

ANÁLISE FISIAGRÁFICA APLICADA À ELABORAÇÃO DE MAPA GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DE REGIÃO DA SERRA DO MAR E BAIXADA SANTISTA

João Paulo Lima de PAULA ¹, José Eduardo ZAINE ²,
Marcela Santos LIMA ³, Erica Mantovani de OLIVEIRA ¹

(1) Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Campus de Rio Claro. Avenida 24-A, 1515 – Bela Vista. CEP 13506-900. Rio Claro, SP. Endereços eletrônicos: jpgeol@yahoo.com; mantovani_geo@yahoo.com.br

(2) Departamento de Geologia Aplicada, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Campus de Rio Claro. Avenida 24-A, 1515 – Bela Vista. CEP 13506-900. Rio Claro, SP. Endereço eletrônico: jezaine@rc.unesp.br

(3) Graduação em Geografia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Campus de Rio Claro. Avenida 24-A, 1515 – Bela Vista. CEP 13506-900. Rio Claro, SP. Endereço eletrônico: marcella_unesp@yahoo.com.br

Introdução
Metodologia
 Base Teórica
 Etapas de Trabalho
Características do Meio Físico da Área
 Características Geológicas
 Características Estruturais
 Características Geomorfológicas
 Planalto Atlântico
 Província Costeira
 Características dos Solos
Resultados
Conclusões
Agradecimentos
Referências Bibliográficas

RESUMO – O objetivo principal do presente artigo corresponde em apresentar o mapa geológico-geotécnico em escala 1:50.000, bem como a caracterização das unidades correspondentes, de uma área, aproximada, de 480 km² na Serra do Mar e na baixada Santista (proximidades dos municípios de Cubatão e Santos, SP). O mapa geológico-geotécnico foi elaborado a partir da união do mapa de unidades de compartimentação do relevo, mapa geológico e das informações obtidas na pesquisa bibliográfica. Neste mapa são apresentadas 15 unidades geológico-geotécnicas, as quais são distribuídas segundo as áreas do Planalto Paulistano (3), a Serrania Costeira (6) e Baixadas Litorâneas (6).

Palavras-chave: mapa geológico-geotécnico, análise fisiográfica, meio físico, Serra do Mar e Baixada Santista.

ABSTRACT – *J.P.L. de Paula, J.E. Zaine, M.S. Lima, E.M. Oliveira - The physiographic analysis applied to the elaboration of the geological-geotechnical map in the Serra do Mar and Baixada Santista (São Paulo, Brazil).* The main objective of this paper is to present the geological-geotechnical map in scale 1:50.000, on an area of 480 km² in Serra of the Mar and Baixada Santista (neighborhoods of the cities Cubatão and Santos, SP). The geological-geotechnical map was elaborated with data from the map of homogeneous units of relief, of the geological map and of the information obtained on the bibliographical research. In this map 15 geological-geotechnical units are presented, which are distributed according to areas of the Planalto Paulistano (3), Serrania Costeira (6) and Baixada Litorânea (6).

Keywords: geological-geotechnical map, homogeneous units of the relief, physical environment, Serra of the Mar and Baixada Santista.

INTRODUÇÃO

O presente artigo traz um mapa geológico-geotécnico e a caracterização das unidades correspondentes, elaborado a partir da análise fisiográfica e da compartimentação de relevo, aplicadas a uma região que abrange a Serra do Mar e a Baixada Santista, nas proximidades dos municípios de Cubatão e Santos, SP.

Tem por objetivo apresentar um subsídio para ações preventivas e corretivas aplicadas principalmente a obras lineares que atravessam esta importante região.

Este trabalho é parte da dissertação intitulada “Caracterização do meio físico como subsídios à elaboração de Cartas de Sensibilidade Ambiental: ensaio

de aplicação em dutovia na Serra do Mar - SP”, apresentada ao programa de Pós-Graduação em Geo-

ciências e Meio Ambiente da Universidade Estadual Paulista, UNESP, Campus de Rio Claro.

METODOLOGIA

BASE TEÓRICA

Quanto ao aspecto metodológico específico para elaboração de mapa que represente as características do meio físico, os processos geológicos atuantes, bem como seus comportamentos geotécnicos em um único produto cartográfico, destacam-se os procedimentos descritos por Ross (1995), Lollo (1995) e Vedovello (2000). Ross (1995) descreve que “Land Systems” têm como característica a geração de produtos temáticos analítico-sintéticos, por meio de geoprocessamento com interpretação automática ou a partir de interpretação visual.

Os padrões de fisionomia do terreno, ou padrões de paisagem ou Unidades de Paisagem individualizadas e cartografadas são o referencial básico para o início das pesquisas. Nesse processo, a vantagem está em gerar um único produto cartográfico seccionado em várias “unidades de paisagem”, que resumem as características de relevo, solo, geologia, vegetação, uso da terra e socioeconômicas.

Lollo (1995) apresenta o método denominado de Avaliação do Terreno (“terrain evaluation”), que permite dividir uma área em unidades cada vez menores, por meio de fotointerpretação, baseando-se, exclusivamente, nas uniformidades das feições de relevo. A mesma fundamenta-se no “reconhecimento, interpretação e análise de feições de relevo (“landforms”), as quais, sendo reflexo dos processos naturais atuantes sobre os materiais da superfície terrestre, devem refletir as condições dos mesmos”.

O termo *landform* é definido por Lollo (1995) como sendo uma “porção do terreno originada de processos naturais e distinguíveis das porções vizinhas em pelo menos um dos seguintes elementos de identificação: forma e posição topográfica, frequência e organização dos canais, inclinação das vertentes e amplitude de relevo”. Este pode ser usado em três níveis hierárquicos diferentes: sistema de terreno (*land system*), unidade de terreno (*land unit*) e elemento de terreno (*land element*).

Os resultados dessa técnica de avaliação do terreno são representados em mapas, sob a forma de zoneamento, em termos dos *landforms* existentes na área de estudo e dos materiais (como rochas e perfis de alteração de materiais inconsolidados), associados a esses *landforms* (Lollo & Zuquete, 1996).

Vedovello (2000) descreve os procedimentos adotados para o Zoneamento Geotécnico realizado por

meio de Unidades Básicas de Compartimentação (UBC), que pode ser realizado em três etapas:

1. *Compartimentação Fisiográfica do Terreno*: consiste em dividir uma determinada área em unidades que apresentem homogeneidade quanto às características dos elementos componentes do meio físico e que, portanto, impliquem um determinado comportamento geotécnico frente às ações e atividades antrópicas;
2. *Caracterização Geotécnica*: consiste em determinar, para cada unidade obtida na etapa anterior, propriedades e características dos materiais (solos, rochas, sedimentos) e das formas (tipos de relevo e processos morfogenéticos) do meio físico, que sejam determinantes das condições geológico-geotécnicas relevantes para a aplicação pretendida;
3. *Cartografia Temática Final*: refere-se à classificação das unidades de compartimentação quanto a fragilidades ou potencialidades do terreno. Essa classificação é feita com base na análise das propriedades e/ou características do meio físico obtidas na etapa de caracterização geotécnica e determinada por critérios ou regras de classificação estabelecidas para cada unidade pretendida.

Uma compartimentação fisiográfica consiste em dividir uma determinada região em áreas que apresentem, internamente, características fisiográficas homogêneas e distintas das áreas adjacentes, podendo ser efetuada em diferentes escalas (Vedovello, 2000).

Os três métodos ressaltam a importância da caracterização do meio físico onde, em uma ação combinada destas características, definem-se as unidades. Porém, são ressaltadas as características fisiográficas do terreno, que podem ser compartimentadas em unidades cada vez mais detalhadas. Esses métodos também revelam a importância de integrar as diversas informações e características do meio físico que podem ser aplicadas em várias frentes, seja no planejamento urbano e ambiental, obras de engenharia, proteção do ambiente etc.

No campo da Geologia de Engenharia, os instrumentos utilizados, usualmente, para a representação das características do meio físico podem ser genericamente denominados Cartas Geológico-Geotécnicas, Cartas de Geologia de Engenharia, Cartas Geotécnicas, Mapas Geotécnicos e exprimem os comportamentos dos terrenos frente a uma solicitação. Zuquete &

Nakazawa (1998) citam os conceitos clássicos de Mapas ou Cartas Geotécnicas propostos por Varnes (1974) e IAEG (1976), respectivamente: “Um mapa geotécnico requer, para sua realização, operações físicas de adição, seleção, generalização e transformações de informações especializadas, relativas a litologia, a estrutura dos solos e rochas, hidrogeologia, geomorfologia e processos geológicos”; e, “O mapa geotécnico é um tipo de mapa geológico que classifica e representa os componentes do ambiente geológico, os quais são de grande significado para todas as atividades de engenharia, planejamento, construção, exploração e preservação do ambiente”.

ETAPAS DE TRABALHO

O cartograma apresentado neste artigo, denominado Mapa geológico-geotécnico, foi elaborado a partir de informações coletadas em bibliografia, elaboração das base topográficas, análise de mapas

existentes (geomorfológico e geológico), fotointerpretação com base em Soares & Fiori (1976), trabalhos de campo para complementar as informações, aferir os contatos entre as unidades e levantamento dos perfis de alteração em cortes de rodovias e complementarmente a análise, integração e interpretação dos dados na forma de um mapa geológico-geotécnico e uma tabela contendo a síntese das informações obtidas. A seqüência das etapas desenvolvidas pode ser visualizada no fluxograma da Figura 1.

Estes produtos refletindo as características do meio físico geológico e apresentando informações de relevante interesse para subsidiar ações de planejamento e projetos de obras deverão compor, num trabalho sucessivo, documentos cartográficos integrando também informações do meio biótico e socioeconômico, como por exemplo cartas de sensibilidade ambiental a derramamentos de óleo em áreas continentais.

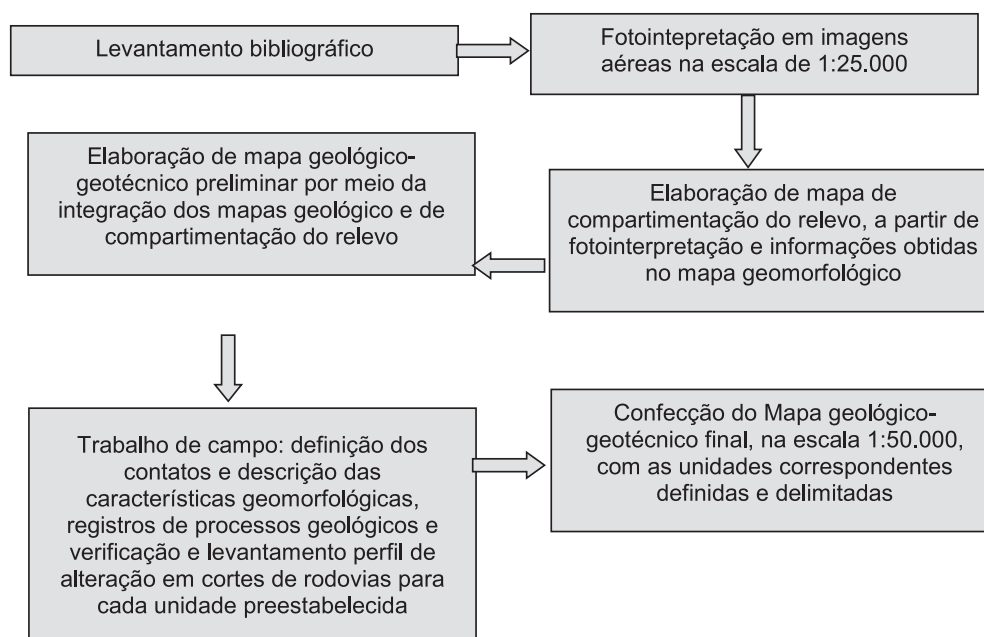


FIGURA 1. Fluxograma das atividades desenvolvidas para a elaboração do mapa geológico-geotécnico.

CARACTERÍSTICAS DO MEIO FÍSICO DA ÁREA

CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS

O substrato rochoso metamórfico está subdividido em duas grandes unidades litoestratigráficas, representadas pelo Grupo Açungui (Proterozóico Superior), constituído pelos complexos Embu e Pilar do Sul, e pelo Complexo Costeiro (Arqueano) (IPT, 1986).

Segundo o IPT (1986), as duas unidades distribuem-se em dois blocos justapostos, delimitados

pela zona de falha transcorrente de Cubatão, de direção NE-SW, que limita a norte o Bloco Jucituba, onde domina o Grupo Açungui; e a sul, o Bloco Costeiro, onde predominam rochas do Complexo Costeiro.

O Bloco Jucituba é constituído por ectinitos, representados por rochas calciossilicatadas (PSPC), filitos (PSPX), xistos (PSPX) e quartzitos (PSPQ); migmatitos essencialmente estromatíticos de paleosso-

ma xistoso dominante (PSeMc e PSeMn), com freqüentes sinais de retrometamorfismo; e migmatitos homogêneos com neossoma dominante (AcMn) na forma de núcleos, semelhantes às rochas do Complexo Costeiro. Ocorrem, ainda, de modo restrito, metabasitos ($m\beta$), rochas ígneas básicas ($JK\beta$), sedimentos (argilitos, arenitos e conglomerados) terciário-quadernários da bacia de São Paulo e sedimentos aluviais atuais e pré-atuais, quadernários (IPT, 1986).

O Bloco Costeiro é constituído por migmatitos diversos, com predomínio de estruturas oftalmíticas, ocorrendo, subordinadamente, estruturas estromatíticas, agmatíticas e nebulíticas. Ocorrem, ainda, suítes graníticas (PSeO γ), representadas pelos granitos Pai Matias, Guaperuvu, Caraú, Morrão e Parelheiros, rochas cataclásticas e miloníticas (PSE0M) associadas aos falhamentos transcorrentes de Cubatão, Freires-Jurubatuba e falhas menores. Podem ser registradas rochas ígneas básicas e ultrabásicas ($JK\beta$ e $JKd\mu\beta$), na forma de diques, além de sedimentos cenozóicos da Formação Cananéia (Qmc), sedimentos marinhos holocênicos (Qma), sedimentos de origem mista flúvio-lagunares e de baía (Qb), mangues e pântanos atuais (Qp), sedimentos continentais de planície aluviais e do sopé de encostas (Qc) (IPT, 1986).

CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS

Na literatura são descritas para a área, grandes estruturas regionais, representadas por falhas transcorrentes, denominadas zonas de falha de Cubatão e Freires-Jurubatuba, ambas com direção geral N50-70E e mergulhos variáveis da ordem de 75° a 90°. Associadas a essas zonas, desenvolvem-se faixas de rochas cataclásticas de espessuras variáveis, da ordem de centenas de metros (IPT, 1986).

As foliações dos diferentes tipos de rocha mostram também direção predominante N50-70E, com mergulhos variáveis da ordem de 70° a 90° para os quadrantes norte e sul (IPT, 1986).

Ao sul de Riacho Grande, que envolve tanto áreas de planalto como de escarpas, os migmatitos apresentam xistossidades com atitude N60E/80SE (IPT, 1986).

Nos trechos da escarpa serrana, a foliação tem direção N25E/30NW, para os filitos, e N54E/85NW para os xistos calciossilicáticos, enquanto nos migmatitos estromatíticos tem-se valores de N70E/70NW, e nos migmatitos homogêneos, atitudes N65E/60NW (IPT, 1986).

O IPT (1986) descreve que os sistemas de juntas de fraturamento mais marcantes são representados pelas direções N50-70E/subvertical a vertical, coincidentes com a foliação das rochas, e pelos sistemas de N00-30E e N40-60W, ambos com mergulhos subverticais a verticais.

CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS

A área de estudo compreende duas províncias geomorfológicas principais: Planalto Atlântico e Província Costeira (Almeida, 1964).

Planalto Atlântico

No mapa geomorfológico apresentado por IPT (1981), o Planalto Atlântico é descrito como uma região de terras altas, constituído, predominantemente, por rochas cristalinas pré-cambrianas e cambro-ordovicianas, cortadas por intrusivas básicas e alcalinas mesozóicas-terciárias, e pela cobertura das bacias sedimentares de São Paulo e Taubaté.

Uma das divisões do Planalto Atlântico, que pode ser destacada, é a Zona do Planalto Paulistano, descrito por Almeida (1964) como correspondente a uma área de cerca de 5.000 km² de relevo suavizado, desfeito em morros e espigões divisores de alturas modestas, cujas altitudes, salvo poucas elevações maiores, se encontram entre 715 a 900 m, decrescendo suavemente de sudeste a noroeste. É constituído, em sua maior parte, por filitos, micaxistos, gnaisses e migmatitos de vários tipos, embora pequenas intrusões graníticas sustentem algumas elevações menos discretas em seu interior.

Inserida no Planalto Paulistano está a Morraria do Embu, cujo relevo aumenta progressivamente de amplitude a partir das escarpas da Serra do Mar, sendo que a área ocupada pelas suas unidades morfológicas apresenta o relevo de morrotes e colinas, mais extensos, que dão lugar a morros, quando suas amplitudes ultrapassam uma centena de metros. O padrão de drenagem é mantido, com reduzido número de tributários (IPT, 1981).

Na área de planalto é encontrado o Relevo de Morrotes, denominado como Unidade de Morrotes Baixos, descrito com relevo ondulado, onde predominam amplitudes locais menores que 50 m. Topos arredondados, vertentes com perfis convexos a retilíneos. Drenagem de alta densidade, padrão em treliça, vales fechados a abertos, planícies aluviais interiores restritas. Presença eventual de colinas nas cabeceiras dos cursos d'água principais. Neste contexto podem ser individualizadas Planícies Aluviais.

Província Costeira

A Província Costeira, definida por Almeida (1964), corresponde “à área do Estado drenada diretamente para o mar, constituindo o rebordo do Planalto Atlântico. É, em maior parte, uma região serrana contínua, que à beira-mar cede lugar a uma seqüência de planícies de variadas origens”.

Na região serrana, as escarpas mostram-se abruptas e festonadas, desenvolvendo-se ao longo de

anfiteatros sucessivos, separados por espigões. Para compor o desnível da ordem de 800 a 1.200 m, entre as bordas do Planalto Atlântico e a Baixada Litorânea, a faixa de escarpas apresenta, em planta, larguras de 3 a 5 km, em média (IPT, 1981).

Na área de estudo são encontrados relevos da Serrania Costeira e Baixada Litorânea (IPT, 1981). A Serrania Costeira possui cinco subzonas, na qual se destaca a Serra do Mar (Foto 1).

Almeida (1953) cita o nome genérico Serra do Mar para um sistema de escarpas e montanhas que, desde o norte do Estado de Santa Catarina até o Estado do Rio de Janeiro, limita a borda oceânica do Planalto Atlântico. Diante da cidade de Santos, esse relevo atinge altitudes superiores à 1200 m, também chamado, localmente, de serra de Cubatão. Os grandes desníveis foram gerados por acidentes tectônicos, falhamentos ou fortes flexuras.



FOTO 1. Ortofoto, mostrando a distribuição e características gerais das três Zonas de Relevo na área de estudo.

Segundo Almeida (1953), a Serra de Cubatão apresenta como feição curiosa, a forma de “pinça de caranguejo”. O autor interpretou esse relevo como resultante de intenso e longo processo de erosão, que levou a perfeita adaptação das superfícies topográficas às diversidades de resistências das rochas. Essa feição teria sido condicionada por uma zona de falhas ou de forte flexura.

São encontradas as seguintes Unidades de relevo na Serra do Mar (IPT, 1981):

- *Escarpas festonadas*: desfeitas em anfiteatros separados por espigões, topos angulosos, vertentes com perfis retilíneos. Drenagem de alta densidade, padrão sub-paralelo a dendrítico, vales fechados;
- *Escarpas com espigões digitados*: compostas por grandes espigões lineares subparalelos, topos angulosos, vertentes com perfis retilíneos. Drenagem de alta densidade, padrão paralelo-pinulado, vales fechados.

Para a Zona da Baixada Litorânea, Almeida (1964) caracteriza os sedimentos costeiros como areias de praias e dunas, argilas e lamas orgânicas dos mangues,

e sedimentos detríticos geralmente finos, mas também psefíticos, que a rede de drenagem arrasta das serras vizinhas para o litoral, onde se acumulam em planícies aluviais, canais fluviais, restingas, praias, lagunas, etc. Na presente área de estudo, segundo o mapa geomorfológico do IPT (1981), são encontradas as seguintes Unidades de relevo:

- *Morros isolados*: topos arredondados, vertentes ravinadas de perfis convexos a retilíneos. Drenagem de média a alta densidade, padrão dendrítico, vales fechados. Ocorrem isolados nas planícies costeiras. Constituem ocorrências de rochas cristalinas sobressaindo no relevo plano da planície litorânea.
- *Terraços marinhos*: terrenos mais ou menos planos, poucos metros acima das planícies costeiras, com drenagem superficial ausente. Presença de antigos cordões (praias, dunas etc.);
- *Planícies aluviais*: São representadas pelos sedimentos aluviais e respectivas planícies fluviais dos principais rios da baixada;
- *Mangues*: terrenos baixos, quase horizontais, no nível de oscilação das marés, caracterizados por

sedimentos tipo vasa (lama) com vegetação típica e drenagem com padrão difuso.

- *Planícies costeiras*: terrenos baixos e mais ou menos planos, próximos ao nível do mar, com baixa densidade de drenagem, padrão meandrante, localmente anastomosado. Como formas subordinadas ocorrem cordões (praias, dunas etc.).

CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS

Vargas (1994) apresenta o perfil de solos residuais de granitos e gnaisses da Serra do Mar com sua divisão em três camadas principais:

- 1) Camada superficial de solo residual maduro, com alto índice de vazios e baixo grau de saturação,

que recebe a denominação de “solo poroso”; eventualmente, essa camada pode ser substituída por uma camada de solo humoso ou por argila ressecada;

- 2) Solo residual jovem, cuja característica principal é mostrar a estrutura reliquiar da “rocha-mãe”, que é, comumente, chamada de saprolito; e
- 3) Camada de rocha decomposta, a qual, eventualmente, necessita de explosivo para ser removida, e que recobre a rocha granítico-gnaíssica.

Santos (2004) descreve que, do ponto de vista da Geologia da Engenharia, são distinguidos cinco horizontes de solos nas encostas abruptas da Serra do Mar, descritos no Quadro 1.

QUADRO 1. Identificação de horizontes de solos nas encostas abruptas da Serra do Mar, do ponto de vista da Geologia de Engenharia (Santos, 2004).

Horizonte	Características
Solo superficial	Constitui o horizonte superficial logo abaixo da serrapilheira e do solo orgânico. Sua espessura na vertente retilínea varia entre 0,5 e 1,0 m. Pode ser formado por um sub-horizonte superior transportado e por um horizonte residual, ou seja, resultante do intemperismo sobre o maciço original sotoposto. Os solos superficiais apresentam intemperismo e pedogênese mais intensos e, portanto, uma maior expressão da fração argilosa, sendo por isso mais coesivos. Normalmente, apresenta alguns fragmentos de rocha imersos na matriz de finos. É escavável por enxadão.
Solo saprolítico ou solo de alteração de rocha	Trata-se de um horizonte de solos resultantes da atividade intempérica química sobre a rocha-matriz, praticamente não submetido a processos pedogenético. Apresenta nítidos vestígios texturais da rocha matriz. Normalmente, são silto-arenosos ou areno-siltosos, com fragmentos de rocha e pouca argila. Tem espessura bastante variável, mas, nas encostas retilíneas acima de 30°, predominam aquelas em torno de 1,0 m. É escavável com enxadão.
Saprolito ou rocha alterada mole	Constitui o horizonte rochoso basicamente formado por blocos de rocha de vários tamanhos, separados por descontinuidades estruturais (diálases, fraturas) e por zonas mineralógicas com maior alteração. Há situações onde o saprolito pode apresentar-se mais contínuo com menor número de descontinuidades. Nas encostas da Serra do Mar, a espessura do saprolito é também bastante variável, podendo apresentar-se dentro de uma faixa de um a vários metros. É escavável por picareta e fogacho.
Rocha alterada dura e rocha sã	Trata-se do maciço rochoso pouco ou nada alterado pelo intemperismo. Escavável unicamente por explosivos.
Solos coluvionares e corpos de tálus	Os corpos coluvionares de meia encosta, normalmente, apresentam espessuras em torno de 1,0 m e têm composição argilo-silto-arenosa com presença de fragmentos de rocha. Os corpos de tálus podem atingir espessuras de algumas dezenas de metros, sendo, invariavelmente, constituídos de matriz argilo-silto-arenosa que envolve número considerável de fragmentos e blocos de rocha centimétricos a decimétricos. É bastante comum os corpos de tálus apresentarem um lençol d’água próprio suspenso.

RESULTADOS

O mapa geológico-geotécnico (Figura 2) foi elaborado com a junção de informações dos mapas de compartimentação do relevo e geológico, perfis de alteração característicos e a combinação dos processos geológicos e comportamentos geotécnicos encontrados e esperados. Como critérios para a definição das unidades do mapa (denominadas Unidades do Meio Físico), foram considerados:

- Combinação dos fatores entre os elementos geomorfológicos e o tipo de litologia encontrada, destacando o Conceito de Imanência dos Materiais (Santos, 2002);
- Para cada unidade de análise identificada pode-se associar com o relevo e substrato geológico um perfil de alteração característico e representativo destas unidades do meio físico;

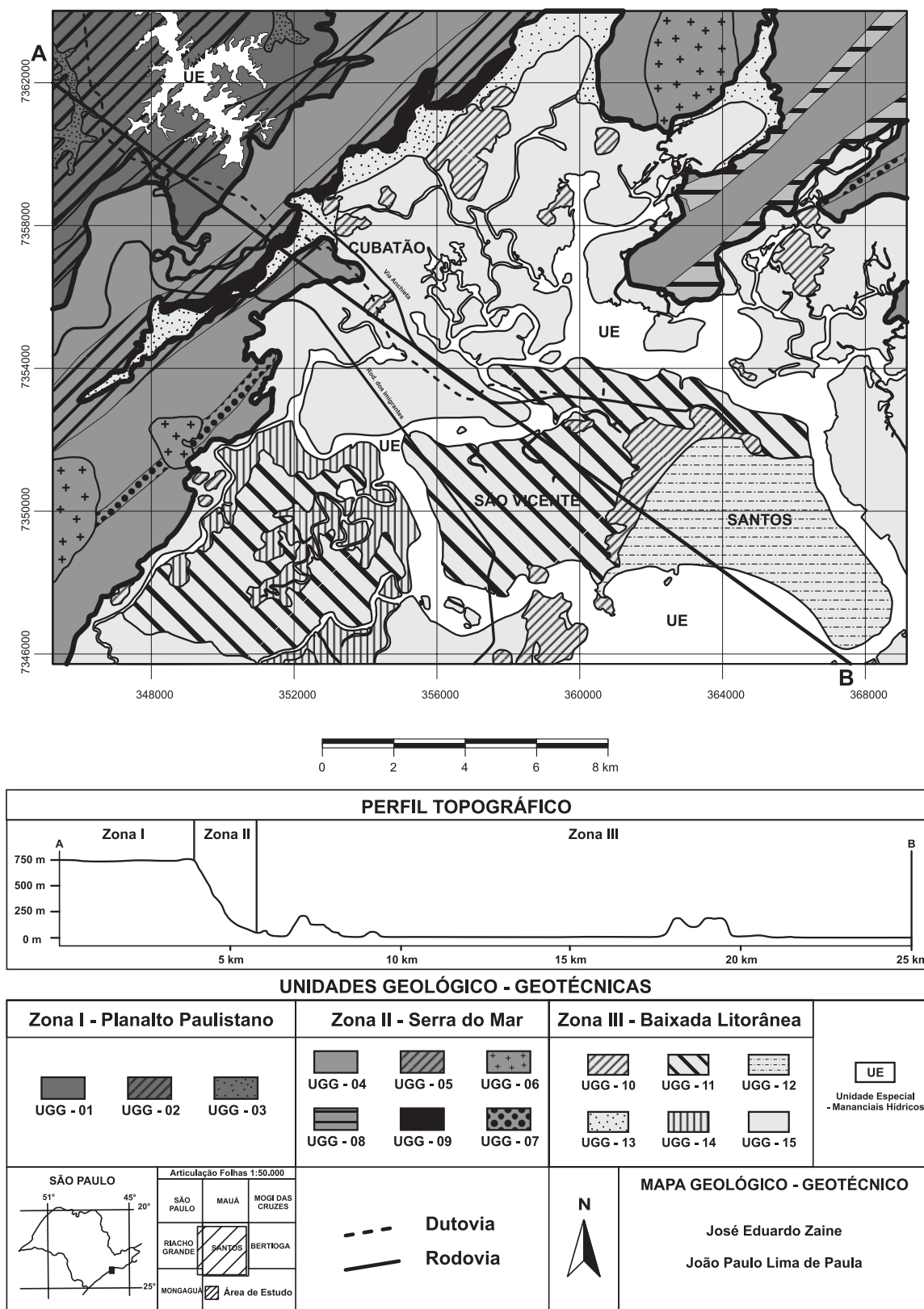


FIGURA 2. Mapa geológico-geotécnico (escala original 1:50.000).

- Cada forma de relevo tem influência marcante no comportamento de um determinado local, principalmente no que diz respeito à dinâmica da água e na temperatura. Quando associado às rochas, estruturas geológicas, clima, organismos e ao tempo, podem-se formar perfis de alteração ou de solos bastante distintos. A combinação dessas informações gera diferentes unidades do meio físico, denominadas unidades geológico-geotécnicas, cada uma agrupando características similares a qual pode ser atribuída uma dinâmica ou um comportamento específico.

A área pôde ser dividida em 15 unidades geológico-geotécnicas, sendo três localizadas na área de Planalto Paulistano, seis na Serra do Mar e seis na Baixada Litorânea. A descrição das características geológicas, geomorfológicas, dos tipos de solo, hidrogeológicas, o registro de processos geológicos e comportamentos geotécnicos para cada uma das unidades são apresentadas, de forma resumida, no Quadro 2, Foto 2, Figuras 3 e 4; Quadro 3, Prancha 1 - Fotos 3 a 8, Figuras 5, 6 e 7; Quadro 4, Fotos 9 a 11 e Figura 8.

QUADRO 2. Síntese das características do meio físico nas unidades geológico-geotécnicas delimitadas na área de estudo, situadas na Zona do Planalto Paulistano (Fotos 1 e 2).

Unidades geológico-geotécnicas	Características do Meio Físico				Processos geológicos e comportamentos geotécnicos
	Geologia	Geomorfologia	Solos	Hidrologia / Hidrogeologia	
UGG-01	Migmatitos homogêneos	- Morrotes baixos - Relevo ondulado - Amplitudes: < 50 m - Topos arredondados - Vertentes convexas a retilíneas	- Espessura: de 1,0 a 10,0 m - Composição: areno-argilosa. - Cobertura de solo coluvial: de 2 a 8 m, predominantemente argiloso Ex. Figura 3	- Alta densidade de drenagem - Padrão em treliça	- Erosão nas vertentes (sulcos e ravinas)
UGG-02	Migmatitos com paleossol ma xistoso	- Colinas nas cabeceiras dos principais cursos d'água - Vales fechados	Espessura: de 2,5 a 5,0 m - Composição: areno-argilosa. - Cobertura coluvial, espessura < 2 m Ex. Figura 4	- N.A. variável podendo atingir mais de 10 m de profundidade	- Rastejo - Escorregamento de solo
UGG-03	Aluviões	- Terrenos planos e alagadiços - Planícies fluviais	- Materiais erodidos, retrabalhados, transportados e depositados nos leitos e margens das drenagens	- N.A. raso (< 2 m)	- Solos com baixa capacidade de suporte - Sedimentos podem conter matéria orgânica (formação de solos agressivos) - Erosão fluvial



FOTO 2. Vista geral do relevo e do reservatório Rio das Pedras na Zona do Planalto Paulistano.

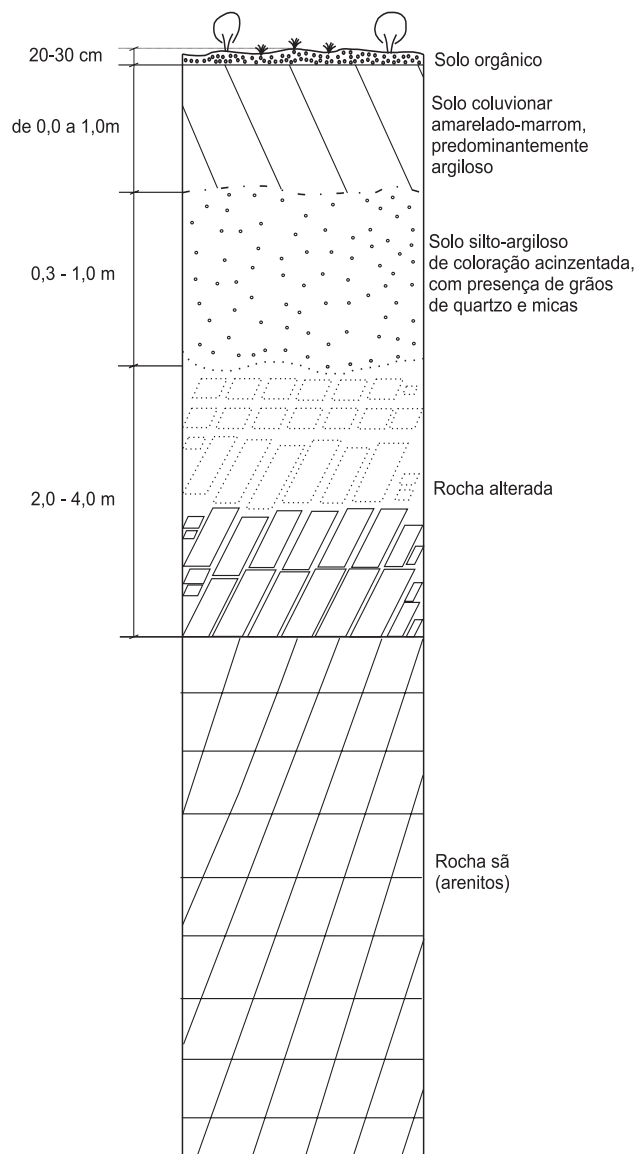


FIGURA 3. Perfil de alteração para as rochas migmatíticas (AcMg) do Planalto Paulistano (UGG-01).

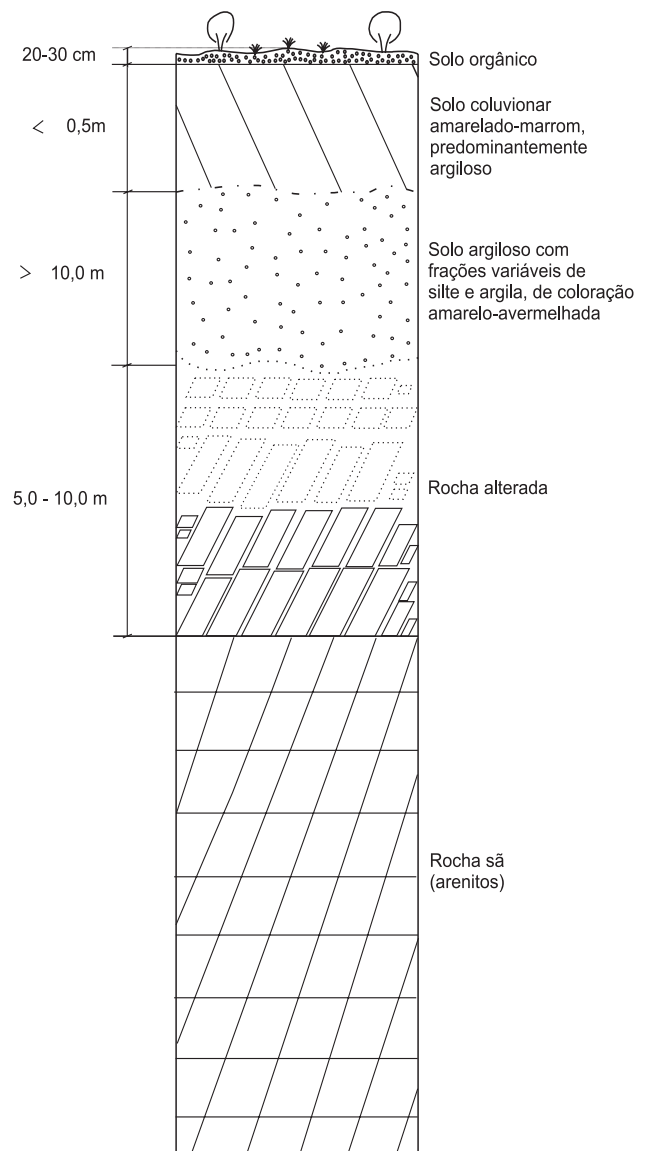


FIGURA 4. Perfil de alteração para as rochas migmatíticas de paleossoma xistoso (PSeMc e PSeMn) encontrados no Planalto Paulistano (UGG-02).

QUADRO 3. Síntese das características do meio físico nas unidades geológico-geotécnicas delimitadas na área de estudo, situadas na Zona da Serraria Costeira/Serra do Mar (Foto 1).

Unidades geológico-geotécnicas	Características do Meio Físico				Processos geológicos e comportamentos geotécnicos	
	Geologia	Geomorfologia	Solos	Hidrologia / Hidrogeologia		
UGG-04	Migmatitos homogêneos	- Anfiteatros separados por espigões digitados, - Topos angulosos, - Vertentes retilíneas. (Escarpas Festonadas) e paralelo-pinulado, - Vales fechados Ex.: Fotos 6, 7 e 8	- Espessura: pouco profundo (< 2 m) - Presença de rocha alterada ou parcialmente alterada	- Alta densidade de drenagem - Padrão sub-paralelo a dendrítico - N.A. raso (entre 2 e 10 m)	- Entalhe erosivo das vertentes - Rastejos - Escorregamento de solos; - Queda de blocos	
UGG-05 Ex. Foto 3	Migmatitos com paleossoma xistoso		- Espessura: pouco profundos (< 2 m) - Textura argilosa - Pouco permeáveis - Cobertura coluvial: espessuras < 0,5 m - Presença de blocos de rocha			
UGG-06 Ex. Fotos 4 e 5	Granitos e granitóides		- Espessura: variável, podendo atingir dezenas de metros nas colinas e ausentar-se nas encostas - Textura areno-argilosa - Cobertura coluvial: espessura 2 m e textura areno-argiloso Ex. Figura 5	- Alta densidade de drenagem - Padrão sub-paralelo a dendrítico - N.A. podendo atingir dezenas de metros ou estar aflorante nas encostas.	- Escorregamento de solos; - Queda de blocos - Suscetível à erosão (produto de alteração arenoso).	
UGG-07	Quartzitos		- Granular com cascalhos e matacões, pouco espessos - Cobertura coluvial: pouco desenvolvidos e textura arenosa Ex. Figura 6	- Alta densidade de drenagem - Padrão sub-paralelo a dendrítico - N.A. raso	- Queda de blocos	
UGG-08	Cataclastos		- Composição variável (argilo-silte-arenosa) - Espessura: pode atingir dezenas de metros	- Alta densidade de drenagem - Padrão sub-paralelo a dendrítico - N.A. podendo atingir uma dezena de metros.	- Forte entalhe erosivo das vertentes - Rastejo - Escorregamento de solo - Queda de blocos	
UGG-09	Depósitos de talus		Sopé de vertentes	- Composição: blocos de rocha com variados tamanhos, em geral, arredondados, envolvidos ou não por matriz areno-silto-argilosa, frequentemente saturada - Permeabilidade alta Ex. Figura 7	- N.A. variável.	- Solos instáveis - Suscetibilidade a escorregamento; - Rastejo

PRANCHA 1.

FOTO 3. Vista de perfil de alteração com cobertura coluvial em talude de corte no Caminho do Mar.

FOTO 4. Vista geral do perfil de alteração das rochas graníticas (Subida para Vôo Livre).

FOTO 5. Detalhe de rochas graníticas alteradas.

FOTO 6. Vista geral do relevo típico da Serra do Mar, com Escarpas Festonadas e espigões.

Nota-se a presença dos aquedutos da Henry Borden (mais próximos) e dos oleodutos da Petrobras (mais ao fundo) ambos instalados sobre o topo de espigão.

FOTO 7. Vista do duto em vertente da Serra do Mar. A área sem vegetação corresponde à superfície do terreno protegida pela aplicação de camada de piche (impermeabilizante).

FOTO 8. Detalhe de feição de escorregamento em encosta, no Caminho do Mar (UGG-04).



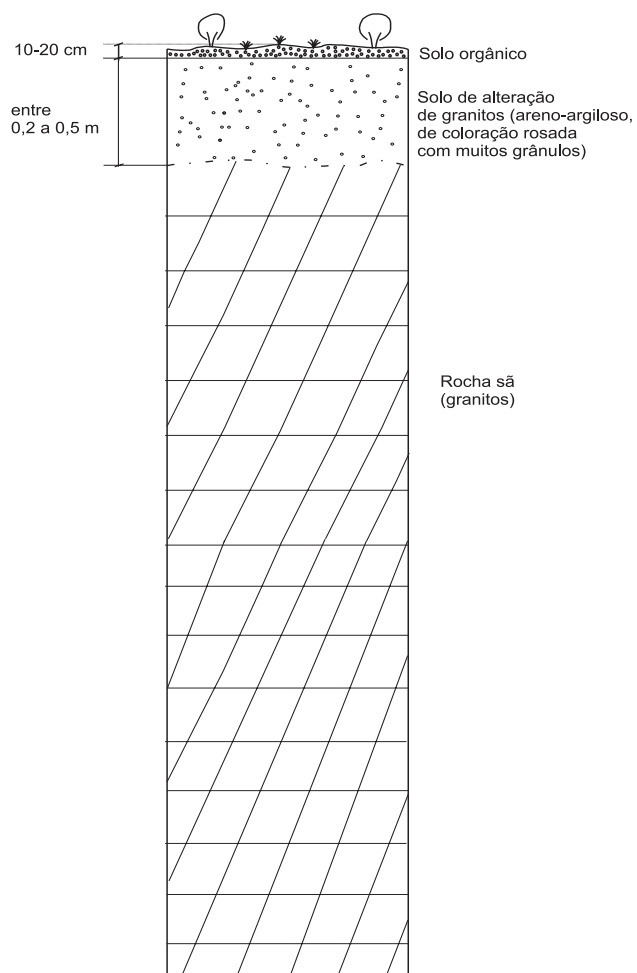


FIGURA 5. Perfil de alteração para os granitos em áreas da Serra do Mar (UGG – 06).

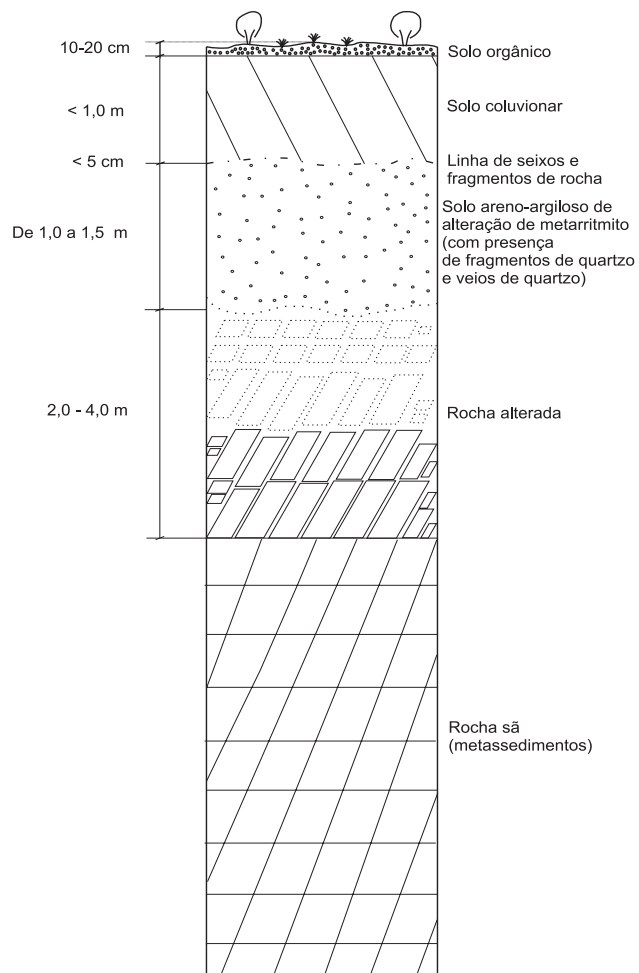


FIGURA 6. Perfil de alteração para os quartzitos em áreas da Serra do Mar (UGG – 07).

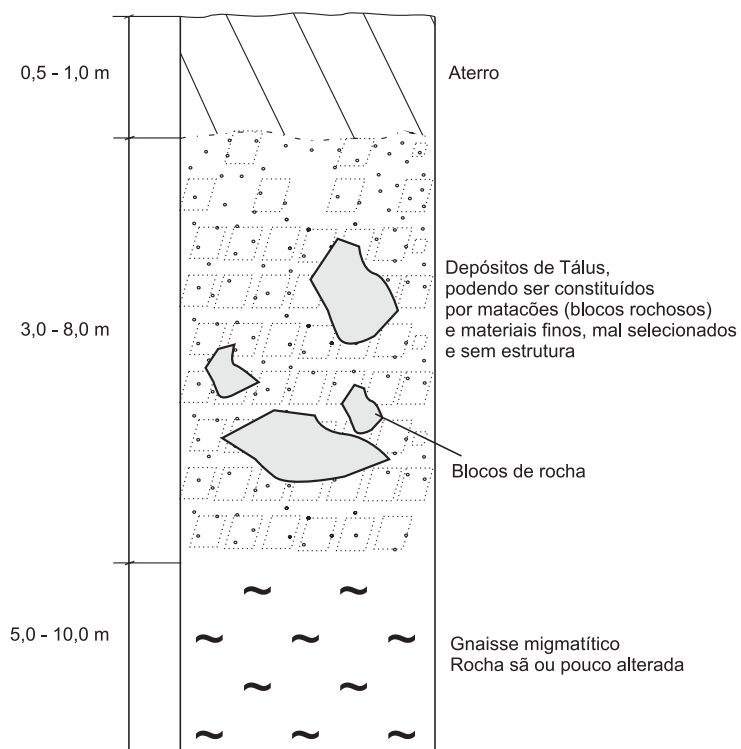


FIGURA 7. Perfil de alteração para os depósitos de Tálus (UGG-09).

QUADRO 4. Síntese das características do meio físico nas unidades geológico-geotécnicas delimitadas na área de estudo, situadas na Zona da Baixada Litorânea (Foto 1).

Unidades geológico-geotécnicas	Características do Meio Físico				Processos geológicos e comportamentos geotécnicos
	Geologia	Geomorfologia	Solos	Hidrologia / Hidrogeologia	
UGG-10 Ex. Foto 10	Morros isolados	- Topos arredondados - Vertentes ravinadas - Perfis convexos a retilíneos - Vales fechados. - Ocorrem isolados na planície costeira.	- Composição variada (argiloso até arenoso) - Espessuras variadas, desde 0,5 m até 10 m.	- Drenagem de média a alta densidade, padrão dendrítico - N.A. entre 0,5 e 10 metros.	- Forte entalhe erosivo das vertentes - Rastejo - Escorregamento de solo - Queda de blocos em taludes de corte
UGG-11 Ex. Foto 9	Terraços marinhos (pleistoceno)	- Terrenos planos, poucos metros acima da planície costeira	- Antigos aluviões depositados quando o nível do curso d'água se encontrava em posição superior à atual	- N.A. raso (< 2 m)	- Presença de solos com baixa capacidade de suporte - Erosão fluvial nas margens dos terraços
UGG-12	Terraços marinhos (holocênio)	- Presença de antigos cordões (praias, dunas etc.)	- Constituição: areia grossa e cascalho - Não saturados. Ex. Figura 8		
UGG-13	Planícies aluviais das principais drenagens encontradas na área	- Terrenos planos	- Sedimentos arenosos e argilosos de deposição fluvial - Constituição: materiais erodidos, retrabalhados, transportados e depositados nos leitos e margens das drenagens	- N.A. raso (< 2 m)	- Presença de solos com baixa capacidade de suporte - Sedimentos podem conter matéria orgânica (formação de solos agressivos) - Erosão fluvial nas margens dos terraços e aluviões
UGG-14	Manguezais	- Terrenos baixos, quase horizontais, ao nível de oscilação das marés	- Composição: sedimentos tipo vasa (lama) e vegetação típica	- Drenagem com padrão difuso. - N.A. raso (< 2 m)	- Presença de solos com baixa capacidade de suporte - Sedimentos podem conter matéria orgânica (formação de solos agressivos)
UGG-15 Ex. Foto 11	Planícies Costeiras	- Terrenos baixos, mais ou menos planos e próximos ao nível do mar	- Composição: areno-argilosa - Espessuras variáveis, podendo atingir dezenas de metros	- Baixa densidade de drenagem - Padrão meandrante, localmente anastomosado. - N.A. raso (< 2 m)	- Presença de solos com baixa capacidade de suporte - Sedimentos podem conter matéria orgânica (formação de solos agressivos)



FOTO 9. Vista geral dos depósitos arenosos pleistocênicos em canal instalado ao lado da pista que liga São Vicente ao Bairro Continental.



FOTO 10. Vista geral da Baixada Litorânea, com áreas de morros isolados (UGG-10) e manguezais (UGG-14) do sistema estuarino de Santos.



FOTO 11. Vista da praia de Santos, com retrabalhamento dos sedimentos arenosos, finos causados pela ação das ondas.

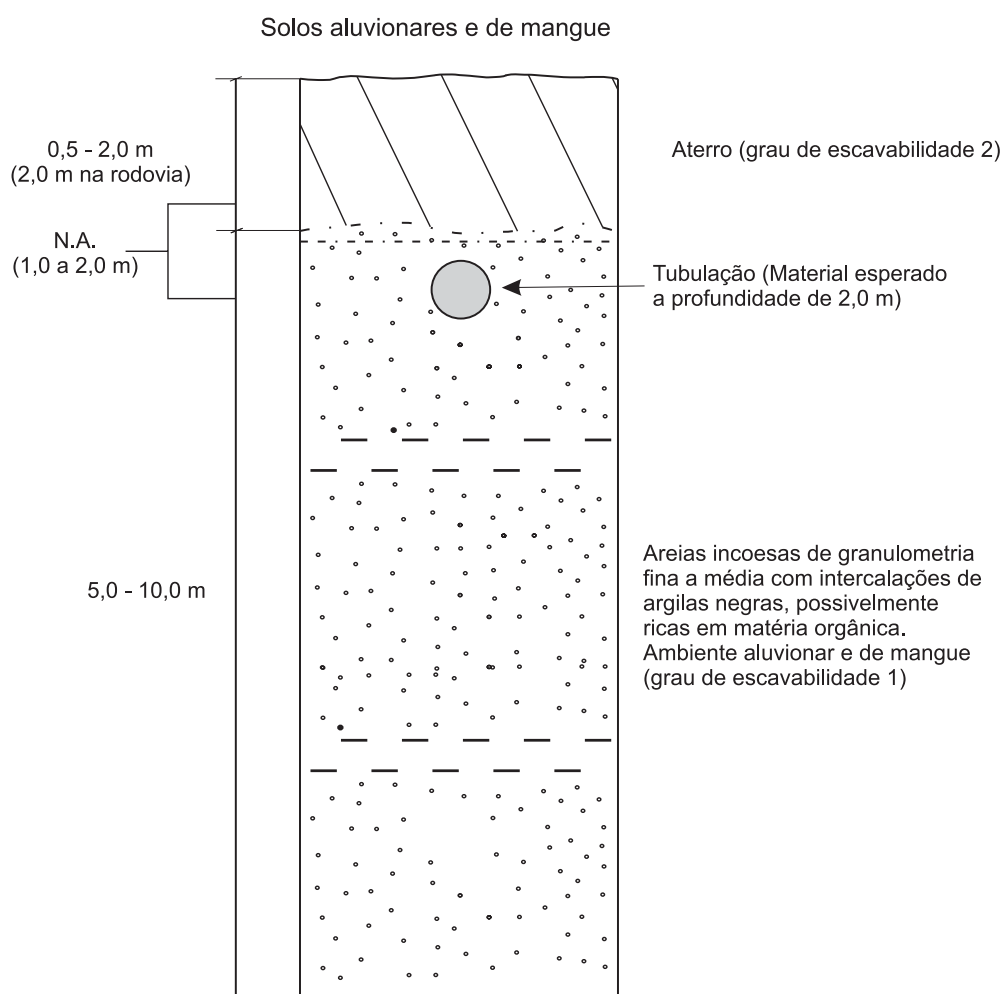


FIGURA 8. Perfil de alteração para os terraços marinhos arenosos (UGG-11).

CONCLUSÕES

O Mapa Geológico-Geotécnico (Figura 2) apresenta a setorização em unidades baseadas nas informações dos compartimentos do relevo, das litologias e perfis de alteração. Também pôde ser descrita uma Unidade Especial, que corresponde aos Mananciais Hídricos, importantes fontes de abastecimentos de água para os municípios da região Metropolitana de São Paulo.

As principais informações do meio físico descritas para cada unidade podem ser utilizadas como subsídio para ações preventivas e corretivas aplicadas, principalmente, em relação às obras lineares que transpõe a grande barreira geográfica da Serra do Mar.

Algumas características das rochas e solos da área (porosidade, permeabilidade e heterogeneidade dos solos, descontinuidades constituídas pelos planos de foliação metamórfica e fraturas), foram identificadas por meio da análise da textura e estrutura extraídas das fotografias aéreas, aliada aos elementos e feições do relevo.

Com relação à área de estudo o grande contraste das características do meio físico colaborou para enriquecer a discussão sobre os comportamentos geotécnicos e processos geológicos descritos. Esta variação, que inclui a combinação de rochas metamórficas, depósitos sedimentares, associação destas com diversos tipos de perfis de solo e as formas de relevo adquire características próprias, compondo, assim, cenários de processos geológicos e/ou comportamentos geotécnicos ora específicos, ora comuns à combinação dos ambientes.

As características do ambiente físico (geológico, geomorfológico, pedológico, hidrogeológico e os comportamentos hidrológicos e geotécnicos) podem potencializar ou limitar a área afetada por acidentes nas diferentes vias de transposição da Serra do Mar. Como destaque, são analisados os condicionantes do meio físico que podem provocar acidentes nas dutovias que transpõem esta imponente barreira geográfica. A ocorrência de processos geológicos, com ênfase para os escorregamentos, pode causar danos nos oleodutos, levando a sua exposição e/ou rompimento.

Com a combinação das informações descritas para cada Unidade Geológico-geotécnica e considerando-se as áreas de influências apontou-se que as unidades afetadas por acidentes com vazamento de óleo seriam as seguintes:

- Unidades afetadas diretamente: UGG-01, UGG-02, UGG-04, UGG-05, UGG-09, UGG-11, UGG-13 e UGG 15 e Unidade Especial;
- Unidades afetadas indiretamente: UGG-03, UGG-10, UGG-12, UGG-14;
- Áreas não afetadas: UGG-06, 07 e 08, devido a suas posições em relação ao duto.

Dentro das unidades atingidas diretamente, destacam-se as Unidades Especiais (corpos d'água), UGG-04 e 05, onde se encontram moradores dos bairros Cota, e a unidade UGG-11, que podem ser consideradas de maior risco ou sensibilidade ambiental à contaminação por vazamentos de hidrocarbonetos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da Agência Nacional do Petróleo (ANP), da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) por meio do Programa de Recursos Humanos da ANP para o Setor Petróleo e Gás – PRH-ANP/MCT.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALMEIDA, F.F.M. DE. Considerações sobre a Geomorfogênese da Serra do Cubatão. **Boletim Paulista de Geografia**, v. 15, p. 3-17, 1953.
2. ALMEIDA, F.F.M. DE. **Fundamentos geológicos do relevo Paulista**. Boletim do Instituto Geográfico Geológico, São Paulo, v. 41, p. 169-263, 1964.
3. INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY – IAEG. **Engineering geological maps: a guide to their preparation**. Paris: Unesco Press, 1976.
4. IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo 1:500.000**. São Paulo, v. 1 e 2, 1981.
5. IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - **Programa Serra do Mar – levantamentos básicos nas folhas de Santos e Riacho Grande, Estado de São Paulo**. Anexo A – Estudos geológicos e geomorfológicos. São Paulo, Relatório 23.394, v. 2, 120 p., 1986.
6. LOLLO, J.A. DE. **O Uso da Técnica de Avaliação do Terreno no Processo de Elaboração de Mapeamento Geotécnico: Sistematização e Aplicação na Quadrícula de Campinas**. São Carlos, 1995. 253 p. 2 v. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos/USP.
7. LOLLO, J.A. DE & ZUQUETTE, L.V. A técnica de avaliação do terreno e suas possibilidades de aplicação no mapeamento

- geotécnico: exemplo de um sistema de terreno identificado na região de São Carlos (SP). **Geociências**, v. 15, n. 1, p. 147-161, 1996.
8. ROSS, J.L.S. Análises e sínteses na abordagem geográfica da pesquisa para o planejamento ambiental. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 9, p. 65-75, 1995.
 9. SANTOS, A.R. **Geologia de Engenharia: Conceitos, Método e Prática**. São Paulo: ABGE, Publicação IPT 2797, 222 p., 2002.
 10. SANTOS, A.R. **A grande barreira da Serra do Mar: da trilha dos Tupiniquins à Rodovia dos Imigrantes**. São Paulo: O Nome da Rosa, 122 p., 2004.
 11. 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.
 12. VARGAS, M. História dos conhecimentos geotécnicos: Parte 2 – Baixada Santista. **Solos do Litoral Paulista**. São Paulo: ABMS, p. 17-40, 1994.
 13. VARNES, D.J. The logic of engineering geological and related maps. A discussion of the definition and classification of map units, with special references to problems presented by maps intended for use in civil engineering. **Geological Survey**, Professional Paper 837, U.S., 48 p., 1974.
 14. VEDOVELLO, R. **Zoneamentos Geotécnicos aplicados à Gestão Ambiental, a partir de Unidades Básicas de Compartimentação**. Rio Claro, 2000. 154 p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
 15. ZUQUETE, L.V. & NAKAZAWA, V.A. Cartas de Geologia de Engenharia. In: OLIVEIRA, A.M.S. & BRITO, S.N.A. (Ed.), **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, ABGE, Cap. 17, p. 283-300, 1998.

*Manuscrito Recebido em: 14 de julho de 2008
Revisado e Aceito em: 13 de dezembro de 2008*