

## Compartimentação fisiográfica aplicada ao mapeamento em detalhamento progressivo do núcleo urbano central de Ilhabela-SP

*Physiographic compartmentation applied to the progressively detailed mapping of the urban center of Ilhabela, São Paulo State, Brazil*

Tales de Deus Diniz<sup>1</sup>, José Eduardo Zaine<sup>2</sup> e Flávio Henrique Rodrigues<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – UNESP, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Programa de Pós-graduação em Geociências e Meio Ambiente, Avenida 24-A, 1515, Bela Vista, CEP 13506-900, Rio Claro, SP, Brasil (talesddd@yahoo.com.br; rodrigues.ambiental@gmail.com)

<sup>2</sup>Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – UNESP, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Departamento de Geologia Aplicada, Rio Claro, SP, Brasil (jezaine@rc.unesp.br)

Recebido em 7 de julho de 2015; aceito em 6 de maio de 2016

### Resumo

O processo de urbanização no Brasil ocorre, predominantemente, de maneira desordenada, sem a correta consideração das potencialidades e limitações do meio físico, o que se traduz numa forma de ocupação que pode expor a população e o equipamento urbano a processos de superfície, tais como inundações e movimentos de massa. Isso é observado no município de Ilhabela - SP, onde a alta taxa de crescimento populacional, somada ao relevo acidentado, intensifica esse problema, evidenciando a necessidade de uma orientação adequada da expansão urbana. Dentro deste contexto, o mapeamento baseado na compartimentação fisiográfica pode fornecer instrumentos apropriados para o planejamento da ocupação ordenada do meio físico. Assim, o objetivo da presente pesquisa foi a elaboração de mapas da região mais densamente urbanizada de Ilhabela, utilizando a compartimentação fisiográfica baseada na análise integrada de imagens aéreas da área de estudo. A fotoanálise e fotointerpretação das mesmas, somadas às informações obtidas em campo, subsidiaram a divisão e classificação da área de estudo em unidades que apresentam uniformidade em relação à morfologia e propriedades geotécnicas. Esse procedimento resultou na identificação de unidades mapeadas em três escalas (1:50.000, 1:20.000 e 1:10.000), com diferentes níveis de detalhes, acompanhada da descrição de suas principais características físicas e principais processos exógenos atuantes. As cartas obtidas permitiram uma compreensão detalhada acerca das características do meio físico da Ilha de São Sebastião, bem como dos principais fatores condicionantes da ocupação antrópica na mesma, mostrando-se ferramentas eficazes e adequadas ao planejamento territorial urbano do município-arquipélago.

**Palavras-chave:** Ilhabela - SP; Planejamento urbano; Compartimentação fisiográfica.

### Abstract

The urbanization process in Brazil occurs mainly in a non-ordered way, without the proper consideration of the potentials and limitations of the physical environment, resulting in a form of urban development that may expose the population and the urban equipment to surface processes such as floods and mass movements. This has been observed in Ilhabela (São Paulo State, Brazil), where the high rates of population growth, combined with its rough topography, intensify this problem, highlighting the need of an adequate orientation to the urban expansion. In this context, the physiographic compartmentation based mapping may give us appropriate tools for the planning of orderly urban expansion in the physical environment. Therefore, the aim of this research was the mapping of the most densely urbanized area of Ilhabela, through the physiographic compartmentation based on the integrated analysis of aerial images. Photo analysis and photo interpretation, combined with field data, subsidized the division and classification of the study area in units that show similar morphological and geotechnical properties. This procedure resulted in the identification of units mapped at three scales (1:50.000, 1:20.000, 1:10.000), each with a different level of details, accompanied by the description of their main physical characteristics and main acting exogenous processes. The maps obtained allowed a detailed comprehension of the São Sebastião Island physical environment characteristics, as well as the main conditioning aspects of its human occupation, thus proving to be useful tools that are appropriate to the urban planning of the archipelago city.

**Keywords:** Ilhabela (São Paulo State Brazil); Urban planning; Physiographic compartmentation.

## INTRODUÇÃO

No Brasil predominam processos de urbanização sem planejamento, em que não são observadas adequadamente as potencialidades e limitações do meio físico, o que acaba se traduzindo na ocupação urbana de áreas suscetíveis a processos de dinâmica superficiais, como inundações ou escorregamentos, que representam um grande risco à população e ao equipamento urbano (Zuquette et al., 2009). Com isso, tem-se a demanda por ferramentas que possam auxiliar o adequado desenvolvimento urbano municipal no meio físico.

As cartas geológico-geotécnicas se encaixam nessa demanda (Vedovello, 1993; Diniz, 2012), classificando e representando de forma eficaz o meio físico, ou, segundo Zuquette e Gandolfi (2004), avaliando e retratando seus componentes e possíveis comportamentos frente às diferentes formas de ocupação e uso do solo, delimitando zonas com similaridades das características geotécnicas.

A compartimentação fisiográfica é, segundo Vedovello e Mattos (1998), uma das etapas fundamentais do mapeamento geotécnico. Ela é feita por meio de técnicas sistematizadas de fotointerpretação de imagens aéreas, agrupando os elementos que constituem o meio físico com base em suas semelhanças e diferenças. Portanto, as zonas com homogeneidades nos elementos fisiográficos são zonas homogêneas em suas propriedades geológicas, geomorfológicas e nos processos atuantes.

O município de Ilhabela ocupa a Ilha de São Sebastião, que é a segunda maior ilha do litoral brasileiro. Apresenta altas taxas de crescimento populacional, o qual é impulsionado por um dinâmico mercado turístico e pela recente melhoria da infraestrutura de acesso ao litoral norte do Estado de São Paulo, decorrente da ampliação do porto de São Sebastião.

Esse crescimento acelerado evidencia a necessidade de um planejamento territorial na Ilha, o qual nunca existiu de fato, pois nota-se no município uma grande ocorrência de ocupação de áreas de risco, como encostas de morros ou margens de rios, principalmente em função do relevo desse meio insular, que é predominantemente composto por morros e montanhas (Rocha e Silva, 2009).

Portanto o objetivo desse trabalho foi o de mapear o núcleo urbano central do município de Ilhabela a partir da compartimentação fisiográfica, por meio da análise integrada de imagens aéreas. Esse procedimento foi aplicado na abordagem do detalhamento progressivo, que é um método que prevê o mapeamento em escalas sucessivas. Nele, determinados locais da área de estudo são representados em escalas de maior detalhe, nas quais a obtenção de informações é baseada nos dados gerados nas etapas anteriores, em escalas menos detalhadas. Assim, as novas informações notadas complementam os dados previamente assinalados (Cerri et al., 1996; Zaine, 2000). A vantagem dessa metodologia é permitir uma maior compreensão de áreas mais críticas, além de otimizar os trabalhos e a alocação de recursos.

A etapa menos detalhada se deu na escala de 1:50.000 e gerou o Mapa de unidades fisiográficas; a intermediária, na escala de 1:20.000, gerou o Mapa geológico-geotécnico; e por fim a etapa maior detalhe foi realizada na escala de 1:10.000 e resultou no Mapa morfológico e de processos do bairro do Camarão.

## CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O arquipélago de Ilhabela localiza-se no litoral norte do Estado de São Paulo e é composto pela Ilha de São Sebastião, que é a maior e mais densamente povoada (Figura 1), pelas ilhas de Búzios e Vitória, além de outros ilhotes. O município possui

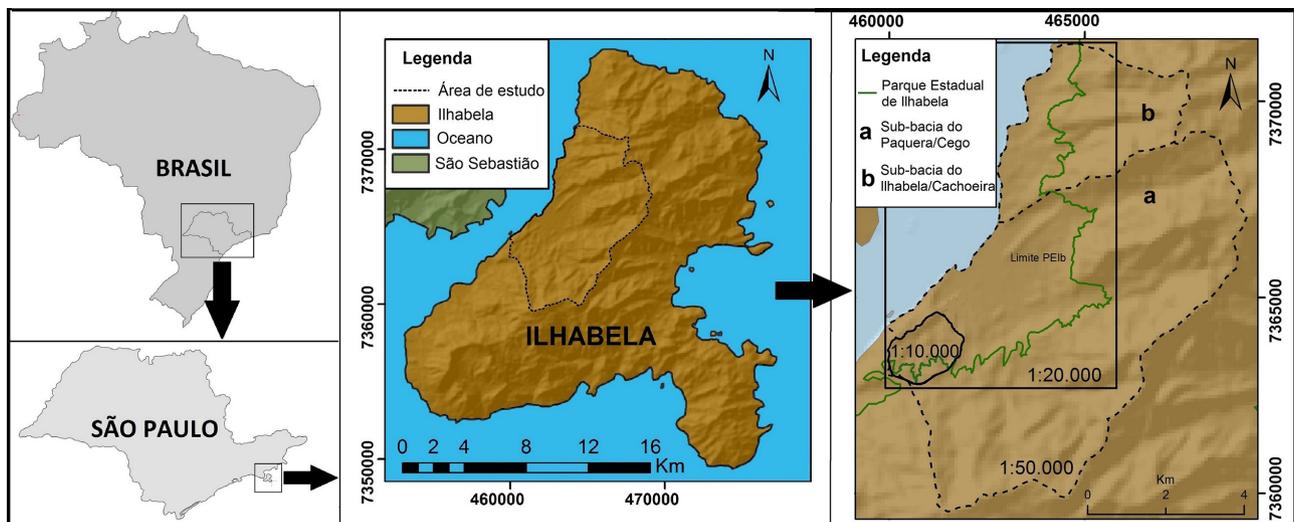


Figura 1. Localização da área de estudo e áreas mapeadas nas diferentes escalas.

aproximadamente 30 mil habitantes (IBGE, 2012) e área total de cerca de 350 km<sup>2</sup>. Faz divisa com o município de São Sebastião (localizado no continente), com o qual se conecta por balsa. A área abordada no mapeamento corresponde às sub-bacias do Paquera/Cego e do Ilhabela/Cachoeira (**a e b**, respectivamente, na Figura 1), nas quais está inserido o núcleo urbano que concentra cerca de 80% da população do município.

### Contexto físico

De acordo com a Fundação Florestal do Estado de São Paulo (FFLORESTAL, 2011), a origem e atual configuração do arquipélago de Ilhabela estão relacionados aos mesmos processos que deram origem às serras do Mar e da Mantiqueira: a evolução que se deu entre o Jurássico superior e o Cretáceo médio, quando ocorreu a abertura do Oceano Atlântico; e até o Cretáceo superior e o Eoceno, quando ocorreram os vulcanismos associados a falhamentos escalonados paralelos à linha da costa. Posteriormente, ciclos erosivos provocaram o recuo da borda do Planalto Atlântico, isolando uma porção continental que hoje corresponde ao Arquipélago de Ilhabela. Durante o Quaternário, nos períodos de glaciação e interglaciação, os processos de erosão e sedimentação associados principalmente às variações do nível do mar também trabalharam em grande medida parte das feições morfológicas presentes na Ilha de São Sebastião (Freitas, 1944, 1947).

Tendo como base Hennies e Hasui (1968, 1977), a geologia local é constituída por rochas granito-gnáissicas pré-cambrianas do embasamento cristalino, com foliação orientada no sentido SW - NE, constituindo terrenos metamórficos deformados e paralelos ao litoral (CPRM, 1999). Além disso, ocorrem *stocks* e diques de rochas alcalinas e básico alcalinas que juntos formam o chamado “Complexo Plutônico Alcalino de São Sebastião” (Perrota et al., 2005). Eles estão associados às falhas, fraturas e áreas de incidência de distensão do embasamento cristalino e são resultado de intrusões ocorrentes no Cretáceo superior. São compostos principalmente por sienitos, com a ocorrência de nordmarkitos em suas bordas e se configuram como as maiores elevações presentes na Ilha de São Sebastião. Por fim, há também áreas restritas de depósitos litorâneos compostos por sedimentos marinhos e fluviais que datam do Quaternário (e que registram flutuações no nível do mar), e compõem as planícies.

Segundo a Fundação Florestal do Estado de São Paulo (FFLORESTAL, 2011), a morfologia da Ilha de São Sebastião compõe-se de elevações com amplitudes altimétricas consideráveis e localizadas próximas ao oceano. O litoral é recortado, com a presença de pequenas baías delimitadas por esporões da Serra do Mar. A predominância geomorfológica no ambiente insular é de morros e montanhas, com planícies de pouca abrangência territorial (ocupam apenas 5% da área total da ilha) e praias de extensão diminuta. Por fim,

observa-se também a ocorrência de rampas sub-horizontais e/ou côncavas, que se estendem desde a alta encosta até o fundo dos vales, onde se ampliam formando leques, com depósitos colúvio-aluvionares, os chamados corpos de tálus e cones de dejeção, que tiveram sua origem nos processos superficiais (escorregamentos, corridas de massa e detritos, etc.) atuantes na ilha ao longo do tempo geológico e que transportaram e depositaram material nesses fundos de vales e, em menor expressão, em sopés de encostas.

A rede de drenagem apresenta predominantemente um padrão radial-dendrítico e dendrítico a sub-dendrítico, e seguindo o padrão dos falhamentos (que também condicionam sua forma), orientada preferencialmente a NE.

O clima é o característico do litoral norte do estado de São Paulo, com altos índices pluviométricos em sua média anual (entre os maiores do Brasil), concentrados no período de novembro a fevereiro (Milanesi, 2007).

## METODOLOGIA

### Levantamento bibliográfico

A fundamentação teórica teve como base principalmente livros, teses, dissertações, artigos e publicações referentes à caracterização do município de Ilhabela e do litoral norte de São Paulo, no que concerne principalmente aos seus aspectos geológicos, geomorfológicos e de dinâmica urbana. Da mesma forma o levantamento bibliográfico focou os temas de compartimentação fisiográfica, análise integrada, zoneamento e cartografia geotécnica.

Como plataforma de pesquisa, foi utilizado principalmente o acervo disponível na biblioteca da Universidade Estadual Paulista, campus de Rio Claro, além de bancos de dados virtuais.

### Vetorização da base cartográfica

Foram utilizadas as cartas topográficas do município de Ilhabela elaboradas pelo Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo (IGC, 1978). Essas cartas, representadas na escala de 1:10.000 e com equidistância de 5 metros entre as curvas de nível, foram georreferenciadas e vetorizadas por meio do *software* ArcGis 10, tornando possível a criação de uma base topográfica e um banco de dados digitais, nos quais foi possível a posterior elaboração dos mapas finais. Foi utilizada a Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), fuso 23S e o Datum Córrego Alegre.

### Aquisição de imagens aéreas por *Google Earth*

As imagens aéreas da área de estudo, utilizadas na compartimentação fisiográfica por meio da análise integrada, foram extraídas com o uso do *software* *Google Earth Pro 7.1*.

Optou-se pela aquisição das imagens por este meio pelo fato do referido programa ser de livre acesso, de simples utilização e permitir a extração de pares estereoscópicos das áreas a serem analisadas, e em diferentes escalas. Grabler et al. (2011) e Rodrigues (2012) exemplificam a utilização bem-sucedida de imagens aéreas obtidas por este procedimento em trabalhos de mapeamento geotécnico.

Baseando-se em Rodrigues (2015), utilizou-se a ferramenta “Régua” como auxílio na definição da altitude do ponto de visão para cada escala desejada. Depois disso, a ferramenta “Marcador” foi usada na definição dos centros aproximados e limites superiores, inferiores e laterais de cada imagem a ser extraída, permitindo assim a extração de imagens com sobreposição latitudinal de 10% e sobreposição longitudinal de 60%, que possibilitaram a visão tridimensional dos pares estereoscópicos e a aplicação dos procedimentos de análise e interpretação expostos na Figura 2 e descritos a seguir.

### **Compartimentação fisiográfica nas escalas sucessivas**

Tomando como base os pares de fotos aéreas obtidos, com o auxílio de um estereoscópio, foi possível a visualização da área de estudo em três dimensões, e assim, a aplicação da metodologia de fotointerpretação sistematizada e proposta por Zaine (2011), que foi baseada em Soares e Fiori (1976). Esse método se baseia na análise integrada dos elementos representados nas imagens (geologia, geomorfologia, hidrografia e uso e cobertura da terra), subsidiando a divisão da área em regiões com características fisiográficas semelhantes.

Observa-se que os elementos texturais do relevo e drenagem, amplitude local, formas de encosta, topo e fundos de vale, orientação e simetria na definição dos compartimentos seguem uma sequência de complexidade crescente. Para cada um dos aspectos estudados, são definidas classes para efeito de comparação quantitativa e/ou qualitativa, por exemplo: densidade de drenagem alta, média ou baixa. Cada uma dessas classes se reflete nas características geotécnicas da unidade em questão, conforme exposto na Figura 2, como por exemplo: uma unidade com baixa densidade de drenagem apresenta alta permeabilidade intergranular e, portanto, baixa relação escoamento superficial/infiltração, e um manto de alteração espesso.

Trata-se de uma avaliação comparativa dos atributos fotointerpretados, ou seja, cada critério de análise apresentado no quadro a seguir (Figura 2) foi classificado separadamente, segundo suas variações, uma vez que a diversidade dos dados fisiográficos é específica ao contexto geomorfológico e geológico de uma determinada área. Portanto, como serão observados nos resultados, há casos nos quais pode haver situações onde as formas de relevo não são diretamente correlacionadas no quadro, como por exemplo, morros com encostas de formato convexo e com topos arredondados.

Esse procedimento foi aplicado sucessivamente nas diferentes escalas abordadas, e em cada etapa foi possível definir as unidades com propriedades fisiográficas, e conseqüentemente, características geológico-geotécnicas distintas entre si. Seguindo a proposta da abordagem do detalhamento progressivo, nas escalas de maior detalhe, as unidades obtidas previamente foram subdivididas em novas unidades e novos elementos foram identificados, complementando as informações assinaladas nas etapas anteriores.

### **Atividades de campo**

Após a compartimentação, análise e interpretação das imagens, em campo foi possível a confirmação e complementação das informações inferidas, bem como os ajustes necessários aos limites entre as unidades. Para a escolha dos pontos procurou-se englobar todas as unidades obtidas, focando locais onde seria observável o perfil de alteração local, evidências de processos de superfície como escorregamentos, as feições geomorfológicas predominantes ou limites observáveis de cada unidade. Nesta etapa foi utilizada uma ficha de campo padronizada e adequada à investigação necessária.

## **RESULTADOS**

### **Mapa de unidades fisiográficas (1:50.000)**

Para a escala de 1:50.000, cuja área abordada são as sub-bacias do Paquera/Cego e do Ilhabela/Cachoeira, foram obtidas cinco Unidades fisiográficas, que subsidiaram a definição das unidades geológico-geotécnicas nas escalas de maior detalhe. Elas estão expostas no mapa da Figura 3. Nesse mapa também foi possível representar as fraturas e seus lineamentos, evidenciando sua influência na configuração do relevo e da rede de drenagens. Nota-se também que as fraturas seguem preferencialmente a direção NE.

As unidades obtidas foram:

- I – Planícies marinhas e fluviais:** Áreas restritas e predominantemente planas e de reduzida amplitude, apresentando baixa densidade de drenagem e solo sedimentar arenoso profundo.
- II – Morros:** Áreas intermediárias entre o oceano, as planícies e as montanhas. Médias amplitudes locais e declividades médias a altas. Encostas convexas ou retilíneas, topos arredondados e vales fechados. Solos desenvolvidos, sobre o substrato granito-gnáissico e altamente suscetíveis a processos superficiais.
- III – Depósitos:** Depósitos de escorregamentos pretéritos e corridas de massa e detritos encontrados nos fundos de vales e sopés de encostas. Baixa declividade e

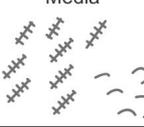
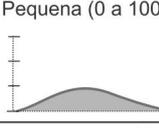
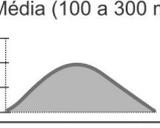
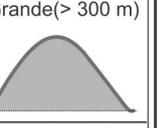
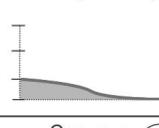
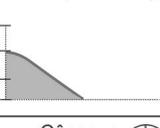
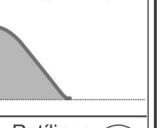
1. Análise da densidade textural		CLASSES		
Elementos de análise	Elementos de drenagem e relevo			
Critérios de análise	Densidade dos elementos de drenagem	Baixa (0 a 5/10 km <sup>2</sup> ) 	Média (5 a 30/10 km <sup>2</sup> ) 	Alta (> 30/ km <sup>2</sup> ) 
	Densidade dos elementos do relevo (dissecação e rugosidade do terreno)	Baixa (mais lisa) 	Média 	Alta (mais rugosa) 
Propriedade a ser interpretada	PERMEABILIDADE (intergranular)	Alta (Permeável)	Média	Baixa (Pouco permeável a impermeável)
APLICAÇÕES Informações interpretadas por esta análise	Relação escoamento superficial/infiltração	Baixa	Média	Alta
	Espessura e características do manto de alteração	Grande (Espesso; > 5m)	Média	Pequena (Raso/rocha aflorante)
2. Análise das formas e características do relevo		CLASSES		
Elementos de análise	Declives, vertentes, topos, vales, rupturas de declive (quebras de relevo), cristas e escarpas			
Critérios de análise	a) Amplitude local (variações de cotas na unidade)	Pequena (0 a 100 m) 	Média (100 a 300 m) 	Grande (> 300 m) 
	b) Declividade	Baixa (0 - 15%) 	Média (15 - 30%) 	Alta (> 30%) 
	c) Forma de encosta / vertente (* representação em planta)	Convexa 	Côncava 	Retilínea 
	d) Forma do vale (* representação em planta)	Aberto 		Fechado 
	e) Forma do topo	Aplainados 	Arredondados 	Angulosos 
	f) Feições particulares de relevo	Identificar e descrever. Associar modelos geológicos já conhecidos <small>*Consultar quadros Howard (1967); Soares e Fiori (1976); Nunes et. al, (1995)</small>		
Propriedades a serem interpretadas	Solubilidade	Não solúvel	Média	Solúvel
	Resistência à erosão natural (dureza)	Baixa (Pouco resistente)	(Resistência média)	Alta (Muito resistente)
APLICAÇÕES Informações interpretadas por esta análise Registros de processos geológicos	Profundidade do topo rochoso	Profundo	Intermediário	Raso a sub aflorante
	Espessura de materiais inconsolidados	Espesso	Intermediário	Delgado a inexistente
	Grau de escavabilidade	Pouco resistente	Resistência média	Muito resistente
	Potencial a erosão linear (induzida)	Médio a alto	Médio a alto	Médio a baixo
	Potencial a movimentos gravitacionais de massa	Baixo	Médio a Alto	Alto

Figura 2. Proposta de Zaine (2011) de procedimento de fotoanálise e fointerpretação.

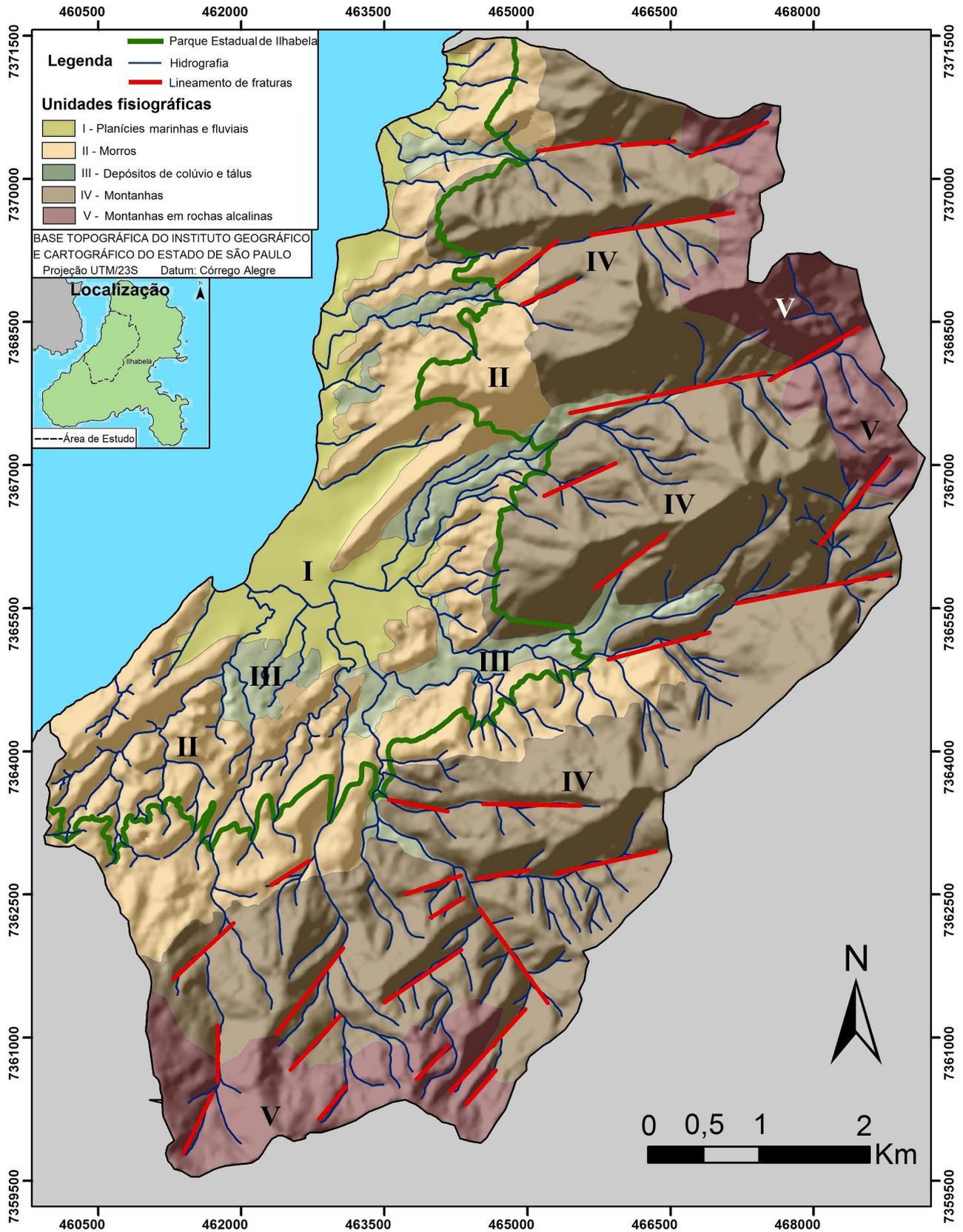


Figura 3. Mapa de unidades fisiográficas (elaborado na escala de 1:50.000).

solos profundos com grande concentração de blocos rochosos.

**IV – Montanhas:** Relevo predominante na Ilha de São Sebastião. Grandes amplitudes e declividades e solos rasos embasados por rochas granito-gnáissicas que afloram nos topos, angulosos. Os rios correm em vales fechados predominantemente definidos pelo fraturamento do embasamento cristalino.

**V – Montanhas em rochas alcalinas:** Encontradas nos limites sul e nordeste da área de estudo, apresentam as maiores declividades e amplitudes vistas no contexto insular, com solos delgados em um relevo embasado por rochas alcalinas (sienitos e nordmarkitos). Áreas inacessíveis e ainda muito pouco exploradas ou estudadas.

### Mapa geológico-geotécnico (1:20.000)

Esse mapa (Figura 4) mostra a parte urbana e urbanizável do núcleo central do município, sob os limites do Parque Estadual de Ilhabela. O maior detalhamento da escala nesse caso resultou na representação de mais aspectos relevantes, como a malha viária urbana, os diques alcalinos e os anfiteatros, permitindo uma maior compreensão da composição do meio físico e da estruturação urbana sobre ele.

Prosseguindo no detalhamento, foram mantidas três unidades (Planícies, Depósitos e Montanhas). A unidade de Montanhas em rochas alcalinas não é mais contemplada e a unidade de Morros foi subdividida em outras três unidades. Segue a descrição das seis unidades:

#### *Unidade 1 – Sedimentos quaternários em relevo de planícies marinhas e fluviais*

A primeira unidade corresponde às planícies marinhas e fluviais, encontradas a oeste da área de estudo. É constituída principalmente pela Planície do Perequê, que é o local onde grande parte da população da cidade se concentra. O relevo característico não ultrapassa os 20m de altitude e é plano, levemente inclinado em direção ao oceano ou aos canais fluviais. A drenagem apresenta baixa densidade, rios de pequeno porte (Figura 5), em vales abertos e amplos, seguindo um padrão meandrante, e com planícies de inundação restritas.

A unidade é composta por uma espessa camada arenosa e argilo-arenosa com a mistura de sedimentos marinhos e fluviais, relativos às variações do nível do mar que ocorreram ao longo do Quaternário. Podem ser encontrados no aluvião seixos predominantemente arredondados de quartzo, rochas básica, alcalinas e de granito, originados da decomposição e erosão das rochas presentes nos morros e montanhas da ilha e transportadas pela drenagem. Predomina a sedimentação mista alúvio-coluvial, marinha e coluvial (Souza e Luna, 2008).

Em função das baixas declividades presentes, os principais processos superficiais que ocorrem na unidade são a inundação e o alagamento, principalmente no período chuvoso (de novembro a março) e de forma pontual. Também notam-se processos de erosão marginal em alguns pontos e o assoreamento dos cursos d'água (explicitado na Figura 5). Todos esses processos vêm se intensificando com a urbanização do município.

#### *Unidade 2 – Rochas granito-gnáissicas em relevo de morros e morrotes arredondados*

Esta unidade está relacionada aos morros e morrotes subnivelados da serraria costeira, com uma amplitude local pequena a média, por volta de 100m, e associados principalmente a um relevo dissecado e desenvolvido.

Nela predomina uma morfologia de encostas convexas e topos restritos e arredondados, embasados por rochas granito-gnáissicas migmatíticas, com uma drenagem de padrão dendrítico de média densidade e vales fechados. A declividade varia de média a alta, preferencialmente entre 20 e 50%.

Pelo fato de apresentar um relevo mais desenvolvido, nesta unidade o manto de alteração se mostra mais espesso, com a ocorrência mais acentuada de material coluvionar (1 a 3 metros de espessura), principalmente nas bases das encostas, apresentando laterização em alguns pontos. Há a presença ocasional de blocos de rocha transportados à superfície do perfil de alteração e o saprólito, avermelhado, pode chegar a 7 m de espessura e com a estrutura da rocha matriz preservada, com padrões de fratura, núcleos rochosos e veios de quartzo.

Grande parte da cobertura vegetal dessa unidade se encontra alterada (de acordo com o Instituto Pólis, 2013, uma porção expressiva da mesma era antiga área de cultivo de café), e veem-se diversas encostas e topos cobertos apenas por gramíneas. Esse fato, associado aos solos mais espessos e desenvolvidos, com bastante material coluvionar, faz com que nessa unidade seja notada pronunciada a ocorrência de processos de dinâmica superficial. Em todos os morros observados onde a cobertura vegetal foi suprimida foram observados pontos de rastejo, sulcos, ravinamento, escorregamentos ou voçorocas, sendo estes dois últimos processos associados às encostas com maior declividade.

#### *Unidade 3 – Rochas granito-gnáissicas em relevo de morros alongados*

Nota-se nessa unidade que os morros seguem a orientação característica da foliação do embasamento cristalino, na direção NE, com um grau de fraturamento médio e média permeabilidade fissural. Os diques alcalinos subverticais se apresentam em diferentes espessuras (de menos de um metro até próximas a dez metros) e penetram as rochas do

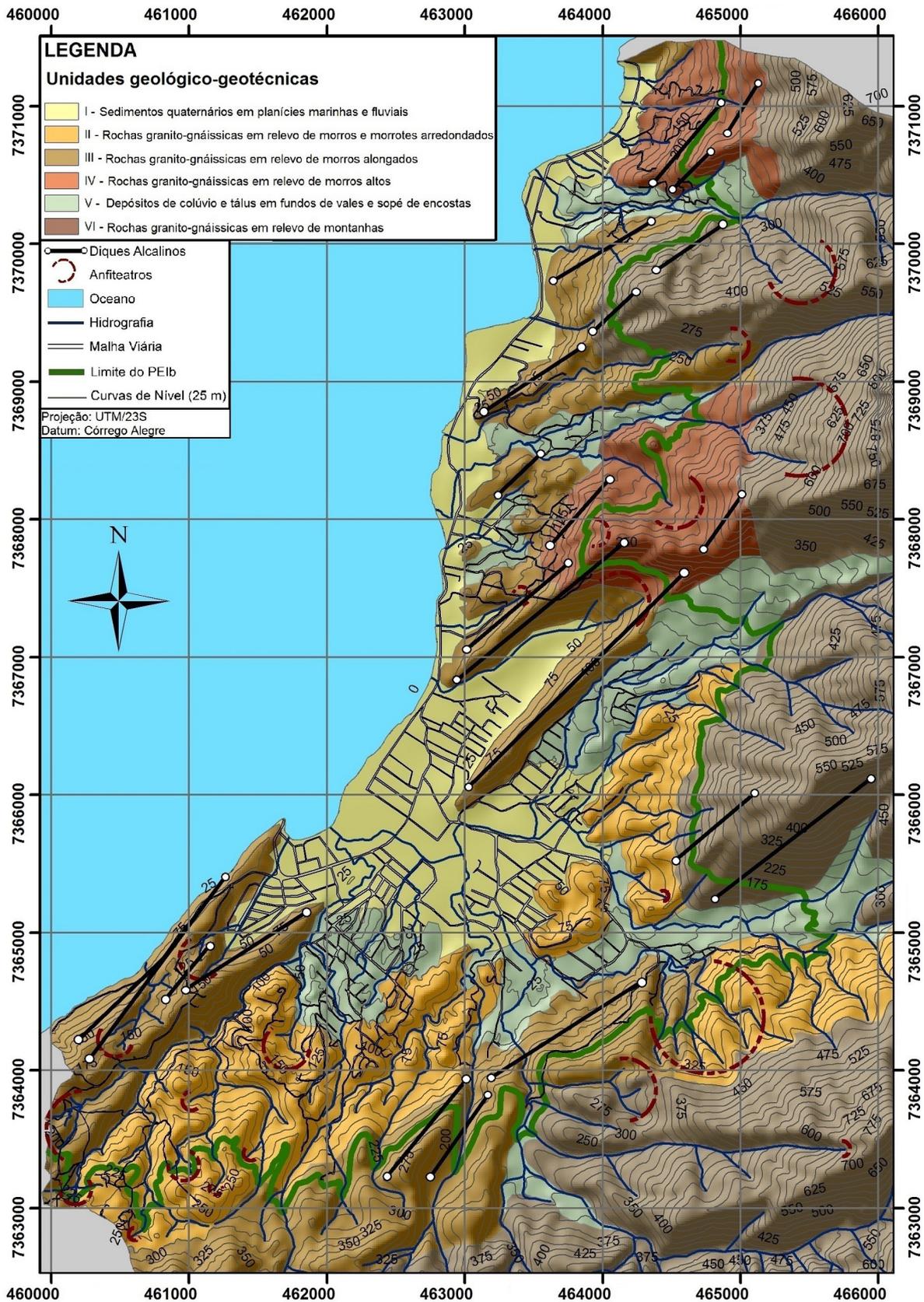


Figura 4. Mapa de Unidades geológico-geotécnicas (elaborado na escala de 1:20.000).



**Figura 5.** Curso d'água característico da unidade, sofrendo processo de assoreamento.

embasamento, seguindo a orientação NE. Nota-se que esses diques têm influência no condicionamento da drenagem, em função da menor resistência à erosão das rochas alcalinas em relação às granito-gnáissicas. Sua associação com as rochas metamórficas também pode estar sustentando o relevo, em vista da orientação preferencial das cristas dos morros, bem como dos formatos das encostas nas quais ocorrem.

A amplitude local é média, variando de 100 a 300m em geral, e predominam as encostas convexas e retilíneas, com alta declividade (no geral, entre 30 e 60%). Os topos são arredondados, e, nele e nas encostas, encontram-se blocos de rochas transportadas, de tamanhos variados.

O manto de alteração possui espessura média, variando de tamanho nos topos e nas encostas, sendo as encostas com vertentes convexas apresentando maior espessura, enquanto que as encostas com vertentes retilinizadas e maior declividade têm a rocha mais próxima à superfície. O horizonte saprolítico apresenta coloração amarelada e também preserva estruturas reliquias da rocha matriz, o que é observado nas fraturas e veios de quartzo. Além disso, é recoberto por material coluvionar silto argiloso de coloração vermelho amarelada.

Os processos potenciais observados são o escorregamento (Figura 6), associado às encostas com maior declividade, e erosão linear e rastejo nos topos e áreas de menor declividade onde não há cobertura vegetal original. Ademais, nesta unidade podem ocorrer, em taludes de corte, processos de queda e rolamento de blocos.

#### *Unidade 4 – Rochas granito-gnáissicas em relevo de morros altos*

A Unidade 4 também engloba o contexto geomorfológico dos morros modelados em rochas granito-gnáissicas do embasamento cristalino e se diferencia das Unidades 2 e 3



**Figura 6.** Escorregamento em encosta de morro na beira da estrada.

principalmente em função das maiores amplitudes altimétricas e declividades predominantes, as quais acabam influenciando também a diferença na magnitude dos processos característicos desta unidade. Nota-se nela morros com grandes amplitudes altimétricas locais (cerca de 300 metros) e altas declividades, em média entre 30 e 60%. Seus topos são predominantemente arredondados e suas encostas, convexas ou retilíneas.

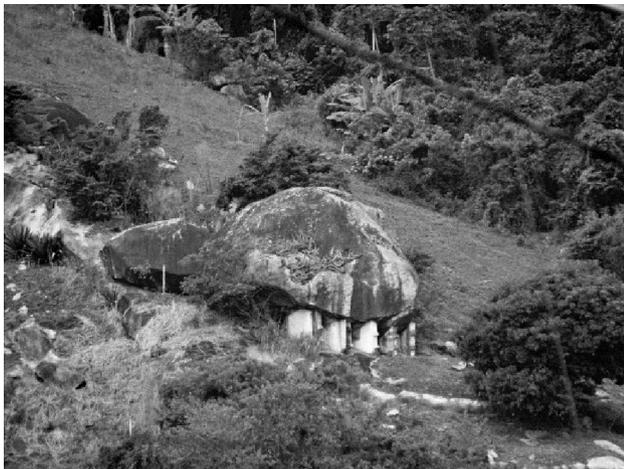
O solo é composto por uma camada coluvionar de 1 a 2 m sobre 1 a 4 m de saprólito amarelado, e há uma pronunciada ocorrência de blocos rochosos alcalinos e granito-gnáissicos, residuais ou transportados. Eles se apresentam em dimensões variadas, mas são comuns blocos grandes com até 15 m de diâmetro.

Diques alcalinos, subverticais e orientados a aproximadamente 45° NE, também se fazem presentes nessa unidade, ocorrendo com maiores espessuras (chegando a mais de 10 m) em comparação com os presentes na Unidade 3, e aqui também exercem influência na orientação e no formato das encostas.

Os processos superficiais nesta unidade também são fortemente potencializados pela retirada da cobertura vegetal, sendo notada nas encostas antropizadas a erosão linear, desde sulcos até ravinas bastante evoluídas. Alguns setores da Unidade 4 apresentam como feição característica lajedos e campos de matações, tanto autóctones quanto alóctones. Assim, registram o processo de rolamento de grandes blocos e blocos instáveis. Em alguns pontos são observadas obras de contenção dos mesmos (Figura 7).

#### *Unidade 5 – Depósitos de colúvio e tálus em fundos de vales e sopés de encostas*

Esta unidade compreende às rampas sub-horizontais de até 15% de inclinação encontradas nos sopés das encostas e nos fundos dos vales entre os morros e montanhas das Unidades 2, 3, 4 e 6, e é constituída por depósitos resultantes de processos



**Figura 7.** Obra para contenção de bloco rochoso.

gravitacionais pretéritos, como corridas de massa e detritos e escorregamentos, que ao longo do tempo transportaram e assentaram material coluvionar e blocos rochosos nesses locais. Em função da morfologia de rampa sub-horizontal de baixa declividade, essa é a unidade mais densamente urbanizada depois das planícies, sendo uma das fronteiras de expansão do crescimento urbano.

A declividade predominante em geral é baixa e o solo apresenta uma camada de grande espessura (5m ou mais, em média) de material transportado de composição variada, mas com a predominância de uma massa argilosa avermelhada e blocos rochosos (de rochas alcalinas e granito-gnáissicas), de diferentes dimensões. Estes encontram-se dispostos de forma não orientada e preferencialmente locados nas adjacências das drenagens e nos contatos imediatos entre as unidades. Os depósitos têm idades variadas, fato observado em diferenças nos graus de alteração das rochas depositadas nos diferentes locais.

Em função do predomínio das baixas declividades, a incidência de processos de dinâmica superficiais não é pronunciada, sendo a maioria dos observados relacionados aos cursos d'água, como assoreamento, erosão marginal e enxurradas após eventos de alta pluviometria. Processos erosivos lineares são observados em alguns pontos onde a cobertura vegetal foi retirada, na forma de sulcos e ravinas em estradas de terra que não apresentam um sistema de drenagem adequado. Além disso, alguns locais onde há acúmulo de blocos, quando expostos a processos erosivos, podem sofrer processos de instabilidade e rolamento.

#### *Unidade 6 – Rochas granito-gnáissicas em relevo de montanhas*

A Unidade 6 é constituída pelas montanhas sustentadas por rochas granito-gnáissicas, que compõem a maior parte do relevo da Ilha de São Sebastião. Ela apresenta em média as

maiores altitudes (superiores a 1.000 metros) e declividades (entre 60 e 100%) observadas na área de estudo, tendo as vertentes das montanhas escarpadas formato predominantemente retilíneo ou côncavo, e com alta densidade de drenagem, em vales fechados, fortemente influenciados pelo fraturamento.

O perfil de alteração nessa unidade é pouco espesso. Em muitas áreas não chega a ter mais de um metro de espessura, e esta é menor conforme aumenta a altitude (nos sopés das montanhas o perfil de alteração é mais espesso, enquanto que nos topos é inexistente). Ele é composto por uma camada coluvionar argilosa rica em matéria orgânica sobre um saprólito que preserva a estrutura reliquiar, como núcleos rochosos. Nas suas encostas ainda são vistos blocos rochosos de variados tamanhos, formatos e procedência (rochas granito-gnáissicas ou alcalinas). Os topos das montanhas são angulosos e restritos e neles a rocha aflora. Também é possível notar a presença dos diques alcalinos subverticais orientados a NE em diferentes espessuras.

A maior parte da cobertura vegetal nessa unidade ainda está em estágio primário, inalterada. Isso contribui para a contenção dos processos erosivos nas montanhas. Ainda assim, em função das altas declividades e alta relação escoamento superficial/infiltração, essas montanhas estão sujeitas a processos naturais de escorregamento, queda e rolamento de blocos. Pelo fato da totalidade dessa unidade estar dentro dos limites do Parque Estadual de Ilhabela, não há ocupação urbana. Portanto esta é a unidade que oferece menores riscos à população e ao equipamento urbano pela incidência dos processos superficiais, bem como a que menos sofre influência da ação antrópica.

#### **Mapa morfológico e de processos do bairro do Camarão (1:10.000)**

O bairro do Camarão foi selecionado para o mapeamento de maior detalhe (Figura 8) por fazer divisa com o Parque Estadual de Ilhabela, ao mesmo tempo que é lindeiro aos bairros do Zabumba e Barra Velha, os mais populosos do município. Trata-se, portanto, de uma região localizada na extremidade de um dos principais vetores de crescimento urbano do município e que num futuro próximo deve sofrer grande pressão da urbanização.

Além disso, o bairro apresenta a tendência a ser ocupado por uma população de baixo padrão socioeconômico, e essa ocupação se dá predominantemente na forma de residências edificadas sem critérios técnicos apropriados como, por exemplo, de aterramento, de cortes de taludes ou de dimensionamento e adequação de um sistema de drenagem. Tais irregularidades tornam, portanto, essas construções mais vulneráveis a processos superficiais como escorregamentos ou inundações (Farah, 2003).

Neste nível de detalhe, as quatro unidades definidas foram: **a) Fundos de vales, b) Encostas de morros, c) Topos de morros e d) Morros com vegetação.** Essas

unidades estão todas inseridas no contexto da Unidade 3 - Rochas granito-gnáissicas em relevo de morros alongados e, portanto, apresentam as mesmas características em seu substrato, se diferenciando entre si na morfologia superficial e espessura no manto de alteração.

A Unidade **a** é área de preservação permanente (APP de margem de rio), e tanto ela quanto a Unidade **d** são menos suscetíveis à ocorrência de processos superficiais, em função de estarem com a cobertura vegetal preservada. Em ambas podem ocorrer processos após eventos de grande pluviosidade,

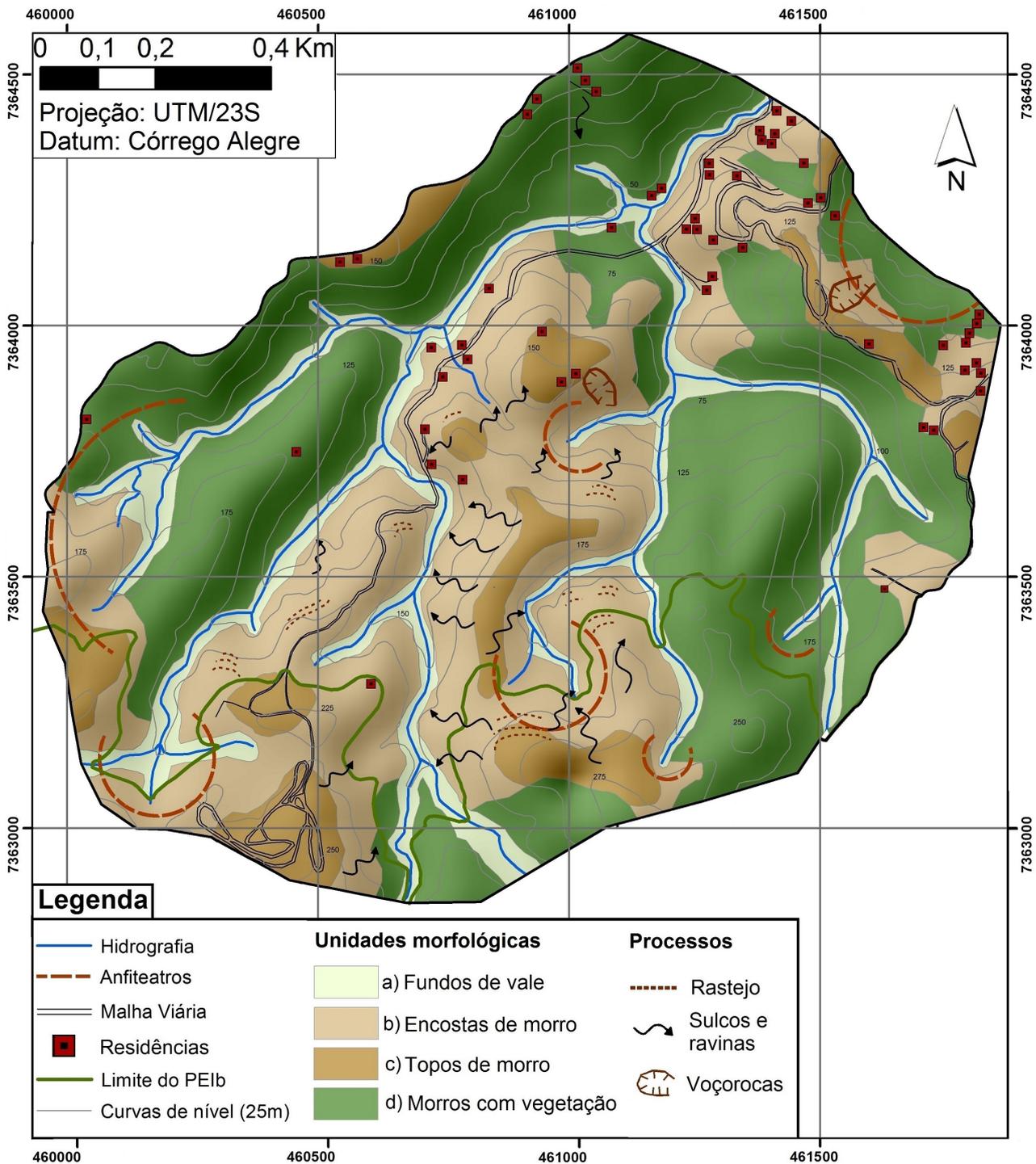


Figura 8. Bairro do Camarão e unidades de análise (elaborado na escala de 1:10.000).

como enxurradas, erosão marginal e inundações na Unidade **a**, ou escorregamentos na Unidade **d**.

A Unidade **c**, por apresentar baixos valores de declividade, também é pouco suscetível a processos, sendo favorável à ocupação humana. O cuidado necessário deve focar no local de transição entre esta e a Unidade **b**, que é onde se encontram instalados os processos superficiais notados.

A Unidade **b** é a que necessita maior atenção no planejamento, pois é onde se encontra grande parte das residências e onde ocorre a maioria dos processos notados. Estes são fortemente influenciados pela declividade: nos intervalos de 30 a 40%, observam-se processos de rastejo e erosão laminar; de 40 a 60%, sulcos e ravinas; e escorregamentos e voçorocas nos locais em que a declividade chega a 75%.

Em função dessa grande suscetibilidade a processos erosivos, torna-se necessário nessa unidade uma atenção diferenciada no direcionamento da ocupação urbana, conforme Augusto Filho (1994) já considerou: cuidados na realização de cortes e aterros, sendo recomendável a construção das edificações sobre estruturas de apoio como pilotis; adoção de sistemas de drenagem mais complexos utilizando mecanismos como caixas de dissipação ou transição, escadas d'água, canaletas, etc.; o dimensionamento dos lotes, da malha viária e do lado mais extenso das residências de forma paralela às curvas de nível, com guias e sarjetas apropriadas; etc. Nas encostas que apresentam maiores valores de declividade (50 a 75%), a ocupação deve ser evitada, exceto em casos específicos, nos quais os cuidados especiais são atentados na elaboração e execução dos projetos. Também são recomendáveis obras de recuperação das encostas que apresentam processos desenvolvidos.

## CONCLUSÕES

A metodologia adotada na pesquisa obteve sucesso no mapeamento em detalhamento progressivo a partir da compartimentação fisiográfica das imagens da área de estudo, gerando os mapas de unidades fisiográficas na escala de 1:50.000, de unidades geológico-geotécnicas na escala de 1:20.000, e morfológico e de processos do bairro do Camarão na escala de 1:10.000. Destaca-se o procedimento expedito de extração de pares estereoscópicos para fotointerpretação por meio do *software* livre *Google Earth Plus*, que se mostrou prático, funcional, e uma boa alternativa em termos de custo e facilidade de obtenção para ser aplicado em trabalhos deste tipo.

As diferentes cartas geradas são produtos que permitem um entendimento da realidade do meio físico de Ilhabela, que é um município inserido num contexto geomorfológico naturalmente bastante suscetível a processos superficiais. A compreensão aprofundada de cada unidade e dos processos atuantes permite uma leitura mais abrangente do ambiente como um todo e da inter-relação existente entre as unidades (por exemplo, os processos erosivos observados

nas unidades de morros têm influência na ocorrência de processos de assoreamento na unidade de planícies). Vale ressaltar que o estudo das unidades reforçou a constatação da importância da cobertura vegetal na contenção dos processos superficiais: em todas as unidades caracterizadas viu-se que a maioria dos processos ocorrem em locais onde essa cobertura foi suprimida ou significativamente alterada.

A compartimentação fisiográfica é capaz, portanto, de gerar produtos cartográficos como os aqui demonstrados, que são adequados ao planejamento e desenvolvimento urbano, permitindo um melhor direcionamento em relação à ocupação ou a usos do solo específico para cada unidade componente da área abordada, minimizando a exposição da população e do equipamento urbano aos riscos dos processos atuantes. Como exemplo podemos citar o caso da Unidade 4: as informações obtidas na presente pesquisa identificaram e delimitaram essa unidade, que é de rochas granito-gnáissicas em relevo de morros altos, assinalando suas principais características, como a predominância de altas declividades em um solo menos espesso do que o das outras zonas delimitadas (exceção à zona de montanhas) e com a ocorrência acentuada de processos de rolamentos de blocos de grande dimensão. Tendo em vista essas características do meio físico (entre outras), que são próprias desta unidade e não foram identificadas nas demais descritas no mapa, pode-se ter um planejamento mais adequado à realidade local, na forma de diretrizes e parâmetros de ocupação específicos para cada unidade, como por exemplo, na referida unidade, critérios para a localização e dimensionamento de residências em cujos lotes se encontrem os grandes blocos citados.

Por fim, o detalhamento progressivo se mostrou uma abordagem que pode ser indicada para estudos de regiões dentro das quais há locais que demandam um entendimento mais aprofundado, como é o caso do Bairro do Camarão, inserido num contexto físico mais suscetível à ocorrência de processos superficiais e com a predominância de uma ocupação irregular (que não adota critérios técnicos adequados de loteamento, aterramento e de drenagem, por exemplo) mais vulnerável a esses processos. As informações obtidas na etapa de maior detalhe, aplicada nesse local, validaram e complementaram as informações já obtidas nas etapas anteriores, aumentando sua compreensão.

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo apoio financeiro que possibilitou a realização desse trabalho e ao Parque Estadual de Ilhabela, pela gentileza no compartilhamento de informações e dados fundamentais para o projeto.

## REFERÊNCIAS

- Augusto Filho, O. (1994). *Cartas de risco de escorregamentos: uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Ilhabela, SP*. Dissertação (Mestrado). São Carlos: Escola de Politécnica, Universidade de São Paulo.
- Cerri, L. E. S., Akiossi, A., Augusto Filho, O., Zaine, J. E. (1996). Cartas e mapas geotécnicos de áreas urbanas: reflexões sobre as escalas de trabalho e proposta de elaboração com o emprego do método de detalhamento progressivo. *Anais do Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia*, v. 2, 537-548. Rio de Janeiro: ABGE.
- Diniz, N. C. (2012). Cartografia geotécnica por classificação de unidades de terreno e avaliação de suscetibilidade e aptidão. *Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental*, 2, 29-77.
- Farah, F. (2003). *Habitação e encostas*. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas.
- Freitas, R. O. (1944). Geomorfogênese da Ilha de São Sebastião. *Boletim da Associação dos Geógrafos Brasileiros*, 4, 16-30.
- Freitas, R. O. (1947). Geologia e Petrologia da Ilha de São Sebastião. *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo: Geologia*, 3, 244.
- Fundação Florestal do Estado de São Paulo – FFLORESTAL. (2011) *Plano de Manejo do Parque Estadual de Ilhabela: fase diagnóstico*. Ilhabela: Parque Estadual de Ilhabela.
- Grabler, G. G., Zaine, J. E., Martins, S. C. (2011). Ensaio de utilização de imagens do Google Earth em mapeamento geológico-geotécnico da rodovia SP-063 (Bragança Paulista a Itatiba -SP). *Anais do 13º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental*. São Paulo: ABGE.
- Hennies, W. T., Hasui, Y. (1968). Geocronologia das rochas intrusivas da Ilha de São Sebastião. *Anais do Congresso Brasileiro de Geologia*, 145-148. Belo Horizonte: SBG.
- Hennies, W. T., Hasui, Y. (1977). Contribuição ao reconhecimento da ilha de São Sebastião. *Anais do Simpósio regional de Geologia*, v. 1, 613-654. São Paulo: SBG.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2012). *Banco de dados: cidades*. Acesso em 11 de setembro de 2012, <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>.
- Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo – IGC. (1978). *Mapa topográfico do Estado de São Paulo*. Escala 1:10.000. São Paulo.
- Instituto Pólis. Projeto Litoral Sustentável: Desenvolvimento com Inclusão Social. (2013). *Diagnóstico urbano socioambiental de Ilhabela*. Acesso em março de 2013, <[www.litoralsustentavel.org.br](http://www.litoralsustentavel.org.br)>
- Milanesi, M. A. (2007). *Avaliação do efeito orográfico na pluviometria de vertentes opostas da Ilha de São Sebastião (Ilhabela - SP)*. Dissertação (Mestrado). São Paulo: Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.
- Perrota, M. M., Salvador, E. D., Lopes, R. C., D'Agostino, L. Z., Perufo, N., Gomes, S. D., Sachs, L. L. B., Meira, V. T., Garcia, M. G. M., Lacerda Filho, J. V. (2005). *Mapa geológico do Estado de São Paulo*. Escala 1:750.000. São Paulo: Programa Geologia do Brasil – PGB.
- Rocha e Silva, C. (2009). *Mercado imobiliário, turismo e desenvolvimento urbano em Ilhabela*. Dissertação (Mestrado). São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo.
- Rodrigues, F. H. (2012). *Análise integrada aplicada ao mapeamento geológico-geotécnico na escala de 1:20.000 da estrada de Castelhanos, Ilhabela - SP*. Dissertação (Mestrado). Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- Rodrigues, F. H. (2015). Geração de imagens estereoscópicas a partir de Produtos do Google Earth com Aplicações no Mapeamento Geotécnico e Geoambiental. *Anais do 15º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental*. Bento Gonçalves.
- Serviço Geológico do Brasil – CPRM. (1999). *Nota explicativa da Carta Geológica da Folha de Santos*. São Paulo.
- Soares, P. C., Fiori, A. P. (1976). Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. *Notícia Geomorfológica*, 16(32), 71-104.
- Souza, C. R. G., Luna, G. C. (2008). Unidades quaternárias e vegetação nativa de planície costeira e baixa encosta da Serra do Mar no Litoral Norte do estado de São Paulo. *Revista do Instituto Geológico*, 29(1-2), 1-18.
- Vedovello, R., Mattos, J. T. (1998). A utilização de Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs) como base para a definição de Unidades Geotécnicas: uma abordagem a partir do Sensoriamento Remoto. *Anais do Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica*. Florianópolis.
- Vedovello, R. (1993). *Zoneamento geotécnico por sensoriamento remoto, para estudos de planejamento do meio físico: aplicação em expansão urbana*. Dissertação (Mestrado). São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- Zaine, J. E. (2000). *Mapeamento geológico-geotécnico por meio do método do detalhamento progressivo: ensaio de aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP)*. Tese (Doutorado). Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.

Zaine, J.E. (2011). *Método de fotogeologia aplicado a estudos geológico-geotécnicos: ensaio em Poços de Caldas, MG*. Tese (Livre-docência). Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.

Zuquette, L. V., Gandolfi, N. (2004). *Cartografia geotécnica*. Oficina de Textos.

Zuquette, L. V., Pejon, O. J., Ferreira, M. D., Palma, J. B. (2009). Environmental degradation related to mining, urbanization and pollutant sources: Poços de Caldas, Brazil. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 68(3), 317-329.