

MAPEAMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DA ESTRADA DE CASTELHANOS, ILHABELA (SP)

GEOLOGIC-GEOTECHNICAL MAPPING OF CASTELHANOS
ROAD, ILHABELA, SÃO PAULO, BRAZIL

FLÁVIO HENRIQUE RODRIGUES

*Pós Graduação em Geociências e Meio Ambiente, Instituto de Geociências e Ciências Exatas,
Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, São Paulo, Brasil
E-mail: rodrigues.ambiental@gmail.com*

JOSÉ EDUARDO ZAINE

*Departamento de Geologia Aplicada, Instituto de Geociências e Ciências Exatas,
Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, São Paulo, Brasil
E-mail: jezaine@rc.unesp.br*

RESUMO ABSTRACT

O presente trabalho tem como objetivo apresentar o mapa geológico-geotécnico da Estrada de Castelhanos, localizada no Parque Estadual de Ilhabela, litoral norte do estado de São Paulo. A metodologia adotada focou a análise integrada dos elementos do meio físico, a partir de técnicas de fotogeologia e trabalhos de campo, buscando identificar, descrever e classificar os diferentes tipos de terreno na área de estudo. Baseado nas informações sobre o contexto geológico, tipos de relevo e perfis de alteração, o mapeamento obteve 6 unidades geológico-geotécnicas, abrangendo as bacias hidrográficas dos ribeirões do Engenho, Barrinha e Água Branca. A partir da caracterização geotécnica das propriedades e características do terreno, foi elaborado o diagnóstico de situação da Estrada de Castelhanos, com sua divisão em 8 trechos, onde foram identificados e descritos os fatores naturais e antrópicos condicionantes do estado de conservação e tráfego da referida estrada. Os resultados são apresentados na forma de mapa, cartograma, quadros descritivos e pranchas com fotografias e croquis geotécnicos, e visam auxiliar a gestão ambiental em Ilhabela.

Palavras-chave: Análise Integrada do Meio Físico; Mapeamento Geológico-Geotécnico; Estrada de Castelhanos, Ilhabela (SP).

This study aims to present the geological-geotechnical map of the Castelhanos Road, located in Ilhabela State Park, on the São Paulo's north coast, Brazil. The methodology focused on the integrated analysis of the physical environment elements by using photogeology techniques and field work, seeking to identify, describe and classify the different landforms in the study area. Based on the information about the geological context, relief and alteration profiles, the mapping resulted in 6 geological-geotechnical units, covering watersheds of the Engenho, Barrinha and Água Branca streams. From the geotechnical characterization of the properties and characteristics of landforms, was developed the diagnosis of Castelhanos Road's status, with its division into 8 sections, which were identified and described the natural and anthropic factors that influence the condition and traffic of the aforementioned road. The results are presented as maps, descriptive tables, boards with photographs and geotechnical sketches, and intend to assist environmental management in Ilhabela.

Keywords: Integrated Analysis of Physical Environment; Geologic-Geotechnical Mapping; Castelhanos Road, Ilhabela, São Paulo, Brazil.

1 INTRODUÇÃO

No setor florestal, as estradas viabilizam o transporte da produção, o acesso de turistas e administradores às áreas naturais e, em alguns casos, representam a única via para muitos moradores de áreas isoladas. No Brasil, o padrão de construção das estradas florestais é muito simples e, frequentemente, os defeitos na pista de rolamento, taludes de corte e aterros evidenciam a falta de critérios técnicos na sua construção e manutenção (FONTANA et al., 2007).

Comumente, as estradas florestais encontram-se sem pavimentação adequada, com ausência de revestimento primário, o que torna tais vias sensíveis às influências climáticas e requer conservação permanente. Nesse sentido, a presente pesquisa estuda os aspectos do meio físico que podem afetar as condições de uso e conservação da Estrada de Castelhanos, no Município de Ilhabela, localizado no litoral norte do Estado de São Paulo.

Um atrativo de grande relevância turística para cidade, a estrada cruza a Ilha de São Sebastião, passando por regiões montanhosas, com alta declividade, em trechos com ocorrência de escorregamentos de terra e blocos rochosos, e evidências de processos geológicos pretéritos. Sendo uma das únicas alternativas de transporte para as comunidades tradicionais caiçaras de Baía de Castelhanos, e considerando o grande interesse turístico pelas praias locais, essa via torna-se muito utilizada em períodos específicos (férias, feriados e finais de semana), e que, na maioria das vezes, coincidem com a estação chuvosa.

Este trabalho tem como objetivo principal apresentar o mapa geológico-geotécnico, elaborado na escala de 1:20.000, das bacias hidrográficas interceptadas pela Estrada de Castelhanos, no município de Ilhabela - SP. Os resultados contidos neste artigo fazem parte da dissertação de mestrado realizada junto ao Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente da Universidade Estadual Paulista, intitulada "Análise Integrada Aplicada ao Mapeamento Geológico-Geotécnico na Escala de 1:20.000 da Estrada de Castelhanos, Ilhabela-SP".

1.1 Análise integrada do meio físico

O presente trabalho tem sua fundamentação teórico-metodológica nos trabalhos de Grant

(1974), Soares & Fiori (1976), Ross (1995), Vaz (1996), Zaine (2000, 2011) e Vedovello (1993, 2008). Tais autores estruturaram suas pesquisas a partir dos conceitos de análise integrada do meio físico e sistema de terrenos, baseando-se no conhecimento geológico, geomorfológico e de geologia de engenharia para caracterizar e avaliar os terrenos mapeados.

A análise integrada classifica-se metodologicamente como uma abordagem sintética, quando as unidades mapeadas são definidas sistematicamente de acordo com a homogeneidade dos elementos do meio físico analisados (CENDERO, 1989; VEDOVELLO, 2008). Em contrapartida, o método analítico corresponde à sobreposição de vários mapas temáticos para obtenção de um produto diagnóstico.

Ross (1995) apresenta o conceito de análise integrada como sendo a abordagem analítico-sintética do meio físico, tomando como base padrões fisiográficos do terreno ou padrões de paisagem, os quais são distinguidos e espacializados em um único produto cartográfico. A definição da unidade espacial de trabalho leva em conta não somente os aspectos geomorfológicos, mas também outras informações (padrões de drenagem, estruturas geológicas e espessura dos solos e materiais inconsolidados) que auxiliam na identificação tanto dos processos geológicos exógenos, como do comportamento geotécnico da área estudada.

Os trabalhos desenvolvidos por *International Association of Engineering Geology* (IAEG/UNESCO, 1976) e Grant (1974) apresentam um sistema de classificações de terrenos baseados na inter-relação entre os componentes do meio físico e os fatores exógenos atuantes, visando definir classes para as quais são determinadas as condições geológico-geotécnicas, podendo-se, assim, antecipar as consequências diretas e indiretas decorrentes das atividades socioeconômicas nas unidades estabelecidas.

O estudo dos aspectos fisiográficos visa à obtenção de dados qualitativos e semi-quantitativos de fatores geotécnicos que possibilitam não apenas reconhecer as formas de relevo, mas caracterizar e classificar geologicamente os horizontes de alteração de rocha e os solos. Além da compartimentação de uma área em função de sua fisiografia, o mapeamento geológico-geotécnico,

a partir da análise integrada do terreno e com o uso de procedimentos sistemáticos de fotointerpretação requer uma caracterização geotécnica *in situ* dos materiais (solo, rocha e sedimentos) e das formas (relevo e processos geológicos exógenos) que sejam relevantes para aplicação pretendida (VEDOVELLO, 2008).

Para Vedovello e Mattos (1998), os dados depreendidos do mapeamento geológico-geotécnico podem ser de naturezas diversas e representam tanto características da área individualizada, como propriedades dos materiais que compõem essa área. Destacam-se as significativas contribuições na área de geologia de engenharia atribuídas a Vaz (1996), na elaboração de um sistema da classificação genética de sedimentos, solos e rochas em ambiente tropical. O referido autor acentua a importância de se investigarem as condições geomorfológicas para caracterização dos maciços terrosos e rochosos, visando à diferenciação entre os solos residuais e transportados, ressaltando a necessidade de se utilizar outros critérios de interpretação geológica, através de aproximações sucessivas.

Dentre os exemplos do uso da interpretação fotogeológica, Soares e Fiori (1976) destacam o uso em mapeamentos geológicos e geologia de engenharia, como estudos para implantação de obras de engenharia, visando à avaliação de potencialidades e limitações do meio físico e algumas propriedades do terreno (estanqueidade, espessura do solo, exposição de rochas duras, capacidade de suporte, alterabilidade e mobilidade de massa).

A escolha da forma de obtenção dos dados geotécnicos depende do tipo e classes dos atributos analisados, da viabilidade ou não de aquisição de informação *in situ* e da precisão necessária às avaliações dos produtos previstos, em função da escala de trabalho.

Segundo Zaine (2011), a obtenção de informações geológico-geotécnicas de uma determinada área pode ser feita de forma eficaz a partir de técnicas de fotogeologia (leitura, análise e interpretação de fotografias aéreas), efetuando-se correlações entre as propriedades texturais da foto e informações de interesse geotécnico, definida como inferência geotécnica. Tais correlações foram debatidas em inúmeros trabalhos, sobressaindo-se Soares e Fiori (1976) e Veneziani e

Anjos (1982), além de Zuquette (1987), Riedel (1988), Lollo (1995), Zuquette e Gandolfi (2004), entre outros.

2 ETAPAS DE TRABALHO

O desenvolvimento da presente pesquisa foi organizado em três etapas principais. Inicialmente procedeu-se a pesquisa bibliográfica com a seleção da área a ser estudada, fundamentação teórico-metodológica, problematização e definição dos objetivos. A etapa seguinte consistiu em técnicas de cartografia digital com obtenção e correções da base topográfica disponível, bem como a aquisição dos produtos de sensoriamento remoto utilizados na fotointerpretação e compartimentação fisiográfica da área em estudo. Por fim, os esforços concentraram-se na caracterização geológico-geotécnica dos diferentes terrenos pelo qual a estrada se estabelece, e realização do diagnóstico de situação da via, relacionando o estado de conservação e tráfego e os elementos do meio físico analisados integradamente.

As atividades de fotogeologia focaram na avaliação geotécnica preliminar da área de estudo, a partir de execução de atividades sistematizadas de fotoleitura, fotoanálise, fotointerpretação e definição dos compartimentos fisiográficos. A fase de fotoleitura corresponde à identificação das feições de drenagem e relevo, com a utilização de fotografias aéreas, imagens de satélite e outros produtos de sensoriamento remoto.

Com a utilização dos pares estereoscópicos, registraram-se os elementos do terreno, dando origem ao mapeamento das feições fisiográficas da área estudada, possibilitando a compartimentação fisiográfica do relevo e a caracterização geotécnica inicial. As propriedades e os comportamentos fisiográficos dessas unidades foram determinados conforme a interpretação das informações e dos atributos analisados, com a realização de algumas inferências geotécnicas, tomando como base Zaine (2011).

A fotointerpretação das propriedades e características do relevo auxiliou na determinação de compartimentos fisiográficos, cujos limites foram definidos pela identificação das linhas de ruptura de declive (limites nítidos), níveis de dissecação

e rugosidade do relevo e propriedades dos materiais constituintes do terreno. Visando determinar homogeneidade em relação às feições registradas, os compartimentos fisiográficos homólogos foram associados, de modo a se obter uma única Unidade de Terreno (UT), a qual apresenta propriedades e características geotécnicas semelhantes em toda sua área.

Posteriormente, realizou-se o levantamento de campo, com a descrição das propriedades e características geológicas (litologia e estrutura), geomorfológicas e dos perfis de alteração associados às unidades definidas com base na fotointerpretação. Para as observações *in situ*, realizou-se uma análise tacto-visual dos materiais geológicos expostos em cortes na estrada. De acordo com o referencial teórico-metodológico, as constatações

em campo possibilitaram que se estabelecesse uma relação com as informações obtidas na etapa de fotointerpretação.

Na etapa final, as UTs foram caracterizadas em função das propriedades/características geotécnicas relevantes para elaboração do diagnóstico de situação da Estrada de Castelhanos, visando subsidiar as obras de manutenção e recuperação da mesma. A obtenção das classes de análise foi feita qualitativamente, a partir do estudo das relações entre essas propriedades e os elementos texturais da imagem. O Quadro 1 apresenta as propriedades e os critérios utilizados na caracterização geotécnica das unidades, assim como o Quadro 2 trás os critérios para classificação da susceptibilidade à ocorrência dos processos geológicos atuantes na área de estudo.

Quadro 1 – Critérios para classificação das propriedades geotécnicas.

Propriedades	Critérios	Classes
Espessura do Manto de Alteração	- < 1,0m	Raso / Rocha Aflorante
	- de 1,0 a 7,0 m	Pouco Espesso
	- > 7,0 m	Espesso
Permeabilidade	- Alta densidade de drenagem - Baixo grau de fraturamento	Baixa
	- Média densidade de drenagem - Médio grau de fraturamento	Média
	- Baixa densidade de drenagem - Alto grau de fraturamento	Alta
Relação Escoamento Superficial / Infiltração	- Baixa densidade textural - Baixa declividade	Baixa
	- Média densidade textural - Média declividade	Média
	- Baixa densidade textural - Alta declividade	Alta
Alterabilidade	- Perfil de encosta retilíneo	Baixa
	- Perfil de encosta côncavo	Média
	- Perfil de encosta convexo	Alta
Grau de Fraturamento	- Baixa densidade textural/ de fraturamento	Baixa
	- Média densidade textural/ de fraturamento	Média
	- Alta densidade textural/ de fraturamento	Alta

Fonte: Adaptado de Zaine (2011)

Quadro 2 – Critérios para classificação da susceptibilidade aos processos geológicos, com base na análise e interpretação fotogeológica.

Processos Geológicos	Critérios de análise e interpretação fotogeológica	Classes*
Erosão	Declividade / Relação escoamento superficial e infiltração / Material presente no manto de alteração ou afloramento rochoso	Baixa Média Alta
Movimentos de Massa	Declividade / Alterabilidade / Relação escoamento superficial e infiltração / Espessura do manto de alteração	
Enchentes e Inundações	Relação escoamento superficial e infiltração / Declividade	

Fonte: Adaptado de Zaine (2011).

* Classes definidas de acordo com a associação dos critérios

3 RESULTADOS

A área de estudo foi compartimentada em seis Unidades Geológico-Geotécnicas, as quais estão associadas às zonas geomorfológicas da Serriaria Costeira (unidades de II a VI) e Baixada Litorânea (unidade I) (ALMEIDA, 1964, 1976).

Diferentemente dos demais compartimentos mapeados, a unidade VI (Rochas Alcalinas em Relevo Montanhoso) não é interceptada pela Estrada de Castelhanos, porém exerce papel importante na morfodinâmica da área, condicionando os processos geológicos que podem afetar o tráfego e conservação da via. Nesta unidade ocorrem as

maiores altitudes, cujos limites topográficos estão entre 550 e 1.200 metros, e uma declividade bastante elevada, predominando áreas com inclinação acima de 45%. Por se tratar de um ambiente de exportação de água e sedimentos, esse terreno caracteriza-se como área fonte de material colúvio/aluvionar e blocos rochosos para os depósitos de talus e planície flúvio-marinha.

A seguir são apresentados o mapa geológico-geotécnico (Figura 1), e a síntese das informações sobre o contexto geológico, aspectos geomorfológicos e processos geológicos exógenos de cada unidade (Quadro 3).

Quadro 3 – Análise integrada do meio físico da Estrada de Castelhanos

Unidades Geológico-Geotécnicas	Descrição Geral	Processos Geológicos Exógenos
UNIDADE I Sedimentos Quaternários em Planícies Flúvio-Marinhas	Terrenos baixos, planos e suavemente inclinados, caracterizados pela interface dos sedimentos marinhos e aluvionar, compostos por areias quartzosas, de granulometria média a grossa, com a presença de minerais pesados ao longo dos canais fluviais.	Erosão laminar, recalque, solapamento das margens dos rios, assoreamento e enchentes.
UNIDADE II Depósito de Talus em Base de Encostas e Fundo de Vales	Rampas de deposição sub-horizontais com variações estimadas entre 5 e 10 metros, com uma disposição caótica dos materiais constituintes, oriundos do colúvios e talus das encostas. Em porções mais elevadas podem ocorrer associados a vales ligeiramente abertos e/ou planícies alveolares.	Corridas de lama, quedas e/ou rolamentos de blocos, escorregamentos e rastejos, em taludes de corte e erosão linear.
UNIDADE III Rochas Granito-Gnáissicas em Relevo de Morros	Morros subniveados com topos arredondados, encostas côncavo-retilíneas, com alto grau de alterabilidade. O manto de alteração possui espessura intermediária a grande, alcançando mais de 10 metros de profundidade e apresenta material coluvionar e horizontes pedológicos bem desenvolvidos, além de fragmentos rochosos (granito-gnáisse e rochas alcalinas).	Erosão linear, rastejos, escorregamentos em taludes de corte, atingindo o horizonte C.
UNIDADE IV Rochas Granito-Gnáissicas em Encostas em Relevo Montanhoso	Escarpas orientadas e com alto grau de fraturamento, apresentando padrão de drenagem subparalelo. Ocorrem diques de rochas alcalinas predominantemente NE. O perfil de alteração é caracterizado por um material coluvionar silto-argiloso, de 1 a 6 metros sobre saprólito e rocha alterada com núcleos de rocha sã.	Erosão linear, queda e/ou rolamento de blocos rochosos, escorregamento e rastejo em solo saprolítico e coluvionar.
UNIDADE V Rochas Granito-Gnáissicas em Topos Restritos em Relevo Montanhoso	Feições residuais das escarpas, ocorrendo na forma de cristas alongadas, descontínuas e, subordinadamente, topos isolados em níveis mais baixos. Rochas granito-gnáissicas interceptadas por diques de rochas alcalinas, com orientação NE. O perfil de alteração possui solo com textura argilo-arenosa, com estruturas reliquias bem preservadas e espessura variável de 0 a cerca de 5 metros, associado ao saprólito com núcleos rochosos residuais e veios de quartzo. O colúvio ocorre de maneira incipiente.	Erosão linear (sulcos e ravinas), quedas e/ou rolamentos de blocos, rastejos e escorregamentos em solos rasos.
UNIDADE VI Rochas Alcalinas em Relevo Montanhoso	Caracteriza altos topográfico com afloramentos rochosos na forma de lajeados e blocos nas regiões de topos e vertentes com declividade mais acentuada. O manto de alteração apresenta-se delgado com a presença frequente de rocha sã sub-aflorante.	Quedas e/ou rolamentos de blocos.

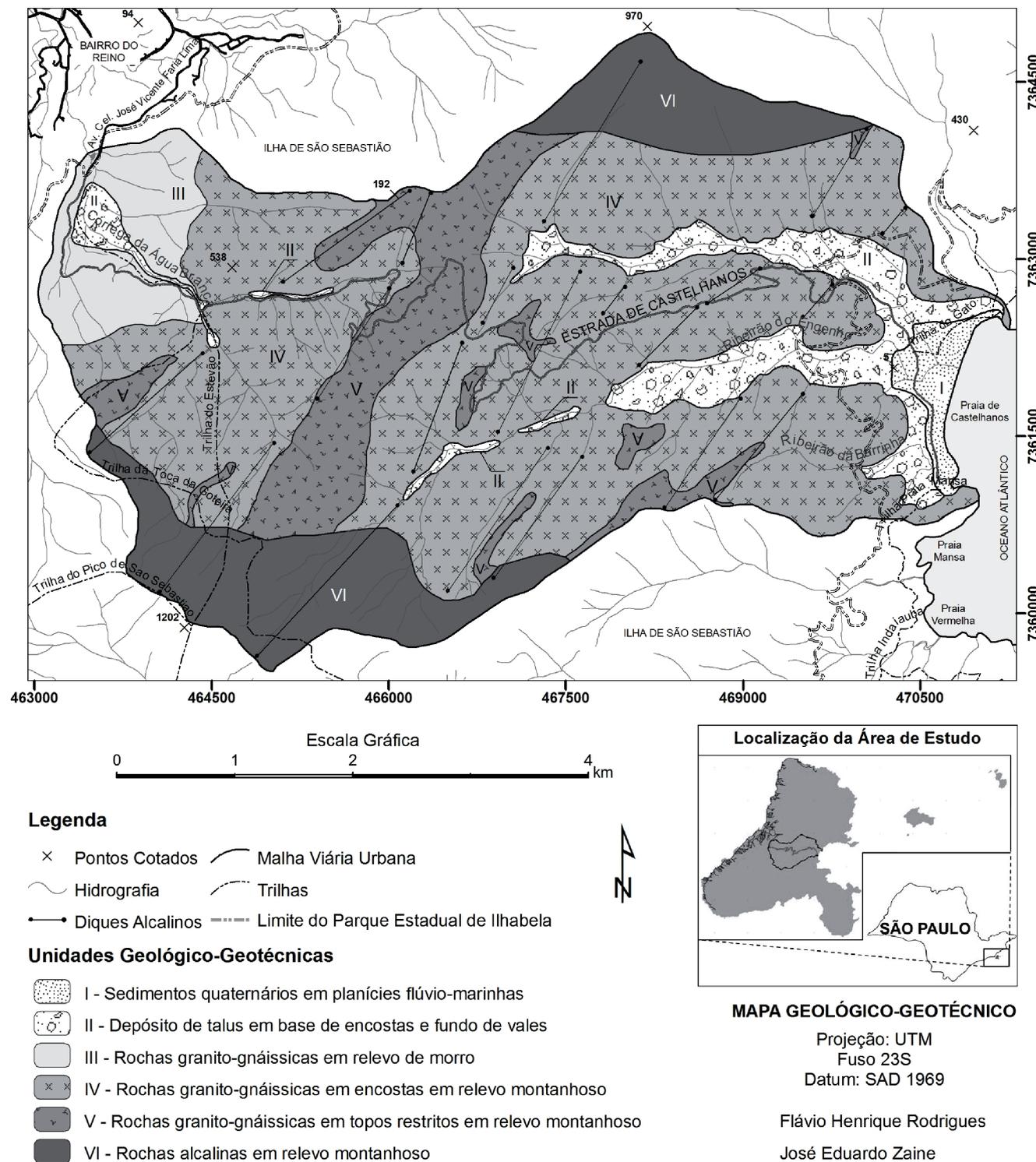
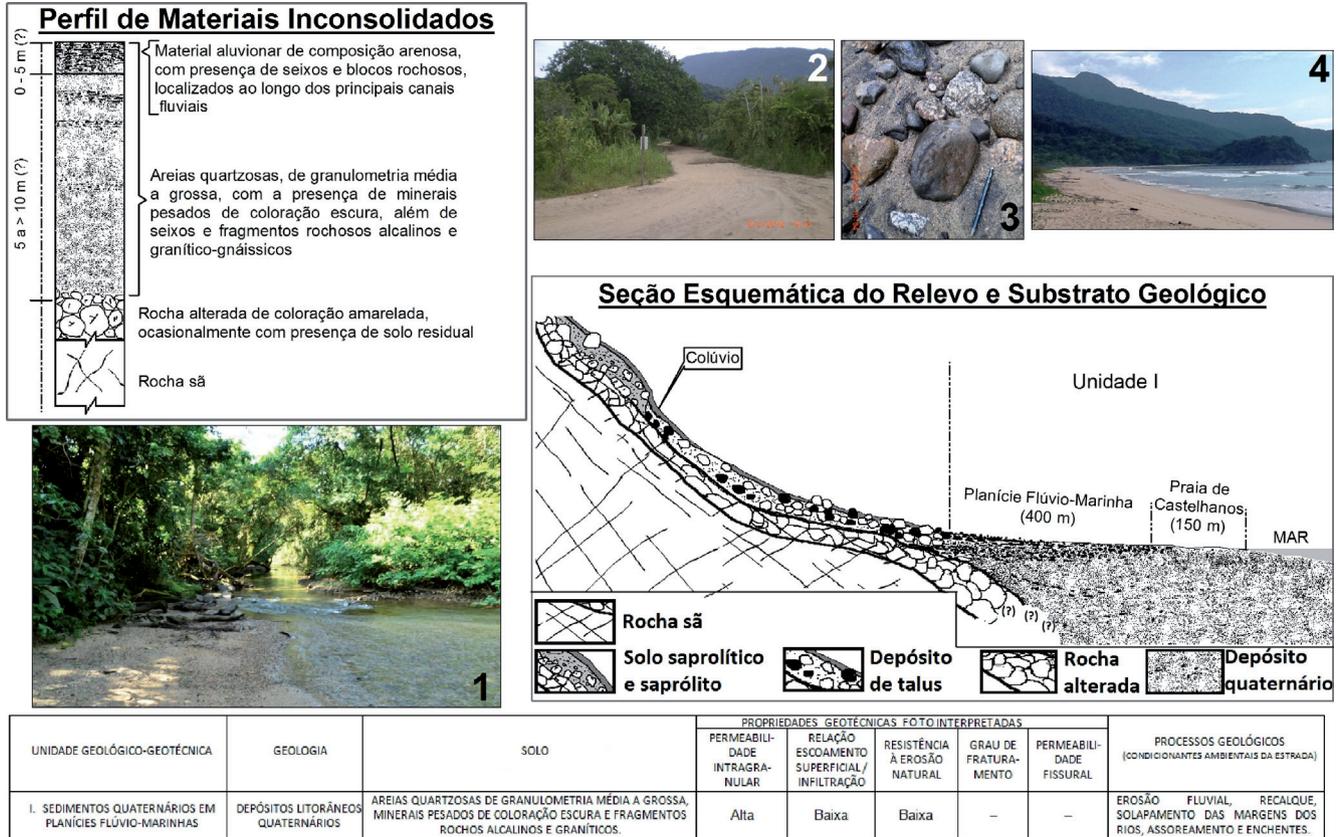


Figura 1 - Mapa geológico-geotécnico (escala original de 1:20.000)

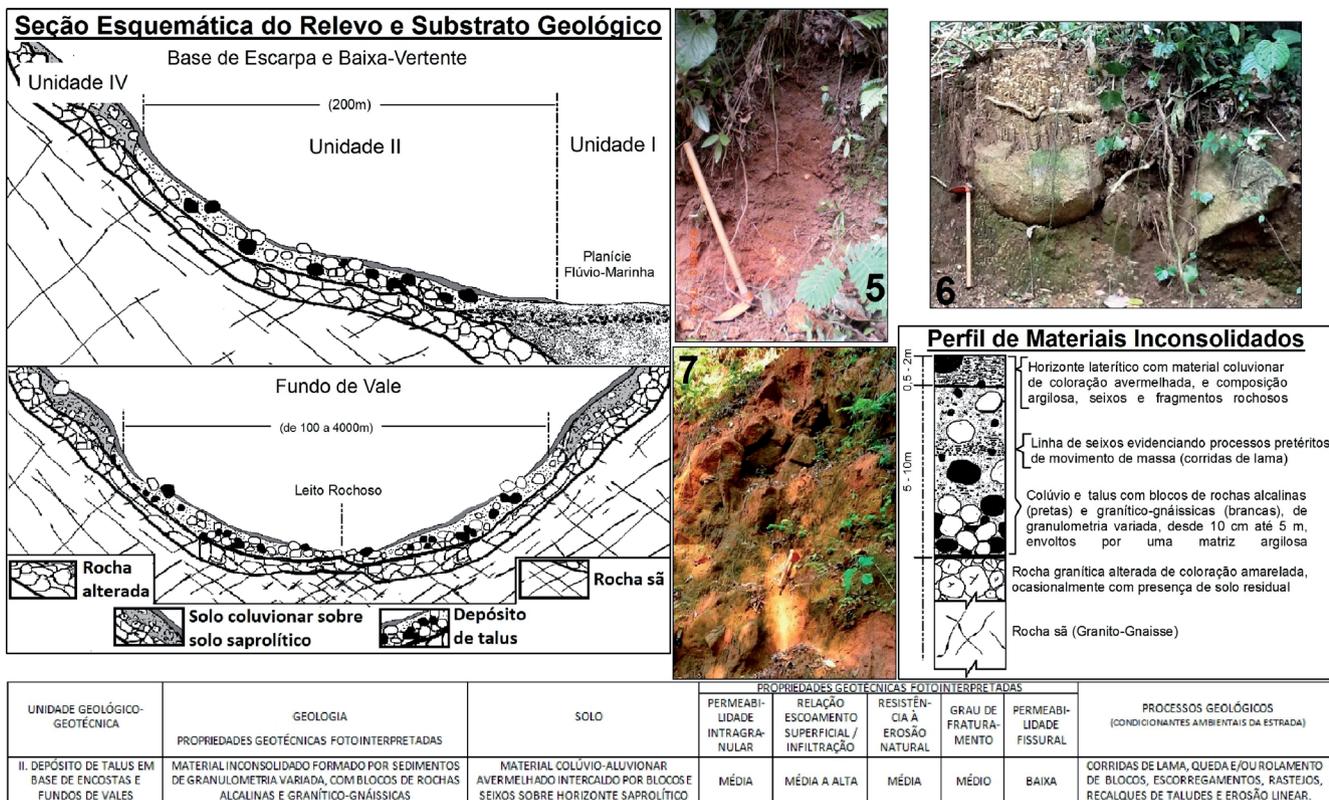
3.1 Caracterização geológico-geotécnica

Os resultados obtidos com base as análise fotogeológica e constatações em campo consistem na identificação e descrição do perfil de alteração

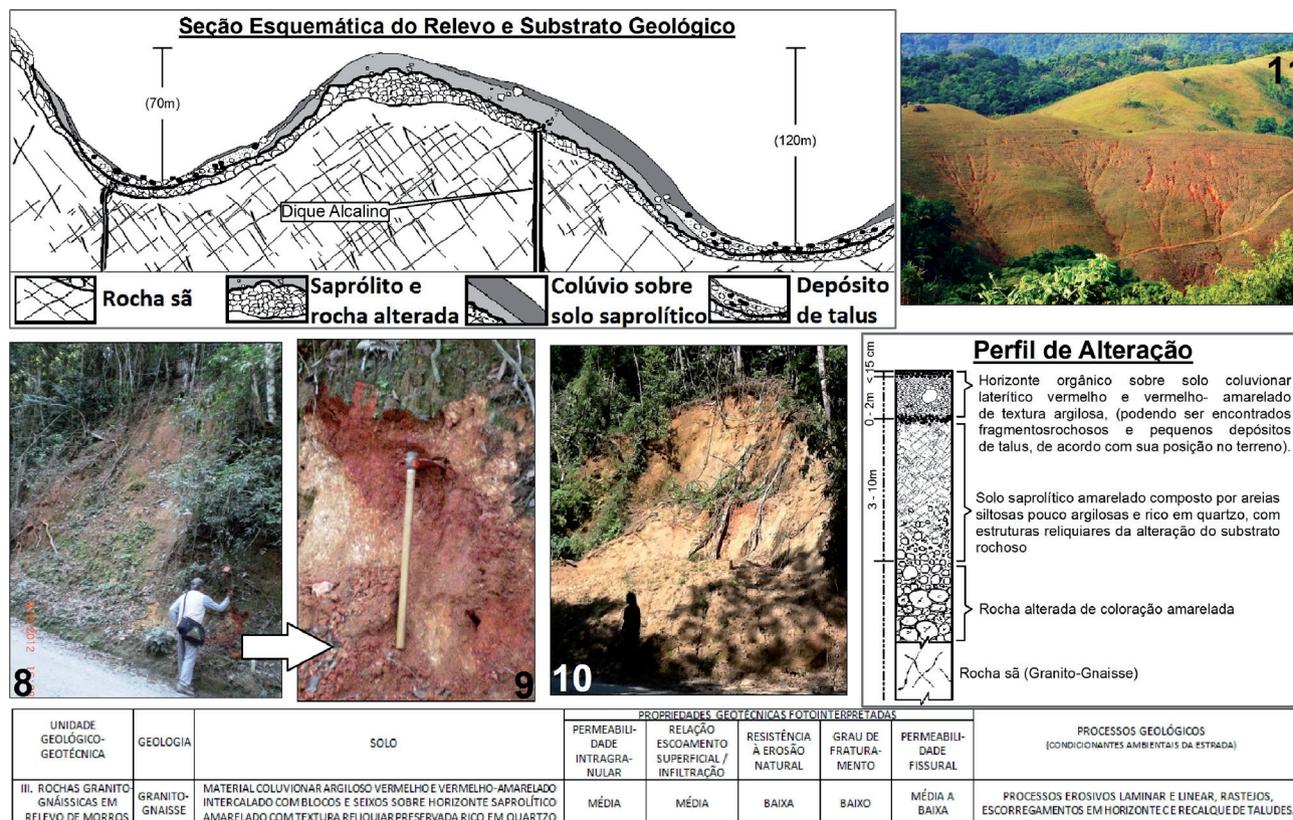
ou de materiais inconsolidados, as formas do relevo (perfil de encosta, topos e vales) e o embasamento rochoso das seis Unidades Geológico-Geotécnicas, os quais são apresentadas a seguir (Pranchas 1 - 6):



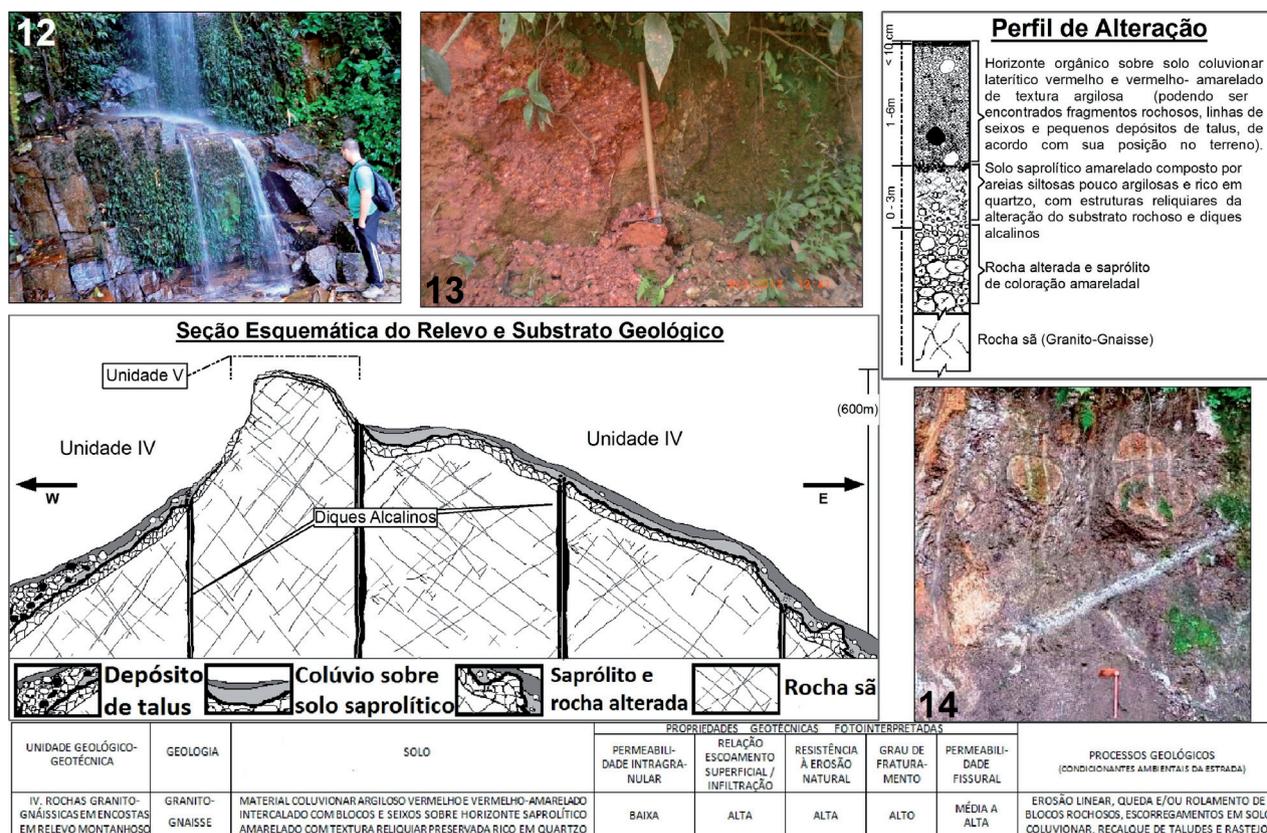
Prancha 1 – Sedimentos Quaternários em Planícies Flúvio-Marinhas. Foto 1: Estrada junto ao Ribeirão do Engenho. Foto 2: Estrada sobre a praia de Castelhanos. Foto 3: Seixos e areias inconsolidadas. Foto 4: Praia de Castelhanos



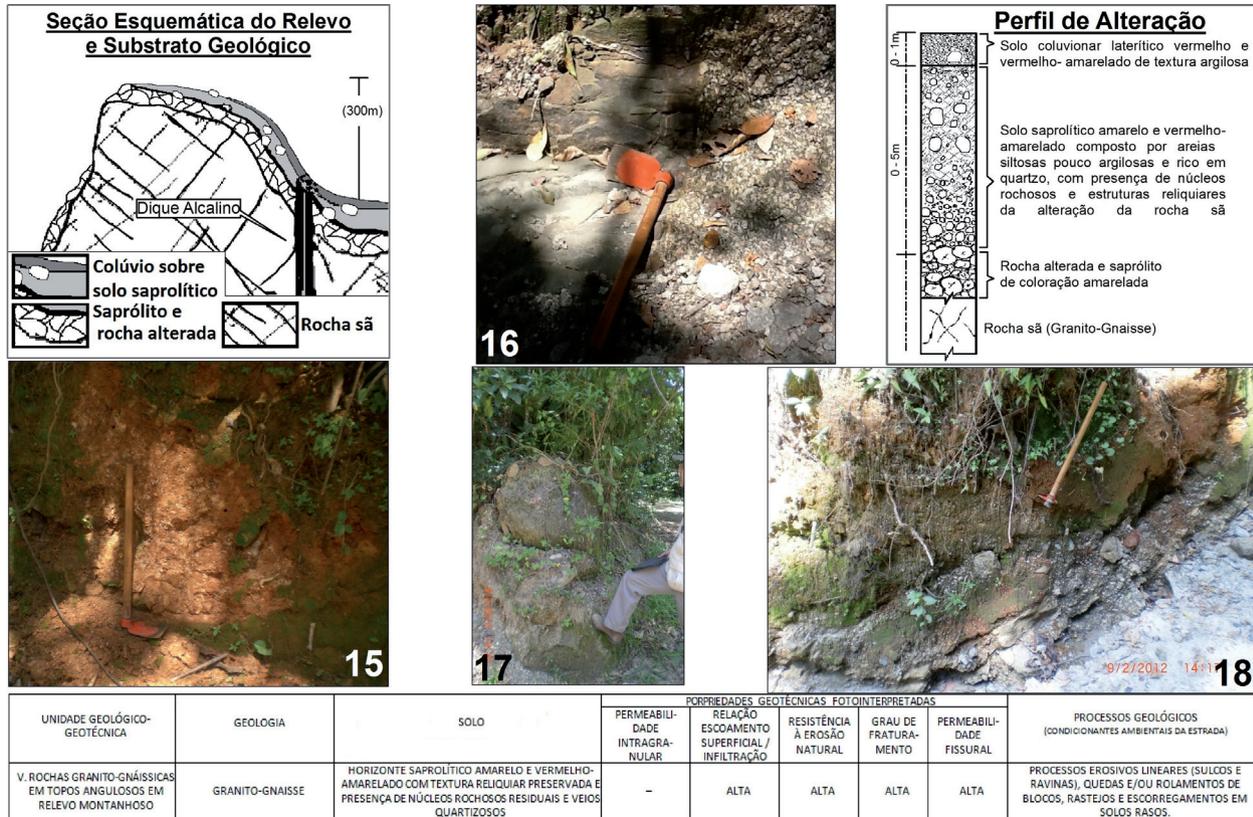
Prancha 2 – Depósito de Talus em Base de Encostas e Fundo de Vales. Foto 5: Solo coluvionar avermelhado com textura argilosa. Foto 6: Blocos rochosos em matriz argilosa Foto 7: Escorregamento em corpo de talus



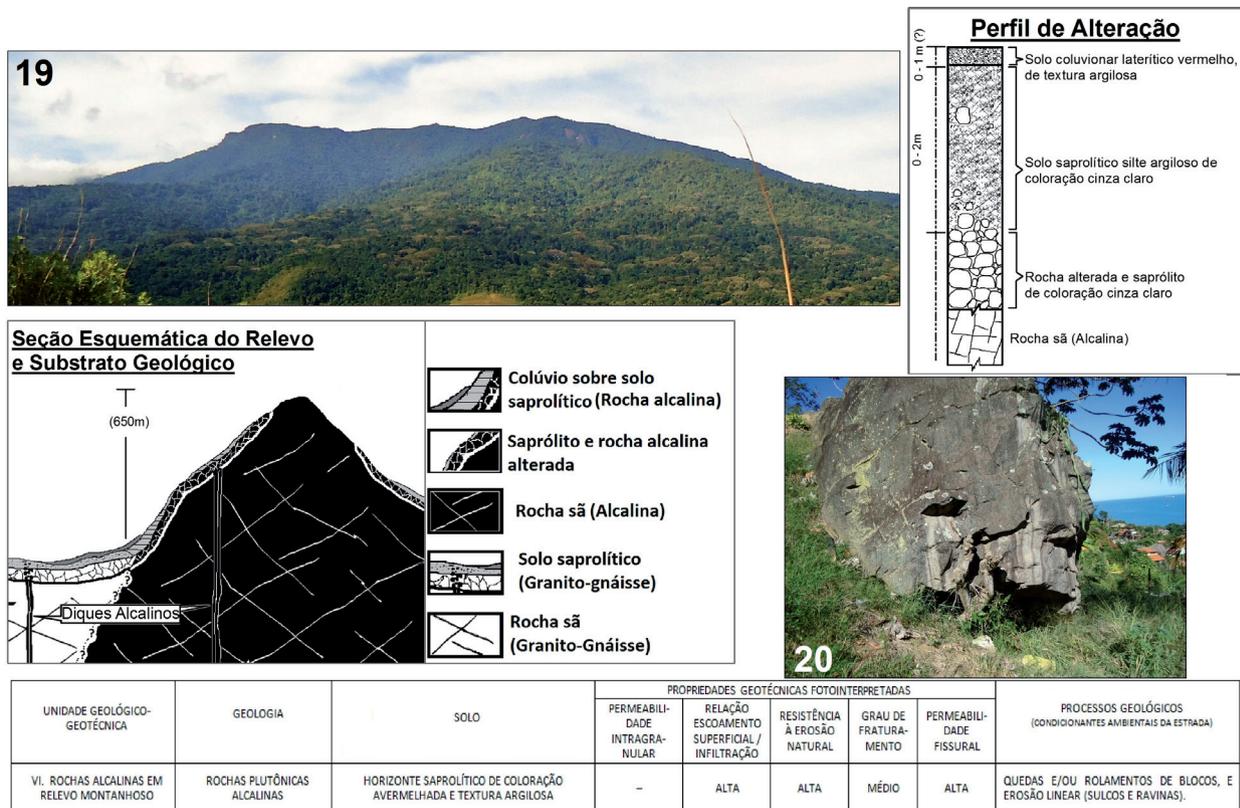
Prancha 3 – Rochas Granito-Gnáissicas em Relevo de Morros. Foto 8: Cicatriz de escorregamento superficial. Foto 9: Solo saprolítico siltoarenoso. Foto 10: Cicatriz de escorregamento em horizonte C. Foto 11: Erosão linear



Prancha 4 – Rochas Granito-Gnáissicas em Encostas em Relevo Montanhoso. Foto 12: Cachoeira sobre dique de rocha alcalina. Foto 13: Solo coluvionar vermelho-amarelado. Foto 14: Solo saprolítico com estruturas reliquias preservadas



Prancha 5 – Rochas Granito-Gnáissicas em Topos Restritos em Relevo Montanhoso. Foto 15: Solo saprolítico siltearenoso. Foto 16: Rocha granítica e dique alcalino. Foto 17: Solo saprolítico rico e fragmentos rochosos. Foto 18: Colúvio sobre solo saprolítico



Prancha 6 – Rochas Alcalinas em Relevo Montanhoso. Foto 19: Panorâmica do relevo típico de rochas alcalinas (Pico de São Sebastião). Foto 20: Bloco de rocha alcalina

3.2 Diagnóstico de situação da Estrada de Castelhanos

As informações apresentadas neste item compõem o diagnóstico de situação da Estrada de Castelhanos, com sua divisão em unidades lineares contínuas, onde um conjunto de elementos do meio físico manifesta-se pelos principais problemas existentes na pista de rolamento, sistema de drenagem e no terreno entorno.

Foram definidos oito trechos diagnósticos de acordo com as unidades geológico-geotécnicas mapeadas, nos quais a estrada apresenta características construtivas específicas.

A avaliação da condição de uso e conservação da via restringiu-se ao levantamento de campo, onde se priorizou a identificação dos defeitos na pista de rolamento e situação do sistema de drenagem, revestimento primário e

seção transversal. As condições de tráfego foram um critério relevante na coleta de dados, além de serem registrados os problemas de natureza geológico-geotécnica encontrados na pista.

Esta associação permite compreender o comportamento do meio físico frente às intervenções realizadas na pista de rolamento, sistema de drenagem e taludes marginais. E, portanto, compreender o estado atual de conservação e tráfego, subsidiando o planejamento das atividades de estabilização de taludes, nivelamento do leito carroçável e outras obras de manutenção e recuperação da via.

A seguir são apresentadas as principais informações do diagnóstico de situação da Estrada de Castelhanos, sintetizadas no Quadro 4, e no cartograma de Figura 2, com os trechos diagnósticos e as respectivas seções transversais e terreno adjacente.

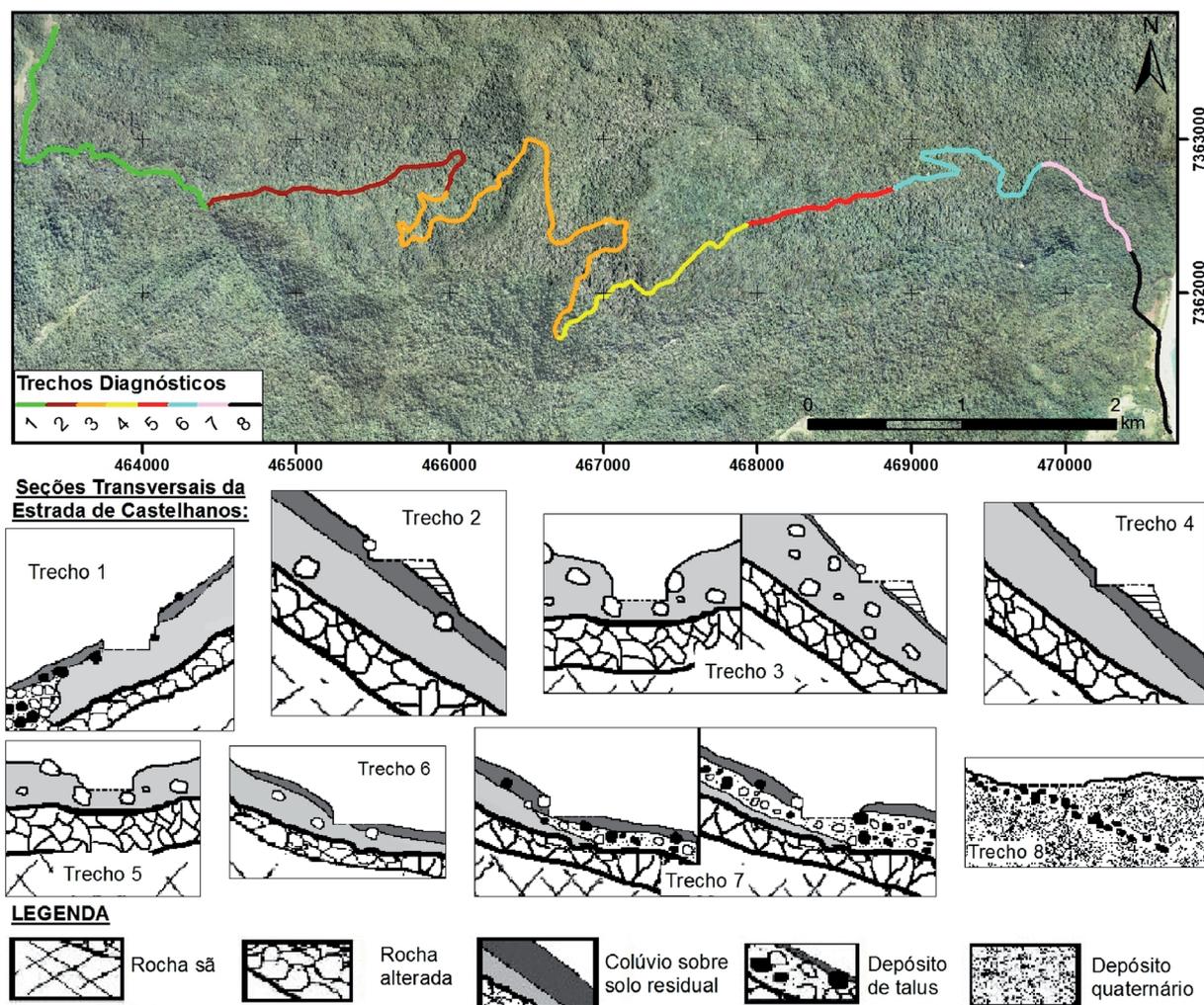


Figura 2 - Cartograma Síntese do Diagnóstico de Situação da Estrada de Castelhanos

Quadro 4 – Síntese do Diagnóstico de Situação da Estrada de Castelhanos

Trechos (extensão)	Unidades Geológico-Geotécnica / Descrição do terreno	Situação da Pista de Rolamento (Principais Defeitos)	Processos Geológicos Exógenos
1 (2,39 km)	Unidade III: <ul style="list-style-type: none"> Baixa e meia-encosta de perfis côncavo e retilíneos; Declividades entre 5 e 30%; Solos saprolíticos amarelado e vermelho-amarelado com textura silto-argilosa, material coluvionar argiloso e fragmentos rochosos. 	Estrada em bom estado conservação devido à presença de revestimento primário e sistema de drenagem adequados e seção transversal bem executada.	<ul style="list-style-type: none"> Rastejo; Escorregamento.
2 (2,08 km)	Unidade IV: <ul style="list-style-type: none"> Baixa-encosta de perfil retilíneo; Declividades entre 15 e 30%; Solo saprolítico com textura silto-argilosa e estruturas reliquiárias, rocha granito-gnáissica alterada, diques alcalinos e material coluvionar argiloso. 	<ul style="list-style-type: none"> Rochas aflorantes 	<ul style="list-style-type: none"> Erosão linear; Rastejo; Escorregamento; Rolamento de blocos.
3 (4,28 km)	Unidade IV / V: <ul style="list-style-type: none"> Meia e alta-encosta de perfil côncavo-retilíneo e topos rochosos em forma de crista; Declividades acima de 30%; Colúvio inexistente a pouco espesso sobre solo saprolítico amarelado, rocha granito-gnáissica alterada e diques alcalinos. 	<ul style="list-style-type: none"> Seção transversal com irregularidades; Sistema de drenagem inadequado; Ausência de estruturas de travessia sobre os cursos d'água; Rochas aflorantes; Buracos (sulcos e ravinas). 	<ul style="list-style-type: none"> Erosão linear; Escorregamento; Queda de blocos.
4 (1,64 km)	Unidade IV: <ul style="list-style-type: none"> Meia-encosta de perfil côncavo-retilíneo; Declividades entre 30 e 45%; Solo saprolítico com estruturas reliquiárias, solo coluvionar muito argiloso, rocha alterada granito-gnáissica e diques alcalinos. 	<ul style="list-style-type: none"> Seção transversal mal executada; Sistema de drenagem inadequado; Ausência de estruturas de travessia sobre os cursos d'água (formação de atoleiros); Rochas aflorantes; Buracos (sulcos e ravinas). 	<ul style="list-style-type: none"> Erosão linear; Rastejo; Escorregamento; Queda de blocos; Enxurrada.
5 (1,01 km)	Unidade IV: <ul style="list-style-type: none"> Sobre divisor de água em topo arredondado; Declividades entre 5 e 30%; Colúvio pouco espesso a inexistente, solo saprolítico com textura silto-argilosa e rocha granito-gnáissica alterada. 	<ul style="list-style-type: none"> Seção transversal mal executada; Sistema de drenagem inadequado; Rochas aflorantes; Buracos (sulcos e ravinas). 	<ul style="list-style-type: none"> Erosão linear (área de dispersão de água); Rastejo.
6 (1,85 km)	Unidade IV: <ul style="list-style-type: none"> Meia encosta com perfil côncavo; Declividades entre 15 e 45%; Colúvio e fragmentos rochosos sobre solo saprolítico com textura silto-argilosa e rocha granito-gnáissica alterada. 	<ul style="list-style-type: none"> Seção transversal mal executada; Sistema de drenagem inadequado; Ausência de estruturas de travessia sobre os cursos d'água; Revestimento primário inadequado; Rochas aflorantes; Atoleiros; Buracos (sulcos e ravinas). 	<ul style="list-style-type: none"> Erosão linear; Rastejo; Escorregamento.
7 (0,86 km)	Unidade II: <ul style="list-style-type: none"> Baixa-encosta com perfil côncavo; Declividades entre 5 e 30%; Solo coluvionar avermelhado argiloso e areno-argiloso e depósito de talus. 	<ul style="list-style-type: none"> Seção transversal mal executada; Sistema de drenagem inadequado; Ausência de estruturas de travessia sobre os cursos d'água; Revestimento primário inadequado; Rochas aflorantes; Atoleiros; Buracos (sulcos e ravinas). 	<ul style="list-style-type: none"> Erosão linear; Rastejo; Escorregamento; Rolamento de blocos.
8 (1,29 km)	Unidade I: <ul style="list-style-type: none"> Planície flúvio-marinha e praia de Castelhanos; Declividades entre 0 e 5%; Solo colúvio-aluvionar, fragmentos rochosos (seixos) e areias inconsolidadas. 	<ul style="list-style-type: none"> Seção transversal mal executada; Sistema de drenagem inadequado; Ausência de estruturas de travessia sobre os cursos d'água; Revestimento primário inadequado; Atoleiros; Ondulações. 	<ul style="list-style-type: none"> Erosão fluvial; Assoreamento; Enchentes.

4 DISCUSSÃO

Verificou-se ao longo de toda estrada, a constante atuação dos processos gravitacionais de movimentação de massa, os quais transportam solos residuais, material coluvionar, blocos rochosos, além de árvores e estruturas da estrada. Os rastejos ocorrem constantemente e são responsáveis por muitas quedas de árvores sobre a estrada, sendo os fatores predisponentes para os escorregamentos nos taludes de corte em toda estrada, exceto em áreas planas da unidade I. Para um projeto de recuperação, os taludes da rodovia, quando possível, devem ter a declividade suavizada e receber uma proteção vegetal adequada.

As quedas e rolamentos de blocos resultam do seu desprendimento dos maciços rochosos localizados em afloramentos das unidades V e VI. Nestes locais foram registradas as situações de maior susceptibilidade a estes processos, os quais ocorrem associados a escorregamentos de solo saprolítico com exposição da rocha alterada. Na unidade II, estes processos estão associados aos escorregamentos de material coluvionar e corpo de talus, bem como erosão na base de blocos rochosos. Sendo assim, os trechos de 3 a 7 apresentam maior vulnerabilidade a escorregamentos em taludes, em decorrência dos processos geológicos atuantes, dos materiais constituintes do manto de alteração e características construtivas inadequadas.

O trecho 1, inserido na unidade III, apesar dos grandes escorregamentos e rastejos de solo coluvionar, possui média vulnerabilidade aos processos geológicos que possam impactar o estado de conservação da via e o tráfego. Parte disto deve-se ao sistema de drenagem e seção transversal bem executados e revestimento primário adequado, além de sua localização em vertentes da escarpa voltadas para o continente, as quais se encontram protegidas dos eventos climáticos costeiros, caracterizados pelos fortes ventos e grandes episódios pluviométricos.

Localizados em terrenos com baixa declividade, o trecho 8 é considerado o menos vulnerável aos processos de movimentos gravitacionais, porém, ocorrem registros de erosão linear associa-

dos à ausência do sistema de drenagem, além de deformações no leito formado por solos com baixa capacidade de carga pelo tráfego de veículos.

Subordinadamente, os processos erosivos apresentaram influência na dinâmica morfogenética da área e são condicionados pela ação da água da chuva em grandes declividades, afetando diretamente o estado de conservação da estrada, e intensificando-se onde são observados sistemas de drenagem inadequados ou inexistentes. Podem ocorrer de forma concentrada longitudinalmente à estrada e/ou em subsuperfície nos aterros, afetando principalmente os trechos de 4 a 7, nas unidades II, IV e V, em vertentes oceânicas expostas aos intensos eventos climáticos costeiros.

Com exceção do trecho 1, a erosão fluvial ocorre junto às estruturas de travessia de drenagem em áreas íngremes das unidades IV e V, e nas margens dos ribeirões da Barrinha e do Engenho, na unidade I.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desta pesquisa demonstraram que é possível o desenvolvimento de instrumentos de gestão ambiental aplicados às estradas florestais não pavimentadas, a partir da cartografia geotécnica realizada para tal finalidade. Com base no método de análise integrada do terreno e levantamentos de campo, obteve-se um produto cartográfico único, no qual os elementos ambientais foram analisados integralmente e individualizados em unidades homogêneas. Assim, o método adotado se mostrou adequado para análise do meio físico, dos processos geológicos atuantes e das condições da Estrada de Castelhanos.

Espera-se que os resultados obtidos nesta pesquisa possam ser usados como ferramenta de gestão ambiental aplicada à Estrada de Castelhanos, principalmente para a otimização dos trabalhos de recuperação de áreas degradadas e monitoramento ambiental.

Propõe-se a elaboração de um modelo de gerenciamento de manutenção de vias não pavimentadas, de modo a auxiliar a alocação de recursos destinados à conservação da estrada e recuperação dos trechos mais críticos.

Para os trabalhos futuros de recuperação e manutenção da via, recomenda-se a utilização

de escalas maiores visando o detalhamento dos trechos problemáticos, mais susceptíveis aos processos geológicos, além de estudos dirigidos e ensaios pontuais, os quais não foram elaborados no âmbito desta pesquisa.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa concedida durante o período de mestrado, ao Parque Estadual de Ilhabela e Prefeitura Municipal de Ilhabela, pela relevante colaboração ao longo de toda pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F. F. M. Fundamentos geológicos do relevo paulista. *Boletim Instituto Geográfico e Geológico*, São Paulo, v. 41, p. 167-263, 1964.
- ALMEIDA, F.F.M. *The system of continental rifts bordering the Santos Basin, Brazil. Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 48, p. 15-26, 1976.
- CENDERO, A. *Mapping and evaluation of coastal areas for planning. Ocean & Shoreline Management*, v. 12, p. 427-462. Holanda, 1989.
- FONTANA, C.R.; LIMA, W.P.; FERRAZ, S.R. de B., Avaliação da Remoção de Sedimentos pela Operação de Nivelamento de Estradas Florestais. In: *Scientia Forestalis*, n. 76, p. 103 - 109. Piracicaba, 2007.
- GRANT, K. The PUCE Programme for terrain calculation for engineering purposes. Part 2. procedure for terrain classification. Victoria: CSIRO - Division of Applied Geomechanics, *Technical Paper*, n. 19, 1974.
- IAGE COMISSION ON ENGINEERING GEOLOGICAL MAPPING; UNESCO. *Guide pour la preparation des cartes géotechniques*. Paris: Les Press de l'Unesco, 1976.
- LOLLO, J. A. *O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na quadrícula Campinas*. 1995. 2 v. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.
- RIEDEL, P.S. *Estudo das Coberturas de Alteração de Parte do Centro Leste Paulista Através de Dados de Sensoriamento Remoto*. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1988.
- ROSS, J.L.S. *Análise e sínteses na abordagem geográfica da pesquisa para o planejamento ambiental*. Rio Claro, v. 9, n.1, p.65-75, 1995.
- SOARES, P.C. & FIORI, A.P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. *Notícia Geomorfológica*, v. 16, n. 32, p. 71-104, 1976.
- VAZ, L.F. Classificação genética dos solos e dos horizontes de alteração de rocha em regiões tropicais. *Solos e Rochas*, São Paulo, 19, (2): p. 117-136, 1996.
- VENEZIANI, P.; ANJOS, C. E. *Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia*. São José dos Campos: INPE, 1982.
- VEDOVELLO, R. *Zoneamento geotécnicos por sensoriamento remoto, para estudos de planejamento do meio físico - aplicação em expansão urbana*. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, 1993.
- VEDOVELLO, R. *Zoneamento geotécnicos por sensoriamento remoto, para estudos de planejamento do meio físico - aplicação em expansão urbana*. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, 1993.
- VEDOVELLO, R. *Análise Comparativa da Técnica de Compartimentação Fisiográfica de Terrenos, por Sensoriamento Remoto e com a Obtenção de Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs), em Três Diferentes Regiões do Estado de São Paulo. Ipojuca, PE*. In: 12º CBGE - Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, Ipojuca, PE,

23 a 27 de novembro de 2008. *Anais...*, CD-ROM.

VEDOVELLO R. & MATTOS, J.T. de. A utilização de Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs) como base para a definição de Unidades Geotécnicas. Uma abordagem a partir do Sensoriamento Remoto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA, 3., Florianópolis, 1998. *Anais...* Florianópolis: ABGE, 1998. CD-ROM.

ZAINE, J.E. *Mapeamento geológico-geotécnico por meio do método do detalhamento progressivo: ensaios de aplicação na área urbana do Município de Rio Claro (SP)*. 2000. Tese (Doutorado em Geociências e

Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

ZAINE, J.E. *Método de Fotogeologia Aplicado a Estudos Geológico-Geotécnicos: Ensaio em Poços de Caldas, MG*. Tese (Livre-docência) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2011.

ZUQUETTE, L.V. *Análise Crítica da Cartografia Geotécnica e Proposta Metodológica para as Condições Brasileiras*. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de