

ANÁLISE GEOSISTÊMICA APLICADA AO ESTUDO DOS RISCOS: o caso dos movimentos gravitacionais no município de Petrópolis-RJ

Isabelle Salazar Vieira Alves

Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas
E-mail: isabellesalazargeo@gmail.com

Jacques Manz

Professor do Instituto Federal do Piauí. Doutor em Geografia (em cotutela) pela Universidade Estadual de Campinas e a Universidade do Porto (Portugal)
E-mail: manzjacques@gmail.com

Raul Reis Amorim

Professor Livre Docente do Departamento de Geografia, Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)
E-mail: raulreis@unicamp.br

Resumo

Os elementos que compõem a paisagem tanto natural quanto antrópica podem ser indicativos de áreas sujeitas a movimentos gravitacionais no município de Petrópolis, localizado na Região Serrana do Rio de Janeiro, Brasil. Partindo do conceito de Paisagem, teve-se como objetivo a representação e análise integrada dos sistemas naturais que a compõem, tendo a aplicação da leitura geomorfológica como critério da abordagem e da representação cartográfica, de forma a representar e caracterizar os geossistemas do município. Introduziu-se a essa abordagem, o conceito de sistemas antrópicos direcionando a discussão para a aplicação no âmbito do planejamento ambiental. Dessa forma, foi elaborado o mapeamento temático que possibilitou a identificação de elementos naturais e sociais que evidenciam o risco à movimentos de massa.

Palavras-chave: Geossistema; Paisagem; Risco.

GEOSSYSTEM ANALYSIS APPLIED TO THE STUDY OF RISKS: the case of gravity movements in the municipality of Petrópolis-RJ

Abstract

The elements that compose the landscape, both natural and anthropic, may be indicative of areas subject to gravity movements in the municipality of Petrópolis, located in the Mountainous Region of Rio de Janeiro, Brazil. Starting from the concept of Landscape, the objective was the representation and integrated analysis of the natural systems that compose it, having the application of the geomorphologic reading as criterion of the approach and of the cartographic representation, in order to represent and characterize the geosystems of the city. The concept of anthropic systems was introduced to this approach, directing the discussion to the application in the scope of environmental planning. In this way, a thematic mapping was elaborated that allowed the identification of natural and social elements that show the risk of mass movement.

Keywords: Geosystem; Landscape; Risk.

Introdução

A Teoria Geral dos Sistemas, nas geociências, tem como ponto central e unidade de estudo a ideia de que há um funcionamento orgânico da paisagem, no qual, a interdependência entre os diferentes fatores que compõem o Sistema Terra permite uma análise integrada. A organização do funcionamento deste grande sistema é dependente da emissão de energia (*input*) capaz de transformar a organização dos processos. Dessa forma, a Teoria Geral dos Sistemas diz que há a entrada de energia no Sistema, esta é trabalhada em diferentes escalas e distribuições com relações de interdependência entre os elementos, definindo com clareza as formas e processos. Portanto, traz uma ordem sistêmica de funcionamento cuja é fundamental para os estudos dos geossistemas.

A Teoria dos Geossistemas a partir de Sochava (1971, 1975, 1977,1978), tem suas bases na Teoria Geral dos Sistemas que considera a paisagem como sistema formado por múltiplas relações entre os elementos constituintes, originando uma estrutura complexa. As análises geossistêmicas permitem entender os geossistemas como um sistema específico, situado em um determinado tempo e espaço, composto por partes do espaço geográfico individualizados por meio da interação entre os componentes físicos-naturais, tais como: relevo, clima, cobertura vegetal, solos e geologia.

A análise geossistêmica com ênfase na estrutura de funcionamento dos sistemas é essencial, visto que, embora a Teoria dos Geossistemas foque no todo, centraliza na ideia de que, efetivamente, é o processo quem ordena o funcionamento.

Para entender a totalidade é fundamental compreender o funcionamento das partes, de seus elementos em relação, e dessa forma entender os processos associados que dão dinamismo a paisagem, e que definem a dinâmica de funcionamento.

Amorim (2016) e Amorim, Reis e Ferreira (2017) destacam que Vinogradov *et al.* (1962) relata que comissão Permanente sobre Mapas da Paisagem da “Sociedade Geográfica da União Soviética” definiu que os mapas de Geossistemas são únicos, e que apresentam em um mapa-síntese, a integração dos diferentes elementos que compõem os Geossistemas, formando um complexo geográfico. Os mapas de Geossistemas devem oferecer a base para o estudo aplicado de fenômenos geográficos como os movimentos gravitacionais, objeto de estudo desse artigo que tem como área de estudo o município de Petrópolis-RJ.

Para Rodriguez, Silva e Cavalcante (2017), geossistema é um conceito que vem sendo utilizado para descrever formações naturais, funções terrestres complexas – natureza,

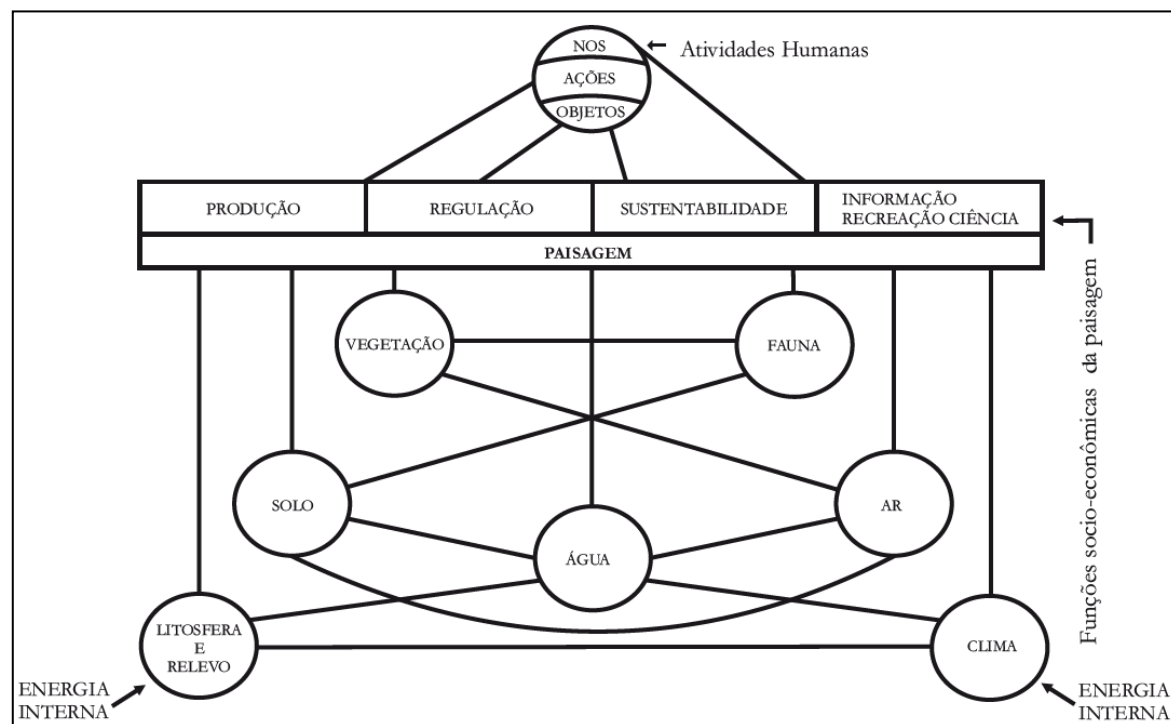
população e economia, sistemas terrestres e, objetos de estudo das Ciências da Terra. Porém, quando se analisa as suas relações, percebe-se que há cinco tipos de geossistemas (ALEKSANDROVA; PREOBRAZHENLKI, 1982), são eles: os naturais, que possuem relações com outros sistemas como a sociedade humana; os técnico-naturais, em que se tem a interação entre objetos técnicos e naturais; os integrados, isto é, formações territoriais complexas, por exemplo, natureza, sociedade e economia; os ramais, onde é possível encontrar subsistemas; e os antropocológicos, no qual o homem (elemento central) detém elementos que necessitam de si para o seu funcionamento, formando o meio ambiente do homem.

Atualmente, existem diferentes interpretações a respeito do conceito paisagem, conforme a Figura 1 (ROUGERIE, 1969; MATEO, 1998), no entanto, o presente trabalho optou por utilizar a paisagem como uma formação antroponatural, isto é, um sistema composto por condicionantes físico-naturais e antropogênicos, que são capazes de modificarem as propriedades da paisagem (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTE, 2017).

As paisagens podem ser consideradas geossistemas únicos ou como parte de um geossistema de nível hierárquico superior devido à sua análise sistêmica. Ou seja, é um sistema autorregulado aberto formado por componentes e complexos inferiores inter-relacionados. Dessa forma, pode-se ter duas categorias de geossistemas paisagísticos: os monossistêmicos, que são formados por componentes; e os polissistêmicos, nos quais os elementos do sistema são os complexos taxonômicos inferiores.

Partindo do conceito de Paisagem, teve-se como objetivo a representação e análise integrada dos sistemas naturais que a compõem, tendo a aplicação da leitura geomorfológica como critério da abordagem e da representação cartográfica, de forma a representar e caracterizar os geossistemas do município, relacionando a movimentos gravitacionais.

Figura 1 – Relação das interações dos componentes naturais e antrópicos da paisagem



Fonte: Rodriguez (2017) *apud* Zonneveld (1986)

Os movimentos gravitacionais e suas marcas na paisagem

Os movimentos gravitacionais são processos geomorfológicos modeladores da superfície terrestre, constituídos pelo deslocamento de solo, rocha ou material composto encosta abaixo pela força da gravidade, provocados por atividade biológica ou processos físicos que resultam dos processos climáticos, sendo ocasionados pela interferência direta da água, ou ar (PENTEADO, 1978). No entanto, nos locais a serem estudados, os que mais predominam são os movimentos gravitacionais e inundações por conta da água, resultado, da quantidade de chuvas no período de verão no clima subtropical. Sabe-se, também, que são eventos que ocorrem em superfícies elevadas, mas também em vertentes de baixa declividade, dentre os diferentes tipos de movimentos gravitacionais, estão os movimentos de massa (SANTOS; VIEIRA, 2009; PINTO *et al.*, 2013).

As forças impulsionadoras e de resistência das vertentes são determinadas pela inter-relação das seguintes variáveis: tipo de materiais geológicos, declive da encosta e topografia, clima, vegetação, água, tempo.

Nos condicionantes geológicos destacam-se a composição física e química dos tipos de rochas, e as propriedades mecânicas sob a ação de diferentes meios morfoclimáticos que

atuam diretamente na deflagração dos movimentos gravitacionais de massa (PINTO *et al.*, 2013). De acordo com Keller e Blodget (2004), o tipo de material geológico pode influenciar a tipologia de movimento gravitacional (deslizamento, escorregamento, desmoronamento entre outros), por exemplo, alguns tipos de rochas como os granitoides são mais submetidos ao intemperismo químico, uma vez que a água das chuvas percola pelas fraturas.

A topografia é um fator importante por conta da inclinação e amplitude que uma encosta pode apresentar, por exemplo, geralmente, quanto mais inclinada a vertente, maior será a força impulsionadora sobre ela (KELLER; BLOGET, 2004).

No que se refere aos condicionantes geomorfológicos, o movimento gravitacional de massa é basicamente influenciado pela morfologia da vertente, sua altura e inclinação, em vertentes com declividades superiores a 30° (PINTO *et al.*, 2013).

Os fatores pedológicos estão correlacionados aos processos erosivos do solo, em função da sua textura, estrutura, permeabilidade e densidade. Desse modo, solos arenosos são mais porosos, tem rápida infiltração da água, e menor capacidade de armazenamento da mesma (PINTO *et al.*, 2013).

O clima é o fator condicionante uma vez que a precipitação pluviométrica é o principal agente deflagrador dos movimentos de massa, em ambiente tropical úmido, isso porque índices pluviométricos elevados provocam a saturação do solo ou rocha, reduzindo a resistência à desagregação, ocorrendo a instabilidade das encostas (SANTOS; VIEIRA, 2009; PINTO *et al.*, 2013). Além disso, influencia no tipo e na abundância da vegetação na encosta.

A vegetação influencia na estabilidade da encosta porque proporciona uma cobertura protetora que amortece o impacto da chuva no solo. Este amortecimento faz com que a água infiltre na encosta de maneira que diminui a erosão que seria causada sem a cobertura vegetal. As raízes das plantas também adicionam força e coesão aos materiais da encosta, atuando como um reforço, aumentando a resistência de uma vertente frente aos movimentos de massa. Porém, a vegetação também adiciona peso a encosta, sustentação, que em alguns casos pode aumentar a probabilidade de movimentos de massa no terreno, sobretudo com solos pouco espessos em encostas pronunciadas (KELLER; BLODGET, 2004).

A água como matéria que circula entre os diferentes sistemas é um condicionante que está relacionado direto e indiretamente com os movimentos gravitacionais de massa, pois afeta a estabilidade da encosta como nos casos de temporais em que as vertentes saturam, ou após meses/anos de infiltração, e pela erosão base da encosta. A erosão de um rio pode também afetar a estabilidade da encosta. Estes processos podem reduzir o fator de segurança

ao eliminar o material da base da encosta. Este problema é particularmente crítico se a base da encosta é formada por um colúvio que tem possibilidade de mover-se novamente (KELLER; BLODGET, 2004).

Os movimentos gravitacionais são gerados em áreas com elevada declividade e substrato rochoso pouco profundo, nas quais há pouco desenvolvimento de solo. Os eventos de precipitação de grandes volumes de chuva encharcam o perfil de solo, promovendo a desestabilização da solo-rocha. Por esta razão, os movimentos de massa costumam ocorrer, ou durante os eventos de precipitação, ou algumas horas após a precipitação (KELLER; BLODGET, 2004; HIGHLAND, 2008).

A ocorrência de movimentos gravitacionais de massa é intensificada pelo estabelecimento de moradias irregulares e pelo lançamento clandestino de água e esgotos. Os loteamentos irregulares costumam ocupar áreas de alta e média vertentes, nas quais a instabilidade da facie rocha-solo é mais intensa, devido à maior declividade do terreno. O lançamento irregular de águas e esgotos promove um encharcamento do solo, desestabilizando o terreno e podendo provocar movimentos de massa, inclusive em períodos de estiagem.

A ocupação de vertentes também condiciona os desmatamentos, tornando o solo suscetível à erosão, como também juntamente com as rochas suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa. A ação antrópica é responsável pela alteração do modelado, ao fazer cortes no terreno (talude de corte), aterros para construção (talude de aterro), retificação de canais fluviais, entre outras, que interferem no equilíbrio das vertentes, causando efeitos catastróficos (PINTO *et al.*, 2013).

A degradação das florestas, em decorrência do uso da terra, principalmente, para ocupação, favorece a pouca estratificação da vegetação, baixo conteúdo de serapilheira e matéria orgânica no solo, causa menor capacidade de interceptação de água da chuva e de infiltração, aumentando o escoamento superficial e o potencial erosivo das chuvas sobre os solos (TAMBOSI, 2015).

Em razão disso, acredita-se que as atividades antrópicas na área em estudo vêm rompendo com a capacidade de suporte desse sistema, já que ele possui uma instabilidade natural, devido à elevada declividade da Serra do Mar, pois esta tem escoamento superficial intenso, em função da atuação da força da gravidade, que potencializa o desenvolvimento de processos de movimentação de massa (CUNHA; OLIVEIRA, 2015).

Às condições naturais somou-se o fator humano. Durante anos as encostas e margens dos rios foram objeto de desmatamentos e ocupações irregulares, o que agravou ainda mais a vulnerabilidade da área, fazendo com que as fortes chuvas comuns no verão provoquem, com frequência, erosões, inundações e movimentos de massa (BUSCH; AMORIM, 2011, p. 1).

Os movimentos de massa e fenômenos relacionados têm capacidade para causar danos e perda de vidas. Assim, os efeitos diretos incluem o isolamento ou soterramento de pessoas e propriedades pelos materiais movimentados, provocando danos aos estabelecimentos comerciais, aos serviços públicos, as construções em encostas e às estradas bloqueando rodovias e ferrovias. Já os efeitos indiretos incluem às inundações (em águas acima de um deslizamento que bloqueia um rio) e a transmissão de doenças (KELLER; BLODGET, 2004).

Desta maneira, é mais provável que a atividade humana cause os movimentos gravitacionais em áreas urbanas em que há uma alta densidade demográfica, conforme Keller e Blodget (2004). No município de Petrópolis vários fatores que contribuem para a ocorrência de movimentos gravitacionais, tais como: os montes de granito, com encostas pronunciadas de rochas fraturadas cobertas por solos rasos; inundações periódicas por chuvas torrenciais; construções em encostas desestabilizando gravemente muitas vertentes; e a eliminação da vegetação das encostas para a construção de habitações.

O estabelecimento de ocupação urbana nas vertentes promove, também, a impermeabilização do solo e a diminuição da rugosidade dos terrenos aumentando a velocidade de escoamento de água das altas e médias vertentes para as áreas de várzea (AMARAL; RIBEIRO, 2009). Quanto menor é a percolação da água nas vertentes impermeabilizadas, maior é seu volume que escoam superficialmente para as porções mais baixas do relevo. Em eventos de precipitação com elevados volumes de chuva, portanto, as inundações tendem a ocorrer abruptamente e, quando a precipitação cessa, a água tende a escoar rapidamente pelos canais (AMARAL; RIBEIRO, 2009).

Na paisagem é possível identificar as marcas de episódios de movimentos gravitacionais de massa. Os movimentos gravitacionais lentos como os rastejos (*creeps*) podem ser percebidos ao observar na paisagem postes, árvores e muros de edificações inclinados. Já os movimentos gravitacionais rápidos apresentam marcas mais facilmente notáveis na paisagem. Por exemplo, a presença de blocos rochosos e matacões são indicativos de rolamentos e deslocamento; a presença de cicatrizes nas encostas indicam a anterior deflagração de deslizamentos ou desmoronamentos. Em áreas ocupadas pela população

urbana e rural também é possível identificar marcas na paisagem de casas e outras edificações destruídas ou parcialmente afetadas pela ocorrência de movimentos gravitacionais de massa. Amorim, Reis e Ferreira (2017) fizeram um estudo de marcas pretéritas na paisagem decorrentes de inundações na bacia hidrográfica do rio Muriaé, e esse trabalho apresenta essas marcas na paisagem relacionadas aos movimentos gravitacionais de massa.

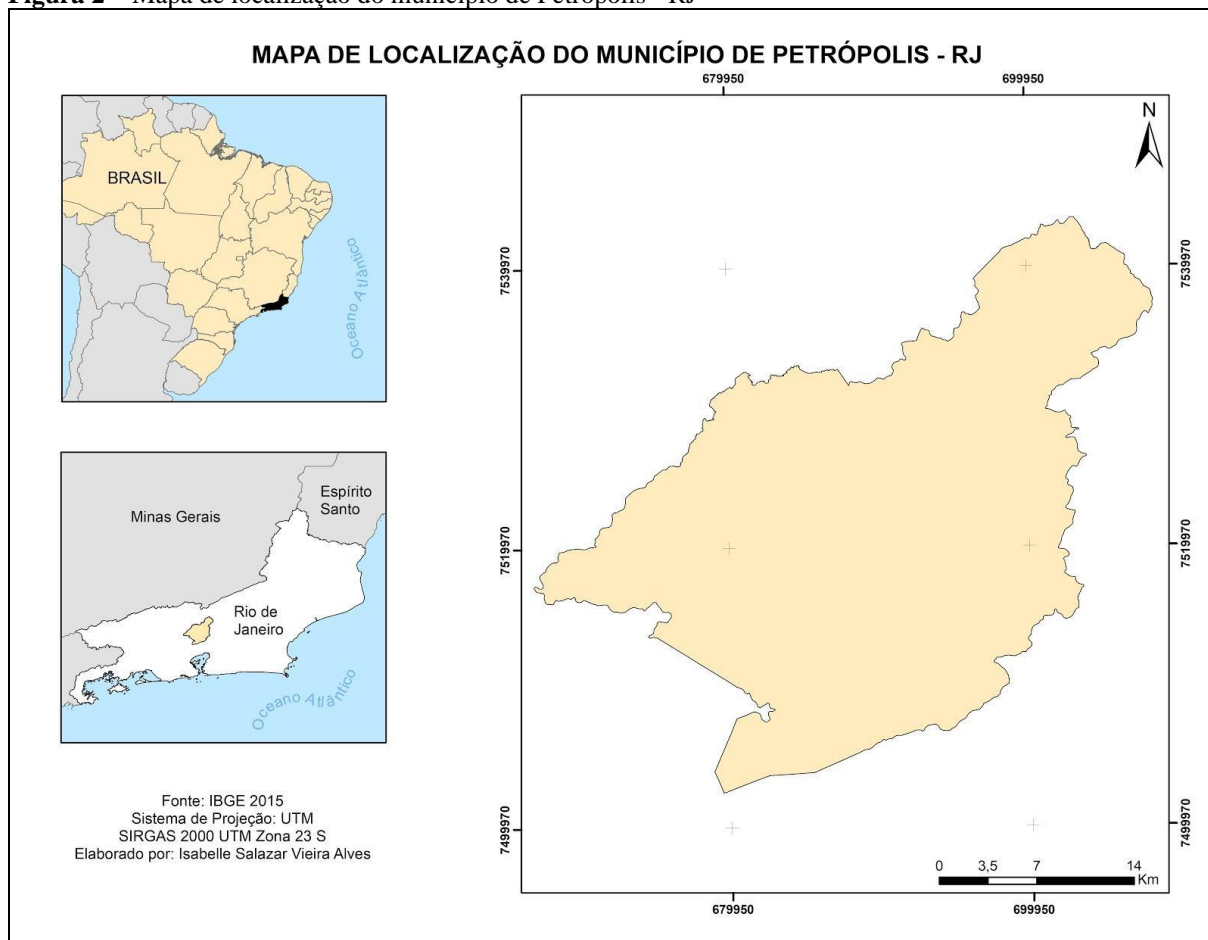
Materiais e Métodos

Área de estudo

Petrópolis é um município localizado no interior do estado do Rio de Janeiro na Serra da Estrela, também conhecido como Cidade Imperial, pertencendo a Serra dos Órgãos. Ocupa uma área de 793,085 km², contando com uma população estimada para 2020 de 306.678 habitantes, segundo o IBGE Cidades (2020), conforme a Figura 2.

Esse município convive com dois sérios problemas de dinâmicas naturais muito intensas: o processo de movimento gravitacional com as ocupações nas áreas de risco e o processo de esgotamento da área central (das áreas de fundo de vale), onde localizam-se os canais que foram retelinizados. Esses problemas estão relacionados a eventos de precipitação com elevados volumes de chuva em poucas horas - chuvas torrenciais -, associados à formação de nuvens do tipo “*cumulonimbus*”. Inclusive, segundo o Banco Mundial (2012), Petrópolis é a cidade com maior número de registros de desastres no período de 1991 a 2010, sendo 17 movimentos de massa e 11 de inundações. O banco de dados do Sistema Integrado de Informações sobre desastres (S2ID, 2021), indicou entre 2010 e 2016 a ocorrência de 16 eventos de movimentos gravitacionais de massa. Em consulta a Defesa Civil municipal de Petrópolis, entre janeiro de 2015 até início do mês de abril de 2021, foram registradas 2.712 ocorrências de caráter emergencial e 4.623 de maneira preventiva, todas relacionadas a movimentos gravitacionais de massa. Cabe ressaltar que as ocorrências não significam o número de episódios, pois um mesmo episódio pode atingir simultaneamente diferentes áreas.

Figura 2 – Mapa de localização do município de Petrópolis - RJ



Fonte: IBGE (2021)

De acordo com Assumpção (2015) e Guerra, Gonçalves e Lopes (2007), Petrópolis está sob o domínio da massa Tropical Atlântica que conseqüentemente, encontra com a massa Polar, formando as frentes frias e/ou linhas de instabilidades. No entanto, no verão, este fenômeno provoca fortes chuvas, por conta da ocorrência da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAs) que podem afetar áreas do município entre os meses de outubro e março. Além disso há o fator da altimetria que aumenta a turbulência do ar, aumentando a frequência das chuvas, por isso durante todo o ano, chove em Petrópolis.

Por conseguinte, as características das encostas, o relevo e o regime de águas de superfície são fatores que contribuem para a ocorrência dos movimentos de massa em Petrópolis. Bem como as características do uso e ocupação do solo que apresentam alta incidência de ocupação desordenada e ilegal em áreas instáveis (margens de rios e encostas) devido à ausência de fiscalização.

Procedimentos operacionais: Geoprocessamento

A composição dos Geossistemas foi desenvolvida através da criação de um banco de dados cartográfico, com a função de espacializar as unidades da paisagem, por meio do somatório de representações georreferenciadas com informações inerentes às unidades do meio físico-naturais (Geossistemas), como: os domínios morfoestruturais, relevo, solo, zonas climáticas e formações fitogeográficas. Adotou-se uma escala regional de análise de métrica 1:100.000 considerando o nível de detalhe em que foram geradas as cinco informações cartográficas utilizadas, integrando camadas dos componentes físico-naturais da paisagem. A base de dados, foi obtida em arquivos digitais no formato *Shapefile* (.shp) e processada no *software* ArcGIS 10.8. O fluxograma da figura 3 apresenta as etapas metodológicas da pesquisa.

Para delimitar os Geossistemas, estruturou-se os aspectos da morfoestrutura e formas de relevo. Os dados referentes aos Domínios Morfoestruturais foram obtidos através do mapa geológico, disponibilizado pelo Departamento de Recursos Minerais - DRM (2015). Para melhor caracterizar as unidades de relevo, elaborou-se a partir da interpolação das curvas de nível, rede de drenagem e pontos cotados da base contínua do estado do Rio de Janeiro (IBGE, 2017) um modelo digital de terreno (MDT). Dessa forma, os dados morfométricos foram obtidos por meio do MDT, que permitiu a elaboração do Mapa Hipsométrico e o Mapa de Classes de Declividades.

Figura 3 – Fluxograma metodológico para a delimitação de Geossistemas



O Mapa de Declividade é importante pois ao ser analisado em conjunto com o planejamento do uso e ocupação das terras, além de ser um documento cartográfico, junto a outros mapas, auxilia na identificação de áreas suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa e inundações.

Posteriormente foram utilizados os aspectos climáticos como precipitação e temperatura. Os dados do relevo foram obtidos por meio da adaptação do mapa geomorfológico disponibilizado pelo Instituto Estadual do Ambiente, (INEA, 2010). Outros dados obtidos através do INEA (2010) foram: o mapa de médias anuais de temperatura, o mapa de médias anuais de precipitação e o mapa de cobertura vegetal natural. O mapa pedológico foi obtido no portal da Embrapa Solos, e foi produzido por Embrapa (2015). Todos os mapas foram obtidos em formato *shapefile*. Reitera-se que a escala do mapa pedológico, elaborado pela Embrapa (2015) na escala 1:250.000 fez com que a delimitação dos Geossistemas adotasse a associação de solos, para que o produto síntese fosse na escala 1:100.000.

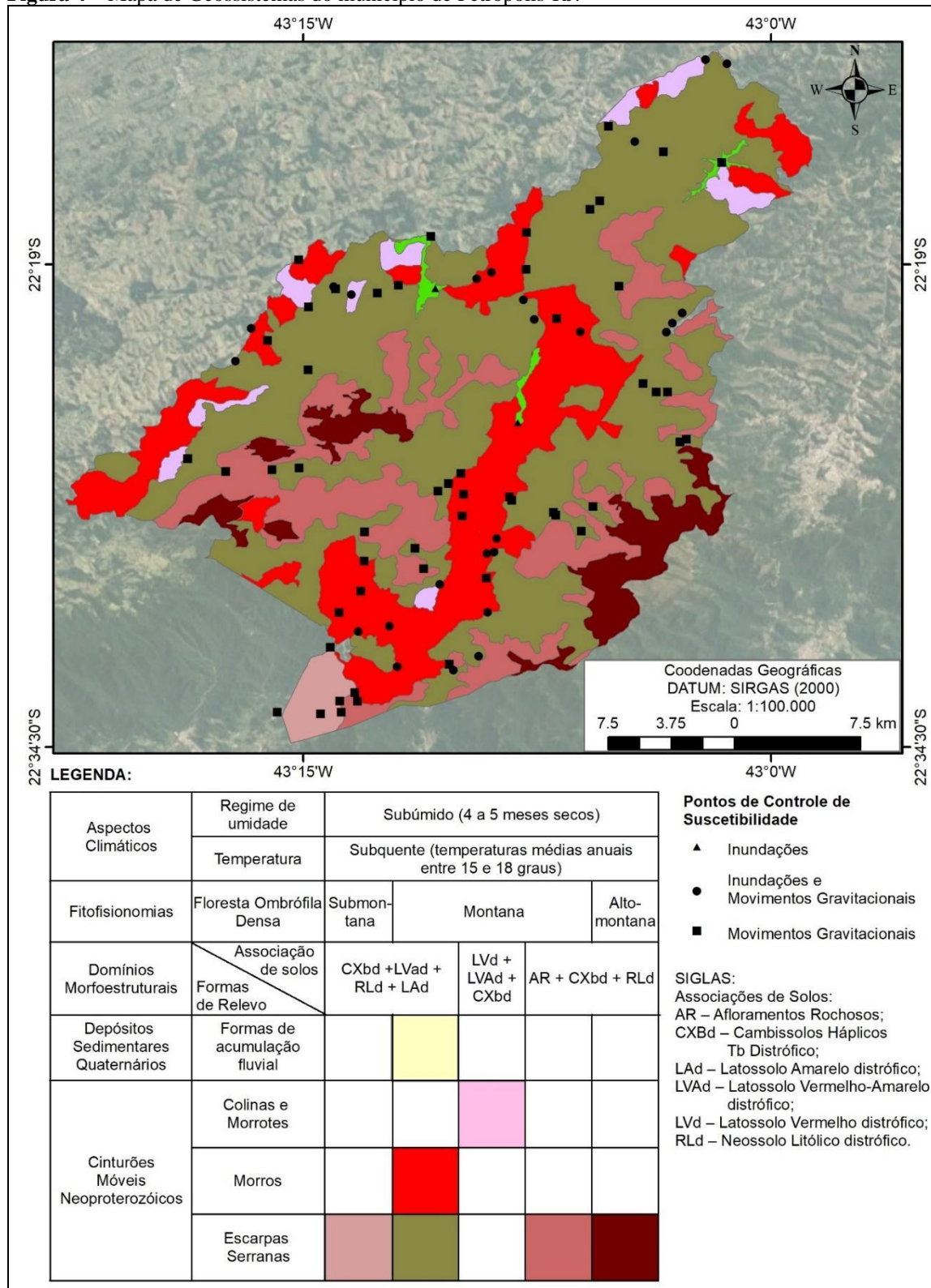
Em resumo, os procedimentos realizados foi a importação dos dados do meio físico para composição das camadas - *layers* - e organização das sobreposições. Após, realizou-se uma mesclagem dos arquivos utilizando a Tabela de Atributos através do comando *Merge*, e em seguida, definiu-se manualmente em cada célula as siglas dos Geossistemas a serem gerados e suas localizações.

Para Sochava (1975), a utilização de legendas capazes de evidenciar as ligações sistêmicas entre os componentes é um exemplo de melhoria a ser feita ao produzir mapas de Geossistemas. Por isso este trabalho utilizou-se da matriz de Sochava (1977) considerando sua diversidade de sistemas e subsistemas. Essa representação é observada nos trabalhos de Bastian, Grunewald e Khoroshev (2015), Burkhard, De Grppt e Costanza (2012), Amorim (2016), Amorim, Reis e Ferreira (2017). Por fim, com a obtenção dos Geossistemas, gerou-se um único arquivo (*shapefile*) contendo as composições geográficas e as informações de legenda das unidades de paisagem da área de estudo.

Resultados e Discussões

Os Geossistemas do município de Petrópolis foram delimitados com base nas interações complexas existentes entre os aspectos geomorfológicos que compõem a paisagem, como a geologia, por meio dos domínios morfoestruturais, o tipo climático, os processos pedogenéticos, especializados a partir das associações de solos e a cobertura vegetal (Figura 4). Foram delimitados sete (7) Geossistemas, e optou-se por agrupar as discussões dos diferentes Geossistemas a partir dos domínios morfoestruturais que são: Cinturões Móveis Neoproterozóicos e os Depósitos Sedimentares Quaternários, associando-os às feições de relevo predominantes.

Figura 4 – Mapa de Geossistemas do município de Petrópolis-RJ.



Fonte: Geossistema - Elaboração dos autores; Pontos de controle de suscetibilidade: CPRM (2021).

A Tabela 1 apresenta a nomenclatura, área e percentual dos Geossistemas no município de Petrópolis.

Tabela 1 – Nomenclatura, área e percentual em relação a área total dos Geossistemas no município de Petrópolis.

Nomenclatura	Area (em km ²)	% (em relação a área total)
Escarpas Serranas esculpidos no clima tropical semiúmido e subquente coberto por Floresta Ombrófila Densa Submontana associada aos Cambissolos e Latossolos	13.513	1.709
Escarpas Serranas esculpidos no clima tropical semiúmido e subquente coberto por Floresta Ombrófila Densa Montana associada aos Afloramentos Rochosos, Cambissolos e Neossolos Litólicos	129.566	16.39
Escarpas Serranas esculpidos no clima tropical semiúmido e subquente coberto por Floresta Ombrófila Densa Montana associada aos Cambissolos, Neossolos e Latossolos	390.06	49.342
Escarpas Serranas esculpidos no clima tropical semiúmido e subquente coberto por Floresta Ombrófila Densa Alto Montana associada aos Afloramentos Rochosos, Cambissolos e Neossolos Litólicos	52.887	6.69
Morros esculpidos no clima tropical semiúmido e subquente coberto por Floresta Ombrófila Densa Montana associada aos Cambissolos, Neossolos e Latossolos	174,401	22,061
Colinas esculpidas no clima tropical semiúmido subquente coberto por Floresta Ombrófila Densa Montana associada aos Latossolos e Cambissolos	23.974	3.033
Formas de acumulação fluvial em vales encaixados no clima tropical semiúmido subquente coberto por Floresta Ombrófila Densa Montana associada aos Cambissolos e Latossolos.	6.122	0.774

Fonte: Autores (2021)

Silva e Cunha (2001) diz que os Cinturões Móveis Neoproterozóicos representam uma das mais significativas feições geotectônicas da fachada atlântica brasileira. São compostos por diversas faixas de dobramento, que podem ser identificadas em todo o estado do Rio de Janeiro. Esses cinturões constituem-se em um conjunto diverso de rochas graníticas e gnáissicas, submetidas a diversos eventos orogenéticos ao longo do Pré-Cambriano. Após um longo período de estabilidade tectônica no Paleozóico e início do Mesozóico, esses terrenos sofreram uma tectônica extensional associada à reativação Wealdeniana a partir do Jurássico (ALMEIDA, 1967). Essa tectônica extensional prolongou-se pelo Terciário, gerando uma série de falhamentos normais, que produziram os maciços costeiros e as escarpas serranas, tais como as serras do Mar e da Mantiqueira (ALMEIDA, 1967).

Os Cinturões Móveis Neoproterozóicos foram formados durante a II e III etapa de convergência do ciclo tectônico Brasileiro. Nesse período, os processos tectônicos foram responsáveis pela formação de cinturões orogênicos, incidência de magmatismo, processos de metamorfismo e deformação sob regime compressivo, processos responsáveis pela formação da litologia da área em estudo, e que apresentam forte controle estrutural, responsáveis pela esculturação do modelado, formado predominantemente por processos de dissecação (SILVA; CUNHA, 2001; HASSUI, 2013).

O Episódio Orogênico Brasileiro II/Magmatismo Pré- a Sincolisional que ocorreu entre 630-600 Ma, e na literatura geológica demarca o orógeno Rio Negro, apresenta formações rochosas de origem pré-tectônica, feições que vem antes do período tectônico principal, e de origem sintectônica. Nesse período formou-se o Complexo Rio Negro (SILVA; CUNHA, 2001) que foi compartimentado na escala 1:50.000 por DRM (1978) em duas unidades: a primeira, a Unidade Bigen, formada por rochas metamórficas, predominantemente gnaisses graníticos e raros restos de migmatitos básicos; e a segunda a Unidade Maria Comprida, formada por migmatitos heterogêneos; e a ocorrência de rochas intrusivas que formam o Batólito Serra dos Órgãos, formados por granitos a granodioritos gnáissicos.

Os processos do Episódio Orogênico Brasileiro III / Magmatismo Pré- a Sincolisional se deram entre 580-480Ma. Esse período marca a formação do orógeno Araçuá. Corresponde no mapeamento elaborado por Silva e Cunha (2001) à Suite Angelim, denominada por DRM-RJ (1978) como Unidade Santo Eduardo, formada por rochas metamórficas, do tipo gnaiss listrados-lenticulares, e a Unidade Santo Aleixo (DRM-RJ, 1978) que integra a Suite Serra dos Órgãos, conforme Silva e Cunha (2001). Essa unidade é formada por migmatitos.

Na área também encontram-se os Granitóides Pós-tectônicos Cambrianos, que são produtos finais da granitogênese brasileira, e tais intrusões estão presentes no município de Petrópolis com a denominação de Granito Andorinha e Rochas Graníticas, conforme na Figura 4 (DRM-RJ, 1978).

No contexto tectônico-regional, os Cinturões Móveis Neoproterozóicos abarcam toda a extensão da região geomorfológica da Serra do Mar, e esse domínio morfoestrutural sofreu modificações com a ativação Mesozóica que ocorreu em duas etapas: a primeira no Cretáceo e a segunda no Paleógeno, conforme Gontijo-Pascutti *et al* (2012).

A Serra do Mar é uma zona orográfica caracterizada por escarpas festonadas com aproximadamente 1.000 quilômetros de extensão. Seu principal recorte deformacional vai

desde o estado de Santa Catarina até o Rio de Janeiro. No estado do Rio de Janeiro destacam-se blocos de falhas inclinados com vertentes abruptas voltadas para a Baixada Fluminense (ALMEIDA; CARNEIRO, 1998), também encontrados na Serra da Estrela onde está localizada a cidade de Petrópolis.

Para Gontijo-Pascutti *et al* (2013) é reconhecido que origem da Serra do Mar ocorreu em duas etapas:

- A primeira, durante o Cretáceo Inferior, está relacionada à separação América do Sul-África, que gerou um soerguimento regional que evoluiu para riftes que levaram à formação de margens passivas e abertura do Atlântico Sul. O rifteamento e a formação da margem passiva envolveram falhas normais lítricas, mergulhando para o lado sudeste (ASMUS; FERRARI, 1978; HASUI *et al*, 1978a, b *apud* GONTIJO-PASCUTTI *et al*, 2013). O soerguimento e os falhamentos formaram uma Serra do Mar ancestral. Um marco importante na evolução regional é a superfície de aplainamento Sul-Americana (KING, 1956 *apud* GONTIJO-PASCUTTI *et al*, 2013), que indica um período de estabilidade tectônica. Ela foi esculpida do Cretáceo ao início do Paleógeno, apresentando altitudes em torno de 1.100m nas regiões Sudeste e Sul e fragmentos desnivelados que alcançam mais de 2.000 m nas partes altas da Serra do Mar;
- A segunda etapa coincidiu com o Paleógeno, quando se desencadeou um novo soerguimento que se estendeu da região costeira do Paraná até o Espírito Santo. O relevo, que desde então configura a Serra do Mar, vem sendo esculpido por processos superficiais e por tectonismo transcorrente intraplaca. Acredita-se que dois pulsos de soerguimento ocorreram entre 85-65 Ma e outro pós-60 Ma com clímax no Eoceno-Oligoceno, há cerca de 34 Ma, e teria dado origem à Serra do Mar atual.

A sua deformação se define em grande parte pelo soerguimento estrutural muito abrupto, através de uma sequência de processos evolutivos que se definem dentro do Pré-Cambriano. Com a ruptura dos alinhamentos continentais, tem-se a formação da estrutura serrana definida como Serra do Mar (ALMEIDA; CARNEIRO, 1998). Entende-se que são estruturas muito antigas que no período Mesozóico tomaram uma energia de alinhamento na forma semelhante ao tempo atual.

Ao longo de toda a sua extensão, a Serra do Mar vai ganhando denominações locais, e na área do município de Petrópolis, é chamada de Serra dos Órgãos, estando localizada na borda norte do semigráben do Guanabara (ALMEIDA; CARNEIRO, 1998). Para Delhal *et al* (1969), a Serra dos Órgãos é constituída por gnaisses migmatíticos e granitoides

Neoproterozóicos e por rochas de composição granítica a tonalítica com textura migmatítica e estrutura granoblástica orientada. É um bloco de batólito granítico (bloco de falha) de aproximadamente 100 km de extensão e com predomínio de rochas graníticas e ortognáissicas sintectônicas do Pré-Cambriano Superior, intrudidas por granitos pós-tectônicos eopaleozóicos (ALMEIDA; CARNEIRO, 1998).

O gráben da Guanabara formou-se de acordo com Almeida e Carneiro (1998) no Paleoceno, no interior do Planalto Atlântico, após 50 milhões de anos as escarpas passaram por processo erosivo se desfazendo em morros e serras, assim como é possível observar na região do Rio de Janeiro e na sua Região Serrana.

Em algumas áreas de Petrópolis percebe-se materiais rochosos aflorando com presença de alinhamentos de fissuras/quebras o que define o tempo de evolução do processo assim como o tempo de alteração estrutural desse material, constatando que sofreu alternâncias abruptas. Em função disso, há registros na superfície, zonas de fraqueza que definem o ritmo de evolução dessas estruturas.

Nessas fissuras a água percorre, abrindo níveis de fragilidades, afetando a hidrólise. Logo, o mecanismo de evolução inicia-se com os processos de intemperismo químico e físico, que por fim, resultam na erosão. É importante mencionar, que em climas quentes e úmidos o processo mecânico (dilatação e contração) resulta na quebra das estruturas que leva ao movimento gravitacional por deslocamento (material se desprende e cai). Por conseguinte, a vertente, com o movimento de deslocamento, tem o seu perfil drasticamente modificado, alterando a declividade e a forma.

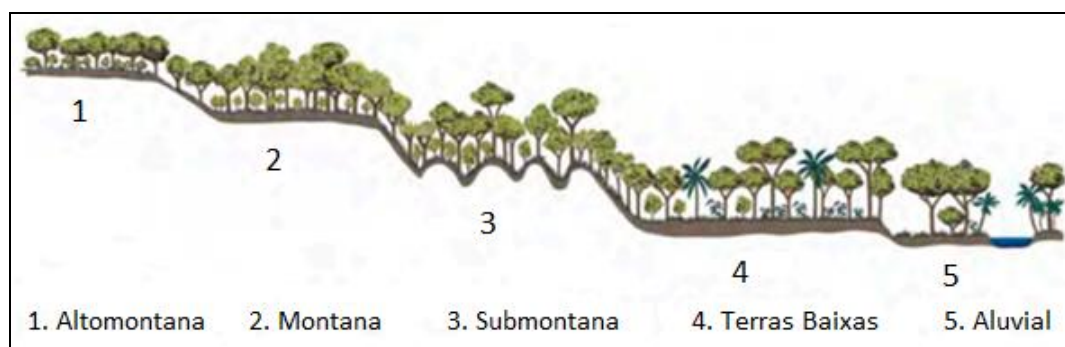
Predomina no município de Petrópolis as formas de relevo esculpidas pelo processo de dissecação. Dessas, cerca de 75% são formadas pelo compartimento das Escarpas Serranas que no município de Petrópolis se diferenciam em Serras escarpadas, com cerca de 50% da área em estudo e 25% correspondem a Serras isoladas e locais. As Serras escarpadas são caracterizadas por conjunto diversificado de alinhamentos serranos e degraus de borda de planalto com configurações morfológicas distintas, com altitudes superiores a 1.400 m e com desnível altimétrico entre o topo e a base superiores a 400 metros.

Já as Serras isoladas e locais se diferenciam das Serras escarpadas por apresentarem altitudes inferiores a 1.400 m e desnível altimétrico entre o topo e a base variando entre 200 e 400 metros. O relevo movimentado direciona os fluxos de água para os fundos de vale. Na escala de representação das Unidades Geológicas e as formas predominantes do relevo, a representação das formações sedimentares denominadas de Depósitos Sedimentares

Quaternários está restrita aos trechos em que os fundos de vale são mais encaixados e mais largos, localizados entre os morros e/ou na zona de contato entre os morros e as Serras isoladas e locais.

No compartimento das Escarpas Serranas diferenciou-se quatro (04) Geossistemas, diferenciados pela associação de solos e a diferenciação das fitofisionomias do domínio de Mata Atlântica. Essa formação florestal se diferencia conforme a variação de umidade e a altitude. No município de Petrópolis, a fitofisionomia é composta pela Floresta Ombrófila Densa, constituída por: espécies arbóreas com a folhagem perenifólia (sempre verde) com dossel de até 15 m; por árvores emergentes de até 40 m de altura; e por uma densa vegetação arbustiva composta de samambaias arborescentes, trepadeiras, bromélias, orquídeas e palmeiras (DNIT, 2009). Essa formação florestal foi subdividida pelo RADAM (BRASIL, 1983) de acordo com a distribuição por altitude, conforme o perfil esquemático da Figura 5: altomontana, montana, submontana, terras baixas e aluvial.

Figura 5 – Formação florestal da Mata Atlântica por altitude



Fonte: IBGE (2012).

Das possibilidades apontadas na Figura 6 são reconhecidas, na área de estudo, as Florestas Submontana, Montana e Alto Montana, com características gerais apresentadas no Quadro 1. Além da vegetação arbórea típica da Floresta Ombrófila Densa, são encontrados, acima dos 1.500m, os denominados complexos rupestres de altitude sobre rocha ígnea (BENITES *et al.* 2003), mais recorrentemente chamados de campos de altitude (FERRI, 1980) e, anteriormente, chamados de campos altimontanos por Rizzini (1979) ao fazer referência às vegetações sobre rochas ígneas ou metamórficas das Serras da Mantiqueira e do Mar. Os complexos rupestres se desenvolvem em áreas com Afloramentos Rochosos e/ou Neossolos Litólicos.

Quadro 1 – Subdivisão da Floresta Ombrófila Densa

	Subtipo	Altitude (m)	Características da vegetação
Subdivisão da Floresta Ombrófila Densa	Submontana	de 50 a 500	Estrutura fanerofítica, com ocorrência de caméfitas, epífitas e lianas, estrato superior entre 25-30 metros.
	Montana	500 a 1500	Um estrato dominante com altura até 25 metros, formado por macro, meso e nanofanerófitas, com grande quantidade de epífitas e lianas.
	Alto-Montana	Acima 1500	Composta de nano e microfanerófitas de alturas entre 5 a 10 metros.

Fonte: IBGE (2008).

De acordo com o IBGE (2008), os campos de altitude estão situados nos ambientes montano e alto-montano sendo definidos como vegetação com estrutura herbácea ou herbácea/arbustiva, caracterizada por comunidades florísticas próprias, que ocorre sob clima tropical, subtropical ou temperado, geralmente nas serras de altitudes elevadas, nos planaltos e nos Refúgios Vegetacionais.

Nos 75% correspondentes as Escarpas Serranas na área de estudo, predomina os Geossistemas situados em áreas de Florestas Ombrófila Densa Montana (65%). Nas zonas de topos, está o Geossistema relacionado a Floresta Ombrófila Densa Alto Montana ocupando cerca de 6,7% e o Geossistema associado a Floresta Ombrófila Densa Submontana, por onde iniciaremos as discussões, corresponde a apenas 1.709% da área.

O Geossistema **Escarpas Serranas esculpido no clima tropical semiúmido e subquente coberto por Floresta Ombrófila Densa Submontana associada aos Cambissolos e Latossolos** situa-se a extremo sudoeste do município. Esse Geossistema está relacionado a área transicional entre o sopé da Serra e as zonas de topo, dessa forma, as altitudes variam entre 100 e 900 m em relação ao nível do mar. A BR-040, rodovia que interliga a capital do estado ao município de Petrópolis, em seu trecho sinuoso corta esse Geossistema. O desnível altimétrico entre o limite Duque de Caixas-Petrópolis e as zonas mais altas desse Geossistema é de 800 m. Esse desnível não é contínuo, é intercalado por pequenos patamares, formados por rupturas no declive, o que permitiu a gênese de solos mais desenvolvidos, bem drenados e com horizontes bem evoluídos - os Latossolos. Nesse Geossistema predominam solos rasos com horizonte B incipiente, em estágio inicial de evolução (Cambissolos), resultantes das altas declividades responsáveis pela baixa estabilidade do material pedogenizado, que é erodido. A floresta submontana está situada nessa área de vertentes e as espécies se diferenciam a medida que aumenta a altitude: no sopé da vertente ocorre uma transição com as espécies da Floresta Ombrófila Densa de Terras

Baixas e nas porções mais altas com as espécies da Floresta Ombrófila Densa de Montana. As características das fitofisionomias da Floresta Ombrófila Densa estão no Quadro 1.

Dos 13.513 km² da área desse Geossistema, 100% apresenta suscetibilidade aos movimentos de massa. Analisando o grau de suscetibilidade por área do Geossistema, verificou-se que 49% apresenta alta suscetibilidade, 46% média suscetibilidade e 5% apresenta baixa suscetibilidade. A baixa suscetibilidade corresponde às manchas de Latossolos presentes no Geossistema, que diminuiu a suscetibilidade por conta da sua boa drenagem, maior profundidade e baixa plasticidade do material. A Figura 4 apresenta imagens dos cinco pontos amostrais adotados pela CPRM no mapeamento de riscos do município de Petrópolis. Destaca-se nas imagens A, B e E da Figura 6 as cicatrizes (marcas na paisagem) de eventos de movimentos gravitacionais de massa anteriores.

Nas porções das Escarpas Serranas em que se desenvolve a Floresta Ombrófila Densa Montana, o que diferencia os dois Geossistemas delimitados são as associações de solos, que modificam a forma que as diferentes matérias (água, sedimentos e nutrientes) circulam nos sistemas.

Figura 6 – Pontos suscetíveis a movimentos gravitacionais no Geossistema Escarpas Serranas esculpido no clima tropical semiúmido e subquente coberto por Floresta Ombrófila Densa Submontana associada aos Cambissolos e Latossolos.



Legenda: A - BR-040, próxima a divisa Duque de Caxias e Petrópolis; B - Belvedere Mirante Voo Livre / BR-040; C - BR-040 (Ponto da Loura) ; D - Mirante do Cristo e E - Alto Bairro Independência.
Fonte: CPRM (2021)

O Geossistema **Escarpas Serranas esculpidos no clima tropical semiúmido e subquente coberto por Floresta Ombrófila Densa Montana associada aos Cambissolos, Neossolos e Latossolos** corresponde a cerca de 50% da área em estudo. Esse Geossistema funciona como uma área transitória entre os Geossistemas situados nas zonas de topo e os situados nas zonas de morros e colinas e morrotes. Abarcam áreas cobertas florestas, áreas urbanas e áreas rurais. Morfologicamente, é formado por um relevo bastante movimentado, com alto grau de dissecação e forte controle estrutural, relacionado ao entalhamento de vales bastante encaixados e associação de padrão de drenagem treliça para as áreas falhadas e padrão de drenagem dendríticas. As altitudes variam entre 600 m (zonas de contatos com morros e colinas) a 1.400 metros (limite com as zonas de topo). Nas áreas com rupturas de declive, a boa drenagem da água permite a formação de pequenos trechos de Latossolos, e na maior parte da área desse Geossistema predominam os Cambissolos e Neossolos cobertos pela Floresta Ombrófila Densa Montana (Figura 7).

Figura 7 – Pontos suscetíveis a movimentos gravitacionais no Geossistema Escarpas Serranas esculpidos no clima tropical semiúmido e subquente coberto por Floresta Ombrófila Densa Montana associada a Cambissolos e Latossolos



Legenda: A - Fazenda Santa Teresa, curso superior do rio Pequeno; B - Rodovia RJ-123, a oeste da Vila Secretário; C - Distrito de Posse; D - BR 040 - próxima a Vila Rica; E - Divisa intermunicipal (São José do Vale Do Rio Preto e Petrópolis) Rio Bonito; F - Alto curso da bacia hidrográfica do rio Palatinado; G - Córrego Ponte Funda; H - Estrada do Cantagalo; e I - Mirante do km 15.

Fonte: CPRM (2021)

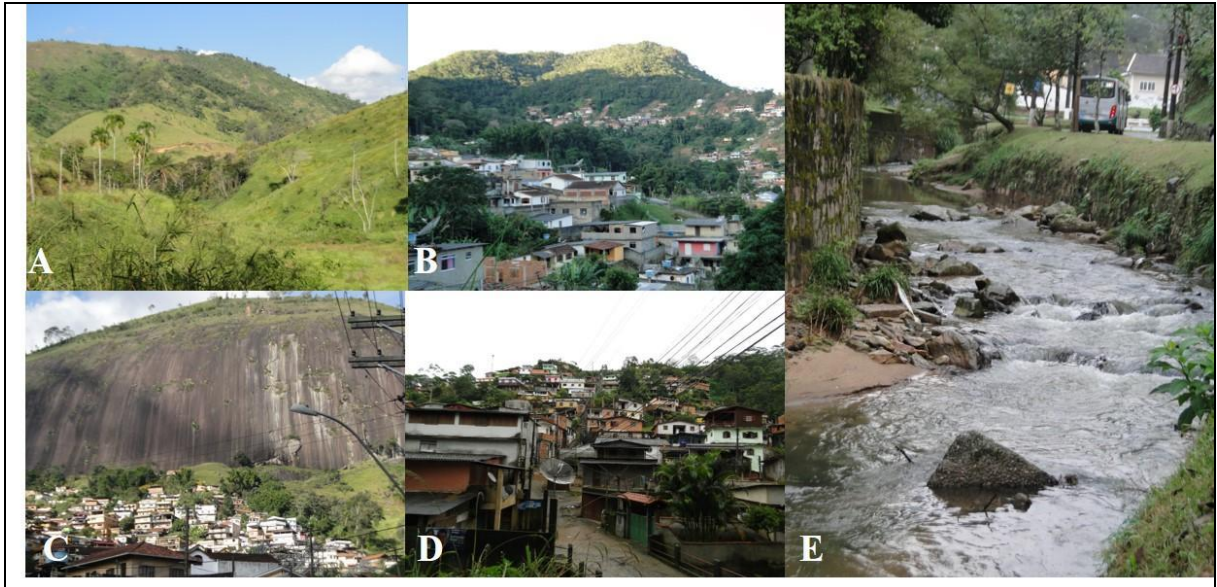
Na Figura 5 observa-se a substituição da Floresta Ombrófila Densa Montana por pastagens na Fazenda Santa Tereza (A) e área às margens Rodovia RJ-123, a oeste da Vila Secretário (B). Nesse Geossistema a ocupação urbana é destacada no distrito de Posse (C), bem como a intercalação entre encosta coberta por vegetação, só que ocupada na base como ocorre próximo à Vila Rica (D). Já na área de Rio Bonito, nas proximidades do limite municipal entre São José do Vale do Rio Preto e Petrópolis (E) a encosta apresenta ocupação espontânea. É comum nas porções mais altas, por conta da contemplação da paisagem a ocupação por residências de alto padrão como ocorre no alto curso da bacia hidrográfica do rio Palatinado (F). Também observa-se a preservação parcial da cobertura vegetal natural no entorno do Córrego Ponte Funda (G), na Estrada de Cantagalo (H) e no mirante do km 15 (I).

Todos os pontos apresentam suscetibilidade à movimentos gravitacionais variando de muito alto a médio. Destaca-se a presença de cicatrizes de movimentos de massa nas fotos C, E e F da Figura 7.

O que diferencia o Geossistema **Escarpas Serranas esculpidos no clima tropical semiúmido e subquente coberto por Floresta Ombrófila Densa Montana associada aos Cambissolos, Neossolos e Latossolos** do Geossistema **Morros esculpidos no clima tropical semiúmido e subquente coberto por Floresta Ombrófila Densa Montana associada a Cambissolos, Neossolos e Latossolos** é que, nesse último, o desnível altimétrico entre a base e o topo dos morros não superam 200 m de altura, além da fisiografia da paisagem, no qual observa-se um conjunto de morros individualizados pelos processos de entalhamento fluvial e a presença de encostas com declividade superiores a 20%. Esse Geossistema é ocupado predominantemente por áreas urbanas do distrito sede, e pequenos trechos com ocupação rural intercalada por cobertura vegetal natural preservada. Também apresenta áreas de alta e média suscetibilidade aos movimentos gravitacionais conforme a Figura 8. Com exceção da foto E, é possível identificar cicatrizes de movimentos gravitacionais na paisagem em todas as fotos, da Figura 8.

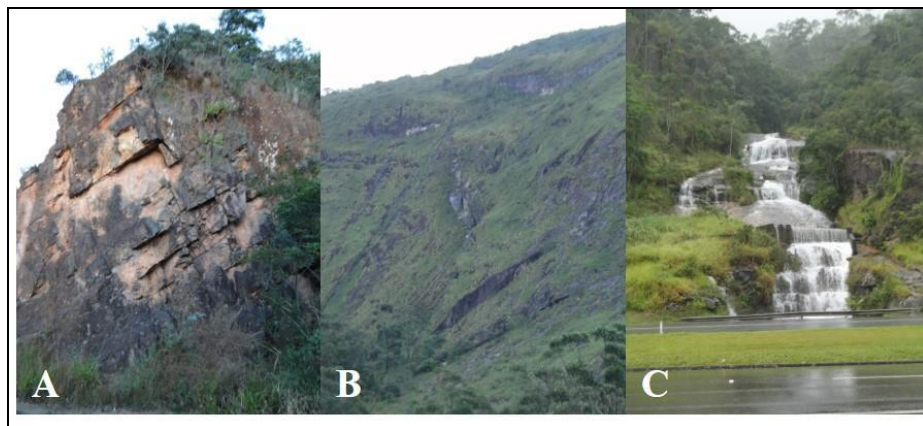
Os Geossistemas **Escarpas Serranas esculpidos no clima tropical semiúmido e subquente coberto por Floresta Ombrófila Densa Montana associada aos Afloramentos Rochosos, Cambissolos e Neossolos Litólicos** e **Escarpas Serranas esculpidos no clima tropical semiúmido e subquente coberto por Floresta Ombrófila Densa Alto Montana associada aos Afloramentos Rochosos, Cambissolos e Neossolos Litólicos** diferenciam-se por sua hipsometria, que faz com que as características de fitofisionomias sejam distintas. Assim, o primeiro apresenta espécies típicas de floresta montana (altitudes inferiores a 1.400 m), enquanto o segundo de florestas alto montana (altitudes superiores 1.400m, chegando em alguns topos a atingir 2.200 m de altitude). Em ambos os Geossistemas a presença de Afloramentos Rochosos e solos pouco desenvolvidos como os Neossolos Litólicos e Cambissolos Háplicos explica a baixa capacidade de infiltração da água, potencializando o escoamento. Essas áreas são pouco habitadas por conta das limitações da topografia, que apresentam predominantemente declividades superiores a 30%, e em alguns trechos apresentam escarpas retilíneas. Os topos aguçados são divisores de águas das sub-bacias do rio Paquequer que drenam o município de Petrópolis. Também apresentam áreas suscetíveis aos movimentos gravitacionais de massa, só que não atingem diretamente áreas urbanas, e no caso de sua deflagração não afetam diretamente a população do município (Figura 9).

Figura 8 – Pontos suscetíveis a movimentos gravitacionais no Geossistema Morros nas escarpas no clima tropical semiúmido e subquente coberto por Floresta Ombrófila Densa Montana associada a Cambissolos, Neossolos e Latossolos



Legenda: A - km 4 da rodovia RJ-123, partindo da BR-040; B - Vale do Carangola; C – Bairro Cascatinha; D - Bairro Mosela; e E - Área urbana de Petrópolis, próxima ao Bairro Bingen.

Figura 9 – Áreas pouco ocupadas dos Geossistemas Escarpas Serranas esculpidos no clima tropical semiúmido e subquente coberto por Floresta Ombrófila Densa Montana associada aos Afloramentos Rochosos, Cambissolos e Neossolos Litólicos e Escarpas Serranas esculpidos no clima tropical semi-úmido e subquente coberto por Floresta Ombrófila Densa Alto Montana associada aos Afloramentos Rochosos, Cambissolos e Neossolos Litólicos.



Legenda: A – Escarpas no entorno do córrego Ponte Funda; B - Bairro Retiro / final rua Henrique Ramos; e C - km 72 - Rodovia BR-040.

Fonte: CPRM (2021).

O Geossistema **Colinas e Morrotes esculpidos no clima tropical semiúmido subquente coberto por Floresta Ombrófila Densa Montana associada a Latossolos e Cambissolos**, dentre os encontrados na área dos Cinturões Neoproterozóicos são os que apresentam menor amplitude altimétrica (diferença inferior a 100 m entre o topo e o sopé da encosta), bem como declividades inferiores a 12% o que permite o desenvolvimento de solos bem drenados e profundos, como os Latossolos e Cambissolos em estágio avançado de evolução. Esse Geossistema apresenta baixa suscetibilidade aos movimentos gravitacionais e estão situados em áreas rurais a noroeste e nordeste do município.

Por fim, o Geossistema de menor extensão territorial do município de Petrópolis, **Formas de acumulação fluvial em vales encaixados no clima tropical semiúmido subquente coberto por Floresta Ombrófila Densa Montana associada aos Cambissolos e Latossolos**, situa-se nos vales encaixados formando as planícies do rio do Carvão, rio Bonito e córrego do Capim Roxo. Esses vales foram preenchidos por aluviões e colúvios, definidos no mapeamento geológico da DRM (2015) como formações quaternárias de origem predominantemente fluviais. Esses Geossistemas são suscetíveis a inundações e também são atingidos por materiais transportados por movimentos gravitacionais das encostas do entorno.

A planície de inundação do rio do Carvão é ocupada por um centro comercial e composta por uma zona residencial do distrito de Itaipava. Na planície do rio Bonito localiza-se a Vila Brejal e a planície do córrego Capim Roxo é ocupada pela sede do distrito de Maria Comprida. Ou seja, são três áreas de risco em que a população residente e os serviços instalados estão expostos às inundações e aos movimentos gravitacionais de massa.

Considerações Finais

O mapeamento dos Geossistemas é uma metodologia eficaz que possibilita a compreensão da dinâmica e dos processos naturais que representam o risco de movimentos gravitacionais. Verificou-se que os sete Geossistemas do município de Petrópolis apresentam suscetibilidade aos movimentos gravitacionais de massa. Os Geossistemas associados ao relevo movimentado, formado por encostas íngremes, solos rasos e cobertura vegetal florestal podem deflagrar movimentos gravitacionais de massa nas zonas de topo e média encosta, e os materiais mobilizados acumulam-se na base das encostas ou nos fundos de vale, formando depósitos coluviais.

O estudo de riscos ambientais como os movimentos gravitacionais de massa, inundações, dentre outros, realizado a partir de uma perspectiva sistêmica analisa as relações entre elementos que constituem este sistema aberto e as alterações nos fluxos de matéria e energia. Incluindo ainda, as alterações que ocorrem nos mecanismos de armazenagem e regulação da entrada e saída de água, nutrientes, sedimentos e materiais de origem antrópica como lixo, esgoto, restos de materiais de construção dentre outros.

A mobilidade de matéria e energia (água, sedimentos e rochas) nos sete Geossistemas é potencializada durante os eventos de precipitação extrema ou em períodos longos de chuvas, fazendo com que o material superficial esteja saturado em água, rompendo sua estabilidade e deflagrando movimentos gravitacionais de massa nas encostas e inundações nos fundos de vale.

Em Petrópolis um fator agravante aos processos gravitacionais está relacionado a ocupação secular de suas encostas, fazendo com que cortes de talude e de aterro mudem a energia de dissipação da água que circula entre os diferentes Geossistemas. A retirada da vegetação que recobre os solos pouco profundos também acelera os processos gravitacionais

A substituição da cobertura vegetal natural por atividades agropastoris, em especial a pecuária bovina, potencializa o escoamento superficial, aumentando de forma rápida o volume dos afluentes que deságuam no rio principal. A compactação do solo decorrente do pisoteio do gado diminui a infiltração e aumenta o escoamento superficial. A retirada das matas ciliares, seja nas margens dos rios, seja na área das nascentes, diminui a proteção dos rios, que ficam mais vulneráveis ao assoreamento. Assim, tornam-se mais rasos, diminuindo o volume de águas capaz de ocasionar inundações, fenômeno que ocorre sempre associado aos movimentos gravitacionais de massa em Petrópolis.

O município de Petrópolis não tem sua área urbana concentrada. Em seus distritos existem centros comerciais, serviços públicos e áreas residenciais que na eminência do risco de movimentos gravitacionais expõe a população à perdas materiais e, muitas vezes, de vida. A infraestrutura pública que poderia dar suporte à população durante os episódios de movimentos gravitacionais e inundações também estão situadas nas áreas suscetíveis, o que dificulta o apoio e assistência à população em geral.

Existem na paisagem marcas de episódios anteriores de movimentos gravitacionais e inundações. Muitas dessas áreas ainda não reestabelecidas estão associadas ao desastre de 2011 que atingiu Petrópolis e outras cidades da região serrana do estado do Rio de Janeiro como Teresópolis, São José do Rio Pedro e Nova Friburgo.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP pelos processos de número 2018/09401-1 e 2019/24229-3.

REFERÊNCIAS

ALEKSANDROVA, T. D. e PREOBRAJENSKI, V.S. **Protección de los paisajes**. Dicionário comentado: Moscou: Editorial Progreso, 1982. 272p.

ALMEIDA, F. F. M.; CARNEIRO, C. D. R. Origem e evolução da Serra do Mar. **Revista Brasileira de Geociências**. n. 28, v.2, p. 135-150, jun./1998.

ALMEIDA, F.F.M. **Origem e evolução da plataforma brasileira**. Rio de Janeiro, DNPM/DGM, p. 1-36, 1967. (Boletim 241)

AMARAL, R.; RIBEIRO, R. R. Inundação e Enchentes. In: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. **Desastres Naturais: Conhecer para Prevenir**. Instituto Geológico do Estado de São Paulo. São Paulo, 2009.

AMORIM, R. R.; REIS, C. H.; FERREIRA, C. Mapeamento dos geossistemas e dos sistemas antrópicos como subsídio ao estudo de áreas com riscos a inundações no baixo curso da bacia hidrográfica do rio Muriaé (Rio de Janeiro – Brasil). **Territorium**, v. 24, p. 89 - 114. 2017.

ASSUMPÇÃO, R. S. F. V. **Petrópolis – um histórico de desastres sem solução? Do Plano Köeller ao Programa Cidades Resilientes**. 2015. 246p. (Doutorado em Saúde Pública), Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Rio de Janeiro, 2015.

BANCO MUNDIAL. **Avaliação de Perdas e Danos: Inundações e Deslizamentos na Região Serrana do Rio de Janeiro - janeiro de 2011**. Relatório elaborado pelo Banco Mundial com apoio do Governo do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2012.

BASTIAN, O.; GRUNEWALD, K.; KHOROSHEV, A. V. The significance of geosystem and landscape concepts for the assessment of ecosystem services: exemplified in a case study in Russia. **Landscape ecology**, v. 30, p. 1145 - 1164, 2015.

BENITES, V. de M.; CAIAFA, A. N.; MENDONÇA, E. S.; SCHAEFER, C. E.; KER, J. C. **Solos e vegetação nos complexos rupestres de altitude da Mantiqueira e do Espinhaço**. Floresta e Ambiente, v. 10, n.1, p.76-85. 2003.

BRASIL, Radam. **Levantamento dos recursos naturais–folhas SF 23/24, Rio de Janeiro/Vitória**. Rio de Janeiro: Mistério das Minas e Energia, v. 32, p. 780, 1983.

BURKHARD, B.; DE GROOT, R.; COSTANZA, R. Solutions for sustaining natural capital and ecosystem services. **Ecological Indicators**, v. 21, p. 1 - 6, 2012.

BUSCH, A.; AMORIM, S. A tragédia da região serrana do Rio de Janeiro em 2011: procurando respostas. **Escola Nacional de Administração Pública (ENAP)**, Casoteca de Gestão Pública, 2011.

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações - Rio de Janeiro**. Petrópolis. Disponível em : < <http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Prevencao-de-Desastres/Cartas-de-Suscetibilidade-a-Movimentos-Gravitacionais-de-Massa-e-Inundacoes---Rio-de-Janeiro-5082.html>> Acesso em : 12/09/2021

CUNHA, C. M. L. OLIVEIRA, R. C. (org). **Baixada Santista: uma contribuição à análise geoambiental**. São Paulo: EdUnesp. 2015.

DANTAS, M. E. **Geomorfologia do estado do Rio de Janeiro**. Brasília: CPRM, 2000.

DELHAL, J.; LEDENT, D.; CORDANI, U. Ages Pb/U, Sr/Rb et Ar/K de formations métamorphiques et granitiques du sud-est du Brésil (états de Rio de Janeiro et de Minas Gerais). **Annales Société Géologique de Belgique**, p. 271-283, 1969.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Vegetação Rodoviária**, v. 2 - Flora dos Ecossistemas Brasileiros - IPR 734. Rio de Janeiro, 2009.

EMBRAPA SOLOS. **Mapa de solos do estado do Rio de Janeiro. Folha Petrópolis. Escala: 1.250.000**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2015.

FERRI, M.G. **Vegetação brasileira**. Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1980.
GONTIJO-PASCUTTI, A. H. F.; HASSUI, Y.; SANTOS, M. S.; SOARES JÚNIOR, A. V.; SOUZA, I. A. As serras do mar e da Mantiqueira. In: HASUI, Y; CARNEIRO, C. D. R.; ALMEIDA, F. F. M.; BARTORELLI, A. (org.) **Geologia do Brasil**. São Paulo: Beca, 2012. 549-573p.

GUERRA, A. J. T.; GONÇALVEZ, L. F. H.; LOPES, P. B. M. Evolução histórico-geográfica da ocupação desordenada e movimentos de massa no município de Petrópolis, nas últimas décadas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 8, n. 1, p. 35-43, 2007.

HASSUI, Y. A compartimentação geológica do Brasil. In: HASUI, Y; CARNEIRO, C. D. R.; ALMEIDA, F. F. M.; BARTORELLI, A. (org.) **Geologia do Brasil**. São Paulo: Beca, 2012. 112-122p.

HIGHLAND, L. **The landslide handbook: a guide to understanding landslides**. Reston: US Geological Survey, 2008.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de Biomas do Brasil: Primeira aproximação**. Rio de Janeiro: IBGE, 2004.1 mapa, colorido. Escala 1:5.000.000. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Cartas_e_Mapas/Mapas_Murais/biomas_pdf.zip>. Acesso em: 15 out. 2014.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Nota explicativa do mapa da área de aplicação da Lei nº 11.428, de 2006:** Lei da Mata Atlântica. Rio de Janeiro, 2008. Atualização em agosto de 2012.

IBGE CIDADES. Petrópolis. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/v4/brasil/rj/pepolis/panorama>>. Acesso em: 20 jul. 2021.
IBGE. Base contínua do estado do Rio de Janeiro: escala 1:25.000. Disponível em: <http://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/bases_cartograficas_continuas/bc25/rj/versao2016/informacoes_tecnicas/nota-tecnica_bc25_rj_15dez16.pdf>. Acesso em: 31/08/2021.

INEA|. Instituto Estadual do Ambiente. **O estado do ambiente: indicadores ambientais do Rio de Janeiro.** Rio de Janeiro: SEA; INEA. 2010.

KELLER, E. A.; BLODGET, R. H. **Riesgos naturales: Procesos de la Tierra como riesgos, desastres y catástrofes.** Pearson Educación, S. A. Madrid, 2004.

MATEO, J. La ciencia del paisaje a la luz del paradigma ambiental. **Cadernos de Geografia.** Belo Horizonte, v. 8, n. 10, p. 63-68, 1998.

PENTEADO, M. M. **Fundamentos de Geomorfologia.** Rio de Janeiro: IBGE, 2 ed. 1978.

PINTO, R. C.; PASSOS, E.; CANEPARO, S. C. Considerações a Respeito dos Condicionantes Utilizados em Pesquisa Envolvendo Movimento de Massa. **Geoingá,** Maringá, v. 5, n.1, p. 102-124, 2013.

RAINER, M. S. **Desenvolvimento econômico do estado do Rio de Janeiro: Região Serrana.** 2013. 79 p. (Monografia) - Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2013.

RIZZINI, C.T. **Tratado de fitogeografia do Brasil: aspectos sociológicos e florísticos.** v. 2, São Paulo: Hucitec, 1979.

RODRIGUEZ, J. M. M., SILVA, E. V., CAVALCANTE, A. **Geocologia das Paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental.** 5. ed. Fortaleza: Edições UFC, 2017.

ROUGERIE, G. **La géographie des paysages.** C.N.R.S., Paris, 1969. 3544p.

SANTOS, W.; VIEIRA, B. C. Influência de fatores topográficos na distribuição de escorregamentos translacionais rasos na Serra do Mar, Cubatão (SP). In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA. 2009, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 2009.

SI2D. **Sistema Integrado de Informações sobre Desastres.** Disponível em: <<https://s2id.mi.gov.br/>> Acesso em: 12/09/2021.

SOCHAVA, V. B. Geography and Ecology. **Soviet Geography,** v. 12, n.5, p. 277-293, 1971

SOCHAVA, V. B. O Estudo de Geossistemas. **Métodos em questão,** 16. São Paulo: IG-USP, 1977.

SOCHAVA, V. B. Por uma teoria de classificação de Geossistemas de vida terrestre. **Biogeografia**. São Paulo: IG-USP, 1978.

SOCHAVA, V. B. Theoretical requisites for the mapping of the human habitat. **Soviet Geography**, v.16, n.2, p. 86-98, 1975.

TAMBOSI, L. R.; VIDAL, M. M.; FERRAZ, S. F. B.; METZGER, J. P. Funções eco-hidrológicas das florestas nativas e o Código Florestal. **Estudos avançados**, São Paulo, v. 29, n. 84, p. 151-162, 2015.