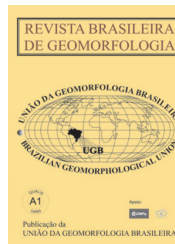


www.ugb.org.br
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 21, nº 3 (2020)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v21i3.1709>



SUSCETIBILIDADE AOS PROCESSOS DA DINÂMICA SUPERFICIAL NA RODOVIA ENTRE POÇOS DE CALDAS (MG) E ÁGUAS DA PRATA (SP)

SURFACE DYNAMICS SUSCEPTIBILITY IN POÇOS DE CALDAS (MG) AND ÁGUAS DA PRATA (SP) ROUTE

Leonardo Barbosa Silva

*Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal de Alfenas
Rod. José Aurélio Vilela, nº 11.999, Poços de Caldas, Minas Gerais. CEP: 37715-400. Brasil
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2464-8632>
E-mail: leonardo_b_silva@yahoo.com.br*

Diego de Souza Sardinha

*Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal de Alfenas
Rod. José Aurélio Vilela, nº 11.999, Poços de Caldas, Minas Gerais. CEP: 37715-400. Brasil
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5763-0535>
E-mail: diego.sardinha@unifal-mg.edu.br*

Rafael de Oliveira Tiezzi

*Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal de Alfenas
Rod. José Aurélio Vilela, nº 11.999, Poços de Caldas, Minas Gerais. CEP: 37715-400. Brasil
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8682-7807>
E-mail: rafael.tiezzi@unifal-mg.edu.br*

Paulo Henrique Bretanha Junker Menezes

*Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal de Alfenas
Rod. José Aurélio Vilela, nº 11.999, Poços de Caldas, Minas Gerais. CEP: 37715-400. Brasil
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4702-9869>
E-mail: paulo.menezes@unifal-mg.edu.br*

Informações sobre o Artigo

Recebido (Received):
28/10/2019

Aceito (Accepted):
29/05/2020

Palavras-chave:

Desastres Naturais; Caracterização Fisiográfica; Movimentos de Massa.

Keywords:

Natural Hazards; Physiographic Characterization; Mass Movements.

Resumo:

Os desastres naturais podem ter diferentes origens no ambiente, estando associados principalmente às características físicas do meio. Tais eventos impactam não apenas no meio ambiente, mas podem trazer danos à saúde e segurança da população, além de prejuízos financeiros e estruturais. O presente trabalho foi realizado em uma região de serra, sobre as rodovias BR-267 e SP-342, trecho que liga Poços de Caldas (MG) a Águas da Prata (SP), com o objetivo de analisar a suscetibilidade aos principais processos da dinâmica superficial. Para tal, foram levantadas informações da área de estudo para sua caracterização fisiográfica (clima, uso do solo, geologia, pedologia e relevo) através de ferramentas de geoprocessamento e observações em campo de 16 pontos representativos – 12 cortes de rodovia e 4 calhas de cursos d'água. Os processos com maior ocorrência foram às quedas de blocos (10 pontos), deslizamentos/escorregamentos (3 pontos)

e movimentos translacionais (3 pontos) e solifluxão lenta, que também foi observada. De maneira geral, o trecho da rodovia se mostrou crítico quanto à ocorrência de eventos ligados a movimentos de massa, indicando que seus usuários se encontram expostos a riscos. Como medidas intervencionistas recomendam-se sinalização dos trechos de maior perigo e instalação de estruturas de contenção (*guard-rail*). Como medidas de gestão e planejamento, recomenda-se considerar os fatores de risco (declividade, evidências de movimentos) na revisão/elaboração dos Planos Diretores, a fim de evitar que tais perigos afetem a população e o desenvolvimento de atividades a longo prazo.

Abstract:

Natural hazards may have different origins in the environment, specially related to its physical aspects. These events impact not only the environment, but also bring harm to population health and safety, as well as financial and structural damages. This work was done on a mountainous region, over the BR-267 and SP-342 highways, at the section that connects Poços de Caldas (MG) to Águas da Prata (SP), aiming the analysis of the main surface processes susceptibility. To do so, information about the study area was queried in order to characterize its physiography (climate, land use, geology, pedology and relief) with geoprocessing tools and 16 representative points observation (12 road cuts and 4 riverbeds). The processes with higher occurrence were rockslides (10), landslides (3) and translational movements (3), but slow solifluction was also observed. Overall, the section has proven to be highly critic in relation to mass movements events, indicating that its users are exposed to risks. As interventional measures, it is recommended to signalize the dangerous areas and to install containment structures (guard-rails). As for management and planning, it is recommended to consider the risk factors (slope, movements evidences) when making/reviewing the cities master plans, focusing on avoiding the impacts of these hazards over the population and the development of activities in the long term

1. Introdução e objetivo

A construção e operação de uma rodovia podem alterar as características geológicas, geomorfológicas, pedológicas, florestais, hidrográficas, dentre outros. É neste contexto que se insere a análise de suscetibilidade aos processos da dinâmica superficial em rodovias, visto que a implantação e manutenção das mesmas atuam como grandes causadoras de impactos no meio físico, além de que seu uso deve estar associado a critérios de segurança para os usuários e a população que reside nestes trechos.

Dentre os principais impactos do meio físico decorrentes da implantação e operação de obras rodoviárias, destacam-se a queda de blocos, deslizamentos de terra, processos erosivos, assoreamento de cursos d'água e inundações (HAIGH *et al.*, 1995; FERNANDES e CERRI, 2011; ZHANG *et al.*, 2011; ZOCHE e LEMES, 2011; BRENNING *et al.*, 2015; MENIN *et al.*, 2017). Estes problemas são causados pela falta de conhecimento sobre as interações do meio físico, principalmente, àqueles referentes aos processos da dinâmica superficial, acarretando em projetos e construções impróprias que podem ser agravadas pela falta de manutenção da rodovia em operação.

São poucos os estudos que relacionam a construção e operação de rodovias com suscetibilidade aos processos da dinâmica superficial. Na região de Kumaun no Himalaia, Haigh *et al.*, (1995) identificaram correlações positivas entre fatores como geologia, declividade e intervenções humanas diretas em deslizamentos de terra ao longo de estradas montanhosas. Segundo Zhang *et al.*, (2011) o deslizamento de terra em rodovias de áreas montanhosas é o desastre geológico mais comum que causa congestionamentos, vítimas, perdas econômicas e impactos ambientais na China, e, a implementação de um sistema de monitoramento de chuva e previsão de escorregamentos, evitou acidentes e perdas devido a um colapso de terra em uma rodovia monitorada. Brenning *et al.*, (2015) em trabalho realizado em estradas montanhosas do Equador, identificaram que o aumento da ocorrência de escorregamentos está relacionado com a sobrecarga dos sistemas de drenagem e desestabilização mecânica de encostas, e que, a identificação de locais mais suscetíveis pode ser um instrumento economicamente importante para o planejamento e gestão de estradas.

Apesar da importância do tema, poucos trabalhos analisam a suscetibilidade aos processos da dinâmica

superficial em rodovias Brasileiras. No estado de Mato Grosso, em relevo bastante acidentado da MT 170, Zocher e Lemes (2011), concluíram que a rodovia passa por um momento de degradação, e movimentos de massa que vêm acontecendo gradativamente estão comprometendo a estrutura da rodovia. Em trecho da rodovia Marechal Rondon (SP-300), Fernandes e Cerri (2011) elaboraram uma carta geotécnica de suscetibilidade, evidenciando a importância para a gestão ambiental de rodovias, tendo em vista a prevenção, monitoramento e correção dos processos adversos que podem ocorrer neste tipo de empreendimento. Na rodovia dos Tamoios (SP-99), Menin *et al.*, (2017) concluíram que os processos da dinâmica superficial devem ser critérios básicos para delimitação das áreas de influência, principalmente das áreas diretamente afetadas pela rodovia.

Segundo Rodrigues e Lopes (1998) em regiões montanhosas, os traçados se tornam tortuosos, as retas curtas ou inexistentes, as curvas tem seus raios reduzidos, as rampas aumentam em extensão e gradiente e, comumente, é necessária a construção de túneis, pontes e viadutos para transpor rios e vales. Neste sentido, a caracterização do meio físico e suas inter-relações se tornam fundamentais para análise de suscetibilidade em rodovias de regiões montanhosas e com alta pluviosidade. A área de estudo está localizada nas rodovias BR-267 e SP-342, trecho entre Poços de Caldas (MG) a Águas da Prata (SP), região Sul da Caldeira Vulcânica de Poços

de Caldas (MG). O trecho apresenta alta pluviosidade e um contexto geológico e geomorfológico muito diversificado, com relevos e declividades contrastantes, além de desníveis marcantes, propensos a movimentos de massa, deslizamentos, escorregamentos, erosão e queda de blocos.

Neste sentido, o trabalho tem como objetivo analisar a suscetibilidade aos principais processos da dinâmica superficial no trecho das rodovias BR-267 e SP-342, entre Poços de Caldas (MG) a Águas da Prata (SP), como ferramenta que possibilite subsidiar ações de planejamento e gestão ambiental de uma área cujo meio físico apresenta características bastante específicas. O percurso de 19,9 km está suscetível a quedas de blocos, escorregamentos e movimentos translacionais. A instalação de sinalização e estruturas de contenção, em pontos críticos da rodovia, se torna uma importante ferramenta para mitigar possíveis desastres naturais.

2. Material e métodos

2.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo possui uma extensão de 19,9 km e está localizada entre Poços de Caldas (MG) e Águas da Prata (SP), nas rodovias BR-267 e SP-342, trecho de serra que percorre o contato entre a Caldeira Vulcânica de Poços de Caldas e a Bacia Sedimentar do Paraná (Figura 1).

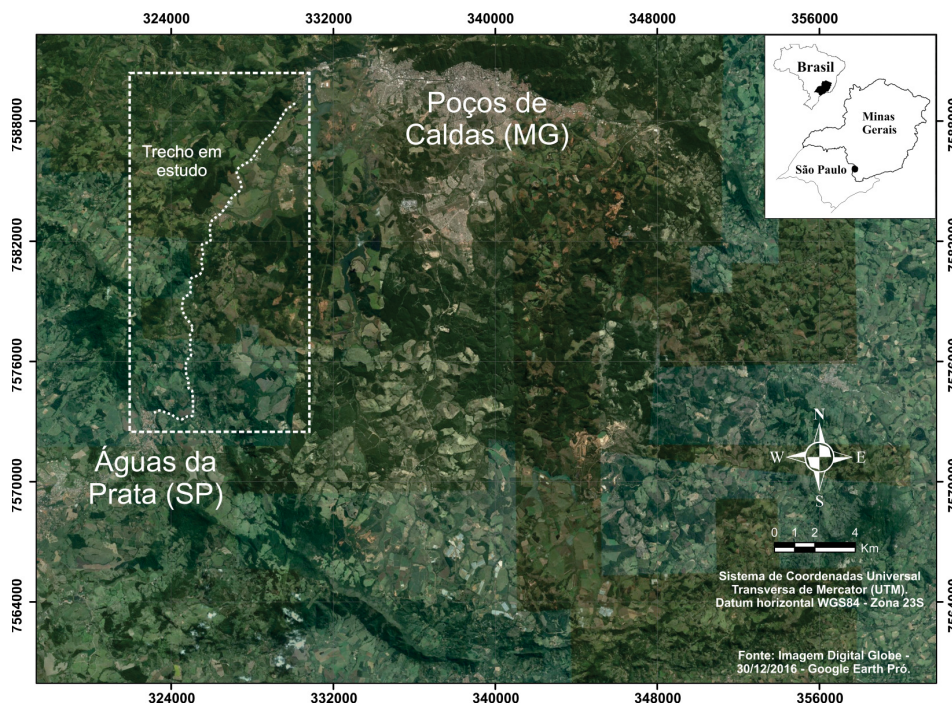


Figura 1 - Localização geral da área de estudo. Fonte: Google Earth Pro (2017).

A Figura 2 apresenta a imagem aérea da área de estudo, contendo a distribuição dos 16 pontos escolhidos por trabalhos de campo preliminares, o trecho da rodovia e a hidrografia da região. Dos 16 pontos analisados em diferentes porções do relevo, 12 correspondem a cortes de rodovia e 4 a calhas de rios que cortam a rodovia. 5 pontos estão localizados dentro do limite municipal de Poços de Caldas (MG) na rodovia BR-267, e 11 pontos no limite do município de Águas da Prata (SP) na rodovia SP-342 (Figura 2).

As rochas sedimentares que afloram na área de es-

tudo se encontram distribuídas em contato com o embasamento, sentido borda leste da Bacia Sedimentar do Paraná em Águas da Prata, e, em contato com magmas alcalinos em Poços de Caldas (Figura 3). As rochas sedimentares existentes em Águas da Prata, Poços de Caldas e Sul de Minas Gerais são as da Formação Aquidauana (SOARES e LANDIM, 1973). As rochas são formadas por arenitos silificados com grau elevado de dureza e fraturas verticais e horizontais, arenitos esbranquiçados ou amarelados com estratificação plano-paralela às vezes cruzada interestratificados com siltitos de coloração avermelhada-arroxeadada.

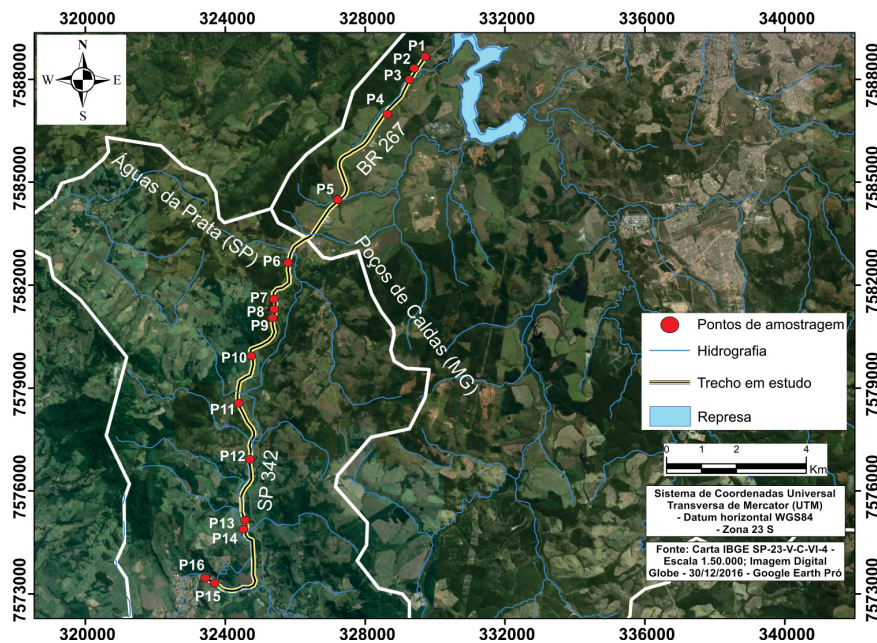


Figura 2 - Localização do trecho em estudo com os pontos de amostragem. Fonte: IBGE (1972); Google Earth Pro (2017).

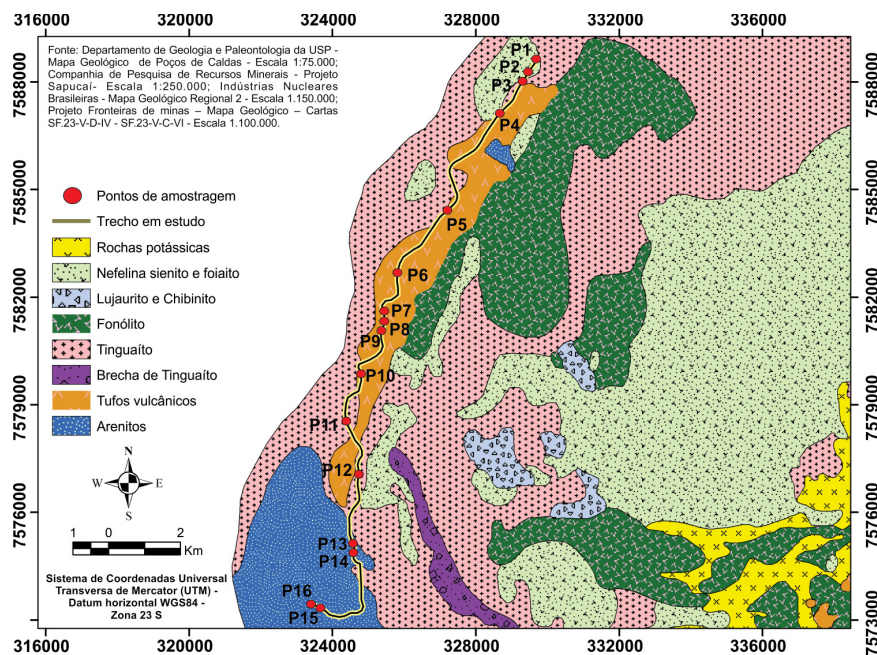


Figura 3 - Mapa geológico com a localização do trecho em estudo e pontos de amostragem. Fonte: Ellert (1959); CPRM (1979); INB (2011); CODEMIG (2015).

Os processos geológicos diretamente responsáveis pela formação de brechas e tufos são dos mais variados e compreendem, segundo Ulbrich (1986) erupções vulcânicas e subaquosas ou freáticas, brechamentos de rochas encaixantes, desmoronamentos e deslizamentos de encostas. Na área de estudo são identificados tufos finos e/ou partículas de cinzas muito finas a vítreas, além de brechas caóticas maciças com fragmentos angulosos e acessórios de tamanhos extremamente variados, conforme também verificado por Sardinha *et al.*, 2018.

As rochas efusivas e hipoabissais da área de estudo são os tinguaitos. Os tinguaitos são rochas com texturas granulares ou sacaróides, e, segundo Ulbrich *et al.*, (2002) a mineralogia destas rochas é formada por feldspato potássico (sanidina ou ortoclásio), feldspatóides (nefelina, leucita, sodalita, analcita), piroxênio sódico (egirina, egirina augita), hornblenda, biotita e raros plagioclásios (albita, oligoclásio). Os tinguaitos correspondem à maior parte das rochas expostas no Complexo Alcalino de Poços de Caldas, apresentando nos afloramentos coloração acinzentada, sendo observáveis amígdalas e vênulas em algumas amostras, conforme também verificado por Sardinha *et al.*, 2018.

Segundo Schorscher e Shea (1992) nefelinas sienitos correspondem a rochas plutônicas com granulometria média a grosseira, formadas preferencialmente por minerais de feldspato alcalino (piroxênios/anfibólio/mica). Na área de estudo afloram litotipos de coloração acinzentada, de textura inequigranular com cristais tabulares de coloração branca e preta. Estas rochas, quando alteradas, apresentam aspecto argiloso provavelmente devido à intensa caulinição de K-feldspatos.

O planalto de Poços de Caldas localiza-se na borda ocidental da província da Mantiqueira e em contato com os extremos orientais da bacia sedimentar do Paraná, formando um conjunto morfoestrutural perfeitamente caracterizado (TINÓS *et al.*, 2014). Segundo Moraes e Jiménez-Rueda (2008) a partir da análise do mapa morfoestrutural e dos principais lineamentos, determinou-se a ocorrência de *trends* de fraturas demonstrando que a área foi intensamente afetada por eventos tectônicos. O relevo da área de estudo (Figura 4) apresenta encostas convexas a planas de topos aplainados acompanhando alinhamentos mais serranos e vales abertos amplos de formados por falha de possível transcorrência.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen (1948), é mesotérmico (C), caracterizando-se por apresentar pequenas variações térmicas e pluviométricas. Na região de estudo, segundo Setzer (1956), predominam dois subtipos, Cwb (clima úmido com inverno seco e verão brando), e Cwa (mesotérmico de inverno seco, com verões quentes e estação chuvosa no verão).

A região de estudo, embora situada no bioma Mata Atlântica, apresenta uma diversidade de biótopos, destacando-se a Floresta Estacional Semidecidual Montana e os Campos de Altitude, que representam um contexto transacional entre Mata Atlântica e Cerrado (MORAES e JIMÉNEZ-RUEDA, 2005). Enquanto as espécies arbustivas predominam nos topos e vertentes, as formações arbóreas se encontram distribuídas nos taludes íngremes e próximas às galerias do Córrego do Quartel. Quanto ao uso da terra, a região de estudo apresenta principalmente exploração agrícola e pecuária, com o predomínio de café, batata, reflorestamentos de eucalipto e pastagens.

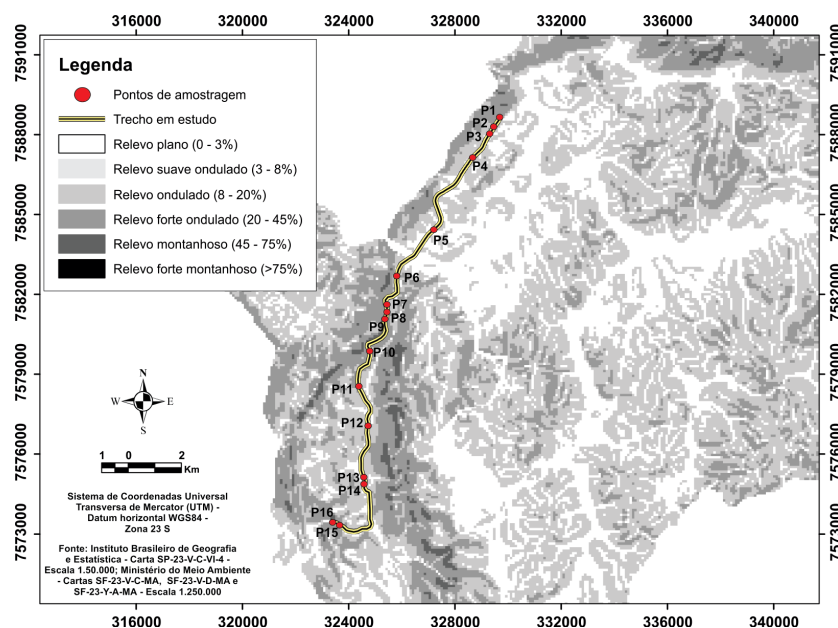


Figura 4 - Mapa de relevo com a localização do trecho em estudo e pontos de amostragem. Fonte: IBGE (1972); MMA (2010).

Na área estudada afloram Latossolos profundos, com pouca diferenciação entre horizontes, em relevos ondulados a suave ondulado. Solos rasos, Cambissolos com sequência de horizontes A, Bi e C ocorrem em relevos ondulados a forte ondulados. Neossolos afloram nos relevos montanhosos e/ou nas áreas serranas que bordejam a rodovia BR-267. Solos indiferenciados de várzea ocorrem nos relevos planos, pouco profundos, com características associadas a encharcamento e/ou deposição de material. Solos de brecha vulcânica, com pedogênese controlada pelo material de origem, de coloração cinza-escuro também podem ser observados na região de estudo.

3. Análise de suscetibilidade aos processos da dinâmica superficial

Para a análise de suscetibilidade aos processos da dinâmica superficial, primeiramente foi realizado um inventário preliminar com pesquisas em arquivos de órgãos ambientais, técnicos e científicos: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT.; Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA; Instituto Estadual de Florestas – IEF; Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE; Serviço Geológico do Brasil – CPRM; Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, dentre outros.

A partir das cartas: SP-23-V-C-VI-4 em escala de 1:50.000 (IBGE, 1972); SF-23-V-C-MA, SF-23-V-D-MA e SF-23-Y-A-MA em escala de 1:250.000 (MMA, 2010); SF.23-V-D-IV e SF.23-V-C-VI em escala de 1:100.000 (CODEMIG, 2015); SF.23-V-D em escala de 1:250.000 (CPRM, 1979); Mapa Geológico do Macico Alcalino de Poços de Caldas em escala de 1:50.000 (ELLERT, 1959); Mapa Geológico Regional 2 em escala de 1:150.000 (INB, 2011); e Mapas de Solos do Estado de Minas Gerais em escala de 1:650.000 (FEAM, 2010), foram elaborados, através do software Arcgis 10.4, mapas de localização e áreas de interesse com a adequação dos dados para um mesmo sistema de projeção. O mapa de declividade foi construído a partir do MDT (Modelo Digital de Terreno) com resolução de 90 metros (SRTM - Shuttle Radar Topography Mission), sendo o arquivo matricial resultante reclassificado quanto aos intervalos de relevo e suas descrições. A imagem aérea foi obtida através do Google Earth (Google Earth Pro, 2017), exportando-se os pontos para o formato kml, enquanto as representações gráficas foram construídas através do Adobe Illustrator CC.

A partir do inventário preliminar e da geração de mapas, foi realizada atividade de campo em diferentes porções do relevo para identificar a existência e/ou potencialidade de existência de processos da dinâmica superficial na área de estudo. Com isso, foi possível selecionar indicadores para o levantamento dos fatores que refletiam estas características no trecho analisado. Houve uma aferição prévia dos indicadores por toda a equipe antes de iniciar sua aplicação em campo. Esta etapa foi fundamental para uma melhor eficiência e produtividade dos resultados.

Após isso, foi elaborada e aplicada planilha de campo (Tabela 1), a fim de uniformizar os dados coletados. As características relacionadas a litologia e a textura/composição (tamanho, forma e arranjo dos constituintes minerais) foram realizadas com base nos inventários preliminares, mapas da área de estudo e amostras de mão identificadas nos afloramentos, onde também observou-se o estágio de intemperismo destes. O levantamento do relevo regional foi realizado com base no inventário preliminar, mapas da área de estudo e nas etapas de campo por meio da visualização do relevo nas áreas de maior altitude. Também foram levantadas, por meio de visualização em campo, a situação do terreno, posição topográfica e feições de inclinação dos afloramentos estudados em relação ao trecho das rodovias BR-267 e SP-342 (Tabela 1).

As amostragens relacionadas a pedregosidade, rochividade, perfil de alteração, dinâmica superficial, bacia hidrográfica e grau de escavabilidade foram estruturadas com base na padronização da terminologia para a descrição de perfis de alteração de Pastore e Fortes (1998); evolução pedogênica e grau de alteração mineralógica para as rochas (Vaz, 1996); grau de escavabilidade das rochas de Redaelli e Cerello (1998). Estes itens são importantes para contribuir com a identificação da suscetibilidade aos processos da dinâmica superficial. A identificação da vegetação foi realizada por análise visual e a granulometria e textura por análise tátil.

O levantamento de campo para a tomada de coordenadas geográficas foi feito utilizando equipamento GPS (Global Positioning System) modelo Garmin (Map 62S). O registro fotográfico foi realizado para subsidiar as informações das planilhas de campo, além de servir como base para as representações gráficas. Também, foi utilizado martelo Estwing petrográfico e estratigráfico para análise do material constituinte, escala e fita métrica para tomada de medidas.

Tabela 1: Questionário aplicado em campo para a análise de suscetibilidade aos processos da dinâmica superficial.

Perfil	Data
Coordenadas	
Altitude	
Tipo de afloramento	() corte de rodovia () leito rio
Litologia	() arenito () conglomerado () tinguaito () foiaito () fonólito () tufos e brechas () outro _____
Textura / composição	() afanítica () fanerítica () vítrea () outro _____
Material parental	() rocha sã () intemperizada () muito intemperizada
Relevo Regional	() plano () suave ondulado () ondulado () forte ondulado () montanhoso () escarpado
Situação do terreno	() plana () ligeiramente inclinada () inclinada
Posição topográfica	() parte inferior () mediana () superior
Feições de inclinação	() face livre () convexa () côncava () retilínea
Pedregosidade	() não pedregosa () ligeiramente pedregosa () moderadamente pedregosa () pedregosa () muito pedregosa () extremamente pedregosa
Rochosidade	() I - não rochosa () II- ligeiramente rochosa () III- moderadamente rochosa () IV - rochosa () V - muito rochosa () VI - extremamente rochosa
Perfil de alteração	() I - orgânico () II - laterítico () III - solo saprolítico () IV - saprolítico ou saprólito () V - rocha muito alterada () VI - rocha alterada () VII - rocha sã
Dinâmica superficial	() ausente () laminar () sulcos () ravinas () voçorocas () deslizamento () queda de blocos () rastejo () assoreamento () Outro: _____
Bacia hidrográfica	() alta proximidade a corpos d'água () nascentes () área de recarga () represamento () maior infiltração () maior escoamento superficial () Outro: _____
Grau de escavabilidade	() 1. Friável e fluente: areias, solos orgânicos e turfas () 2. Material Brando: solos argilosos e arenosos () 3. Rocha Branda: mais ou menos rígidas com graus de alteração () 4. Rocha Dura: rocha sã ou pouco alterada () 5. Rocha Muito Dura: rocha sã a pouco alterada
Granulometria e textura	() areia: áspero, não plástico e não pegajoso () silte: sedoso, plástico e não pegajoso () argila: sedoso, plástico e pegajoso
Vegetação	() sem vegetação () vegetação rasteira () vegetação arbustiva () vegetação arbórea
Perfil esquemático	
Croqui	

Fonte: Pastore e Fortes (1998); Vaz (1996); Redaelli e Cerello (1998).

4. Resultados e discussão

No trecho das rodovias BR-267 e SP-342, entre Poços de Caldas (MG) a Águas da Prata (SP), o ponto P1 apresenta alta inclinação com predomínio de vegetação arbustiva, solo com consistência úmida e textura

argilosa (Figura 5). O material parental (sienito) já se encontra com avançado grau de intemperismo, notado principalmente através dos horizontes C e CR, além da presença de blocos arredondados de aproximadamente 6 cm de diâmetro. Em alguns pontos, há fraturas e material desagregado, provável causa da queda de blocos

observados as margens da rodovia. Quanto às características do solo, o grau de escavabilidade é 2 (material brando) e o perfil de alteração foi classificado como III (horizonte de solo saprolítico).

O ponto P2 localiza-se em um terreno ligeiramente inclinado, contendo uma vegetação arbórea (plantação de eucaliptos) e rasteira (Figura 6). A rocha parental se encontra com certo grau de intemperismo, sendo possível observar os horizontes R e CR, enquanto os

horizontes superficiais apresentam textura arenosa e consistência seca. Quanto aos processos da dinâmica superficial, nota-se um grande depósito de galhos, folhagem e blocos originários de fraturas e possíveis alívios de tensão. Os graus de escavabilidade variam entre 1 (friável e fluente, no topo), 3 (rocha branda, horizonte CR) e 4 (rocha dura, na base). Quanto aos perfis de alteração, nota-se I (solo orgânico), V (rocha muito alterada) e VI (rocha alterada).

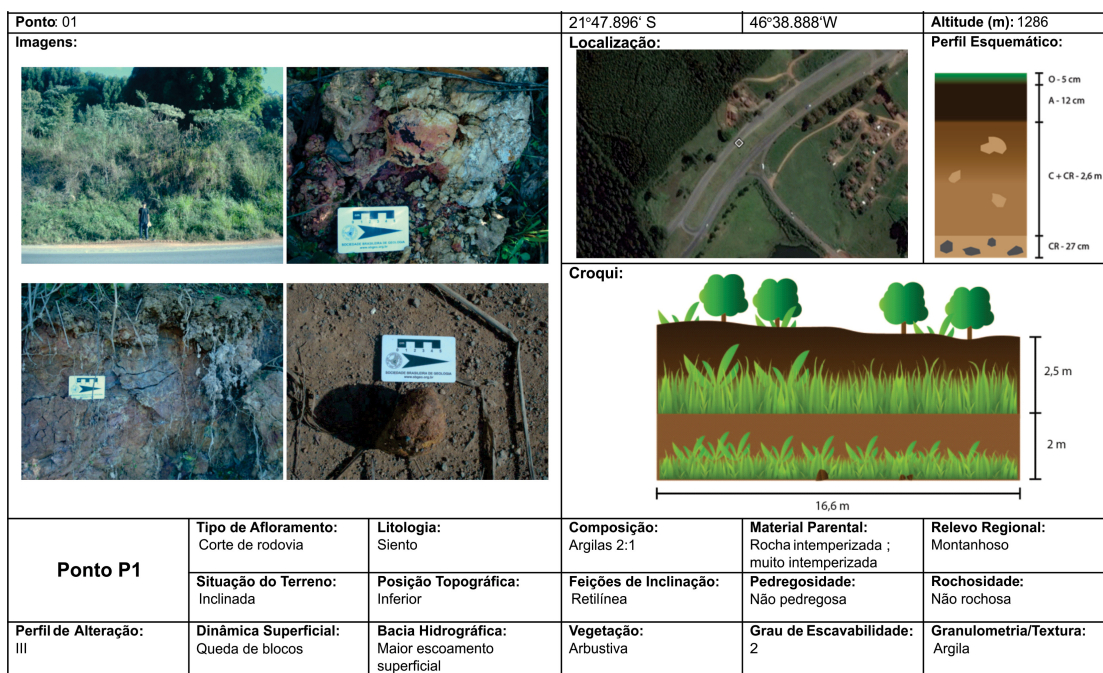


Figura 5 - Análise de suscetibilidade aos processos da dinâmica superficial no ponto P1. Fonte: autores.

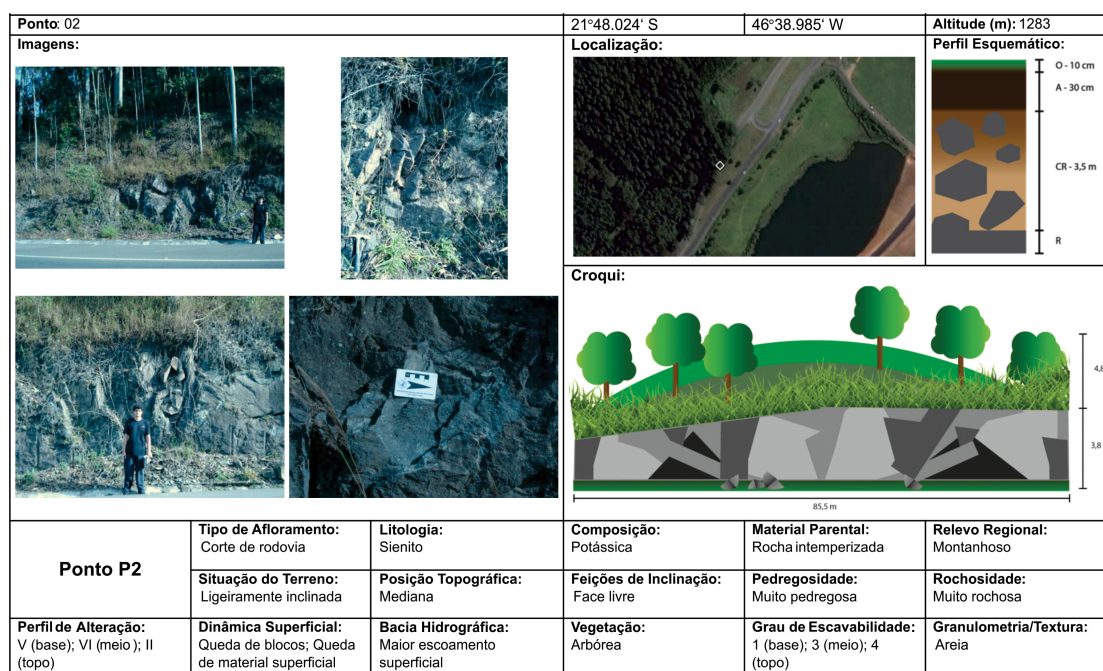


Figura 6 - Análise de suscetibilidade aos processos da dinâmica superficial no ponto P2. Fonte: autores.

No leito do Córrego da Ariranha, P3, é possível observar um material aluvionar associada a um material de textura argilosa e molhada, com elevada plasticidade e pegajosidade. Suas características se enquadram em um grau de escavabilidade 2 (friável e fluente), com perfil de alteração típico de horizonte de solo orgânico. O leito do rio segue um modelo V aberto com poucos seixos e cascalhos, possuindo relevo suave ondulado, ligeiramente inclinado a Oeste.

No ponto P4 foi observado um perfil com tran-

sição entre horizontes, variando entre uma camada laterítica avermelhada e acinzentada, de escavabilidade 2 (friável e fluente), e uma base de escavabilidade 3 (rocha branda com grande quantidade de blocos muito intemperizados) (Figura 7). Ao longo do corte, que é bastante inclinado, há várias falhas horizontais e verticais (truncamento), sendo que estas últimas são mais frequentes e ocasionam a formação de sulcos. Também, notaram-se evidências de queda de blocos devido ao depósito de material na base.

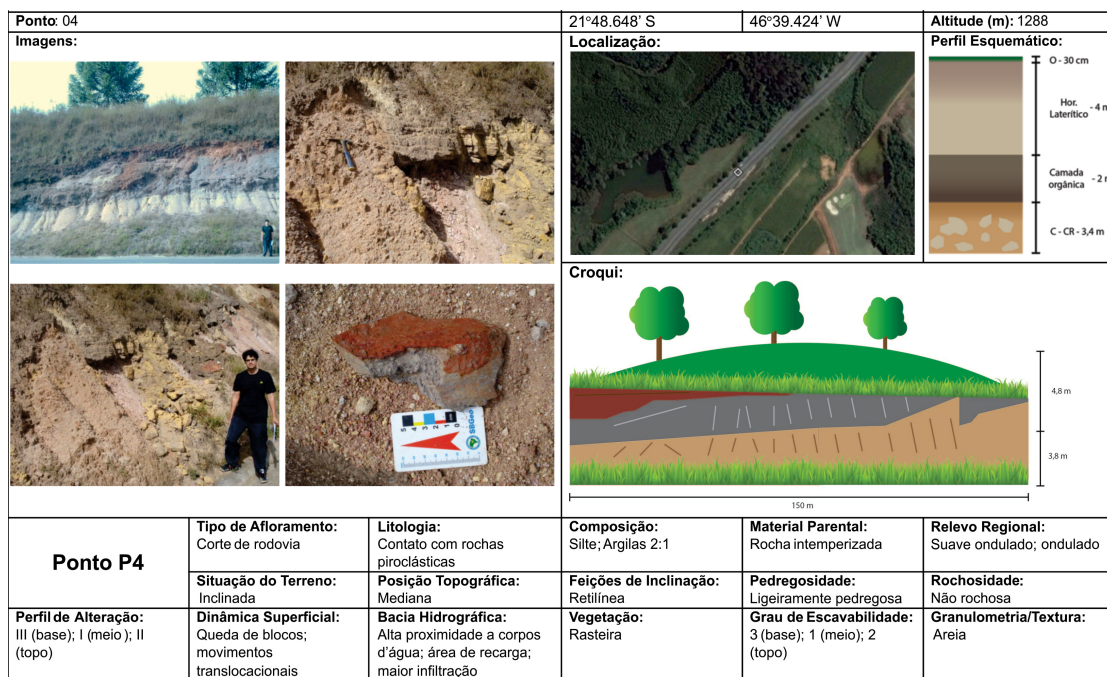


Figura 7 - Análise de suscetibilidade aos processos da dinâmica superficial no ponto P4. Fonte: autores.

Na calha do Córrego da Turfa (P5), o leito de rio é composto por camadas de argila e depósitos orgânicos de coloração escura. O relevo é suave ondulado a ondulado, ligeiramente inclinado e moderadamente pedregoso com diversos blocos em avançado grau de intemperismo. Em um corte de rodovia, levantado no ponto P6, observa-se uma face livre com matriz rochosa (piroclastos), apresentando grau de intemperismo muito baixo na base, enquanto o horizonte intermediário possui grande quantidade de blocos alterados. O relevo é ondulado, ligeiramente inclinado em meia encosta, e observou-se no acostamento da rodovia um depósito de blocos com fragmentos de tamanhos variados.

No ponto P7 há um terreno inclinado e retilíneo, com solo de textura arenosa e seca, e diversos blocos

mesclados à vegetação predominantemente rasteira. Os blocos apresentam tamanhos variados, com destaque para um *boulder* de aproximadamente 2,0 m² depositado na base. O perfil de alteração foi classificado como II (laterítico), com grau de escavabilidade 2 (material brando).

O corte de rodovia com declive acentuado observado no ponto P8 é marcado por uma cicatriz de deslizamento (movimento translacional deslizante), sendo possível notar um cone de dejeção, ou seja, depósito de material que se estende do topo até a base da encosta. A textura do solo oscila entre areia e silte, possuindo um aspecto levemente úmido. A declividade do terreno, o nível de alteração do substrato e o regime pluviométrico da região podem ser considerados fatores desencadeadores do evento observado em campo (Figura 8).

Em um relevo forte ondulado com encosta inclinada, de feição retilínea a ligeiramente côncava, nota-se a presença do substrato rochoso já alterado na forma de grandes *boulders* depositados. Neste afloramento, onde se encontra o ponto P9, o perfil de alteração e o grau de escavabilidade foram analisados, respectivamente como III e 3 (solo saprolítico e rocha branda). Na camada intermediária e superior (escavabilidade II e perfil de alteração II), há um solo arenoso e de aspecto seco, coberto por vegetação rasteira e eucaliptos. Ao longo da encosta, é possível notar cicatrizes de movimentos superficiais (deslizamentos),

havendo uma em maior evidência no topo (solifluxão). A disposição de blocos na base e/ou sopé da encosta, sugere quedas relativamente antigas, pois se encontram em parte cobertos pelo material deslocado das áreas superiores.

Em uma face livre observam-se na base rochas em elevado grau de conservação (perfil de alteração VII – rocha sã e grau de escavabilidade 4 - rocha dura, sã ou pouco alterada), seguido por um horizonte saprolítico com perfil de alteração V (rocha muito alterada) e escavabilidade 3 (rocha branda, mais ou menos rígida com graus de alteração), conforme ponto P10 (Figura 9).

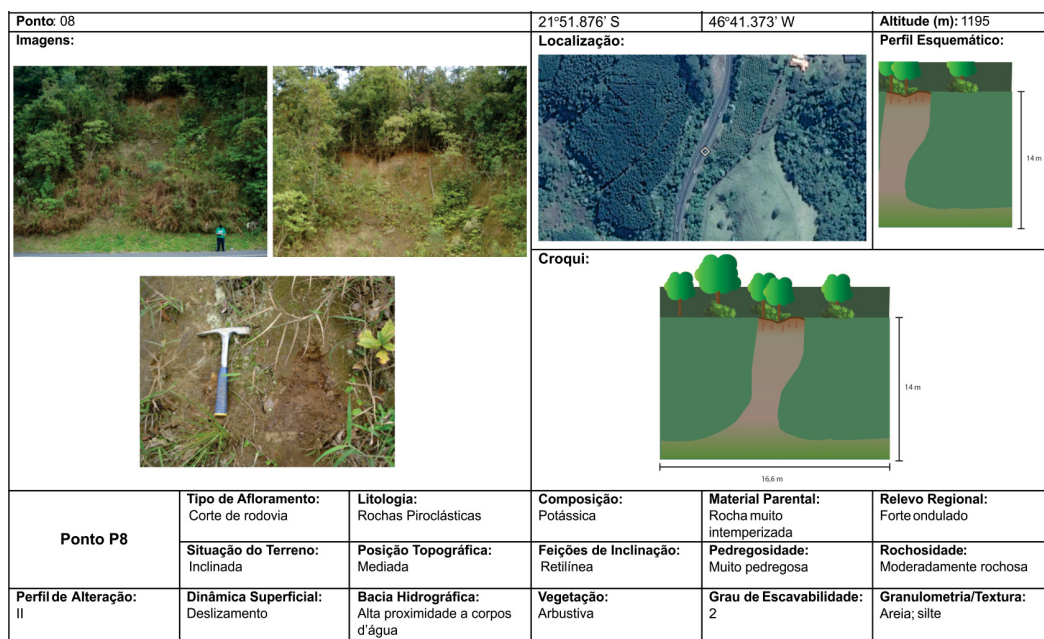


Figura 8 - Análise de suscetibilidade aos processos da dinâmica superficial no ponto P8. Fonte: autores.

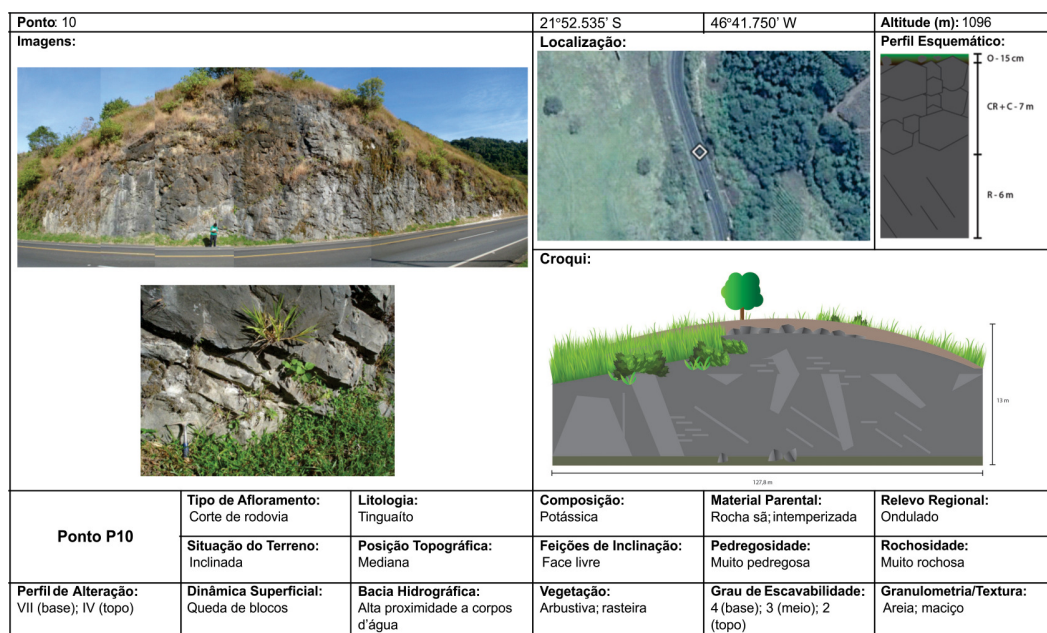


Figura 9 - Análise de suscetibilidade aos processos da dinâmica superficial em P10. Fonte: autores.

No topo do afloramento do ponto P10 (Figura 9), há um perfil de alteração IV de solo saprolítico e escavabilidade 2 de material brando, com solos argilosos e arenosos. Neste afloramento observa-se elevada densidade de fraturas verticais e horizontais com diversos blocos às margens da rodovia, evidenciando o processo de queda de blocos.

Com uma altitude de 1.005 m, o corte de rodovia do

ponto P11 se trata de um terreno inclinado com elevado grau de intemperismo, constituído de solo arenoso e vegetação rasteira (Figura 10a). O relevo é ondulado, inclinado e retilíneo com uma cicatriz de deslizamento (movimento translacional deslizante) com menor grau de exposição devido à vegetação. No entanto, é possível verificar grande distribuição de blocos dos mais variados tamanhos (queda de blocos), inclusive no outro lado da rodovia.

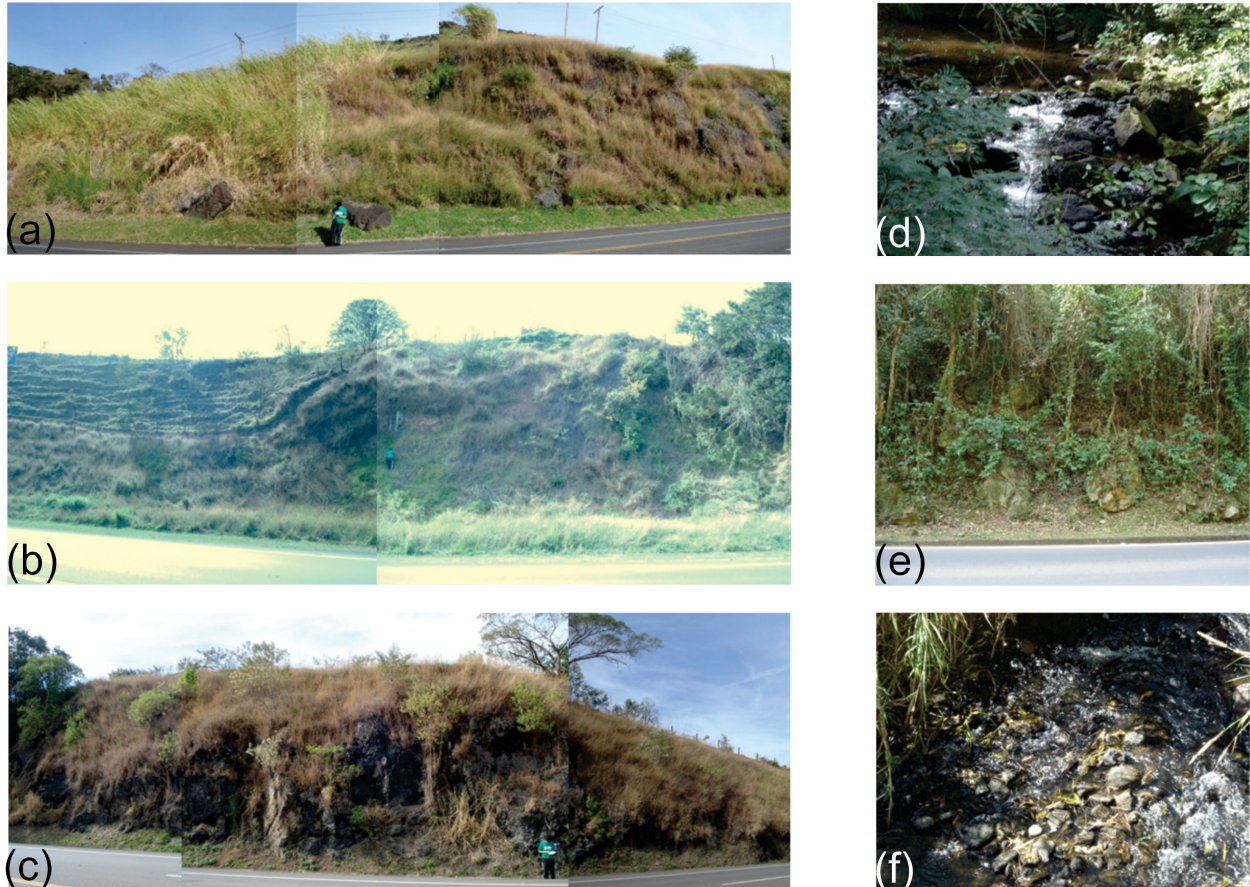


Figura 10 - Fotos tiradas durante a análise de suscetibilidade aos processos da dinâmica superficial. (a) ponto P11. (b) ponto P12. (c) ponto P13. (d) ponto P14. (e) ponto P15. (f) ponto P16. Fonte: autores.

Em um relevo ondulado, ponto P12, encontra-se um tinguaito em estágio avançado de intemperismo, em uma área retilínea inclinada com predominância de vegetação de pequeno porte e blocos depositados na base do afloramento (Figura 10b). Um terreno estriado com árvores inclinadas, indicativos de solifluxão, também pode ser avistado. A camada superior e a base apresentaram perfis de alteração II (laterítico) e III (solo saprolítico) e grau de escavabilidade 2 (material brando, solos argilosos e arenosos) e 3 (rocha branda, mais ou menos rígidas com graus de alteração), respectivamente.

Apresentando um substrato rochoso de tinguaitos intemperizados a muito intemperizados, o ponto P13 está localizado em um corte de rodovia com um relevo suave ondulado, inclinado em uma face livre a retilínea. O afloramento apresenta perfil de alteração IV (saprolítico ou saprólito) e grau de escavabilidade 3 (rocha branda). No topo, observa-se uma camada pouco espessa, constituída de material inconsolidado com fraturas verticais (Figura 10c).

O vale do Ribeirão do Quartel apresenta configuração em U aberto, sendo a calha do rio margeada por

densa vegetação arbustiva e arbórea e o leito caracterizado pela grande quantidade de blocos de tamanhos variados, com destaque para matacões com mais de dois metros de diâmetro. Como o relevo é montanhoso, inclinado e retilíneo, a quantidade de blocos pode estar relacionada com o declive e contato litológico das rochas alcalinas da Caldeira Vulcânica e arenitas da Bacia Sedimentar do Paraná (P14) (Figura 10d).

O ponto 15 corresponde a uma encosta com textura arenosa, coberta com vegetação predominantemente arbórea, na base de um paredão rochoso com grande quantidade de blocos angulares (queda de blocos - depósito de tálus) bastante próximos à rodovia (Figura 9e). A vegetação atua como zona de amortecimento dos movimentos originados pela queda de blocos recobrando o depósito de tálus. No Córrego do Quartel (P16) (Figura 10f) o vale apresenta formato em V aberto, com grande

quantidade de blocos rochosos de tamanhos variados no leito do rio, provavelmente carregados das áreas mais altas da Caldeira Vulcânica e das rochas menos resistentes, arenitas da Bacia Sedimentar do Paraná.

A análise de suscetibilidade aos processos da dinâmica superficial identificou no trecho em estudo aproximadamente dez ocorrências relacionadas a quedas de blocos, e três escorregamentos e movimentos translacionais. Neste sentido, durante as fases de reparos e manutenção do trecho entre Poços de Caldas (MG) a Águas da Prata (SP) nas rodovias BR-267 e SP-342, sugere-se seguir as recomendações da (Tabela 2). Estas recomendações, segundo Fernandes e Cerri (2011) podem propiciar um melhor desempenho ambiental, minimizando possíveis impactos ambientais e diminuindo os custos operacionais do trecho estudado.

Tabela 2: Recomendações para os diferentes pontos analisados.

Pontos analisados	Dinâmica superficial	Recomendações
P1/P2/P4/P6/P7/P9/ P10/P11/P12/P13/P15	Queda de blocos	<ul style="list-style-type: none"> - Sinalização para usuários das rodovias; - Proteção superficial das faces livres; - Instalação de barreiras de proteção, cortinas de contenção, com o intuito de estabilizar superfícies rochosas.
P2/P4/P7/P8/ P9/P11/P12	Deslizamentos	<ul style="list-style-type: none"> - Sinalização para usuários das rodovias; - Medidas de estabilização de taludes; - Proteção superficial dos taludes; - Dissipação adequada da energia da água e proteção lateral dos sistemas de drenagem; - Instalação de barreiras de proteção, cortinas de contenção, com o intuito de estabilizar taludes erosionados.
P3/P5/P14/P16	Fundos de vale	<ul style="list-style-type: none"> - Cuidados na execução dos sistemas de drenagem superficiais e profundos, devido à saturação do terreno. - Proteção superficial vegetal de taludes e cortes de aterro; - Recomposição da mata ciliar dos cursos de água, a fim de evitar solapamento, transporte de sedimentos e assoreamento no leito dos rios.

Modificado: Fernandes e Cerri (2011, p. 464).

O trecho estudado tem papel importante para escoamento de cargas da região leste do Estado de São Paulo e sul de Minas Gerais, por ligar cidades destas regiões à BR-116 e a SP 340. Estas rodovias são umas das principais ligações da região de Campinas (SP), re-

gião metropolitana de São Paulo (SP) e Belo Horizonte (MG). Por esta razão, o número de caminhões de carga é elevado. Mas os veículos de passeio também contribuem para o grande volume de tráfego, pois municípios da região têm Poços de Caldas (MG) como polo regional e

turístico, com isso, a estrada também torna-se caminho necessário para quem viaja.

Por fim, a importância deste trecho para a economia e o desenvolvimento da região é indiscutível, por ser fundamental meio de transporte e distribuição da maioria das produções, além da circulação e do deslocamento de passageiros. Assim, ela deve apresentar condições adequadas de uso, garantindo segurança quanto a congestionamentos, vítimas, perdas econômicas e impactos ambientais.

5. Considerações finais

Mediante caracterização fisiográfica e análise de suscetibilidade aos processos da dinâmica superficial nas rodovias BR-267 e SP-342, trecho entre Poços de Caldas (MG) e Águas da Prata (SP), verificou-se que o percurso de 19,9 km está suscetível a quedas de blocos, escorregamentos e movimentos translacionais.

Recomenda-se a instalação de sinalização para os motoristas nos pontos críticos e de estruturas de contenção, de maneira a impedir ou suavizar a chegada de material à rodovia. Além disso, a conservação da vegetação e o controle do escoamento de água colaboraram para a estabilidade das encostas principalmente nos períodos de chuvas intensas.

Quanto ao planejamento, recomenda-se considerar a fisiografia da paisagem e a dinâmica superficial no processo de zoneamento e expansão das áreas urbanas, restringindo o uso do solo nas imediações de áreas suscetíveis. Além disso, o mapeamento dos pontos críticos pode colaborar para o preparo e a ação das equipes de emergência caso algum evento venha a ocorrer.

Como perspectiva futura sugere-se uma análise temporal, com monitoramento periódico, coleta de amostras e realização de ensaios para caracterização do solo do trecho em estudo.

6. Referências Bibliográficas

BRENNING, A.; SCHWINN, M.; RUIZ-PÁEZ, A. P.; MUENCHOW, J. Landslide susceptibility near highways is increased by 1 order of magnitude in the Andes of southern Ecuador, Loja province. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Göttingen, v. 15, n. 1, p. 45–57, 2015.

CODEMIG. Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais. **Projeto Fronteiras de Minas Gerais – Folha**

Caldas/Poços de Caldas. 1º ed., Belo Horizonte, CODEMIG, FUNDEP, 2015, 86 p.

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Projeto Sapucaí: relatório final**. Escala 1:250.000. 1º ed., São Paulo, Editora do Departamento Nacional de Produção Mineral, 5 volumes, 1979, 289 p.

ELLERT, R. Contribuição à geologia do Maciço Alcalino de Poços de Caldas. **Boletim da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras da Universidade de São Paulo**, São Paulo, v. 237, n. 18, p. 5-63, 1959.

FEAM. Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Mapa de solos do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte, Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010. 49 p.

FERNANDES, F. M.; CERRI, L. E. S. Elaboração da carta geotécnica de suscetibilidade de um trecho da Rodovia Marechal Rondon - SP - 300 (SP, Brasil). **Geociências**, Rio Claro, v. 30, n. 3, p. 457-465, 2011.

GOOGLE EARTH PRO. **Imagens de satélite**. Recuperado em 16 de setembro de 2017, de <https://earth.google.com/>. Acesso em 16 de setembro de 2017.

HAIGH, M. J.; RAWAT, J. S.; RAWAT, M. S.; BARTARYA, S. K.; RAI S. P. Interactions between forest and landslide activity along new highways in the Kumaun Himalaya. **Forest Ecology and Management**, Amsterdã, v. 78, n. 1, p. 173-189, 1995.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Carta em escala 1:50.000, Folha SP-23-V-C-VI-4 Poços de Caldas**, Superintendência de Cartografia, 1972.

INB. INDÚSTRIAS NUCLEARES DO BRASIL. **Programa de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD), UTM – Caldas**, Nº Projeto 099-515-3023. Elaboração R. L. Mapa Geológico Regional (2). Minas Gerais: INB, 2011.

KOPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra**. 1º ed., México: Fondo de Cultura Econômica, 1948, 478p.

MENIN, F. A.; REIS, F. A. G. V.; GIORDANO, L. C.; AMARAL, A. M. C.; GABELINI, B. M.; CERRI, R. I. Critérios de delimitação de áreas de influência em Estudos de Impacto Ambiental de rodovias: abordagem de processos de dinâmica superficial. **GeologiaUsp: Série Científica**, São Paulo, v. 17, n. 3, p. 209-224, 2017.

MMA. Ministério de Meio Ambiente. Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Mapeamento do uso do solo e cobertura vegetal – bioma cerrado: ano base 2002**. 2º ed., Brasília: MMA/SBF, 2010, 96 p.

- MORAES, F. T.; JIMÉNEZ-RUEDA, J. R. Fisiografia da região do planalto de Poços de Caldas, MG/SP. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 38, n. 1, p. 196-208, 2008.
- MORAES, F. T.; JIMÉNEZ-RUEDA, J. R. Importância de estudos fisiográficos no planejamento municipal: exemplo do jardim botânico de Poços de Caldas, MG. **Geociências**, Rio Claro, v. 24, n. 3, p. 255-266, 2005.
- PASTORE, E. L.; FORTES, R. M. Classificação e Caracterização dos Solos. In: Oliveira, A. M. S. e Brito, S. N. A. (eds.) **Geologia de Engenharia**. 1.ed., São Paulo, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia - ABGE, 1998, p. 197-211.
- REDAELLI, L. L.; CERELLO, L. Escavações. In: Oliveira, A. M. S. e Brito, S. N. A. (eds.) **Geologia de Engenharia**. 1.ed., São Paulo, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia - ABGE, 1998, p. 311-330.
- RODRIGUES, R.; LOPES, J. A. U. Rodovias. In: Oliveira, A. M. S. e Brito, S. N. A. (eds.) **Geologia de Engenharia**. 1.ed., São Paulo, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia - ABGE, 1998. p. 419-430.
- SARDINHA, D.S.; GODOY, L.H.; CONCEIÇÃO, F.T.; SPATTI JÚNIOR, E.S.; FERNANDES, A.M.; VICTAL, F.A.C.A.; COSTA, D.A.T. Geoquímica fluvial e balanço de denudação em Tinguaitos de Poços de Caldas, Minas Gerais. **Geol. USP, Sér. cient.**, São Paulo, v. 18, n. 1, p. 25-7, 2018.
- SCHORSCHER, J. H. D.; SHEA, M. E. The regional geology of the Pogos de Caldas alkaline complex: mineralogy and geochemistry of selected nepheline syenites and phonolites. **Journal of Geochemical Exploration**, Amsterdã, v. 45, n. 1-3, p. 25-51, 1992.
- SETZER, J. A natureza e as possibilidades do solo no vale do Rio Pardo entre os municípios de Caconde, SP e Poços de Caldas, MG. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 3, p. 3-37, 1956.
- SOARES, P. C. ; LANDIM, P. M. B. Aspectos regionais da estratigrafia da Bacia do Paraná no seu flanco nordeste. In: XXVII CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27, 1973, Aracaju. **Anais...** Aracaju, Sociedade Brasileira de Geologia, 2018, p. 243-256.
- TINÓS, T. M.; FERREIRA, M. V.; RIEDEL, P. S.; ZAINÉ, J. E. Aplicação e avaliação de metodologia de classificação automática de padrões de formas semelhantes do relevo. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Brasília, v.15, n.3, p.353-370, 2014.
- ULBRICH, H. H. G. J. As brechas de origem ígnea: revisão e proposta para uma classificação geológica. **Boletim IG-USP**, São Paulo, publicação especial n° 3, p. 01-82, 1986.
- ULBRICH, H. H. G. J.; VLACH; S. R. F., ULBRICH, M. N. C.; KAWASHITA, K. Penecontemporaneous syenitic-phonolitic and basic-ultrabasic-carbonatitic rocks at the Poços de Caldas alkaline massif, SE Brazil: geologic and geochronologic evidence. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 32, n. 1, p. 15-26, 2002.
- VAZ, L. F. Classificação genética dos solos e dos horizontes de alteração de rocha em regiões tropicais. **Solos e Rochas**, São Paulo, v. 19, n. 2, p. 117-136, 1996.
- ZHANG, Y.; LI, H.; SHENG., Q.; WU, K.; CHEN, G. Real time remote monitoring and pre-warning system for Highway landslide in mountain area. **Journal of Environmental Sciences**, Amsterdã, v. 23, Supplement, S100–S105, 2011.
- ZOCHE, N.; LEME, D. P. Análise geomorfológica dos movimentos de massa ocorridos na MT 170 Juina/Castanheira. **Revista Geográfica de América Central**. Costa Rica, número especial, p. 1-17, 2011.