mm)	P6h (mm)	P3h (mm)	P2h (mm)	P1h (mm)	P30min (mm)	P15min (mm)
2	101,63	110,27	98,03	92,73	84,02	76,08	57,23	53,48	45,76	34,82	24,55
5	139,94	151,84	134,99	127,70	115,70	104,77	78,81	73,64	63,01	47,95	33,81
10	165,31	179,36	159,46	150,85	136,68	123,76	93,09	86,99	74,44	56,65	39,94
15	179,63	194,89	173,26	163,91	148,51	134,48	101,15	94,52	80,88	61,55	43,39
20	189,65	205,77	182,93	173,05	156,79	141,98	106,79	99,80	85,39	64,98	45,81
25	197,37	214,14	190,37	180,09	163,18	147,76	111,14	103,86	88,87	67,63	47,68
50	221,15	239,94	213,31	201,79	182,84	165,56	124,53	116,37	99,58	75,78	53,42
75	234,97	254,94	226,64	214,40	194,26	175,91	132,31	123,65	105,80	80,51	56,76
100	244,75	265,55	236,08	223,33	202,35	183,23	137,82	128,79	110,20	83,87	59,13

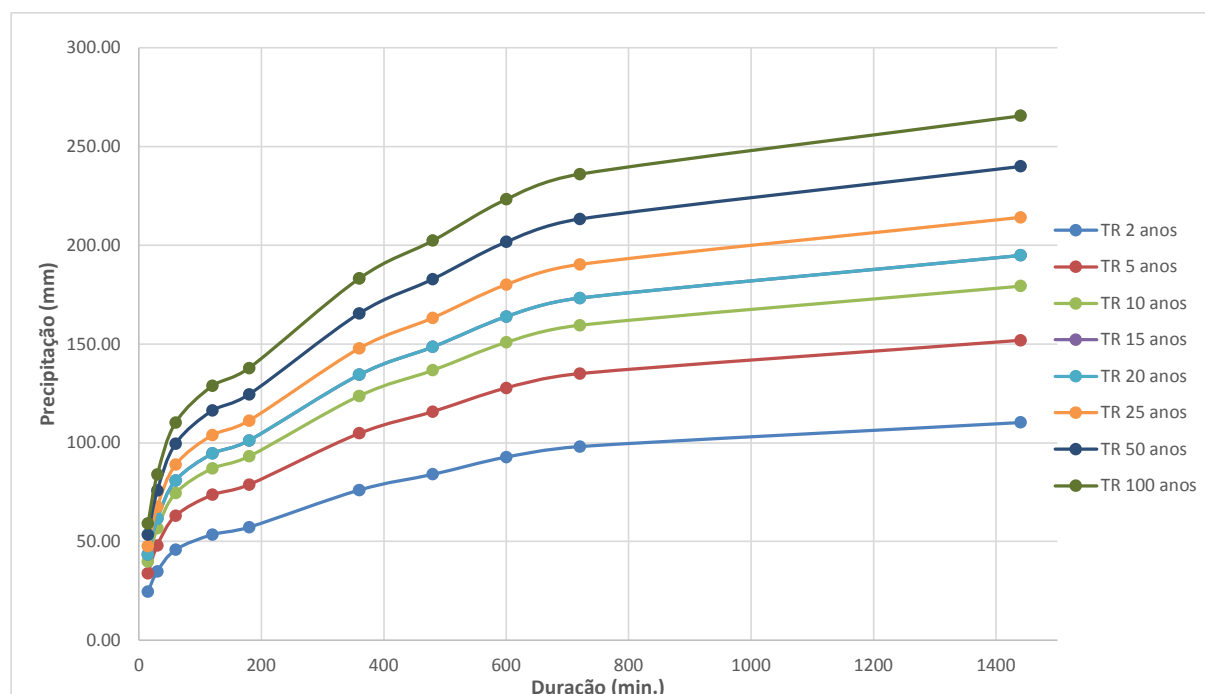


Figura 11-2 - Curvas Precipitação-Duração- Frequência para o Posto Petrópolis

Tabela 11-10 - Intensidades Máximas para o Posto Petrópolis

TR (anos)	I1dia (mm/h)	I24h (mm/h)	I12h (mm/h)	I10h (mm/h)	I8h (mm/h)	I6h (mm/h)	I3h (mm/h)	I2h (mm/h)	I1h (mm/h)	I30min (mm/h)	I15min (mm/h)
2	4,23	4,59	8,17	9,27	10,50	12,68	19,08	26,74	45,76	69,65	98,20
5	5,83	6,33	11,25	12,77	14,46	17,46	26,27	36,82	63,01	95,91	135,23
10	6,89	7,47	13,29	15,08	17,08	20,63	31,03	43,50	74,44	113,29	159,74
15	7,48	8,12	14,44	16,39	18,56	22,41	33,72	47,26	80,88	123,10	173,57
20	7,90	8,57	15,24	17,31	19,60	23,66	35,60	49,90	85,39	129,97	183,26
25	8,22	8,92	15,86	18,01	20,40	24,63	37,05	51,93	88,87	135,26	190,72
50	9,21	10,00	17,78	20,18	22,85	27,59	41,51	58,19	99,58	151,55	213,69
75	9,79	10,62	18,89	21,44	24,28	29,32	44,10	61,82	105,8	161,03	227,05
100	244,75	265,55	236,08	223,33	202,35	183,23	137,82	128,79	110,2	83,87	59,13

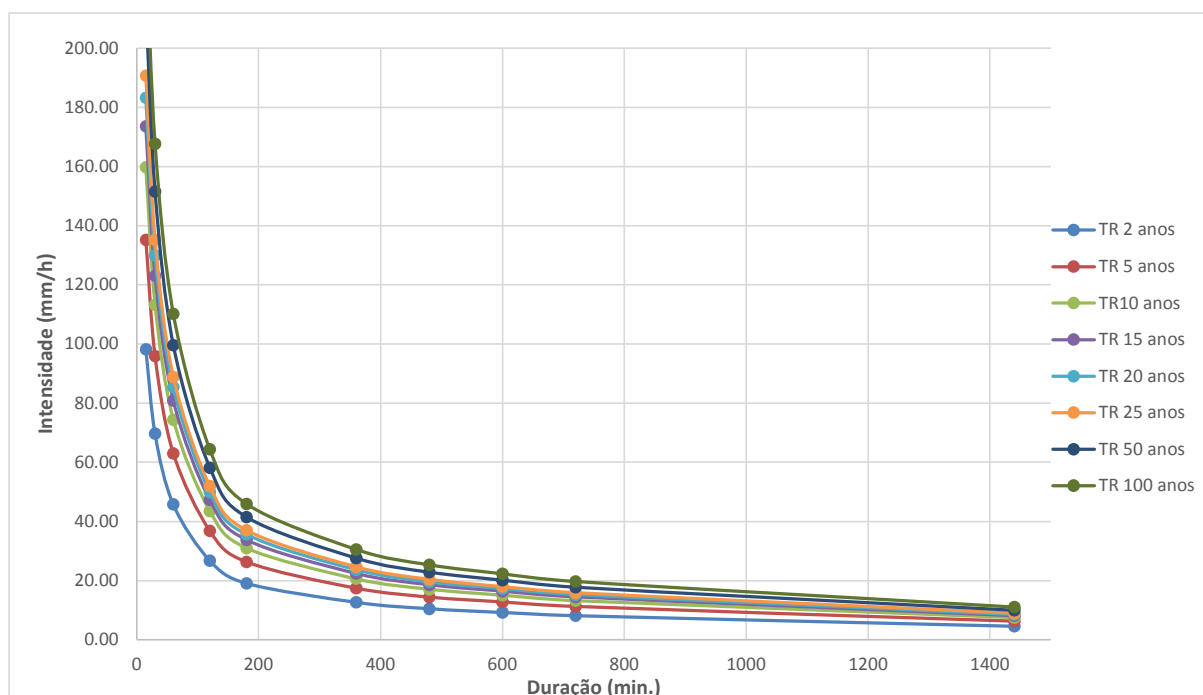


Figura 11-3 - Curvas Intensidade-Duração- Frequência para o Posto Petrópolis

A definição dos parâmetros da Equação IDF utilizou os cálculos de intensidade de precipitações de TRs de 25, 50 e 100 anos para todos os intervalos de tempo considerados no estudo. Tendo em vista que foram obtidas regressões lineares entre as variáveis de intensidade, duração e frequência com coeficientes de determinação de 0,99 para os TRs considerados para esta análise, pode-se afirmar que os parâmetros $a = 0,058$, $b = 5,5$, $c = 0,716$ e $K = 1.322,77$ são considerados representativos de um Equação IDF fiel às características meteorológicas locais, resultando na Equação IDF apresentada a seguir:

$$i = \frac{1.322,77 \cdot TR^{0,058}}{(t+5,5)^{0,716}} \quad (2)$$

11.3 Cálculo das Chuvas de Projeto

Após definição dos tempos de concentração das bacias estudadas e da equação IDF local é necessário definir as intensidades, durações e distribuição temporal das chuvas de projeto.

Foram calculadas chuvas de projeto para os tempos de recorrência (TR) 25, 50 e 100 anos, considerando a duração de chuva crítica para a bacia.

Foram estimados os tempos de concentração das sub-bacias hidrográficas contribuintes, conforme apresentado no tópico 10.1: aproximadamente 151 minutos para a bacia do rio Palatinato, 189 minutos para o Alto Piabanha (Centro Histórico), 104 minutos para o rio Quitandinha, 217 minutos para o rio Itamarati e 297 minutos para toda a bacia do Piabanha até o encontro com o rio Itamarati. O tempo de duração da chuva deverá ser o tempo de concentração da bacia, de forma a serem consideradas chuvas de projeto com duração crítica.

A hipótese mais simples, utilizada na aplicação do método racional para o cálculo das vazões máximas, é que a chuva apresenta uma distribuição uniforme durante o evento. Assim, a intensidade da chuva não varia ao longo do tempo. Porém, em situações de chuvas com maior duração, tipicamente utilizadas em estudos de rede de macrodrenagem, considera-se que a intensidade da chuva varia ao longo do evento de projeto. Existem vários métodos para distribuir temporalmente chuvas de projeto. O método utilizado neste estudo é conhecido como Método dos Blocos Alternados (Chow *et al.*, 1988⁵).

Para aplicação deste método, a chuva de projeto é subdividida em intervalos constantes de tempo, até completar a duração total da chuva. Posteriormente, os intervalos de tempo são

⁵CHOW, VenTe *et al.*, 1988, *Applied Hydrology*, McGraw - Hill

acumulados e a altura de chuva é calculada para cada somatório. São subtraídos os excedentes entre cada intervalo e é formada uma série de alturas de chuva distribuídas, para cada intervalo. Por fim, a série é reordenada, de forma que o intervalo com maior intensidade fique aproximadamente no meio da série.

Essa lógica possibilita a análise de diferentes intensidades de chuva para um mesmo evento e, portanto, a ocorrência de chuvas críticas também para sub-bacias. Assim, no caso em estudo, a chuva, com duração total de 300 minutos, igual ao tempo de concentração do Alto Piabanha (mais longo), foi subdividida em 20 intervalos de 15 minutos, garantindo a ocorrência de uma chuva com intensidade crítica para bacia hidrográfica do rio Palatinato, com tempo de concentração da ordem de 120 minutos, para a bacia hidrográfica do rio Quitandinha, com tempo de concentração da ordem de 120 minutos e também para a bacia do rio Itamarati, com tempo de concentração da ordem de 270 minutos. Essa definição permite avançar com as avaliações de cheia considerando apenas um evento hidrológico, que incorpora intensidades médias críticas para diferentes durações inferiores ao tempo total da precipitação, facilitando a avaliação de sub-bacias e intervenções distribuídas em diferentes áreas.

O resultado final da distribuição temporal da chuva de projeto pelo Método dos Blocos Alternados pode ser visto nos gráficos da **Figura 11-4**, **Figura 11-5** e **Figura 11-6**. Os valores estão apresentados na **Tabela 11-11**.

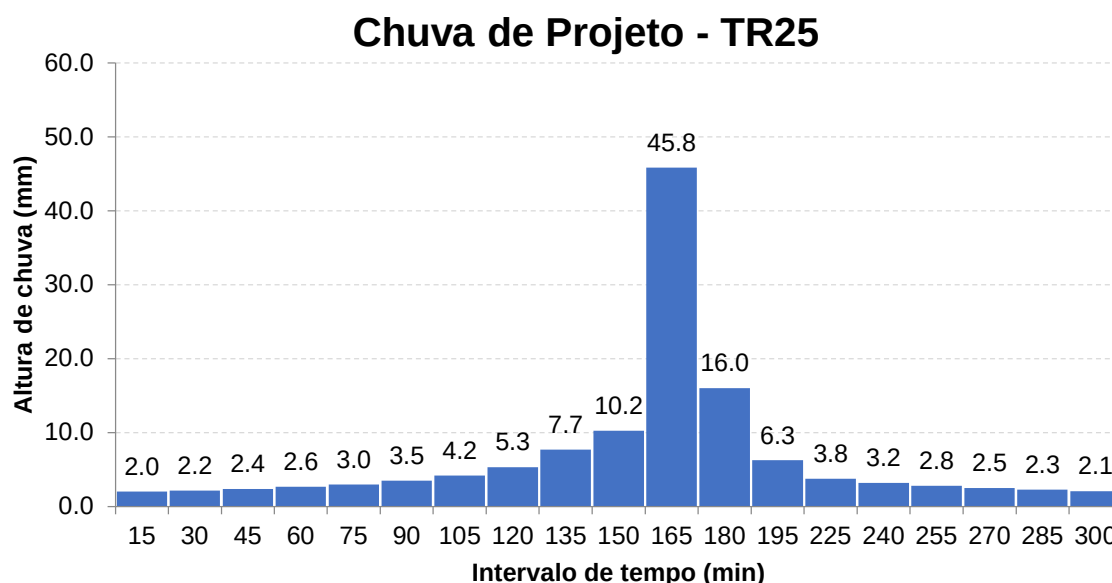


Figura 11-4 - Hietograma de Projeto da Chuva de TR de 25 anos.

Chuva de Projeto - TR50

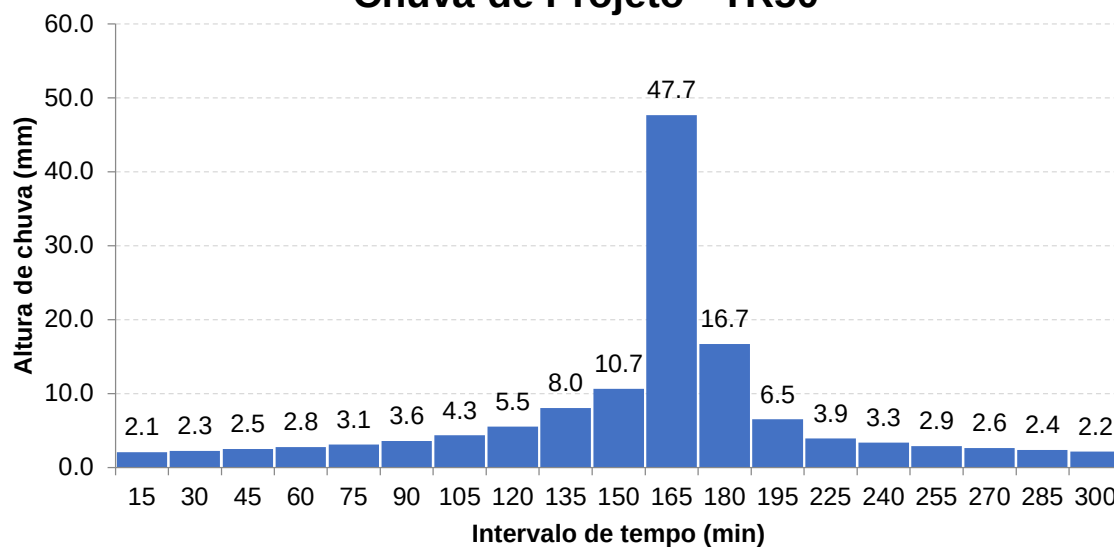


Figura 11-5 - Hietograma de Projeto da Chuva de TR de 50 anos.

Chuva de Projeto - TR100

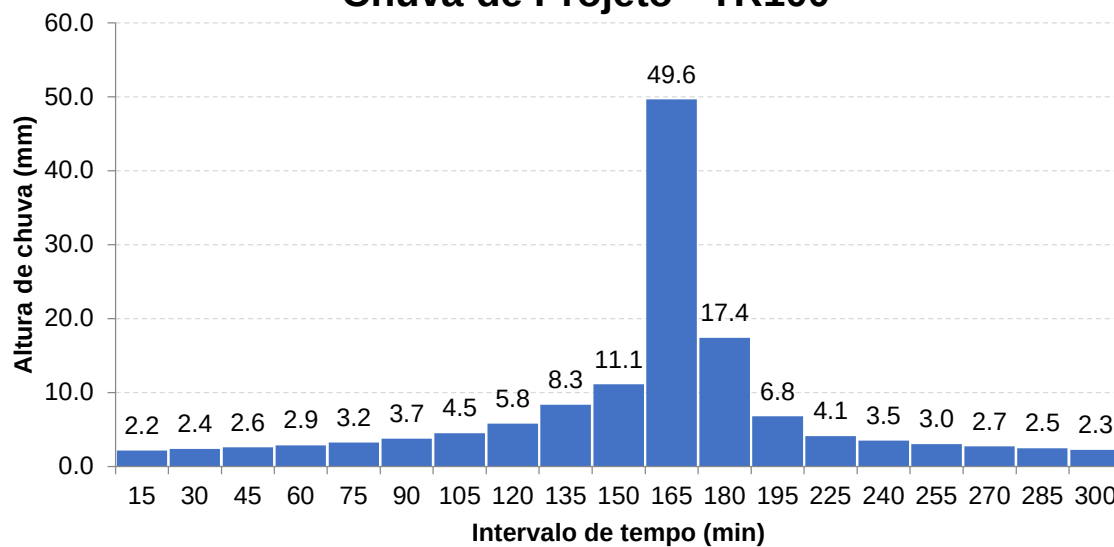


Figura 11-6 - Hietograma de Projeto da Chuva de TR de 100 anos.

Tabela 11-11 - Valores de Intensidade para a Distribuição Temporal das Chuvas de Projeto

Tempo (min)	Intensidade de chuva (mm/h)		
	TR25 anos	TR50 anos	TR100 anos
15	2.0	2.1	2.2
30	2.2	2.3	2.4
45	2.4	2.5	2.6
60	2.6	2.8	2.9
75	3.0	3.1	3.2
90	3.5	3.6	3.7
105	4.2	4.3	4.5
120	5.3	5.5	5.8
135	7.7	8.0	8.3
150	10.2	10.7	11.1
165	45.8	47.7	49.6
180	16.0	16.7	17.4
195	6.3	6.5	6.8
210	4.7	4.8	5.0
225	3.8	3.9	4.1
240	3.2	3.3	3.5
255	2.8	2.9	3.0
270	2.5	2.6	2.7
285	2.3	2.4	2.5
300	2.1	2.2	2.3
Total	132.5	137.9	143.5

12 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos hidrológicos apresentados no presente relatório servirão de subsídio para os estudos hidrodinâmicos, que serão realizados na próxima etapa deste projeto.

Para a definição das principais características hidrológicas das bacias em questão, foram considerados os principais fatores físicos que intervêm no ciclo hidrológico, com foco na geração de escoamento superficial, sendo assim analisadas a geomorfologia, pedologia, relevo, fluviomorfologia e uso e cobertura do solo no local. Foram gerados mapas para realizar a análise de maneira espacializada e, assim, identificar características heterogêneas no território. Foram utilizadas fontes oficiais para levantamento das informações necessárias a essas análises.

As chuvas de projeto serão utilizadas para avaliação das alternativas de intervenções na área do projeto, contemplando a caracterização fisiográfica das bacias hidrográficas do entorno (rio Quitandinha, rio Itamarati, rio Palatinato e rio Piabanha), o levantamento das séries históricas de precipitações na região, bem como um estudo estatístico para definição de equações gerais de chuvas intensas para a área de interesse (equações IDF - intensidade-duração-frequência).

A partir dos dados de chuvas diárias do Posto Petrópolis, foi realizado estudo estatístico para definição dos valores de máximos prováveis, de acordo com as probabilidades de ocorrência. Para isso, foi utilizado o Método de Gumbel, aplicado aos valores de chuva máxima diária anual, para a série existente. Esta avaliação garante a consideração das características do regime hidrológico local, a partir de uma série histórica robusta de 65 anos de dados.

Foram estimados os tempos de concentração das sub-bacias hidrográficas contribuintes, conforme apresentado no tópico 10.1. O tempo de duração da chuva deverá ser o tempo de concentração da bacia em estudo, de forma a serem consideradas chuvas de projeto com duração crítica e, assim, maximizar a resposta hidráulica do trecho de rio a ser avaliado.

A hipótese mais simples, utilizada na aplicação do método racional para o cálculo das vazões máximas, é que a chuva apresenta uma distribuição uniforme durante o evento. Assim, a intensidade da chuva não varia ao longo do tempo. Porém, em situações de chuvas com maior duração, tipicamente utilizadas em estudos de rede de macrodrenagem, considera-se que a intensidade da chuva varia ao longo do evento de projeto. O método utilizado neste estudo é conhecido como Método dos Blocos Alternados (Chow *et al.*, 1988). Essa lógica possibilita a análise de diferentes intensidades de chuva para um mesmo evento e, portanto, a ocorrência de chuvas críticas também para sub-bacias. Assim, no caso em estudo, a chuva de projeto foi elaborada com uma duração total de 300 minutos, garantindo a intensidade crítica para a bacia

do Alto Piabanha. A subdivisão da chuva de projeto em intervalos menores procurou atender às intensidades críticas das demais sub-bacias, mantendo um evento hidrológico único.

As chuvas de projeto elaboradas nesta fase do estudo e apresentadas no presente relatório serão utilizadas no processo de modelagem hidrológico-hidrodinâmico da bacia, a ser realizado na próxima etapa. Como o modelo computacional definido para apoio às simulações possui uma lógica de modelagem por células de escoamento, a chuva distribuída temporalmente melhora a representação da formação das cheias nas diversas unidades de cálculo do modelo, garantindo a simulação de um cenário mais crítico e mais próximo ao real.

13 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMBRÓZIO, J. C. G. O presente e o passado no processo urbano da cidade de Petrópolis. Uma história territorial. Tese de Doutorado, programa de pós-graduação - área de geografia humana, USP, São Paulo-SP, 2008.

ARAÚJO, L.M.N., Identificação de Padrões Hidrológicos de Precipitação e de umidade do solo na bacia hidrográfica do rio Piabanha/RJ. 2016.250f. Tese - Doutorado em Engenharia Civil, Coppe, UFRJ, Rio de Janeiro, 2016.

ATLAS, IDH. Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil. Brasília: PNUD/FJP/IPEA, 2013.

BRITO, S. *Projetos e Relatórios, Rio de Janeiro, 1943, pp. 165*

CANEDO, P.M., 1989, *Hidrologia Superficial*, ABRH . UFRJ 281 - 289

CANEDO, P.M, 2011, *Mitigação das Cheias: Proteção do Centro Histórico de Petrópolis*. Palestra apresentada na 5ª Reunião Extraordinária do Comitê Piabanha em 22/09/ 2011.

CARVALHO FILHO, A. de. et al. *Levantamento de reconhecimento de baixa intensidade dos solos do Estado do Rio de Janeiro*, in *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, 32. ed., Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 221 p. il. Color, 2003.

DAEE/CETESB. Drenagem Urbana, Manual de Projeto, Departamento de Águas e Energia Elétrica e Companhia de Tecnologia de Saneamento, São Paulo. 1980.

GONÇALVES GONZALES, F.C., 2014, *Projeto de Drenagem Sustentável Para Mitigação de Cheias na Bacia do Rio Quitandinha, em Petrópolis, RJ*. Monografia de graduação, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014.

GUERRA, A. J. T. & GONÇALVES, L. F. H. Movimentos de Massa na Cidade de Petrópolis (Rio de Janeiro). In: CUNHA, S.B. & GUERRA, A. J. T. (Orgs.). *Impactos Ambientais Urbanos no Brasil*. 5º. ed. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil. Cap. 5, p. 189-252, 2009.

HACK, L.P., 2002, *O clima urbano de Petrópolis - RJ: Análise dos impactos ambientais das chuvas de verão nas áreas de risco e nas inundações*. In: SANT'ANNA NETO, João Lima. (Org.). *Os climas das cidades brasileiras*. Presidente Prudente: UNESP/ FCT, 2002.

HACK, L. P., NEVES, S. & HUTTER, M.H, 2003. *As mais recentes calamidades pluviais ocorridas em Petrópolis: os episódios de 2001 e 2003*.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual Técnico de Uso da Terra. 2ª edição. nº 7. Rio de Janeiro, 2006.

ICMBIO - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Área de Proteção Ambiental da Região Serrana de Petrópolis. Brasília, DF, março de 2007.

LARA, C. J., 2011. Estudo de Cheia da Bacia Hidrográfica do Centro da Cidade de Petrópolis, Rio Quitandinha - Rio Palatinato - Relações de Causa e Consequência. Monografia de graduação, Universidade Católica de Petrópolis, 2011.

MEDEIROS, V. S., BARROS, M. T. L. “Análise de Eventos Críticos de Precipitação Ocorridos na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro nos Dias 11 e 12 de Janeiro de 2011”. In XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Maceió, AL, Dezembro de 2011.

NIMER, E. Climatologia do Brasil, 2ed., IBGE, Rio de Janeiro, 1989.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. Agrometeorologia fundamentos e aplicações práticas Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

PENHA, H. M et al. Projeto Carta Geológica do Estado do Rio de Janeiro- Convênio DRM/IG – UFRJ - Projeto Folha Petrópolis, Vol. I, Relatório Final,(Inédito).256pp.1979.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PETRÓPOLIS. Restituição Aerofotogramétrica - DWG. Petrópolis, RJ, 2013.

RABAÇO, H.J. História de Petrópolis. Petrópolis: Instituto Histórico de Petrópolis. p. 140.1985.

TUCCI, C. E. M., 2004, *Hidrologia – Ciência e Aplicação*, terceira edição, Porto Alegre, Editora da UFRGS/ABRH.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. Meteorologia básica e aplicações Viçosa: UFV, 1991. 449 p.

Sites consultados

COMISSÃO Especial de Estudos e Revisão do Plano Diretor de Petrópolis. Disponível em: <<http://cmp.web766.kinghost.net/planodiretor/planodiretor2013.html>>. Acesso em 12 de novembro de 2021.

PREFEITURA de Petrópolis. Disponível em: <<http://www.petropolis.rj.gov.br/pmp/>>. Acesso em 20 de outubro de 2021.