

## XXIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

### CHUVAS DE ALTA INTENSIDADE E VOLUME NO MUNICÍPIO DE PETRÓPOLIS - RJ

*Ana Claudia de Mello Nascimento*<sup>1</sup>; *Wenceslau Geraldtes Teixeira*<sup>2</sup>; *Alexandre Ortega Gonçalves*<sup>3</sup> & *Edgar Shinzato*<sup>4</sup>

**Resumo** – O município de Petrópolis, localizado na região serrana do estado do Rio de Janeiro, apresenta relevo variando de áreas planas a escarpadas e com declividades variáveis. A compreensão dos fatores que interferem nas precipitações é de extrema relevância, pois eventos extremos, podem provocar impactos nas cidades e nas áreas rurais como enchentes, alagamentos e deslizamentos. Neste estudo se fez um levantamento dos eventos extremos que causaram alagamentos nas cidade de Petrópolis, assim como um estudo de volume de precipitação pluvial em 15 e 60 minutos e 24 horas. Este estudo foi realizado com dados históricos de quatro estações pluviométricas do INEA, coletados no período de 2011 a 2020. Foi também feita uma compilação e estimativa das diferentes coberturas da superfície no município de Petrópolis. Os resultados mostraram eventos de alta intensidade e volume com chuvas totalizando > 30 mm num intervalo de 15 minutos, > 70 mm h<sup>-1</sup> e > 100 mm dia<sup>-1</sup>. Os Cambissolos Háplicos são os solos predominantes no município, seguidos dos Latossolos Vermelho Amarelos. O município apresenta um grande percentual de afloramentos de rochas, cerca de 20 % de sua área. O presente estudo com análises de dados de intensidade de precipitação mostra informações que em conjunto com dados da variabilidade espacial dos eventos de precipitação, e dados mais precisos sobre eventos de chuva, são imprescindíveis para implementação de soluções estratégicas para os em cidades com problemas de alagamentos, inundações e deslizamentos, nas áreas urbanas e rurais como o município de Petrópolis.

**Palavras-Chave** – Precipitação, inundações, eventos extremos

**Abstract** – The county of Petrópolis, located in the mountainous region of the state of Rio de Janeiro, presents relief ranging from flat to steep areas and with variable slopes. Understanding the factors that affect rainfall is extremely important, as extreme events can cause impacts in cities and rural areas such as flooding and landslides. In this study, a survey was made of the extreme events that caused flooding in the city of Petrópolis, as well as a study of the volume of rainfall in 15 and 60 minutes and 24 hours. This study was carried out with historical data from four INEA rainfall stations, collected from 2011 to 2020. A compilation and estimation of the different surface coverage in the municipality of Petrópolis was also carried out. The results showed high intensity and volume events with rainfall totaling > 30mm in a 15-minute interval, > 70 mm h<sup>-1</sup> and > 100 mm day<sup>-1</sup>. Haplic Cambisols are the predominant soils in the municipality, followed by Ferralsols. The city has a large percentage of rock outcrops, about 20% of its area. The present study with data analysis of precipitation intensity shows information that, together with data on the spatial

<sup>1</sup>) Mestranda em Engenharia Ambiental pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, RJ - Brasil. E-mail: anaclaudia.mello@hotmail.com

<sup>2</sup>) Pesquisador Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ – Brasil. E-mail: wenceslau.teixeira@embrapa.br

<sup>3</sup>) Pesquisador Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ – Brasil. E-mail: alexandre.ortega@embrapa.br

<sup>4</sup>) Eng. Agrônomo Serviço Geológico do Brasil – CPRM, Rio de Janeiro, RJ – Brasil. E-mail: edgar.shinzato@cprm.gov.br

variability of precipitation events, and more accurate data about rainfall events, are essential for the implementation of strategic solutions for cities with problems of flooding and landslides, in urban and rural areas such as the city of Petrópolis.

**Keywords** – rainfall, flooding, extreme events

## INTRODUÇÃO

O município de Petrópolis, localizado na região serrana do estado do Rio de Janeiro, apresenta relevo variando de áreas planas a escarpadas e com declividades variáveis. Segundo Tavares e Ferreira (2020) a compreensão dos fatores que interferem nas precipitações em cidades edificadas situadas sob relevo elevado e declividades acentuadas devem ser de extrema relevância, pois determinados eventos de chuva, como eventos extremos, podem provocar impactos nas cidades, e nas áreas rurais como enchentes, alagamentos e deslizamentos, os quais podem ser intensificados dependendo de sua localização.

Compreende-se como evento extremo, os eventos de chuvas em que o acumulado de chuva se encontra distante de um padrão climatológico (séries históricas) analisadas para determinado local, excedendo a capacidade de resistência destes e assim provocando impactos em distintas áreas de um município (DUARTE *et al.*, 2021).

Segundo Junqueira *et al.* (2020) a variabilidade das precipitações está pontualmente associada à dinâmica geral da atmosfera e o relevo da região, sendo que a distribuição espacial e temporal das chuvas afetam os ciclos da agropecuária, ações de saneamento e outras distintas atividades sociais e econômicas.

O objetivo deste trabalho foi avaliar as intensidades máximas horárias, diárias e distribuição espacial de eventos de precipitação no município de Petrópolis.

## METODOLOGIA

A metodologia do artigo está subdividida em tópicos: caracterização da área de estudo, apresentando informações relevantes sobre o município de Petrópolis – RJ, o subitem Precipitação pluvial descreve o método para obtenção dos dados de precipitação das estações pluviométricas em estudo. Foi feito um levantamento, não exaustivo, de eventos extremos que causaram danos ao município nos anos de 2011 a 2020. Na parte final é apresentado um mapa sinótico das classes de solos predominantes e também das áreas ocupadas por afloramentos de rochas e por áreas urbanas no município e a importância dessa caracterização como objeto de estudo em pesquisas futuras sobre a capacidade de infiltração da água no município de Petrópolis.

## Caracterização da Área de Estudo

Petrópolis é um município situado na mesorregião metropolitana do Rio de Janeiro e microrregião serrana, área de 791,144 km<sup>2</sup>, população estimada no último censo 2010 de 295.917 pessoas, densidade demográfica de 371,85 hab/km<sup>2</sup>, o bioma da região é a Mata Atlântica (IBGE, 2021).

O município tem sua localização no topo da Serra da Estrela e é parte do conjunto montanhoso Serra dos Órgãos, pertencente a Região das Escarpas e Reversos da Serra do Mar, estabelecida em uma das quatro unidades que compõem esta região, a Unidade Geomorfológica da Serra dos Órgãos, a área do município equivale a 1,8% da área do estado Rio de Janeiro e 11,5% da Região Serrana, sendo sua área total dividida em cinco distritos: Petrópolis, Cascatinha, Itaipava, Pedro do Rio e Posse, respectivamente (PETRÓPOLIS, 2013).

## Precipitação pluvial

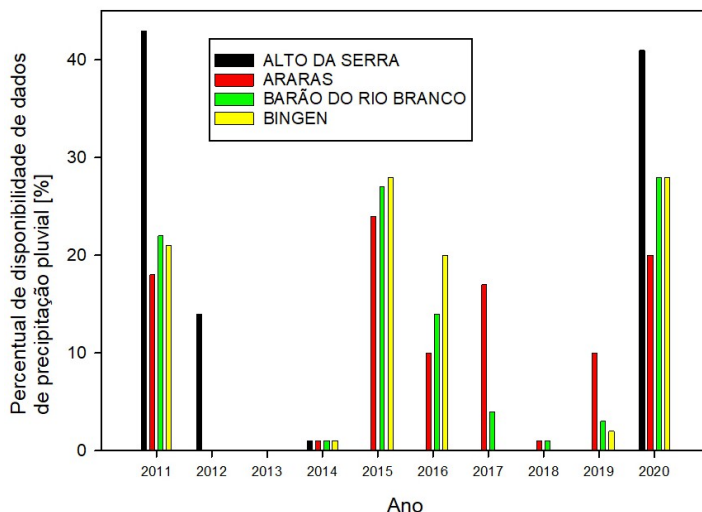
O município de Petrópolis tem pluviosidade média anual acima de 2.000 mm (ARAÚJO *et al.*, 2018), porém notam-se diferenças nestes valores ao longo do município. Com a finalidade de analisar as precipitações no município, selecionou-se quatro estações pluviométricas do Instituto Estadual do Ambiente (INEA), denominadas de Alto da Serra, Araras, Barão do Rio Branco e Bingen - códigos “PLU”: 2243315, 2243323, 2243324 e 2243316, respectivamente. Dados horários de precipitação foram obtidos em um repositório FTP do INEA (INEA, 2021) e organizados em planilhas eletrônicas. A série estudada compreende os períodos entre 2011 a 2020.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Precipitação pluvial

Foi feita uma análise de consistência das séries históricas das estações de estudo, e quantificado a falta de registros nos dados de 15 minutos. O histograma do percentual de dados inexistentes mostrou que há vários períodos sem o registro de dados nas estações estudadas (Figura 1). Estas falhas tornam difíceis e imprecisas as estimativas de médias anuais, por isso focou-se neste estudo apenas no estudo de eventos horários e diários nos registros disponíveis.

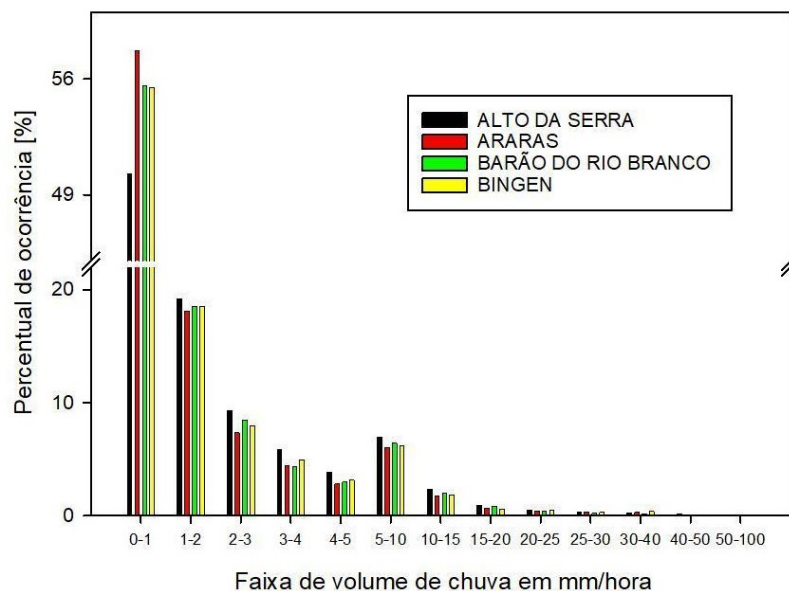
Figura 1 – Percentual da disponibilidade de dados de precipitação pluvial em quatro estações pluviométricas do INEA entre os anos de 2011 e 2020 - Petrópolis RJ



Fonte: Os autores, 2021

Realizou-se uma análise dos dados existentes nas séries de dados na frequência de 15 minutos das estações Alto da Serra, Araras, Barão do Rio Branco e Bingen. Estes dados estão apresentados em termos de percentuais. A Figura 2 mostra um histograma de frequência percentual dos totais de precipitação pluvial na frequência horária no município de Petrópolis, nas quatro estações pluviométricas do INEA.

Figura 2 – Histograma da frequência percentual de totais de precipitação horária

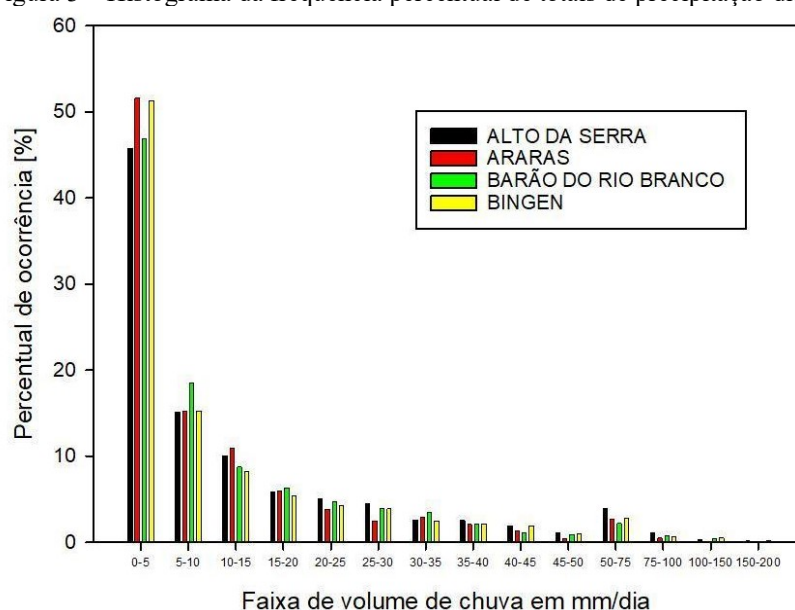


Fonte: Os autores, 2021

Conforme apresentado na Figura 2, evidencia-se que os eventos extremos em Petrópolis foram raros pois as chuvas com mais de 20 mm h<sup>-1</sup> representam menos de 2% do total de eventos.

No histograma de frequência percentual dos totais de precipitação diária no município de Petrópolis, nas quatro estações pluviométricas do INEA observa-se que o percentual de ocorrência de chuvas com total diário na faixa de 0 a 5 mm h<sup>-1</sup>, foram de aproximadamente 50% (Figura 3).

Figura 3 – Histograma da frequência percentual de totais de precipitação diária



Fonte: Os autores, 2021

No Quadro 1 são apresentados os cinco maiores totais de precipitação nos intervalos de eventos máximos por 15 min, 60 min e 24 horas para as estações pluviométricas do INEA Alto da Serra, Araras, Barão do Rio Branco e Bingen - Petrópolis - RJ. Observa-se que ocorrem eventos de alta intensidade e volume nestes intervalos com chuvas totalizando 30 mm num intervalo de 15 minutos, eventos desta natureza certamente causarão problemas de enxurradas nas áreas urbanas e rural. Na intensidade horária há também o registro de eventos que somente superfícies com alto poder infiltrante não haveria enxurradas ( $> 70$  mm/h) e os eventos máximos mostram elevados totais que não necessariamente foram eventos contínuos, mas que totalizaram grande volume de água em 24 horas ( $> 100$  mm), este grande volume dependendo das condições pretéritas de umidade do solo, podem além de causar as enxurradas também contribuir para os movimentos de massa do solo (deslizamentos).

Quadro 1 – Os cinco maiores totais de precipitação nos intervalos de 15 min, 60 min e 24 horas para as estações pluviométricas do INEA Alto da Serra, Araras, Barão do Rio Branco e Bingen - Petrópolis - RJ

|               |   | ESTAÇÃO                |      |      |      |                        |      |      |      |                        |      |      |       |                        |      |      |       |
|---------------|---|------------------------|------|------|------|------------------------|------|------|------|------------------------|------|------|-------|------------------------|------|------|-------|
|               |   | ALTO DA SERRA          |      |      |      | ARARAS                 |      |      |      | BARÃO DO RIO BRANCO    |      |      |       | BINGEN                 |      |      |       |
|               |   | DATA                   | 15   | 60   | Dia  | DATA                   | 15   | 60   | Dia  | DATA                   | 15   | 60   | Dia   | DATA                   | 15   | 60   | Dia   |
|               |   | HORA                   | min  | min  |      | HORA                   | min  | min  |      | HORA                   | min  | min  |       | HORA                   | min  | min  |       |
| <b>EVENTO</b> | 1 | 22/01/2018<br>18:30:00 | 35,5 | 60,5 | 82,2 | 05/12/2013<br>17:30:00 | 32,3 | 57,9 | 98,6 | 05/12/2013<br>17:45:00 | 37,3 | 37,8 | 108,3 | 26/10/2014<br>17:15:00 | 35,3 | 77,5 | 133,8 |
|               | 2 | 15/03/2016<br>20:30:00 | 35,0 | 49,0 | 61,0 | 19/10/2014<br>22:15:00 | 28,8 | 44,0 | 47,8 | 08/11/2016<br>21:15:00 | 20,0 | 20,0 | 20,3  | 05/12/2013<br>17:45:00 | 34,5 | 35,5 | 93,3  |
|               | 3 | 05/12/2013<br>17:45:00 | 30,6 | 30,5 | 73,3 | 30/11/2013<br>00:30:00 | 26,3 | 33,3 | 34,0 | 24/12/2011<br>14:45:00 | 19,3 | 23,8 | 30,0  | 22/10/2013<br>04:00:00 | 29,8 | 45,5 | 81,0  |
|               | 4 | 28/02/2016<br>19:45:00 | 30,5 | 43,7 | 53,7 | 21/12/2012<br>15:45:00 | 21,6 | 29,3 | 43,5 | 22/10/2013<br>04:00:00 | 19,3 | 40,0 | 49,5  | 26/10/2014<br>17:30:00 | 29,5 | 77,5 | 133,8 |
|               | 5 | 22/10/2013<br>04:00:00 | 30,3 | 47,3 | 69,0 | 19/05/2018<br>19:15:00 | 21,5 | 28,0 | 29,5 | 14/11/2011<br>18:15:00 | 18,8 | 35,0 | 45,5  | 22/10/2013<br>03:45:00 | 27,8 | 35,3 | 81,0  |

Fonte: Os autores, 2021

### Eventos extremos

No levantamento dos episódios de alagamentos no município de Petrópolis, foi feita uma pesquisa através dos repositórios do portal G1 Globo da Região Serrana, as pesquisas foram feitas para os anos de 2011 até 2020. Desta pesquisa se constatou, (Figura 4), que principalmente as ruas Coronel Veiga, Washington Luís, Caldas Viana e do Imperador são frequentemente alagadas nos eventos de chuvas extremas, essas vias são movimentadas e fazem parte da região central da cidade. Ressalta, um evento extremo que atingiu de forma severa o terceiro distrito do município, Itaipava em 2011.

Figura 4 – Episódios de alagamentos em Petrópolis, matérias publicadas no Portal G1: (a) Rua Coronel Veiga, 2020; (b) Rua Washington Luís, 2019; (c) Rua Caldas Viana, 2018; (d) Rua do Imperador, 2017; (e) Rua Coronel Veiga, 2013 e (f) Itaipava, 2011

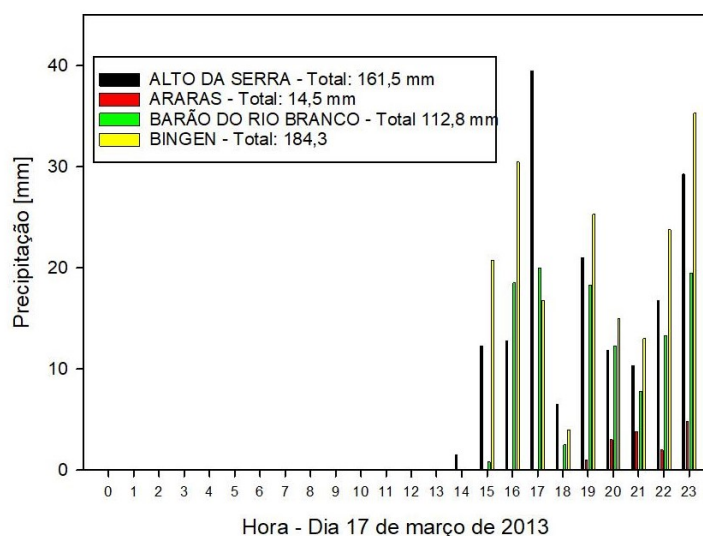


Fonte: Adaptado do Portal G1, 2021

As áreas de maiores riscos às inundações no município de Petrópolis são: os bairros da Quitandinha, Bingen, Corrêas, Nogueira, Itaipava, Pedro do Rio e Posse. O rio Quitandinha é um dos principais escoadouros e drenagem da cidade de Petrópolis, percorre uma área muito urbanizada no seu trajeto até o centro da cidade, desenvolvendo-se no decorrer da Rua Coronel Veiga, importante via da Cidade de Petrópolis, rua com numerosas pontes e travessias, têm seção de escoamento intensamente reduzida em alguns trechos, certas delas estreitando ainda mais a seção do canal. Sua calha está constantemente exposta a transbordamento (DEFESA CIVIL PETRÓPOLIS, 2020) nos eventos de alto volumes de precipitação.

Da compilação de notícias sobre os eventos extremos em que sucedeu a alagamentos em Petrópolis, foram obtidas as seguintes datas: 08/01/2020, 16/05/2019, 03/03/2018, 14/03/2017, 16/01/2016, 08/02/2015, 23/03/2014, 17/03/2013, 05/01/2012 e 11/01/2011. Dentre os eventos, o ocorrido em 17 de março de 2013 apresentou o maior total de precipitação pluvial. Cabe destacar a variabilidade espacial no município, o pluviômetro de Araras apresentou um total de 14,5 mm acumulado, Alto da Serra um total de 161,5 mm, Bingen com 184,3 mm, quando comparados, Araras choveu menos que 10% daquelas localidades (Figura 5).

Figura 5 – Histograma do evento 17 março de 2013 - Petrópolis, RJ



Fonte: Os autores, 2021

As datas dos eventos de chuvas extremas abordadas em noticiários e os cinco eventos máximos registrados na estações pluviométricas, mostram que os meses propícios à ocorrência de alagamentos são os meses de janeiro, fevereiro, março, outubro, novembro e dezembro. Segundo Nascimento *et al.* (2021, no prelo) num estudo realizado com dados da precipitação diária oriundo das estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas (ANA) em Petrópolis, os meses de maior precipitação são os de janeiro, fevereiro e março, as médias mensais são superiores a 200 mm, e elevada variabilidade. Os meses mais secos, junho e julho, apresentaram médias próximas a 20 mm mês<sup>-1</sup>. Neste estudo os dados de intensidade máxima diárias encontrados, foram valores de 220, 188, 186 e 120 mm dia<sup>-1</sup>.

## Solos

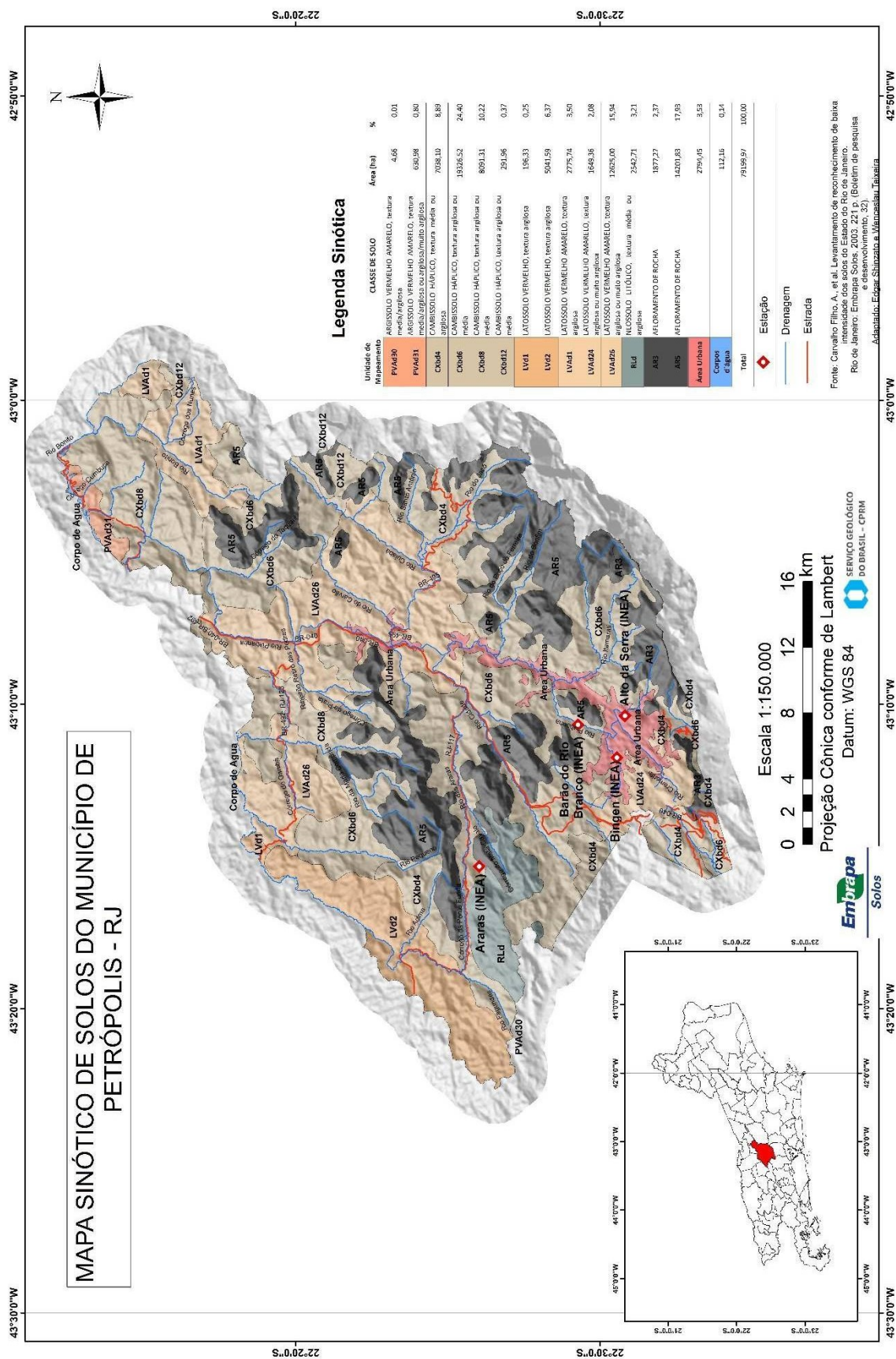
O município de Petrópolis apresenta como classes de solos dominantes nas unidades de mapeamento (CARVALHO FILHO *et al.* 2003) os Cambissolos Háplicos textura argilosa ou média, que totalizam cerca 40% da área do município (Figura 6).

Os Cambissolos Háplicos são solos tipicamente pouco desenvolvidos, entretanto podem se apresentar com boa drenagem nesta região (Pereira *et al.*, 2021). A segunda classe de solos mais frequente no município de Petrópolis são os Latossolos Vermelho Amarelos textura argilosa ou muito argilosas, seguidos dos Latossolos Vermelhos, estes associados frequentemente aos topos de morro e áreas com relevo mais aplainados (Pereira *et al.* 2021) e os Neossolos Litólicos, estes últimos geralmente apresentam pequena espessura e muitas das ocorrências são em áreas declivosas, associadas a rochosa e aos afloramentos de rocha (Figura 6).

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.

Os próximos passos desse estudo será avaliar e estimar a capacidade de infiltração, condução e retenção da água nos diferentes solos do município de Petrópolis. As estimativas da infiltração e transmissão da água no solo serão inicialmente feitas por funções de pedotransferência, semelhante ao estudo realizado nos solos do Maranhão (Teixeira *et al.* 2020). Pretende-se também fazer estimativas do volume de chuva interceptado pelas obras civis e estimativas da infiltração nas áreas urbanas. Com estes dados será possível estimar o volume de água que precisa ser ordenado nos eventos de alta intensidade de chuvas, visando propostas para redução dos eventos de alagamento e inundação nas áreas urbanas e rurais.

Figura 6 – Mapa sinótico de solos no município de Petrópolis



Fonte: Adaptado de Carvalho Filho, 2003



## CONCLUSÕES

A análise dos dados de precipitação e em escala temporal de (15 minutos e horária) +, mostram informações que em conjunto com dados da variabilidade espacial dos eventos de precipitação podem permitir a implementação de soluções estratégicas para os problemas de alagamentos, inundações e deslizamentos, nas áreas urbanas e rurais como o município de Petrópolis.

O presente estudo será complementado com avaliações da capacidade de infiltração, condução e retenção da água das diferentes coberturas da superfície no município de Petrópolis, a análise conjunta dos eventos de precipitação pluvial e da capacidade de infiltrar e conduzir a água possibilitará fazer prognósticos e sugerir práticas para redução dos problemas causados pelo escoamento da água superficial no município de Petrópolis.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, L.M.N. et al. (2018). “Variabilidade da precipitação na bacia do rio Piabanha” in Anais do III Simpósio de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul, Juiz de Fora, MG, ago. 2018.

CARVALHO FILHO, A. de. et al. (2003). “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. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/156812/1/BPD-32-Levantamento-Rio-de-Janeiro.pdf>>. Acesso em: 29 jun. 2021.

DEFESA CIVIL PETRÓPOLIS. (2020). “Plano verão 2021”. Disponível em: <[https://www.petropolis.rj.gov.br/pmp/phocadownload/programas\\_governo/plano\\_verao/2021/plancon%20inundaes%202020-2021.pdf](https://www.petropolis.rj.gov.br/pmp/phocadownload/programas_governo/plano_verao/2021/plancon%20inundaes%202020-2021.pdf)>. Acesso em: 29 jun. 2021.

DUARTE, T.L.S. et al. (2021). “Eventos de chuvas extremas associados aos riscos de inundações e de alagamentos em Aracaju/SE”. *Geosaberes*, v. 12.

IBGE. (2021) “Panorama”. Petrópolis: IBGE, 2021. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/petropolis/panorama>>. Acesso em: 29 jun. 2021.

SANTOS JUNQUEIRA, H. et al. (2020). “Análise da Variação Sazonal e de Tendências na Precipitação Pluviométrica no Município de Juazeiro-BA”. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 13.

NASCIMENTO, A.C.M.; TEIXEIRA, W.G.; GONCALVES, A.O. (2021). “Os eventos de precipitação em áreas montanhosas: características das chuvas em Petrópolis - Rio de Janeiro” in Anais do 1º Encontro Internacional da Latino-Americana e Caribenha de Pesquisa e Inovação em Ambientes de Montanha, Rio de Janeiro, mai. 2021. No prelo.

PEREIRA, N. R. et al. (2021). “Levantamento semidetalhado dos solos da microbacia do Córrego do Bonfim, município de Petrópolis, Região Serrana do estado do Rio de Janeiro”, in *Embrapa Solos. Boletim de pesquisa e desenvolvimento*, 273. Acompanha 1 mapa, color. Escala 1:10.000. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, E-book: il. color.

PETRÓPOLIS. (2013). *“Plano Diretor de Petrópolis”*. Disponível em: <<http://sig.petropolis.rj.gov.br/cpge/PDPDIAGMAR2013.pdf>>. Acesso em: 29 jun. 2021.

TAVARES, C.D.M.G.; FERREIRA, C.D.C.M. (2020). *“A relação entre a orografia e os eventos extremos de precipitação para o município de Petrópolis- RJ”*. Revista Brasileira de Climatologia, v. 26.

TEIXEIRA, W.G. et al. (2020). *“Estimativas e avaliação da velocidade de infiltração e da condutividade hidráulica saturada em solos do estado do Maranhão”*, in book: *Guia de Campo da XIII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC do Maranhão*. SILVA, M. B. e; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; OLIVEIRA, V. A. de, ed. Embrapa Solos, Brasília – DF, cap. 15.