

Revista Brasileira de Cartografia (2014) N^o 66/6:1281-1294
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

EMPREGO DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO NA COMPARTIMENTAÇÃO FISIAGRÁFICA DA REGIÃO ABRANGIDA PELAS FOLHAS TOPOGRÁFICAS SÃO JOSÉ DOS CAMPOS E JACAREÍ (SP)

*Use of Remote Sensing Techniques in Physiographic Compartmentalisation of
Region Covered by Topographic Maps São José dos Campos and Jacareí (SP)*

**Claudia Vanessa dos Santos Corrêa¹, Fábio Augusto Gomes Vieira Reis²,
Lucília do Carmo Giordano² & Hermes Dias Brito¹**

¹Universidade Estadual Paulista – UNESP
Instituto de Geociências e Ciências Exatas – IGCE – Campus Rio Claro
Pós-Graduação em Geociências
Av. 24-A, 1515 - 13506-900, Rio Claro - SP, Brasil
claudiageobrax@yahoo.com.br, hermesdiasbrito@gmail.com

²Universidade Estadual Paulista – UNESP
Instituto de Geociências e Ciências Exatas – IGCE – Campus Rio Claro
Departamento de Geologia Aplicada
Av. 24-A, 1515 - 13506-900, Rio Claro - SP, Brasil
fabioreis@rc.unesp.br; lcg@ecogeologia.com.br

Recebido em 22 de Janeiro, 2014/ Aceito em 10 de Maio, 2014
Received on January 22, 2014/ Accepted on May 10, 2014

RESUMO

Este artigo apresenta as informações obtidas pela compartimentação fisiográfica da região abrangida pelas folhas topográficas São José dos Campos e Jacareí (SP), em escala 1:50.000, com o uso de técnicas de sensoriamento remoto e fotointerpretação usando a banda 4 do infravermelho próximo do sensor TM do Landsat-5. No total, foram delineadas 19 unidades fisiográficas na região, distribuídas ao longo do Embasamento Cristalino e da Bacia Sedimentar de Taubaté. Os resultados gerados servem para nortear considerações referentes ao processo de expansão urbana, bem como o entendimento dos processos geológicos em regiões com empreendimentos já instalados ou em fase de planejamento. A metodologia utilizada se mostrou com potencial de aplicação em outros estudos relacionados ao meio físico, sendo apenas necessária a adequação dos dados a serem trabalhados segundo a escala a ser utilizada e a resolução espacial da imagem, conforme os objetivos do estudo.

Palavras chaves: Compartimentação Fisiográfica, Sensoriamento Remoto, Fotointerpretação.

ABSTRACT

This article presents information obtained through the physiographic compartmentalisation of the area covered by the topographic maps of São José dos Campos and Jacareí (São Paulo State - Brazil) in the 1:50.000 scale through remote sensing and photointerpretation techniques employed in band 4 of Landsat-5 image. Totally, 19 geological and geotechnical units, distributed over Basement Complex and the Taubaté Sedimentary Basin were found. The generated results

are used to guide considerations regarding urban expansion process, as well as to the understanding the geological processes in regions with projects already installed. The methodology used proved with potential application in other studies related to physical environment, requiring only the adequacy of the data to be worked according to the scale to be used and the spatial resolution of the image, according the aims of study.

Keywords: Physiographic Compartmentalisation, Remote Sensing, Photointerpretation.

1. INTRODUÇÃO

As atividades antrópicas sobre a superfície terrestre relacionam-se diretamente com os elementos do meio físico, potencializando a ocorrência de processos geodinâmicos, tais como escorregamentos, enchentes, assoreamento, inundações, dentre outros.

A falta de conhecimento dos limites impostos ao meio físico torna-se um agravante neste cenário, uma vez que o estudo e reconhecimento dos elementos que o constituem podem auxiliar a mitigar a problemática ambiental que rodeia principalmente os grandes centros urbanos e os locais de intensa atividade agropecuária.

Em casos como estes, técnicas de sensoriamento remoto vêm sendo empregadas nos últimos anos no sentido de auxiliar no planejamento ambiental e gestão territorial (ROCHA; SEER, 2008), dentre as quais merece destaque a compartimentação fisiográfica.

Segundo Vedovello e Mattos (1993) a compartimentação fisiográfica, seguida da caracterização geotécnica, “[...] consiste em dividir uma determinada região em áreas que apresentem internamente características fisiográficas homogêneas e que sejam distintas das áreas adjacentes”.

A vantagem da aplicação da compartimentação fisiográfica no planejamento ambiental consiste na geração de “[...] um único produto cartográfico seccionado em várias ‘unidades da paisagem’, que resumem características de relevo, solo, geologia, vegetação, uso da terra e socioeconômicas” (PAULA et al., 2008, p. 250).

Com isso, a compartimentação permite a síntese das informações do meio físico, já que a partir de critérios estabelecidos, propriedades similares ou idênticas são identificadas no interior de áreas com características homogêneas (CARDOSO et al., 2009; SILVA et al., 2007).

As etapas de realização da compartimentação fisiográfica envolvem a

aplicação de técnicas de sensoriamento remoto a partir do método lógico de interpretação de imagens, desenvolvido por Veneziani e Anjos (1982), no qual a extração de dados e análise das imagens é baseada nos elementos da rede de drenagem e do relevo.

No que tange às técnicas de sensoriamento remoto, Pullen e Patterson (2011, p. 249) salientam que o “[...] sensoriamento remoto e seus dados fornecem um entendimento espacial de complexas características físicas, usos da terra, padrões de crescimento, distribuição de recursos, pressões ambientais, mudanças tecnológicas e necessidades socioeconômicas do ambiente construído”. Dentre as diversas aplicações dos produtos de sensoriamento, destaca-se nesse trabalho seu potencial como base para a realização da compartimentação fisiográfica, pois as imagens são capazes de demonstrar a organização espacial do meio físico, sobre os quais é possível traçar limites (VEDOVELLO, 2008).

Abreu e Augusto Filho (2011) usaram atributos geológico-geotécnicos com uso de técnicas de sensoriamento remoto para estabelecer critérios ao planejamento ambiental do município de Analândia (SP, Brasil). Sparovek et. al., (2010), também por meio de técnicas de sensoriamento remoto, mapearam a porcentagem total da área dos municípios sob uso antrópico e constataram o avanço acelerado das atividades agrícolas no território brasileiro e as suas consequências para o ambiente, demonstrando a necessidade e relevância de instrumentos de sensoriamento remoto no planejamento territorial. Vários outros autores também podem ser citados nessa linha, tais como: Vedovello e Mattos (1993); Vedovello (2000 e 2008); Giordano e Riedel (2008); Cardoso et al., (2009); Dewan e Yamaguchi (2009); Li et al., (2010); Fernandes-da-Silva et al., (2010); Zaine (2011); Pullen e Patterson (2011).

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é de compartimentar a região abrangida pelas

folhas topográficas São José dos Campos (SF-23-Y-D-II-1) e Jacareí (SF-23-Y-D-II-3) – SP, considerando atributos fisiográficos, a partir de técnicas de sensoriamento remoto, com a finalidade de auxiliar no ordenamento territorial e planejamento ambiental. Desta forma, a implantação de futuros empreendimentos e dos já instalados podem entrar em consonância com as variantes que constituem o meio físico.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se no cone leste paulista, denominada de Médio Vale do Paraíba do Sul (Figura 1). Compreende as folhas topográficas 1:50.000 de São José dos Campos (SF-23-Y-D-II-1) e Jacareí (SF-23-Y-D-II-3), delimitada pelos paralelos 23°00' à 23° 30' e meridianos 46° W à 45°45' W.

De maneira geral, segundo a classificação de Köppen, o clima da área em questão permeia entre o Cfa (subtropical oceânico) e Aw (tropical sazonal com estação seca no inverno) (KOTTEK et. al., 2006). Em relação ao contexto geológico, o Vale do Paraíba está inserido na Bacia Sedimentar de Taubaté, limitada pelo Embasamento Cristalino da Serra do Mar e da Mantiqueira, constituídos principalmente de seqüências gnáissicas e granitos. A Bacia Sedimentar de Taubaté é constituída por

sedimentos depositados a partir do Terciário e compreende na área de estudo as Formações Resende, Formação Tremembé, Formação São Paulo, Formação Pindamonhangaba e sedimentos quaternários (Figura 2) (IPT, 1978).

Arelada a essas formações geológicas, a área em questão, segundo a divisão geomorfológica do Estado de São Paulo (IPT, 1981) insere-se na Província do Planalto Atlântico, na zona do Médio Vale do Paraíba do Sul.

Subdivide-se em uma região de morros desenvolvidos sobre rochas cristalinas pré-cambrianas, conhecida como Morros Cristalinos, uma região

denominada de Colinas Sedimentares, que abrange a Bacia de Taubaté e a Planície Aluvial, constituída pelos sedimentos quaternários originados da neomorfodinâmica do Rio Paraíba do Sul (Figura 3).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a elaboração do presente trabalho foram utilizados os seguintes materiais: cartas topográficas em escala 1:50.000 do IBGE das folhas São José dos Campos (SF-23-Y-D-II-1) e Jacareí (SF-23-Y-D-II-3) (IBGE, 1973; 1974), mapa geológico em escala 1:100.000 da quadrícula São José dos Campos (SF-23-Y-D-II) elaborado pelo IPT (1978), mapa geomorfológico

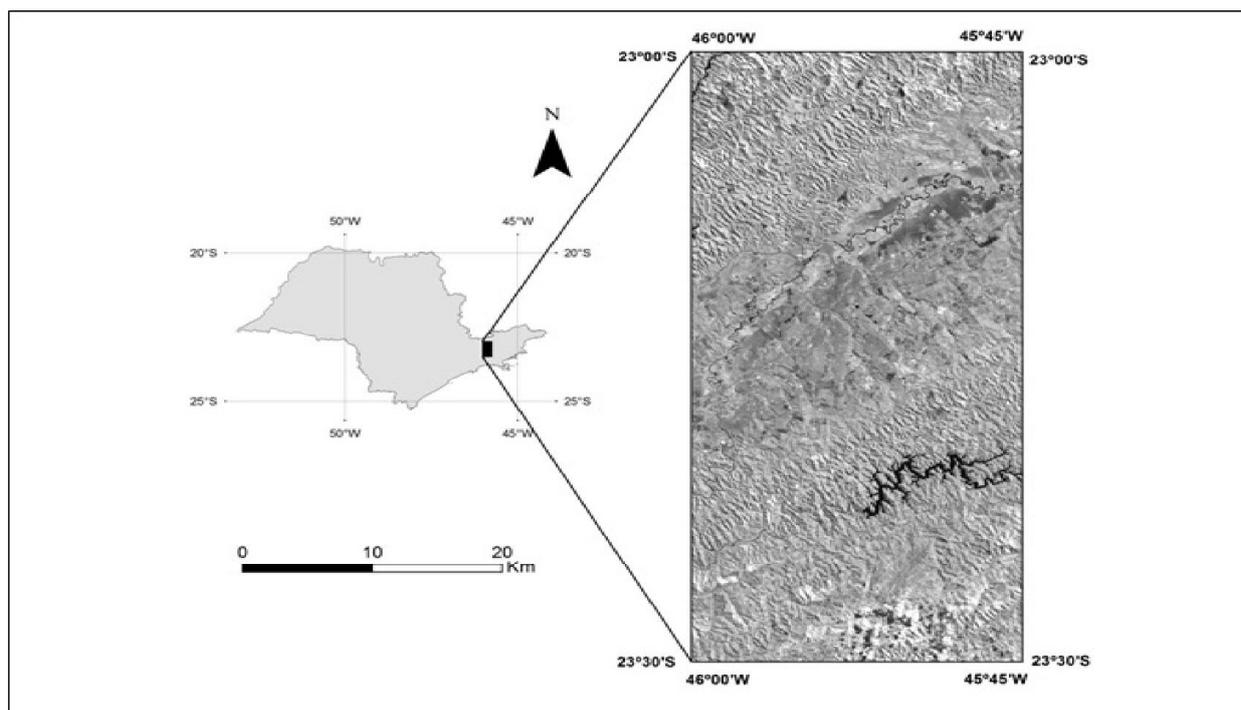


Fig. 1 – Localização da área de estudo.

em escala 1:250.00 do Vale do Paraíba do Sul (FLORENZANO; CSORDAS, 1993), cena 23S465 SRTM do sistema TOPODATA (INPE, 2008) e imagem referente à banda 4 de satélite Landsat-5, de 19/08/87, da órbita 219, ponto 76, que são disponibilizados gratuitamente e possuem amplas aplicações em pesquisas de mapeamento (ARRUDA-JÚNIOR et al., 2010).

É importante destacar que os mapas geológico e geomorfológico foram utilizados para subsidiar os levantamentos de campo, bem como auxiliar as análises de fotointerpretação, uma das etapas da realização da compartimentação fisiográfica. Sobre os dados morfométricos, representados pelos mapas de declividade e de hipsometria, ressalta-se que foram elaborados a partir dos dados obtidos pelo sistema TOPODATA (INPE, 2008), o qual foi gerado através de processamentos digitais do MDE (Modelo Digital de Elevação) do sistema SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) (INPE, op. cit.).

A escolha da banda 4 não foi realizada por critérios aleatórios. Por possuir sensibilidade à morfologia do terreno, permite a obtenção de informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia, admitindo a análise e mapeamento de feições geológicas e estruturais (ROCHA, 2000). Nesse sentido, trabalhos de Florenzano (1998) e Veneziani et al. (1998) optaram pela utilização da respectiva banda para estudos de cunho geomorfológico e geológico, cujos resultados apresentaram-se favoráveis para o tema em questão.

Para a realização da compartimentação fisiográfica da área de estudo, *a priori* a imagem orbital selecionada sofreu dois processamentos digitais em ambiente SPRING 5.1.8: contraste por expansão histogrâmica linear e Filtragem Linear de Realce (Laplaciano) de Imagem TM. O contraste histogrâmico linear visa a expansão do intervalo digital da imagem para o intervalo dinâmico total (0-255) a fim de ampliar o contraste visual da imagem (CRÓSTA, 1992). Por outro lado, o Filtro Laplaciano destaca os componentes de alta frequência, favorecendo as diferenciações e os aspectos texturais da imagem, utilizando a segunda derivada para realçar bordas, sem considerar a direção. Desta forma, áreas com alta frequência espacial são “tonalmente rugosas” e mostram as partes da imagem em que ocorrem rápidas mudanças dos

valores de brilho (CRÓSTA, 1992). Segundo Florenzano (2008), com este processo as drenagens, as falhas, as juntas e outras feições lineares da imagem são destacadas.

Posteriormente, de modo a subsidiar a compartimentação fisiográfica, foram gerados mapas de declividade, hipsometria, hidrografia e geologia para a área de estudo. Para esta etapa, selecionou-se como dados de entrada a imagem de radar do sistema SRTM, que foi submetida aos procedimentos de *Raster to TIN*, para a construção do mapa hipsométrico, e ao *Slope*, para a declividade, ambos pela ferramenta *3D Analyst*, na plataforma *ArcGis 10.1*.

A partir das etapas supracitadas, a realização da compartimentação fisiográfica seguiu as recomendações da interpretação pelo método lógico (GUY, 1966; SOARES; FIORI, 1976), que segundo Vedovello (2000) é passível de repetição por outros intérpretes ou aplicação em outras áreas de maneira similar.

Neste método os estudos de textura, forma e estrutura das feições seguem as etapas de fotoleitura, fotoanálise e fotointerpretação. Segundo Soares e Fiori (1976), a etapa de fotoleitura compreende o reconhecimento dos elementos de textura de interesse na imagem; a fotoanálise, por sua vez, faz a associação e ordenação das partes da imagem analisada e a fotointerpretação trata da análise da imagem visando à descoberta e avaliação, por métodos indutivos, dedutivos e comparativos do significado, função e relação dos objetos correspondentes às imagens (SOARES; FIORI, 1976). No caso do presente trabalho foram utilizadas imagens de sensoriamento orbitais, portanto as colocações de Veneziani e Anjos (1982) e Soares et. al. (1978) foram necessárias.

A etapa de fotoleitura se baseou na identificação das técnicas e processos de obtenção da imagem orbital de sensoriamento remoto, como a resolução espacial, resolução espectral e outras características pertinentes a essa fase. Para Mattos (2011) nessa etapa há o reconhecimento geral da imagem, bem como o arranjo espacial das feições.

Para a fotoanálise, primeiramente a área foi dividida em relação aos aspectos geológicos, considerando as diferentes litologias encontradas na área de estudo, distinguindo principalmente as rochas sedimentares das rochas

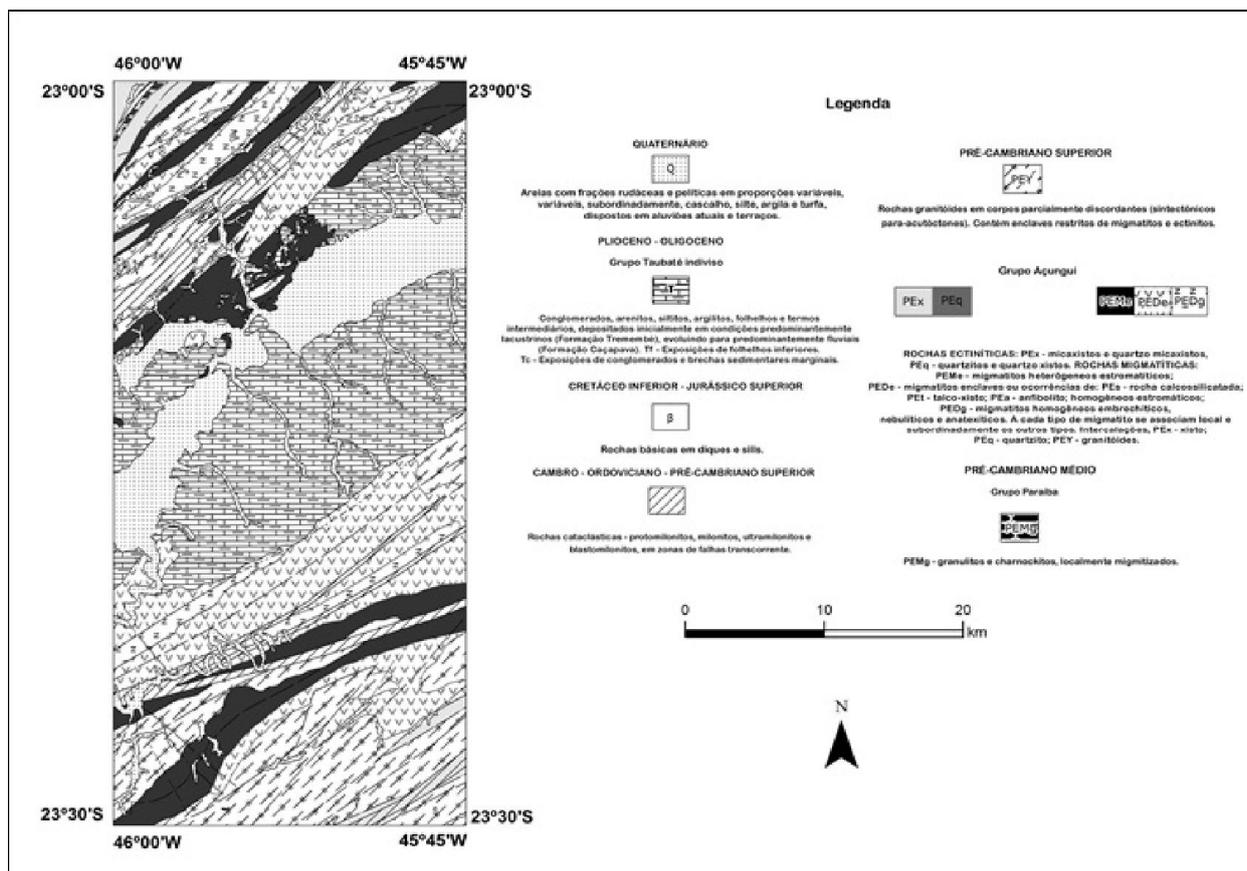


Fig. 2 – Mapa geológico da área de estudo (IPT, 1978).

crystalinas. Posteriormente, as análises da forma, textura, estrutura dos elementos do relevo e da drenagem foram considerados referenciais para a delimitação dos diferentes compartimentos, a partir da utilização dos mapas hipsométricos, de declividade e hidrográfico. Assim, esta etapa seguiu as proposições do quadro de análise fotogeológica, elaborado por Zaine (2011) (quadro 1). O método elaborado pelo respectivo autor tem por finalidade a obtenção de uma carta geológico-geotécnica, seccionada em várias unidades de terreno, que incluem características referentes ao relevo, geologia e uso da terra, cujas informações são sintetizadas e apresentadas mediante a análise integrada, baseando-se no método lógico proposto por Soares e Fiori (1976). O quadro sintetizado pelo respectivo autor considera a análise da densidade textural (correspondente aos elementos de drenagem e relevo), a análise das formas e características do relevo, a análise das estruturas geológicas (relacionados aos elementos estruturais) e pela análise complementar (que se atribui ao uso do solo e aos processos geológicos ocorrentes).

A fotointerpretação, por sua vez, se baseou na assimilação dos resultados obtidos

pela fotoanálise, identificando o significado das formas e características das unidades delimitadas no contexto de sua função para o ambiente.

A caracterização geológico-geotécnica foi baseada nos resultados da interpretação das imagens pelas etapas anteriores e pelo trabalho de campo. Segundo Oliveira (2009), a caracterização geológica-geotécnica pode ser considerada como o conjunto de procedimentos realizados para a obtenção de propriedades e características geotécnicas sobre as unidades de compartimentação. Segundo a mesma autora, a obtenção de dados geotécnicos a partir de dados de sensoriamento remoto é feita a partir da correlação entre as propriedades texturais e espectrais da imagem e propriedades e/ou características do meio físico de interesse geotécnico. De acordo com Vedovello (2000), o princípio considerado para a correlação é o de que a textura na imagem reflete as características e propriedades dos materiais que são imageados, ou seja, há um relacionamento entre as propriedades texturais da imagem e as propriedades e características do alvo, o que permite que sejam feitas inferências a partir da análise da imagem sobre o alvo investigado.

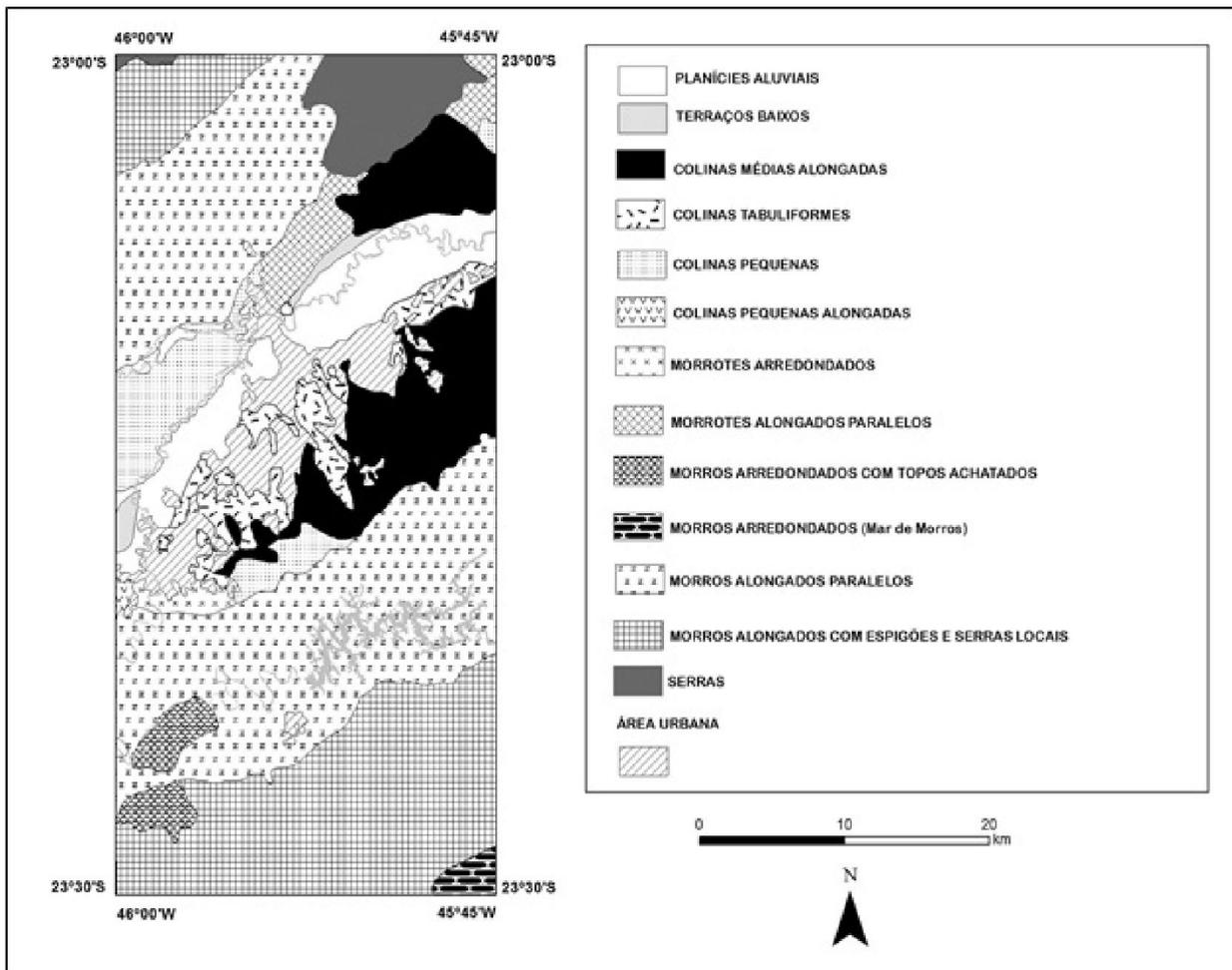


Fig. 3 – Mapa geomorfológico da área de estudo (FLORENZANO E CSORDAS, 1993).

As análises realizadas nessa fase seguiram as orientações do item “Aplicações”, “Análise de densidade textural”, “Análise das formas e características do relevo” proposto por Zaine (2011), com o uso de fichas de campo na forma de listagem de controle e descrição das características de cada unidade por meio de elaboração de perfis de solo e geológico-geotécnicos focando ainda os processos de dinâmica superficial que ocorrem na área de estudo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

No estudo foram seguidos os procedimentos do método lógico de interpretação, conforme as proposições de Soares e Fiori (1976) e Guy, (1966), com adaptações de Veneziani e Anjos (1982) e Soares et al. (1978). A partir desses procedimentos metodológicos foram identificadas na área de estudo 19 unidades fisiográficas (figura 4), as quais se distribuem ao longo das Planícies fluviais, Depressão do Médio Paraíba e nas Unidades Morfoesculturais

do Planalto Atlântico Planalto e Serra da Mantiqueira, Planalto de Paraitinga/Paraibuna e Planalto do Médio Vale do Paraíba.

Para a unidade fisiográfica 1 (Micaxistos em relevo de morros) o processo de fotoanálise e fotointerpretação evidenciou que a densidade textural dos elementos de drenagem e de relevo é alta, e portanto interpreta-se que a permeabilidade intergranular é baixa.

As encostas nessa unidade variam de côncavas a retilíneas, cujas declividades são elevadas. Assim, o potencial a movimentos gravitacionais de massa e a relação escoamento superficial/infiltração é elevado, o que indica uma região sujeita aos processos geológicos de movimentos de massa, principalmente escorregamentos e rastejo, portanto com áreas menos favoráveis à ocupação humana, devendo ser destinadas a conservação e desenvolvimento de atividades agrícolas não mecanizadas.

Na unidade fisiográfica 2 (Migmatitos em relevo de morro) ficou evidenciado, através da fotointerpretação, que o local possui alta

Quadro 1: Quadro de análise e interpretação de dados geológicos por sensoriamento remoto (Zaine, 2011)

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 ²	Média 5 a 30/10 km ²	Alta > 30 km ²
	Densidade dos elementos de relevo	Baixa (mais lisa)	Média	Alta
Propriedade a ser interpretada	Permeabilidade (intergranular)	Alta (permeável)	Média	Alta (pouco permeável a permável)
Aplicações	Relação escoamento superficial/ infiltração	Baixa	Média	Pequena (raso/ rocha aflorante)
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	Amplitude local (variações de cotas na unidade)	Pequena 0 a 100 metros	Média 100 a 300 metros	Grande > 300 metros
	Declividade	Baixa 0 - 15%	Média 15 - 30%	Alta > 30%
	Forma de encosta/ vertente	Convexa	Côncava	Retilínea
	Forma do vale	Aberto	-----	Fechado
	Forma do topo	Aplainados	Arredondados	Angulosos
Propriedade a ser interpretada	Resistência à erosão natural (dureza)	Baixa (Pouco resistente)	Média (Resistência Média)	Alta (Muito resistente)
Aplicações	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 à erosão linear (induzida)	Médio a alto	Médio a alto	Médio a baixo
	Potencial a movimentos gravitacionais de massa	Baixo	Médio a alto	Alto
Tipos de relevo segundo a proposta do IPT (1981)		Planícies aluviais e terraços baixos	Colinas e morrotes	Morros e serras

densidade de relevo e de drenagem; portanto, segundo as proposições do quadro de fotoanálise de Zaine (2011), a permeabilidade é baixa e a relação escoamento superficial/infiltração é alta.

As amplitudes altimétricas são altas, acompanhadas de encostas que variam de côncavas a retilíneas, cujas declividades são elevadas. Portanto, o potencial a movimentos gravitacionais é elevado e os processos geomorfológicos que podem ocorrer são os movimentos de massa. Em comparação com a unidade 1, os migmatitos tendem a formar perfis de solos um pouco mais profundos com a presença de matacões e blocos rochosos.

Sobre a unidade 3 (migmatitos em relevo serranos) a densidade textural é alta, ou seja, tem-se alta densidade de drenagem e alta densidade de relevo. Assim, a permeabilidade é baixa, a relação escoamento superficial pela infiltração é elevada e a espessura do manto de alteração é pequena.

As análises a respeito da forma e característica do relevo revelaram que o local possui grande amplitude altimétrica, encostas retilíneas, cujas declividades são elevadas, e topos angulosos. Desta forma, em relação às características geotécnicas, a unidade possui um grande potencial a movimentos gravitacionais, principalmente rolamento de blocos e escorregamentos, pela presença de matacões no perfil de solo.

Para a unidade 4 (Migmatitos em relevo de colinas) a densidade de drenagem e a densidade de relevo são medianas, assim, a permeabilidade, bem como a relação de escoamento superficial pela infiltração, são médias.

Nesse sentido, os valores de declividade e amplitudes também são medianos, cujas encostas são côncavas e a forma dos topos arredondados.

No que tange as propriedades geológico-geotécnicas da unidade, o potencial à erosão linear induzida varia de médio a baixo, e o potencial a movimentos gravitacionais oscila entre médio a alto, principalmente, pela presença de perfis de solo mais desenvolvidos associados às encostas de declividades médias.

Na unidade 5 (Migmatitos em morrotes) a densidade de drenagem e a densidade de relevo são medianas, bem como a amplitude altimétrica e a declividade. Nesse sentido, a permeabilidade e a relação de escoamento superficial pela

infiltração possuem valores médios.

As encostas variam entre côncavas e convexas, e os topos podem ser aplainados a arredondados. Sobre as propriedades geológico-geotécnicas, o potencial à erosão linear induzida varia de médio a alto, enquanto a probabilidade de ocorrer movimentos gravitacionais é mediana.

Para a unidade 6 (Rochas cataclásticas em morros), a densidade textural é alta, devido à alta densidade de relevo e drenagem. Assim, verifica-se uma baixa permeabilidade e uma alta relação de escoamento superficial pela infiltração.

As amplitudes altimétricas e os valores de declividade são altos, com formas de encostas côncavo-retilíneas, vales fechados e topos arredondados.

As características geológico-geotécnicas da unidade revelam que seu potencial à erosão linear induzida varia de médio a alto, bem como a probabilidade a movimentos gravitacionais.

Na unidade 7 (Rochas cataclásticas em morrotes) a densidade de drenagem e a densidade de relevo são médias, o que induz a uma permeabilidade intergranular e relação de escoamento superficial pela infiltração medianas.

As formas de encostas podem ser côncavas ou convexas, cujas declividades e amplitudes altimétricas possuem valores medianos, com topos aplainados ou arredondados.

As características geológico-geotécnicas da respectiva unidade revelam que o potencial a movimentos gravitacionais é médio; entretanto o potencial para a erosão linear induzida varia de médio a alto.

Para a unidade 8 (Rochas granitoides em morros) a alta densidade de elementos de drenagem, bem como as de relevo, confere à região uma elevada relação de escoamento superficial pela infiltração e espessura rasa do manto de alteração. Nesse sentido, aliadas às formas côncavas e convexas das encostas e a declividades altas do local, a unidade pode apresentar movimentos de massa ao longo de sua extensão.

Em relação à unidade 9 (rochas granitoides em morrotes), a densidade textural é média, devido à média densidade de relevo e de drenagem. Conseqüentemente, a permeabilidade, bem como a relação de escoamento superficial pela infiltração, serão medianas. A amplitude altimétrica e declividade também possuem

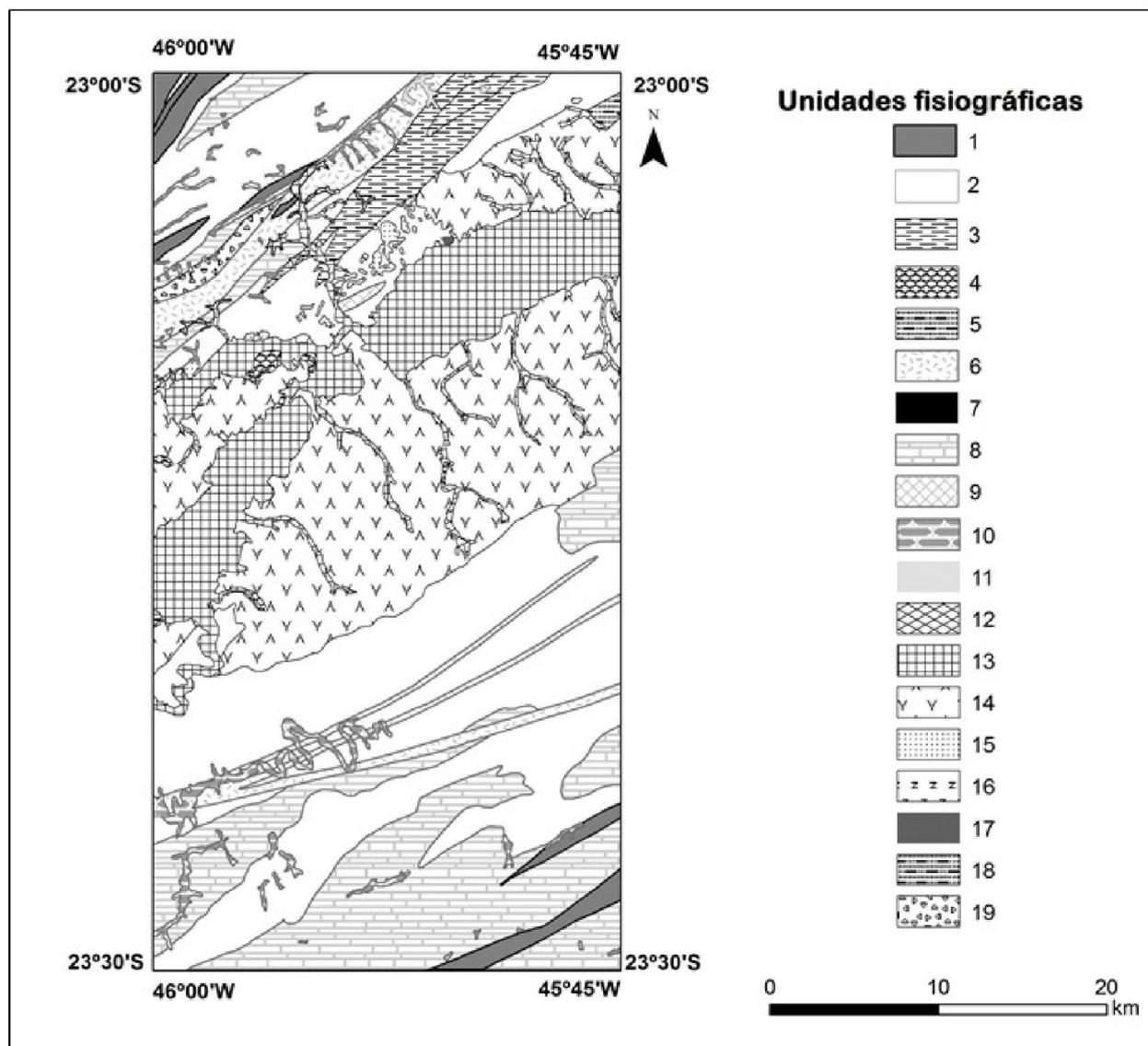


Fig. 4 – Mapa de compartimentação fisiográfica da área de estudo.

valores medianos, cujas encostas são côncavas e a forma dos topos arredondados.

Quanto às características geológico-geotécnicas, o potencial à erosão linear induzida e o de movimentos gravitacionais varia de médio a alto.

A unidade 10 (Sedimentos quaternários em relevo de morros) possui ampla distribuição na área de estudo, e apesar de localizar-se em relevo de morros, se configura como pequenas planícies aluvionares com declividades baixas, pequena amplitude altimétrica e com vales abertos, entretanto restritos. A forma do topo é aplainada e o potencial a movimentos gravitacionais é baixo. Desta forma, o processo geológico mais frequente é a erosão fluvial com solapamento das margens, o assoreamento, enchentes e inundações.

A unidade 11 (Sedimentos quaternários

em relevo serrano) se distribui como pequenas planícies aluvionares com declividades baixas, pequena amplitude altimétrica e com vales abertos, entretanto restritos. A forma do topo é aplainada, e o potencial a movimentos gravitacionais é baixo.

Assim como a unidade anterior, os principais processos geológicos ocorrentes são a erosão fluvial com solapamento das margens, o assoreamento, enchentes e inundações. Entretanto, a velocidade dos processos pode se dar de maneira diferenciada, uma vez que a unidade 11 localiza-se em relevo de serras, cujas encostas são retilíneas e as declividades mais elevadas; portanto, o carreamento de sedimentos tende a ser mais intenso e com maior rapidez, possibilitando a formação de ondas de cheia nos leitos das drenagens.

A unidade 12 (Sedimentos quaternários

em relevo de colinas) possui média densidade de drenagem e de relevo. Desta forma, a permeabilidade, a relação escoamento superficial pela infiltração e a espessura do manto de alteração são medianas.

As amplitudes e declividades são pequenas, acompanhadas de vales abertos com encostas convexas a côncavas. Os topos podem ser aplainados ou arredondados. Assim, verifica-se o potencial médio a alto de erosão linear induzida, relatado nas etapas de fotointerpretação.

Sobre a unidade 13 (Sedimentos quaternários em planícies aluviais), o local apresenta baixa densidade de drenagem e baixa densidade de relevo. Nesse sentido, a permeabilidade é alta e a espessura do manto de alteração é grande.

A análise do relevo evidencia pequenas amplitudes altimétricas e baixas declividades, além de superfícies planas, topos aplainados e vales abertos. Os materiais inconsolidados são espessos e o potencial à erosão linear induzida é alto.

Os processos geológicos inundação e erosão fluvial são ocorrentes na área em questão. A unidade possui grandes áreas urbanas, com municípios de grande porte, como Jacareí e São José dos Campos, e obras de engenharia frequentemente são realizadas para mitigar o problema de inundação. Entretanto, a ocupação de forma desordenada, principalmente nas áreas mais próximas ao Rio Paraíba do Sul, agrava o problema das enchentes e inundações, uma vez que inexistente infraestrutura adequada para habitação.

No que tange a unidade 14 (Conglomerados, arenitos, siltitos, argilitos e folhelhos do Grupo Taubaté em relevo de colinas) as atividades fotointerpretativas evidenciaram média a alta densidade de drenagem e de relevo. Assim, a relação de escoamento superficial pela infiltração varia de média a alta, ao passo que a permeabilidade varia de média a baixa.

A amplitude altimétrica e a declividade são medianas, com encostas côncavas, topos arredondados e vales fechados. As características geológico-geotécnicas da unidade evidenciam um médio potencial à erosão linear induzida, bem como a movimentos gravitacionais.

A unidade 15 (Conglomerados, arenitos, siltitos, argilitos e folhelhos do Grupo Taubaté em

relevo de morros) apresenta média densidade de drenagem e de relevo, portanto, a permeabilidade e a relação de escoamento superficial pela infiltração são medianas.

Em relação às formas e características do relevo, a amplitude altimétrica e a declividade são medianas. Nesse contexto, as formas de encosta são côncavas e os topos arredondados.

O potencial à erosão linear induzida varia de médio a alto, bem como para os movimentos gravitacionais. Assim, a unidade apresenta como processos geológicos a erosão linear e o rastejo.

Na unidade 16 (Conglomerados, arenitos, siltitos, argilitos e folhelhos do Grupo Taubaté em relevo de morrotes) a densidade textural é média e a densidade dos elementos do relevo, que indicam a dissecação e rugosidade do terreno, é média. Assim, a permeabilidade, a relação do escoamento superficial pela infiltração e a espessura do manto de alteração têm valores médios.

Em relação à análise das formas e características do relevo, a amplitude altimétrica e a declividade são médias, cujas formas de encostas são convexas. A forma dos topos é aplainada.

As características geológico-geotécnicas da unidade revelam médio a alto potencial à erosão linear induzida, além de médio a alto potencial a movimentos gravitacionais, como escorregamentos.

Na unidade 17 (Conglomerados, arenitos, siltitos, argilitos e folhelhos em terraços baixos) a densidade textural é baixa, definida pelas baixas densidades dos elementos de drenagem e dos elementos do relevo. Nesse contexto, a permeabilidade intergranular é alta, ou seja, muito permeável e a relação escoamento superficial pela infiltração é baixa. A espessura do manto de alteração é grande e espesso, com mais de 5 metros.

Em relação às características da forma do relevo, observam-se pequenas amplitudes altimétricas e superfícies planas com baixas declividades. Os topos são aplainados e as feições particulares do relevo dessa unidade são os terraços fluviais.

As características geológico-geotécnicas evidenciam um potencial que pode variar de médio a alto à erosão linear induzida; nesse contexto, as atividades de campo revelaram a

existência de erosão linear em alguns pontos. O potencial a movimentos gravitacionais é muito baixo, visto que as declividades no local são muito pequenas.

Em relação à unidade 18 (Conglomerados, arenitos, siltitos, argilitos e folhelhos em planícies aluviais) a densidade textural é baixa, acompanhada de baixas densidades de elementos do relevo e baixa densidade hidrográfica. Nesse sentido, a permeabilidade intergranular será alta, acompanhada de grande espessura de manto de alteração (maior que 5 metros).

A amplitude local, bem como a declividade, possui valores baixos. As superfícies são planas e os topos aplainados, e as feições de relevo peculiares da unidade são as planícies aluvionares.

Assim, as características geológico-geotécnicas da unidade revelam um alto potencial à erosão linear induzida, uma grande espessura de materiais inconsolidados e um baixo potencial a movimentos gravitacionais. Os processos geológicos mais ocorrentes no local são enchente e inundação, o assoreamento e a erosão fluvial.

Por fim, na unidade 19 (Granulitos e charnockitos em relevo de morros) A densidade textural é alta, uma vez que possui altas densidades de elementos de drenagem e de elementos de relevo. Assim, a permeabilidade intergranular é baixa, e a espessura do manto de alteração é pequena.

A análise das formas e características do relevo evidenciaram grandes amplitudes altimétricas (maiores que 300 metros) e altas declividades (maiores que 300). As encostas são retilíneas e os vales fechados, com topos que podem ser arredondados a angulosos.

As características geológico-geotécnicas da unidade 19 revelam o seu alto potencial a movimentos gravitacionais, além de médio a baixo potencial a erosão linear de forma induzida.

5. CONCLUSÕES

O processo de compartimentação fisiográfica originou 19 unidades distribuídas ao longo do Embasamento Cristalino e na Bacia Sedimentar de Taubaté. As técnicas de sensoriamento remoto, sintetizada no presente trabalho através do uso da banda 4 da imagem

Landsat-5, seguida do processamento digital por meio do contraste linear e aplicação do filtro Laplaciano, apoiadas na fotointerpretação, forneceram resultados satisfatórios e pertinentes para a área em questão, possibilitando a definição de áreas mais suscetíveis a ocorrência de processos geológicos de dinâmica superficial.

Observou-se que a região abrangida pelas folhas topográficas São José dos Campos (SP) e Jacareí (SP) apresentam alta fragilidade aos processos do meio físico, devido às suas características geoambientais. Desta forma, torna-se relevante considerar a importância de cada variável para a implementação de determinados empreendimentos, uma vez que o tipo de alteração causada pode ser variável, segundo a declividade, a amplitude altimétrica, as formas de encosta e de topo e algumas formas particulares de relevo encontradas em cada unidade fisiográfica.

Os locais situados em unidades que possuem altas declividades e alta susceptibilidade a movimentos de massa, bem como a rolamento de blocos rochosos, recomenda-se cautela em relação ao tipo de uso, representados pelas unidades fisiográficas 1, 2, 3, 6, 8 e 19. Por se configurarem como áreas de alta susceptibilidade a movimentos de massa, é recomendado que nestes locais haja a reconstituição da cobertura vegetal e a recomposição de fragmentos florestais.

As áreas correspondentes às baixas declividades são altamente suscetíveis à erosão fluvial, inundação e assoreamento. As unidades 10, 11, 12, 13, 17, 18, que pertencem a esses domínios, geralmente estão associadas a feições morfológicas de terraços fluviais e planícies aluvionares. Destaca-se que para a grande planície de inundação do Rio Paraíba do Sul as atividades extrativistas sigam as proposições exigidas pela Resolução nº 28, de 22 de setembro de 1999 da Secretaria do Meio Ambiente de São Paulo, na qual as áreas destinadas à recuperação da várzea, de proteção florestal e conservação devam ser exclusivamente designadas para este fim.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pelo auxílio concedido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, A. E. S., AUGUSTO FILHO, O. Engineering geological data in support of municipal land use planning: a case study in Analândia, southeast Brazil. **Environmental Earth Science**, 65, 277-289, 2011.
- ARRUDA-JÚNIOR, E.R.; SEOANE, J.C.S.; de MENEZES, P.M.L. Geotecnologias portáteis e produtos gratuitos ou de baixo custo no auxílio ao mapeamento. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 62, n. 01, p. 269-276, Jul. 2010.
- CARDOSO, D.; RIEDEL, P.S.; VEDOVELLO, R.; BROLLO, M.J.; TOMINAGA, L.K. Compartimentação fisiográfica do município de Peruíbe, litoral de São Paulo - uma abordagem metodológica como subsídio à avaliação geotécnica de terrenos. **Pesquisas em Geociências**, v.3, n. 36, p. 251-262, set./dez. 2009.
- CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: IG/UNICAMP, 1992. 170 p.
- DEWAN, A.M.; YAMAGUSHI, Y. Land use and land cover change in Greater Dhaka, Bangladesh: Using remote sensing to promote sustainable urbanization. **Applied Geography**, 29 (3), 390-401, 2009.
- FERNANDES-DA-SILVA, P.C.; VEDOVELLO, R.; FERREIRA, C.J.; CRIPPS, J. C.; BROLLO, M. J.; FERNANDES, A. J. Geo-environmental mapping using physiographic analysis: constraints on the evaluation of land instability and groundwater pollution hazards in the Metropolitan District of Campinas, Brazil. **Environmental Earth Sciences**, 61 (8), 1657-1675, 2010.
- FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 318 p.
- FLORENZANO, T. G.; CSORDAS, S. M. **Mapa geomorfológico da Região do Médio Vale do Paraíba e Litoral Norte do Estado de São Paulo**. São José dos Campos: INPE, 1993. Escala: 1:250.000.
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Folha de São José dos Campos**. São Paulo: IBGE, 1973. SF-23-Y-D-II-1. Escala 1:50.000.
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Folha de Jacareí**. São Paulo: IBGE, 1974. SF-23-Y-D-II-3. Escala 1:50.000.
- INPE. INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Topodata: **Banco de dados Geomorfométricos do Brasil**. 2008. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php>>. Acesso em: 12/01/2012.
- IPT. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DE SÃO PAULO. **Mapa geológico – quadrícula de São José dos Campos**. São Paulo: IPT, 1978. SF-23-Y-D-II. Escala 1:100.000.
- IPT. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DE SÃO PAULO. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: IPT, 1981. Escala 1:100.000.
- GIORDANO, L. C.; RIEDEL, P. S. Multi-criteria spatial decision analysis for demarcation of greenway: A case study of the city of Rio Claro, São Paulo, Brazil. **Landscape and Urban Planning**, 84, p. 301-311, 2008.
- GUY, M. Quelques principes e quelques expériences sur la methodologie de la photointerpretation. In: **Symp. Intern. Photo-Interpretation**, 2., Paris, Acte,.. v.1, p. 21-41. 1966.
- KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. **World map of the Köppen-Geiger climate classification updated**. Meteorologische Zeitschrift, v. 15, n. 3, p. 259-263. 2006.
- LI, Y; ZHU, X.; SUN, X.; WANG, F. Landscape effects of environmental impact on bay-area wetlands under rapid expansion and development policy: a case study of Lianyungang, China. **Landscape and urban Planning**, 94 (3-4), p. 218-227, 2010.
- MATTOS, J.T. **Técnicas de Sensoriamento Remoto Aplicadas ao Mapeamento Geológico. Rio Claro: UNESP**. (notas de aula do curso de pós-graduação em Geociências e Meio Ambiente). 2011. 40 p.
- OLIVEIRA, E.M. **Carta geológico-geotécnica**

- como subsídio a elaboração de cartas de sensibilidade ambiental, a derrames de petróleo e derivados, na região do oleoduto “Guararema-São José dos Campos”, Vale do Paraíba (SP).** Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2009. 99 p.
- PAULA, J. P. L. de; ZAINÉ, J. E.; LIMA M. S.; OLIVEIRA, E. M. de. Análise fisiográfica aplicada à elaboração de mapa geológico-geotécnico de região da Serra do Mar e Baixada Santista. São Paulo: **Revista Geociências**, UNESP, 27 (2), p. 249-264, 2008.
- PULLEN, H. N.; PATTERSON, M. W. Applications and trends of remote sensing in professional urban planning. **Geography Compass**. v. 5, n. 5, p. 249-261, 2011.
- ROCHA, C.H.B. **Geoprocessamento: Tecnologia Transdisciplinar**. Juiz de Fora: Ed. do Autor, 2000. 220 p.
- ROCHA, M.B.B.; SEER, H.J. Fisiografia e uso da terra no município de Araxá, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 60, n. 02, p. 111–118, Ago. 2008.
- SILVA, A.; ASSINE, M.L.; ZANI, H.; SOUZA-FILHO, E.E.; de ARAÚJO, B.C. Compartimentação Geomorfológica do rio Paraguai na borda norte do Pantanal Mato-Grossense, região de Cáceres-MT. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 59, n. 01, p. 73–81, Abr. 2007.
- SMA – Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. **Resolução Secretária do Meio Ambiente nº 28, de 22 de setembro de 1999**. Dispõe sobre o zoneamento ambiental para mineração de areia no subtrecho da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul inserido nos municípios de Jacareí, São José dos Campos, Caçapava, Taubaté, Tremembé e Pindamonhangaba, e dá providências correlatas. Disponível em: <http://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/legislacao/estadual/resolucoes/1999_Res_SMA_28.pdf>. Acesso em: 28 mar.2013. 4 p.
- 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, Dez. 1976.
- SOARES, P.C.; FIORI, A.P.; MATTOS, J.T. A lógica de interpretação de fotografias aéreas convencionais aplicada a imagens de satélite. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 1. São José dos Campos. Anais... São José dos Campos: CNPq/INPE. p. 616-618. 1978.
- SPAROVEK, G.; BERNDÉS, G.; KLUG, I. L. F.; BARRETTO, A.G.O.P. Brazilian Agriculture and environmental legislation: status and future challenges. **Environmental Sciences & Technology**. 44, p. 6046-6053, 2010.
- VEDOVELLO, R. **Zoneamentos Geotécnicos Aplicados à Gestão Ambiental, a partir de Unidades Básicas de Compartimentação – UBCs**. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000. 154 p.
- VEDOVELLO R. Análise comparativa da técnica de compartimentação fisiográfica de terrenos, por sensoriamento remoto e com a obtenção de unidades básicas de compartimentação fisiográfica de compartimentação (UBCs), em três diferentes regiões do estado de São Paulo. In: CBGE – Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 12., 2008, Ipoçuca, PE. **Anais...**, CD-ROM. p. 181-192.
- VEDOVELLO, R.; MATTOS, J. T. Zoneamento Geotécnico por Sensoriamento Remoto para estudos de Planejamento do Meio Físico: aplicação em expansão urbana. In: **Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 7, 1993, Curitiba. Anais... Curitiba, 1993. p. 155-162.
- VENEZIANI, P.; ANJOS, C.E. dos. **Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia**. Apostila do Curso de Sensoriamento Remoto. São José dos Campos: INPE, 1982. 61 p.
- VENEZIANI, P.; SANTOS, A. R.; CREPANI, E.; ANJOS, C. E.; OKIDA, R. Mapa de classes de erodibilidade de parte da região do rio Taquari baseado em imagens TM-Landsat. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, Número Especial, p. 1747-1754, out. 1998.
- ZAINÉ, J. E. **Método de Fotogeologia aplicado a estudos geológico-geotécnicos: ensaio em Poços de Caldas, MG**. Tese (Livre docência

em Geociências e Meio Ambiente). 2011. “Mesquita Filho”, Rio Claro, 2011. 104 p.
Universidade Estadual Paulista “Júlio de