

DETERMINAÇÃO DE SOLOS E ROCHAS DE ENCOSTAS PARA ANÁLISES DA SUCETIBILIDADE AOS MOVIMENTOS DE MASSA EM PETRÓPOLIS (RJ)

André de Souza Avelar¹
Giselle Ferreira Borges²
Raphaela Cristina Rodrigues De Negri³
Júlia de Oliveira⁴
Luís Carlos Dias de Oliveira⁵
Renan Dias Alves⁵

1. INTRODUÇÃO

Os movimentos de massa gravitacionais de encostas ocorrem com bastante frequência no Município de Petrópolis (RJ) e na Região Serrana Fluminense, sendo causadores de inúmeras perdas econômicas e centenas de mortes ao longo dos últimos 30 anos (ANTUNES & FERNADES, 2020; CONQ et al., 2015; AVELAR et al., 2013; COELHO NETO et al., 2013; TOMINAGA et al., 2009; LACERDA, 2007; MENDONÇA & GUERRA, 1997). Além dessa região, outras cidades brasileiras apresentaram problemas muito graves. Diante disso, foi instituído no país o Plano Municipal de Redução de Riscos (PMRR), definido com base na Lei Federal 12.608/2012, que obriga municípios em tais situações a responsabilidade do mapeamento de áreas de risco, com a diferenciação das áreas mais e menos críticas, assim como as áreas de enchentes (MODESTO et al., 2022; LIMA et al., 2020).

Frequentemente, os deslizamentos ocorrem em solos situam-se logo acima de rocha sã (NEMIROVSKY et al., 2018; GONÇALVES & GUERRA, 2009), daí a necessidade de mapear os trechos de encostas com suas distintas condições de rochas e solos. Segundo estudos de mecânica de solos e geomorfologia realizados por Lacerda et al. (2014) e Gomes & Vieira (2016), tais tipos de deslizamentos ocorrem durante ou logo após os eventos de chuvas mais intensos (geralmente eventos extremos), muitas vezes precedidos de períodos chuvosos antecedentes que facilitam a entrada de água no solo e reduzem os valores de sucção (BORGES & AVELAR, 2014; LACERDA, 2007; AVELAR et al., 2006; COELHO NETTO et al., 2009).

O presente trabalho traz o mapeamento dos materiais geotécnicos no 1º distrito do município de Petrópolis na escala 1:10.000, que foi realizado no segundo semestre de 2023 para a dar suporte à elaboração do PMRR municipal. Foram analisadas as características

¹ Prof. Associado IV, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, andreavelar1@eigeo.ufrj.br;

² Dra. Geografia - Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, coautor1@email.com;

³ Mestranda em Geologia - Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, coautor2@email.com;

⁴ Mestranda em Geologia - Universidade Federal Fluminense - UFF, coautor3@email.com;

⁵ Prof. Dr. CEFET-RJ e Eng. Civil - Theopratique Ltda., theopratique@email.com.

geomorfológicas que compõem as encostas, assim como as características geotécnicas dos regolitos e geológicas dos afloramentos de rocha. Foram anotadas a origem do material encontrado (rocha, saprolito ou depósito), de modo que: quando em rocha (foliação ou não, fraturamento e falhas; com medida de orientação obtida com bússola de geólogo) e quando em regolito (grau de intemperismo, espessura do material, resistência qualitativa).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A etapa inicial do trabalho se consistiu no estudo da bibliografia relacionada à área de estudo, no que tange os aspectos geológicos, geomorfológicos, pedológicos e geotécnicos. Também contou com a obtenção da base topográfica para delimitação do 1º Distrito de Petrópolis, fornecida pelo Laboratório de Cartografia da UFRJ (GeoCart) na escala 1:10.000.

Durante três meses de trabalho foram realizadas investigações detalhadas em campo, anotações, fotografias e posicionamento com GPS portátil, através da observação de exposições de solo e rocha, cortes de estrada, escavações de obras civis, cicatrizes de deslizamentos, etc. Foram visitados 96 pontos de campo distribuídos por todo distrito (Figura 1).

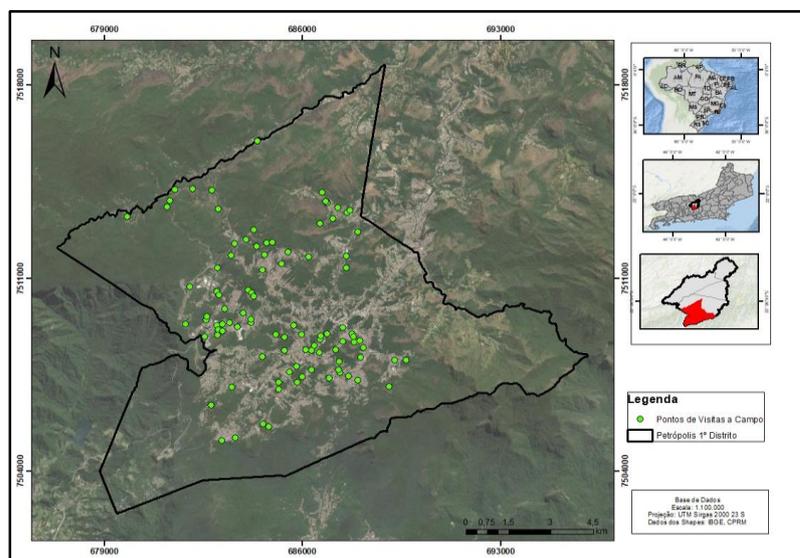


Figura 1 – Localização da área de estudo e posicionamento das 96 observações de campo.

Cabe ressaltar que há terrenos montanhosos e recobertos por floresta densa, sem moradias ou vias de acesso, onde não foi possível a observação. Desta maneira, foram áreas mapeadas e interpretadas principalmente a partir das fotografias aéreas e, por vezes, imagens de satélite. Foram interpretadas estereoscopicamente aerofotos na escala 1:30.000, da empresa PROSPEC de 1995.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi possível caracterizar em detalhe os materiais do regolito e dos afloramentos de rocha no território do 1º Distrito de Petrópolis e a delimitação dos polígonos de mapeamento com seis diferentes materiais geotécnicos identificados. As classes de mapeamento são: (1) Afloramentos de Rocha Sã - ARSA; (2) Aforamento de Rocha Pouco Alterada – ARPA; (3) Solo Raso Sobre Rocha (SRSR); (4) Solo Saprolítico Pouco Intemperizado – SSPI; (5) Solo Saprolítico Muito Intemperizado – SSMI; (6) Colúvios – COLV e (7) Alúvios – ALUV. As características geomorfológicas-geotécnicas das unidades mapeadas e implicações dos mesmos nos movimentos de massa do 1º Distrito de Petrópolis estão apresentados a seguir:

3.1 AFLORAMENTO DE ROCHA SÃ (ARSA): esta unidade corresponde às rocha sem nenhum indício de intemperismo situadas encostas tipicamente compostas pelo afloramento do maciço rochoso (Figura 2), com presença (ou não) de estruturas geológicas (foliações, fraturas, falhas, dobra e lineações minerais). Encontra-se em encostas íngremes, por vezes compondo escarpas rochosas entre 70 e 90° de declividades. Pode haver sobre esses afloramentos vegetação rupestre, sempre de baixo porte, predominantemente composta por bromélias.



Figura 2 - Afloramento de rocha exposto devido à obra realizada no local, ocorre solo raso sobre rocha nas partes mais altas. Em alguns pontos, ocorrem afloramentos de rocha pouco alterada.

A depender da conjugação das foliações com fraturas tectônicas e, principalmente, fraturas de alívio de tensão, podem ser encostas íngremes ou escarpas suscetíveis ao desprendimento de lascas de rocha (“rock slides”) ou queda de blocos (“rock falls”). Observou-

se ser relativamente comum na base das escarpas rochosas a ocorrência de outros materiais, por vezes rochas intemperizadas ou mesmo depósitos de colúvios ou tálus.

3.2 AFLORAMENTO DE ROCHA POUCO ALTERADA (ARPA): representa condições de encostas com predomínio de rocha (Figura 3), porém já muito fragmentada ou em início de decomposição por intemperismo. Aparecem em cortes de estrada, onde se observa a rocha muito fragmentada ou em meio a trechos já decompostos, com formação de solos residuais jovens, sendo comum a ocorrência de esfoliação esferoidal. A encosta a montante tendem a ser íngremes, por volta de 45 a 70°, de modo geral, recobertas por florestas densas bem preservadas até florestas degradadas. Parecem ser materiais muito estáveis quando em condições naturais de existência, isto é, na ausência de cortes de estrada ou escavações.



Figura 3 - Afloramento de rocha pouco alterada bastante fraturado.

3.3 SOLO RASO SOBRE ROCHA (SRSR): são coberturas de solos delgados que se formam por intemperismo acima da rocha sã (Figura 4), denominado na Pedologia como Neossolos Litólicos. Aparecem nos topos do relevo dômico (relevo tipo “pães-de-açúcar”) geradas pela decomposição química das rochas sãs subjacentes, podendo também estar em encostas íngremes desses domos ou até mesmo em escarpas. Possuem espessura de no máximo 2 m, apresentando desde gramíneas até arbóreas não muito densas, com nítido contato com a rocha subjacente e abrupta variação da condutividade hidráulica. Devido à restrita espessura destes solos, associados com a brusca descontinuidade hidráulica em relação à rocha subjacente, nas ocasiões com eventos de chuvas intensas ou de maior duração, tornam-se materiais muito suscetíveis aos deslizamentos translacionais rasos.



Figura 4 - Exemplo de Solo Raso Sobre Rocha, evidenciado após deslizamento translacional raso com consequente exposição de afloramento de rocha.

3.4 SOLO SAPROLÍTICO POUCO INTEMPERIZADO (SSPI): apresentam-se como solos residuais jovens (Figura 5), de espessura variada e tendência a mais delgados, granulometria areno-siltosa e coloração cinza esbranquiçada, com muitos minerais primários da rocha subjacente. Associam-se aos Afloramentos de Rocha Pouco Alterado (ARPA), mostrando um contato gradacional entre si. As edificações e estruturas urbanas situadas nesta unidade possuem ótimo padrão de engenharia, indicando ser um material que associado ao relevo suave onde se insere, traduzir-se como bons terrenos para moradia. Não foram vistas situações de instabilidades nesta unidade, apesar de ocorrer também em cortes de estrada verticalizados.



Figura 5 - Afloramento de Solo Saprolítico Pouco Intemperizado, preservando componentes mineralógicos e estruturais da rocha original.

3.5 SOLO SAPROLÍTICO MUITO INTEMPERIZADO (SSMI): compõe-se de material com elevado grau de decomposição química da rocha subjacente, onde há amplo predomínio de argilominerais e somente alguns grãos de quartzo destacados. Mostram-se como mantos de intemperismo vermelho-alaranjados, espessos e de granulometria argilo-arenosa, por vezes, areno-argilosa. Nestes mantos o solo residual maduro é evidente, sendo possível observar espessuras variando entre 20 a 2 m, principalmente sobre colinas e morros altos situados na porção central da área de estudo. Sobre este material há uma densa ocupação urbana, muitos cortes e aterros para implantação de casas, edifícios e infra-estrutura em geral. É comum a ocorrência de deslizamentos, predominantemente rasos (até 3 m), mas por vezes um pouco mais profundos (variando de 3 a 8 m). É um material de fácil escavação e sua presença sobre colinas tenha facilitado a ocupação mais densa no Centro e bairros próximos.



Figura 6 - Solo Saprolítico Muito Intemperizado., com minerais da rocha original totalmente alterados, sem preservação dos componentes originais.

3.6 COLÚVIO (COLU): são solos deposicionais em sopés de encostas e fundos de vale, decorrente de movimentos de massa pretéritos, que constituem-se essencialmente de uma matriz argilo-arenosa rica em blocos de rocha de variadas dimensões (Figura 7). Variam desde blocos de rocha mais angulosos até muitos arredondados, sendo estes devido aos efeitos da esfoliação esferoidal originados nos saprolitos ou rochas alteradas pré-movimentos de massa. São depósitos que apresentam uma declividade da ordem de 5 a 15° ao longo dos vales em que

se encontram, mostrando matriz com elevado índice de vazios e bem estruturada, as vezes de coloração bruno-avermelhada até amarelada. É comum a observação de acúmulo de água em seu interior, gerando níveis saturados freáticos, relativamente próximos à superfície, nos terrenos que se encontram. Há frequência de exfiltração da água proveniente do lençol freático, trazendo locais com fluxos superficiais laminares sobre ruas e vias de acesso.



Figura 7 - Depósito coluvionar contendo fragmentos granito, bastante muscovita e areia fina.

3.7 SEDIMENTOS INCONSOLIDADOS (SEIN): Esta unidade denominada neste trabalho são os depósitos aluvionares (Figura 8) relacionados ao entorno de canais fluviais e também alvéolos. Nestes, formam planícies a montante de níveis de base locais (“knick points”), compondo terrenos planos. Representam essencialmente os depósitos aluviais de granulometria predominantemente arenosa, por vezes com níveis silto-argilosos e níveis de cascalhos e seixos. Como estes sedimentos aluvionares estão associados geomorfologicamente às zonas deposicionais, não têm relevância direta para iniciação de movimentos de massa. Contudo, são zonas receptoras dos transportes provenientes de encostas adjacentes ou áreas de contribuição, principalmente no que se refere às áreas de possíveis deposições de fluxos de detritos. É bastante expressiva a ocupação urbana sobre esta unidade, havendo densa presença de edificações residenciais, comerciais e industriais. Isto mostra que esta unidade apresenta elevada valorização local, principalmente, devido à rarefação de terrenos planos e com maior facilidade construtiva. O Centro de Petrópolis, a Vila Militar, a parte baixa do bairro Quitandinha e o entorno do rio Piabanha estão situados predominantemente nesta unidade.



Figura 8 - Sedimentos fluviais depositados ao longo do rio Piabanha.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As unidades de rochas e solos mapeadas conseguem representar satisfatoriamente a diversidade de condições dos materiais existentes no 1º Distrito de Petrópolis, a fim de permitir apoiar a elaboração do mapa de suscetibilidade aos movimentos de massa na área. A cartografia das mesmas se mostrou viável para a escala 1:10.000, apesar das dificuldades de acesso em áreas muito montanhosas ou com recobrimento de floresta ombrófila densa.

Há expressiva relevância de cada unidade para o entendimento dos movimentos de massa da área de estudo, havendo maior ou menor suscetibilidade de cada uma, conforme a combinação com a geomorfologia, uso e cobertura do solo e as incidências de chuva. O mapeamento 1:10.000 traz informações qualitativas dos materiais nas encostas e atende aos objetivos de subsidiar análises de suscetibilidade e de risco aos movimentos de massa. Sua utilização como base da análise de risco permite uma visão geral dos setores mais ou menos sujeitos aos danos gerados por movimentos de massa, facilitando a elaboração de um zoneamento inicial de risco. Contudo, devido à densidade populacional do 1º Distrito de Petrópolis, poderá haver a necessidade de maior detalhe em determinados locais para melhor discretização dos solos ou rochas, assim como as estruturas relacionadas.

Palavras-chave: Deslizamentos, Riscos, Solos Geotécnicos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES, FAPERJ e CNPq pelo apoio de bolsas e fomentos. Agradecem ainda ao apoio da Prefeitura de Petrópolis, através da do empréstimo de aerofotos, assim como o Prof. Manoel Fernandes (GEOCART/UFRJ) pelo fornecimento da base cartográfica digital. Agradecem a empresa Theopratique Ltda no apoio as fases do mapeamento.

REFERÊNCIAS

- ANTUNES, F.S; FERNANDES, M. C. Análise geográfica e cartografia histórica: subsídios para entender a organização espacial da área gênese de Petrópolis (RJ). *Revista GeoUSP*, v. 24, n. 1, p. 117-135, 2020.
- AVELAR, A.S; COELHO NETTO, A.L.; LACERDA, W.A; BECKER, L. B.; MENDONÇA, M.B. Mechanisms of the Recent Catastrophic Landslides in the Mountainous Range of Rio de Janeiro, Brazil. In: 2nd World Landslide Forum, Roma. *Landslide Sci. and Practice*. Berlin: Springer-Verlag, v. 4. p. 265-270. 2013.
- BORGES, G. F.; LIMA, P. H.; AVELAR, A. S. Geomorfologia, solos e movimentos de massa ocorridos em janeiro de 2011 na bacia do Córrego Dantas, Nova Friburgo (RJ). *REVISTA GEONORTE*, Edição Especial 4, V.10, N.1, p.141-144, 2014.
- COELHO NETTO, A.L; AVELAR, A.S; FERNANDES, M.C; LACERDA, W.A. Landslide susceptibility in a mountainous geocosystem, Tijuca Massif, Rio de Janeiro: the role of morphometric subdivision of the terrain, *Geomorphology*, v. 87, p. 120-131, 2007.
- COELHO NETTO, A.L; SATO, A.M; AVELAR, A.S;VIANNA, L.G; ARAÚJO, I; FERREIRA, D.L.C; LIMA, P.H; SILVA, A.P.A; SILVA, R.P. January (2011): the extreme landslide disaster in Brazil. *Proceed. of the 2nd World Landslide Forum, Roma. Landslide Sci. and Practice*. Berlin: Springer-Verlag, p. 3-7. 2013.
- CONQ, M.; SILVEIRA, C. S.; DOURADO, F. Processos geomorfológicos e danos derivados da corrida de detritos de janeiro 2011 na bacia do Córrego do Príncipe, Teresópolis – Região Serrana do Rio de Janeiro. *Ciência e Natura*, v. 37 n. 1, p. 11, 2015. <https://doi.org/10.5902/2179460X14872>
- GOMES, MC.V; VIEIRA, B.C. Saturated hydraulic conductivity of soils in a shallow landslide area in the Serra do Mar, São Paulo, Brazil, *Zeitschrift für Geomorphologie*, v. 60, n.1, pp 53-65, 2016 doi:10.1127/zfg/2016/0229.
- GONÇALVES, L.F.G; GUERRA, A.J.T. Movimentos de Massa na cidade do Rio de Petrópolis (Rio de Janeiro). In: *Impactos Ambientais Urbanos no Brasil*. Organizadores: A.J.T. Guerra e S.B. Cunha, Ed. Bertrand Brasil, 5ª edição, 189-252, 2009.
- LACERDA, W.A. Landslide initiation in saprolite and colluvium in southern Brazil: Field and laboratory observations; *Geomorphology*, 87(3), pp. 104–119, 2007.
- LACERDA, W.A; PALMEIRA, E.M.; COELHO NETTO, A.L; EHRlich, M. Extreme rainfall induced landslides: an international perspective. *Oficina de Textos*, São Paulo, 400 p. 2014.
- LIMA, I.F; FERNANDES, N.F; VARGAS JUNIOR, E.A. Análise morfométrica em bacias afetadas por fluxos de detritos na Região Serrana do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 21, n. 2, 2020.
- MENDONÇA, M.B; GUERRA, A.T. A Problemática dos Processos Geodinâmicos frente à Ocupação de Encostas. In: *Anais of the 2nd Panamerican Symp. on Landslides*, Rio de Janeiro, vol. 2, p.935-940, 1997.
- MODESTO, F.B.F; KUHLMANN, L.G; JACQUES, P.D; RIBEIRO, R.S; SANTOS, T.D. Avaliação Técnica Pós-Desastre Petrópolis, RJ, Relatório Técnico da CPRM, Rio de Janeiro, 9 p. 2022.
- NEMIROVSKY, A.K.S; NEVES, L.V; FERNANDES, M.C. Análise da distribuição espacial de deslizamentos no município de Petrópolis (RJ) entre 1940 a 2015. *Revista Continentes (UFRRJ)*, ano 7, n.13. 2018.